

**DS N°2 - PARTIE PHYSIQUE****Durée : 45 min****Les applications technologiques de la radioactivité : 20pts**

"Au cours du XX<sup>e</sup> siècle, d'énormes progrès ont été réalisés en médecine grâce à la radioactivité. La technique consiste à introduire dans l'organisme des substances radioactives appelées traceurs pour diagnostiquer (identifier la maladie) et soigner. Par exemple, on sait que les phosphonates entrent dans le métabolisme<sup>1</sup> osseux; si on injecte du phosphonate radiomarqué au "technétium 99", celui-ci se comporte comme un traceur. Il participe au métabolisme de la même façon que le phosphonate naturel auquel il est mélangé et se répartit sur le squelette. Le rayonnement gamma émis traverse les tissus et peut donc être détecté à l'extérieur de l'organisme par une gamma caméra. Cette caméra permet d'obtenir des informations sous forme d'une image appelée la scintigraphie. Celle-ci pourra apporter des renseignements fonctionnels comme, par exemple, le degré de consolidation d'une fracture.

D'autres traceurs sont utilisés; citons: l' "iode 131"; le "carbone 11"; l' "azote 13"; l' "oxygène 15". Ils sont choisis parce que leur activité décroît rapidement.

La radioactivité est utilisée dans le traitement des tumeurs et des cancers: c'est la radiothérapie. Le principe consiste à bombarder une tumeur avec le rayonnement  $\beta^-$  émis par le "cobalt 60".

Dans certains cas, il faut une source radioactive plus ionisante: on utilise un rayonnement de type alpha, plus massif que les autres.

La découverte de la radioactivité a donné aux sciences, à la médecine et à l'industrie un élan qui, après un siècle, ne s'est pas ralenti."

<sup>1</sup> Le métabolisme représente l'ensemble des transformations physiques et chimiques dans les tissus vivants.

*D'après les textes d'un site Internet*

**1. Questions préalables :**

**1.1.** Par quels nombres caractérise-t-on le noyau d'un atome ? Donner leur nom, leur symbole et ce qu'ils représentent. 2pts

**1.2.** Le "carbone 11" et le "carbone 12" sont deux isotopes. Qu'est-ce qui différencie les isotopes d'un même élément chimique ? 1pt

**1.3.** L' "oxygène 15" est radioactif  $\beta^+$ . Ecrire l'équation de la désintégration correspondante. On supposera que le noyau fils n'est pas émis dans un état excité. 1pt

*Extrait de la classification périodique:*

|                |                |                |                |                    |                    |
|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------------|--------------------|
| ${}_6\text{C}$ | ${}_7\text{N}$ | ${}_8\text{O}$ | ${}_9\text{F}$ | ${}_{10}\text{Ne}$ | ${}_{11}\text{Na}$ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------------|--------------------|

**2. A propos du texte :**

**2.1.** Dans le texte on parle de traceurs, quelle propriété commune présentent-ils ? 0.5pt

**2.2.** Le texte donne une particularité des radioéléments utilisables en scintigraphie, laquelle ? 1pt

**2.3. Quelques types de rayonnement :**

**2.3.1.** Dans le texte, il est question de radioactivité  $\beta^-$  et alpha; donner le nom et le symbole  ${}_Z^AX$  de chacune de ces particules. 1pt

**2.3.2.** Justifier à partir de la question précédente la phrase "un rayonnement de type alpha plus massif que les autres". 1pt

**3. Scintigraphie :**

|  | Activité $A_0$ en Bq au moment de l'injection | Activité $A_{400}$ en Bq 400 jours après l'injection. |
|--|---|---|
| traceur de demi-vie égale à 8 jours (Iode 131) | $2 \times 10^5$                               | $6 \times 10^{-3}$                                    |
| traceur de demi-vie égale à 80 jours           | $2 \times 10^5$                               | 6 255   |



On injecte à un patient un échantillon d' "iode 131" de temps de demi-vie égal à 8 jours environ.

- 3.1. Donner la définition du temps de demi-vie. *1pt*
- 3.2. En vous aidant du tableau ci-dessus, justifier le choix de l' "iode 131" en scintigraphie. *1pt*

**4. Radiothérapie :**

Le cobalt  $^{60}_{27}\text{Co}$  est émetteur  $\beta^-$  de constante radioactive  $\lambda = 4 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1}$ .

