

SERIE 15 : REACTIONS NUCLEAIRES

EXERCICE 1 : DETERMINATION DE L'AGE D'UN FOSSILE

L'isotope radioactif $^{14}_6C$ du carbone a une période $T = 5\,600$ ans.

Dans les êtres vivants, le rapport : $r = \frac{\text{nombre d'atomes de carbone 14}}{\text{nombre d'atomes de carbone 12}}$ est constant et égal à 10^{-12} .

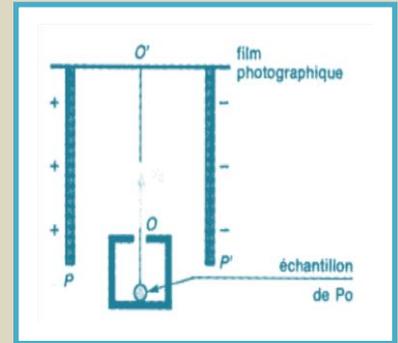
Après leur mort, ce rapport décroît, car le carbone radioactif qui se désintègre n'est plus remplacé par le phénomène d'assimilation. Dans un fossile, on trouve : $r = 0,25 \cdot 10^{-12}$.

Quel temps s'est-il écoulé depuis la mort de l'être vivant correspondant à ce fossile ?

EXERCICE 2 : DESINTEGRATION α

Le polonium 210 est radioactif α : $^{210}_{84}Po \rightarrow ^y_xPb + \alpha$

- 1) Indiquer, en les justifiant, les valeurs de x et y .
- 2) Pour déterminer l'énergie cinétique des particules α (non relativistes) émises, on dévie un faisceau de ces particules par un champ électrostatique uniforme (figure). Le vecteur \vec{E} est orthogonal à la vitesse d'entrée \vec{v}_0 des particules dans le dispositif, P et P' sont deux plaques parallèles créant le champ. La d.d.p. $V_p - V_{p'}$ est positive. Le film photographique est placé à la sortie des plaques, à 10 cm du point O.



Données : $||\vec{E}|| = 5 \cdot 10^6 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$.

Reproduire la figure ci-après en indiquant le sens de \vec{E} et l'allure de la trajectoire.

Un impact est observé sur le film à 4,7 mm du point O'.

En déduire l'énergie cinétique (en MeV) des particules α correspondantes lors de leur émission par l'échantillon radioactif.

- 3) Calculer l'énergie libérée par la désintégration α étudiée.

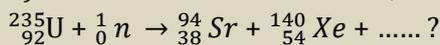
Données : $m_{Po} = 209,9368 \text{ u}$, $m_{Pb} = 205,9295 \text{ u}$.

- 4) Interpréter la différence entre les résultats numériques des questions 2 et 3.

EXERCICE 3 : ENERGIE LIBEREE PAR UNE REACTION NUCLEAIRE (Extrait Bac S1S3 2000)

N.B : On utilisera exclusivement les données de l'énoncé.

- 1) Définir ce qu'est la fission et la fusion. Illustrer chaque définition par un exemple.
- 2) Dans une centrale nucléaire, l'une des réactions de l'uranium 235 peut se résumer ainsi :



Compléter l'équation de la réaction.

- 3) Quelle est l'énergie libérée lorsqu'un noyau d'uranium est consommé ? L'exprimer en MeV et en J. On donne les énergies de liaison par nucléon (E_L / A)

A_ZX	$^{235}_{92}U$	$^{94}_{38}Sr$	$^{140}_{54}Xe$
$E_{l/A} \text{ (MeV / nucleon)}$	7,4	8,4	8,2

Au besoin, la masse d'un nucléon est $1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

- 4) Cette centrale nucléaire utilisant la fission de l'uranium 235 fournit une puissance électrique de 900 Mégawatt (900 MW). Le rendement de la transformation d'énergie nucléaire en énergie électrique est de 30 %. En considérant qu'un atome d'uranium 235 dégage en moyenne une énergie de 200 MeV, calculer :

- a) le nombre de fissions par seconde se produisant dans la centrale nucléaire.
- b) la masse d'uranium 235 qu'il faut utiliser pour faire fonctionner cette centrale durant une année. (on l'exprimera en tonnes).

EXERCICE 4 : FAMILLE RADIOACTIVE – AGE D'UN MINERAL (Extrait Bac S1S3 1998)

L'uranium 238 est le précurseur d'une famille radioactive aboutissant au plomb 206 par une série de désintégrations α et de désintégrations β^- .

- 1) Ecrire l'équation-bilan générale de la désintégration α .
- 2) Ecrire l'équation-bilan générale de la désintégration β^- .
- 3) Déterminer le nombre de désintégrations α et le nombre de désintégrations β^- pour passer de ${}^{238}_{92}\text{U}$ à ${}^{206}_{82}\text{Pb}$.
- 4) La dernière désintégration est de type α et provient d'un noyau père de polonium (Po).
 - 4.a - Calculer, en MeV l'énergie libérée par cette désintégration.
 - 4.b- En admettant que cette énergie se retrouve intégralement en énergie cinétique pour la particule α , calculer sa vitesse.
 - 4.c- L'atome de polonium étant initialement immobile, en déduire la vitesse de recul du noyau fils. Justifier l'approximation faite à la question 4.b
- 5) En considérant qu'au moment de la formation du minerai d'uranium 238, il n'y avait aucune trace de plomb 206 et que les durées de vie des noyaux intermédiaires sont suffisamment courtes pour être négligées durant la période radioactive la plus longue ($T = 4,5.10$ ans), déterminer l'âge d'un échantillon contenant à présent 15,00 g d'uranium et 150 mg de plomb.

Données : * Les masses atomiques sont les suivantes :

NB : En dehors du calcul du défaut de masse, pour les autres questions où l'on aura des masses molaires, on prendra pour chaque élément la valeur entière la plus proche.

${}^{206}_{82}\text{Pb}$: 205,9745 u ${}^{210}_{84}\text{Po}$: 209,9829 u α : 4,0015 u

* **Les constantes ou valeurs de conversion sont :**

1 u = 931,5 MeV/c² , célérité de la lumière dans le vide $c = 3,00.10^8$ m.s⁻¹

1 MeV = 1,6.10⁻¹³ J , $N = 6,02.10^{23}$ mol⁻¹ , $MU = 238$ g. mol⁻¹

* $\ln 2 \approx 0,693$ et si $\varepsilon \ll 1$, $\ln(1 + \varepsilon) \approx \varepsilon$

EXERCICE 5 : FAMILLE DE L'URANIUM 238 – ACTIVITE RADIOACTIVE (Extrait Bac S2 2001)

On donne :

Nucléide X	${}_{80}\text{Hg}$	${}_{82}\text{Pb}$	${}_{83}\text{Bi}$	${}_{84}\text{Po}$
Masse du nucléide : m_x	203,9735 u	205,9745 u	208,9804 u	209,9829 u

$m_\alpha = 4,0026$ u , 1 u = 1,66. 10⁻²⁷ kg = 931,5 MeV/c² , 1 Ci = 3,7. 10¹⁰ Bq ,

nombre d'Avogadro $N = 6.1.10^{23}$ mol.L⁻¹.

- 1) L'uranium ${}^{238}_{92}\text{U}$ se désintègre avec ses «descendants» en émettant des particules α ou β^- . Calculer le nombre de désintégrations α et β^- , sachant qu'on aboutit au ${}^{206}\text{Pb}$. Comment appelle-t-on l'ensemble des noyaux issus de l'uranium ${}^{238}\text{U}$ (lui même compris) ?
- 2) Le plomb ${}^{206}\text{Pb}$ peut être obtenu par une désintégration α d'un noyau X avec une période $T = 138$ jours.
 - 2.a - Ecrire l'équation-bilan de cette désintégration et identifier le noyau X.
 - 2.b - Calculer en MeV puis en Joule l'énergie libérée par la désintégration d'un noyau X.
- 3) On part d'un échantillon de 4,2 g de X.
 - 3.a- Calculer l'activité A_0 de cet échantillon. L'exprimer en Becquerel puis en Curie.
 - 3.b- Quelle est l'activité de cet échantillon au bout de 69 jours ?
 - 3.c - Quelle masse de cet échantillon se désintègre-t-il au bout de 552 jours ?

EXERCICE 6 :RADIOACTIVITE β^- - ACTIVITE

Le nucléide $^{108}_{47}\text{Ag}$ est radioactif β^- .