- 4.1. Écrire l'équation de désintégration du "cobalt 60". On supposera que le noyau fils est produit dans un état excité. *1.5pts*

Données:

Extrait de la classification périodique:

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

Constante d'Avogadro:  $6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Masse molaire atomique du cobalt 60 :  $60 \text{ g.mol}^{-1}$

4.2. Un centre hospitalier reçoit un échantillon de "cobalt 60".

- 4.2.1. Déterminer le nombre  $N_0$  de noyaux contenus dans l'échantillon de  $1 \mu\text{g}$  à l'instant de sa réception dans l'établissement hospitalier. *1pt*

4.2.2. Rappeler l'expression liant  $\Delta N$ ,  $\Delta t$ ,  $\lambda$  et  $N$  dans laquelle  $N$  représente le nombre de noyaux encore présents dans l'échantillon à l'instant de date  $t$ . *1pt*

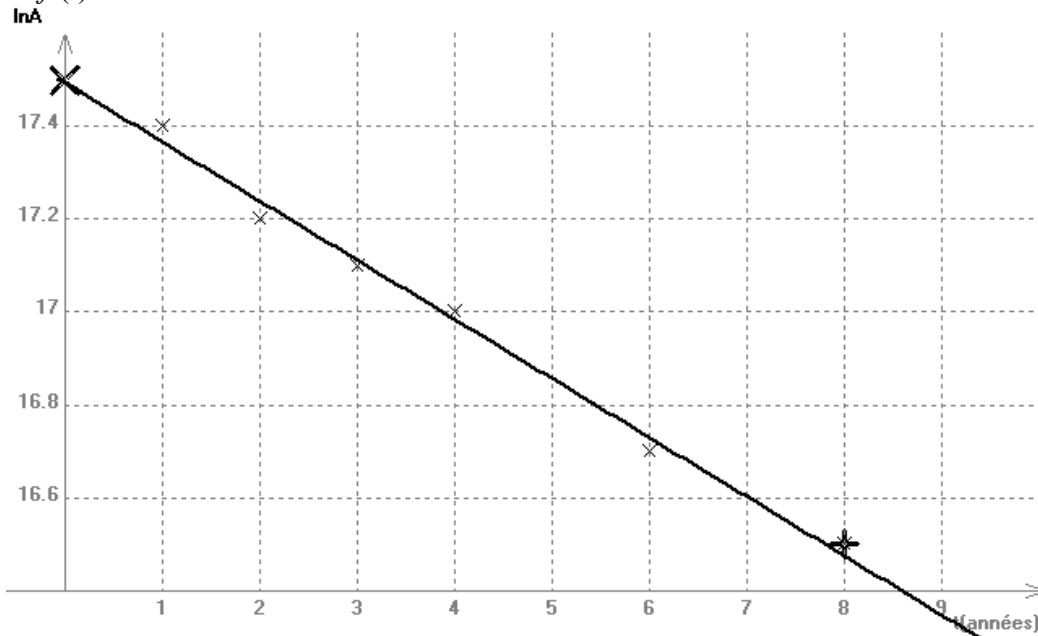
- 4.2.3. Donner l'expression de  $\Delta N$  en fonction de  $\Delta t$ ,  $\lambda$ ,  $N_0$  et  $t$ . *0.5pt*

Le technicien du laboratoire est chargé de contrôler cette source, tous les ans. A l'aide d'un compteur, il détermine le nombre de désintégrations  $\Delta N$  obtenues pendant une courte durée notée  $\Delta t = 1 \text{ s}$ .

Ce nombre est appelé activité  $A$  définie par  $\frac{|\Delta N|}{\Delta t}$ . L'activité peut se mettre sous la forme  $A = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$ .

- 4.2.4. Que vaut littéralement  $A_0$ , en fonction de  $N_0$  et  $\lambda$ ? *1pt*

4.2.5. On trace à l'aide d'un logiciel approprié le graphe du logarithme de l'activité  $A$  en fonction du temps :  $\ln A = f(t)$ .



Rappel:  $\ln(ab) = \ln a + \ln b$

Exprimer  $\ln A$  en fonction de  $t$ ,  $\lambda$  et  $A_0$ , activité initiale de l'échantillon à l'instant de sa réception. *1pt*

- 4.2.6. Montrer que la forme de la courbe ci-dessus constitue une vérification expérimentale de l'expression trouvée précédemment. *1pt*

4.2.7. Déterminer graphiquement la valeur de la constante de désintégration radioactive  $\lambda$  en  $\text{an}^{-1}$ . *1.5pts*

4.2.8. Donner la relation entre  $t_{1/2}$  et  $\lambda$ . *1pt*

4.2.9. Calculer  $t_{1/2}$  en années. Dans les tables on trouve  $t_{1/2} = 1,68 \times 10^8 \text{ s}$  pour le "cobalt 60".