- 1) Écrire l'équation de cette réaction nucléaire en précisant les règles utilisées.
- 2) Préciser le symbole du noyau fils et donner la composition de son noyau.

On donne un extrait de la classification des éléments :

$_{43}\text{Tc}$	$_{44}\text{Ru}$	$_{45}\text{Rh}$	$_{46}\text{Pd}$	$_{47}\text{Ag}$	$_{48}\text{Cd}$	$_{49}\text{In}$
------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------

- 3) Donner sans démonstration la formule traduisant la loi de décroissance radioactive en indiquant la signification de chacun des termes.
- 4) Définir la période radioactive T.
- 5) Établir l'expression de la constante radioactive λ en fonction de T.
- 6) On étudie l'évolution de l'activité d'un échantillon du nucléide $^{108}_{47}\text{Ag}$ au cours du temps.

L'activité A est définie par $A = -\frac{dN}{dt}$ et exprimée en becquerels.

(1 becquerel correspond à une désintégration par seconde.)

6.a- Exprimer l'activité A en fonction du temps.

Compléter le tableau de mesures figurant ci-après.

t (min)	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
A (Bq)	89	73	63	52	46	39	33	29	24	21	18
lnA											

6.b- Tracer la courbe représentative $\ln A = f(t)$, sur papier millimétré.

Echelles : en abscisses : 1 cm \leftrightarrow 0,5 min, en ordonnées : 1 cm \leftrightarrow 0,5.

6.c- En utilisant le graphe tracé, déterminer la constante radioactive λ du nucléide $^{108}_{47}\text{Ag}$.

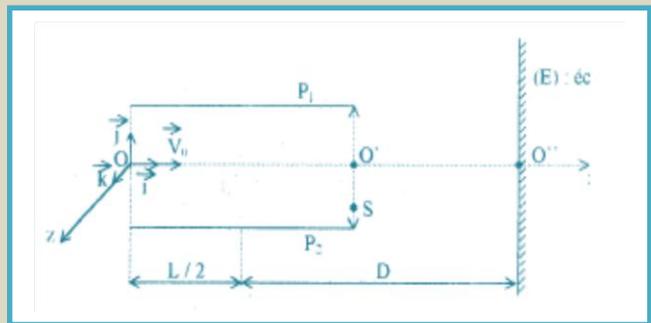
En déduire sa période radioactive.

6.d- Quel est le nombre de noyaux initialement présents dans cet échantillon ?

EXERCICE 7 : REACTION NUCLEAIRE PROVOQUEE(Extrait Bac S2 2003)

Des particules α de vitesse \vec{v}_0 horizontale pénètrent en O entre deux plateaux P_1 et P_2 parallèles et horizontaux d'un condensateur plan. La longueur des plateaux est $L = 20,0$ cm et la distance qui les sépare est $d = 5,0$ cm.

On applique la tension $U = V_{P_1} - V_{P_2} = 4,5.10^4$ V entre les plateaux. (Si $U = 0$ les particules ne sont pas déviées et sortent en O').



1) Donner les caractéristiques du vecteur champ électrostatique \vec{E} supposé uniforme qui règne entre les plaques.

2) Etablir l'équation cartésienne de la trajectoire des particules a dans le repère $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$. (On négligera les actions de la pesanteur).

3) Sachant que les particules à sortent du champ électrostatique en un point S d'ordonnée $Y_s = -2,15$ mm, calculer la valeur v_0 de la vitesse initiale.

4) En fait les particules α en question sont produites à partir de noyaux de lithium en bombardant des noyaux de lithium ^7_3Li par des protons ^1_1H , il se produit une réaction nucléaire avec formation uniquement de noyaux d'hélium ^4_2He (particule α).

4.a- Ecrire l'équation-bilan de la réaction nucléaire.

4.b- Calculer, en MeV puis en joules, l'énergie libérée par la réaction.

4.c- En négligeant la vitesse des protons incidents et en supposant que toute l'énergie libérée par la réaction est transformée en énergie cinétique des particules α produites, calculer la valeur de l'énergie cinétique $E_{c\alpha}$ de chacune des particules α (supposées homocinétiques).

En déduire leur vitesse v_0 . Ce résultat est-il en accord avec celui de la question 3 ?

Données :

Noyau	^1_1H	^7_3Li	^7_3Li
Masse (en u)	1,0078	7,0160	4,0026

$1 \text{ u} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 931,5 \text{ MeV}/c^2$, $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, charge élémentaire $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

EXERCICE 8 : RADIOACTIVITE α

Données : $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$

$m(^{210}_{84}\text{Po}) = 209,9368 \text{ u}$	$m(^4_2\text{He}) = 4,0015 \text{ u}$
$m(^{206}_{82}\text{Pb}) = 205,9295 \text{ u}$	$1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV}/c^2$

Le polonium $^{210}_{84}\text{Po}$ est radioactif α .

- 1) Écrire l'équation-bilan de cette désintégration sachant que l'on obtient un noyau de plomb.
- 2) Calculer en MeV l'énergie libérée au cours de la désintégration du noyau de polonium 210.
- 3) On suppose que le noyau père est initialement au repos et que l'énergie libérée apparaît sous forme d'énergie cinétique pour la particule α et le noyau fils.

3.a- En utilisant la loi de conservation de la quantité de mouvement, montrer que : $\frac{E_c(\alpha)}{E_c(\text{Pb})} = \frac{m_{\text{Pb}}}{m_{\alpha}}$

3.b- En appliquant la loi de conservation de l'énergie totale du système, calculer $E_c(\alpha)$ et $E_c(\text{Pb})$.

Conclure.

- 4) L'expérience montre que certaines particules α ont une énergie cinétique $E_{c1}(\alpha) = 5,30 \text{ MeV}$ et d'autres $E_{c2}(\alpha) = 4,50 \text{ MeV}$. Interpréter ces valeurs sachant que l'on observe l'existence d'un rayonnement γ . Calculer sa longueur d'onde λ

EXERCICE 9 : DATATION AU CARBONE 14

- 1) Lorsque dans la très haute atmosphère, un neutron 1_0n faisant partie du rayonnement cosmique rencontre un noyau d'azote $^{14}_7\text{N}$, la réaction donne naissance à du carbone $^{14}_6\text{C}^*$.

Ecrire l'équation bilan de la désintégration de la réaction.

- 2) Le carbone $^{14}_6\text{C}^*$, isotope du carbone 12 est radioactif émetteur β^- .

Ecrire l'équation bilan de la désintégration du nucléide $^{14}_6\text{C}^*$.

- 3) Les végétaux vivants absorbent indifféremment le dioxyde de carbone de l'atmosphère contenant le nucléide $^{14}_6\text{C}^*$, radioactif de période $T = 5570$ ans et le dioxyde de carbone contenant le nucléide $^{12}_6\text{C}$. La proportion de ces deux isotopes est donc la même dans les végétaux et dans l'atmosphère. Cependant, lorsqu'une plante meurt, elle cesse d'absorber le dioxyde de carbone, le carbone 14 qu'elle contient, se désintègre alors sans être renouvelé. Le processus d'assimilation s'arrête et la teneur en $^{14}_6\text{C}^*$ commence à diminuer.

La méthode de datation au carbone 14 suppose que la proportion de carbone 14, dans l'atmosphère, ne varie pas dans le temps.

Des archéologues ont trouvé des pièces de bois très anciennes dans une grotte.

Le rapport des activités d'un échantillon de ces pièces de bois et d'un échantillon du même bois fraîchement coupé est $r = 0,77$.

Déterminer l'âge de ces pièces de bois.

EXERCICE 10 : DATATION AU CARBONE 14 – ACTIVITE (Extrait Bac S1S3 2003)

En raison des réactions nucléaires dans la très haute atmosphère, la teneur en carbone 14 dans le dioxyde de carbone atmosphérique reste constante. Cette proportion se trouve dans tous les végétaux vivants, puisque le carbone organique provient du dioxyde de carbone atmosphérique par photosynthèse, Cependant, lorsqu'une plante meurt, le processus d'assimilation s'arrête et la teneur en $^{14}_6C$ commence à diminuer.

Pour dater un morceau de charbon de bois retrouvé dans une grotte préhistorique, on a mesuré son activité, elle est égal à 0,03 Bq. Un échantillon de charbon de bois récent de même masse a une activité de 0,20 Bq. Le nucléide $^{14}_6C$ est radioactif β^- . Sa période radioactif est de 5730 ans.

- 1) Ecrire l'équation bilan de la désintégration du nucléide 14 C. Préciser le symbole et le nom du noyau fils.
- 2) Calculer L'âge du morceau de charbon retrouvé dans la grotte.
- 3) Le nucléide $^{52}_{23}V$ (vanadium) subit la même désintégration que celle de $^{14}_6C$ avec émission d'un rayonnement, le noyau fils correspond à l'élément chrome (Cr).

3.1- Ecrire l'équation bilan de la désintégration.

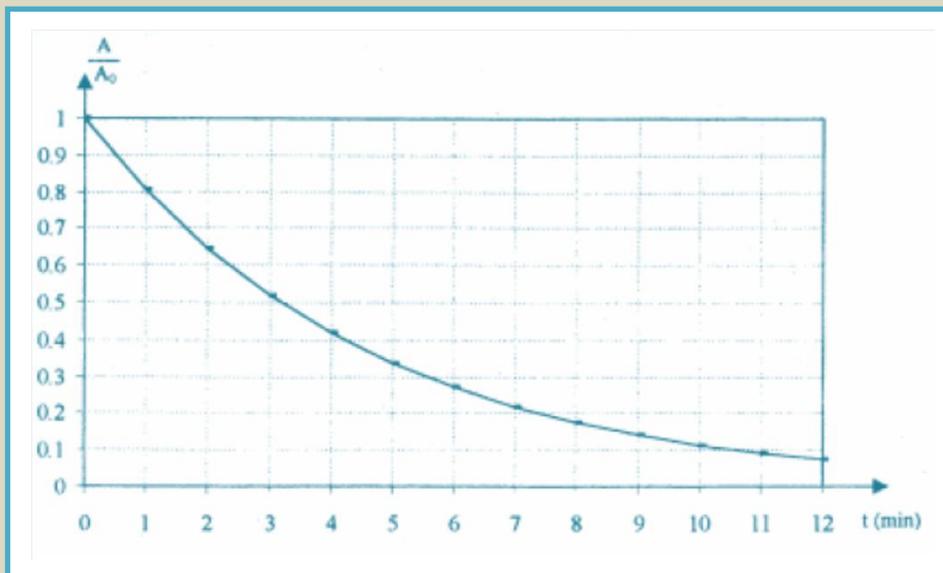
3.2- A l'aide d'un compteur, on détermine le nombre moyen de désintégration \bar{N} pendant une durée constante $\Delta t = 5$ s. Les mesures sont effectuées toutes les deux minutes. Le tableau qui suit donne \bar{N} à différentes dates t.

t (min)	0	2	4	6	8	10	12
\bar{N}	1586	1075	741	471	355	235	155
$\frac{A}{A_0}$							

3.2.a- Rappeler la définition de l'activité A d'une substance radioactive.

3.2.b- Recopier puis compléter le tableau ci-dessus.

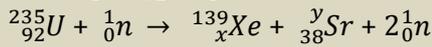
3.2.c- A partir du graphe $\frac{A}{A_0}$ en fonction de t donné ci-dessous, déduire la période de désintégration du vanadium radioactif.



EXERCICE 11 : REACTIONS NUCLEAIRES ET CHOCS ELASTIQUES (Extrait Bac C 1995)

- Célérité de la lumière $c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$, $1 \text{ u} = 16.10^{-26} \text{ kg}$

L'isotope $^{235}_{92}\text{U}$, que l'on trouve dans l'uranium naturel, est fissile selon la réaction :



1) Calculer x et y.

2) L'énergie libérée par la fission d'un noyau d'uranium 235 est 200 MeV. Déterminer la variation de masse m que subit le système, en kg et en u (unité de masse atomique).

3) Un neutron émis lors de cette fission possède une vitesse moyenne $v_0 = 20000 \text{ km.s}^{-1}$. Afin que la fission puisse se reproduire et s'entretenir, il faut ralentir ces neutrons grâce à des chocs successifs sur d'autres noyaux supposés, initialement au repos, de façon que la vitesse finale au bout d'un nombre n de chocs soit, au plus $v_n = 3,94 \text{ km.s}^{-1}$.

NB : On supposera les chocs élastiques et les vitesses colinéaires.

3.a- Soit m la masse d'un neutron et M la masse du noyau contre lequel se produit le choc. Exprimer, en fonction de m, M et v_0 , la vitesse de ce neutron après le premier choc.

3.b- Exprimer, en fonction de m, M et v_0 les vitesses $v_2, v_3 \dots v_n$ du neutron après 2, 3, ... n chocs successifs.

3.b- Calculer le nombre n de chocs nécessaires pour obtenir la vitesse finale v si les chocs ont lieu sur des noyaux de deutérium de masse $M = 2 \text{ m}$.

4) Une centrale nucléaire utilisant la fission de l'uranium 235 fournit une puissance électrique de 2,4 MW. Sachant que 30 % de l'énergie libérée lors de la fission est transformée en énergie électrique, calculer la masse d'uranium 235 consommée par jour.

EXERCICE 3 : LONGUEUR D'ONDE D'UNE EMISSION – CONSTANTE RADIOACTIVE (Extrait Bac S1 S3 2013)

Le cobalt $^{60}_{27}\text{Co}$ radioélément très utilisé en médecine pour le traitement du cancer (« bombe au cobalt ») est obtenu par bombardement neutronique du cobalt « naturel » $^{59}_{27}\text{Co}$

3.1 Ecrire l'équation de production du cobalt $^{60}_{27}\text{Co}$ **(0,25 point)**

3.2 Le cobalt $^{60}_{27}\text{Co}$ est radioactif β^- et a une constante radioactive $\lambda = 4.10^{-9} \text{ s}^{-1}$. Ecrire l'équation de la réaction de désintégration de $^{60}_{27}\text{Co}$ **(0,5 point)**.

Extrait de la classification périodique :

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

3.3 Le noyau fils Y est obtenu à l'état excité d'énergie $E_3 = 2,50 \text{ MeV}$. Sa désexcitation s'effectue en deux étapes comme indiqué ci-contre. :

Calculer les longueurs d'onde λ_1 et λ_2 des deux photons émis au cours de la désexcitation du noyau fils Y. **(0,5 point)**

3.4 Un centre hospitalier dispose d'un échantillon de

« cobalt 60 » de masse $m_0 = 1 \mu\text{g}$

3.4.1. Déterminer le nombre de noyau N_0 contenus dans

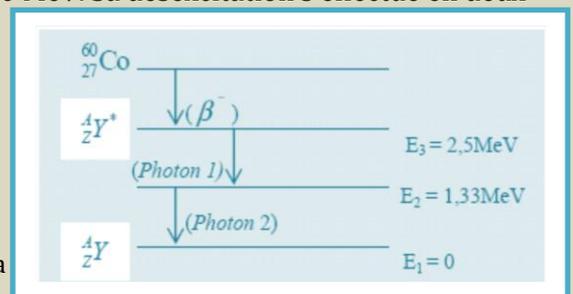
l'échantillon à la date $t = 0$. **(0,25 point)**

3.4.2. Soit $N(t)$ le nombre de noyaux présents dans l'échantillon à la date t. Etablir la relation $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$. **(0,25 point)**

3.4.3. Le technicien du laboratoire est chargé de contrôler cette source, tous les ans, en déterminant son activité.

3.4.3.1. Définir l'activité $A(t)$ d'une substance radioactive puis l'exprimer en fonction de A_0, λ et t. **(0,5 point)**

3.4.3.2. Le technicien obtient les résultats suivants :



t (ans)	0	1	2	3	4	5	7
A (10^7 Bq)	3,980	3,515	3,102	2,670	2,368	2,038	1,540
ln A							

a) Recopier puis compléter le tableau et tracer le graphe $\ln A = f(t)$. **(0,75 point)**

b) En déduire la constante radioactive l du « cobalt 60 ». **(0,5 point)**

On donne : Constante d'Avogadro $N_A = 6,02.10^{23} \text{ mol}^{-1}$; $M(^{60}_{27}\text{Co}) = 60 \text{ g.mol}^{-1}$

Célérité de la lumière $C = 3,00.10^8 \text{ m.s}^{-1}$; Constante de Planck : $h = 6,62.10^{-34} \text{ J.s}$