Commenter. *1pt*

**CORRECTION DU DS N°3****Partie-φ : Les applications technologiques de la radioactivité :****1. Questions préalables :**

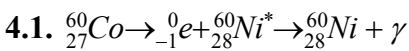
- 1.1. Un noyau est caractérisé par  $Z$  son numéro atomique (ou nombre de charges) et par  $A$  son nombre de nucléons (ou nombre de masse).
- 1.2. Deux isotopes d'un même élément chimique possèdent un même numéro atomique  $Z$  mais un nombre de nucléons  $A$  différent.
- 1.3.  ${}^{15}_8\text{O} \rightarrow {}^0_{+1}\text{e} + {}^{15}_7\text{N}$

**2. A propos du texte**

- 2.1. Ce sont des émetteurs de rayonnement  $\gamma$ .
- 2.2. Les traceurs utilisés en scintigraphie ont une activité qui décroît rapidement.
- 2.3.1. La radioactivité  $\beta^-$  est accompagnée par l'émission d'électrons :  ${}^0_{-1}\text{e}$  tandis que la radioactivité  $\alpha$  est accompagnée de l'émission de noyaux d'hélium  ${}^4_2\text{He}$ .
- 2.3.2. Un noyau d'hélium  ${}^4_2\text{He}$  a une masse beaucoup plus grande que celle d'un électron ( $\beta^-$ ) ou d'un positron ( $\beta^+$ ).

**3. Scintigraphie**

- 3.1. Le temps de demi-vie est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux initialement présents se sont désintégrés.
- 3.2. Les deux traceurs possèdent une même activité initiale, ils seront détectés avec la même intensité par la gamma caméra, mais l'iode 131 possède après 400 jours une activité beaucoup plus faible que le traceur de demi-vie 80 jours. L'iode 131 est donc moins nocif pour la santé.

**4. Radiothérapie**

4.2.1.  $N_0 = \frac{m}{M} \times N_A = \frac{1 \cdot 10^{-6}}{60} \times 6,02 \cdot 10^{23} = 10^{16}$  noyaux

4.2.2.  $\Delta N = -N \cdot \lambda \cdot \Delta t$

4.2.3.  $N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$  que l'on remplace dans l'expression précédente  $\Delta N = -\lambda \cdot \Delta t \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$

4.2.4.  $A_0 = N_0 \cdot \lambda \cdot \Delta t$  or  $\Delta t = 1 \text{ s}$  soit  $A_0 = N_0 \cdot \lambda$

4.2.5.  $A = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$  soit  $\ln A = \ln A_0 - \lambda t$

4.2.6. La courbe est une droite décroissante ne passant pas par l'origine.

Le coefficient directeur de cette droite vaut  $-\lambda$  et l'ordonnée à l'origine vaut  $\ln A_0$ .

Ce qui est cohérent avec l'expression précédente.

4.2.7. On détermine le coefficient directeur  $a$  de la droite:

à l'aide des points  $M(3,0 ; 17,1)$   $N(7,0 ; 16,6)$

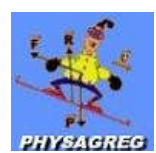
$$a = \frac{\ln A_M - \ln A_N}{t_M - t_N} = \frac{17,1 - 16,6}{3,0 - 7,0} = -0,125 (= -0,13)$$

$$\lambda = -a = 0,125 \text{ an}^{-1}$$

4.2.8.  $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$

4.2.9.  $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{0,125} = 5,5 \text{ ans}$  à convertir en s pour comparer avec la valeur donnée.

sans arrondis intermédiaires:  $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{-\left(\frac{17,1 - 16,6}{3,0 - 7,0}\right)} \times 365,25 \times 24 \times 3600 = 1,7 \cdot 10^8 \text{ s}$



Cette valeur est proche de la valeur donnée dans les tables, la méthode graphique ne permet pas d'être aussi précis.

Non demandé: Vérification de la valeur de l'ordonnée à l'origine: pour  $t=0$  on  $\ln A = \ln A_0$

$$\ln A_0 = \ln N_0 \cdot \lambda \quad \ln A_0 = \ln N_0 + \ln \lambda \quad \ln A_0 = \ln 10^{16} + \ln \frac{0,125}{(365,25 \times 3600 \times 24)} = 17,5$$

**Partie-γ : Détermination d'une constante d'équilibre par deux méthodes :**

**1. La transformation chimique étudiée :**

1.1. Un acide est une espèce chimique capable de céder un proton  $H^+$ .

1.2. Couple acide éthanoïque / ion éthanoate:  $CH_3CO_2H_{(aq)} / CH_3CO_2^-_{(aq)}$

Couple ion oxonium / eau:  $H_3O^+_{(aq)} / H_2O_{(l)}$

1.3. 
$$K = \frac{[CH_3CO_2^-]_f \cdot [H_3O^+]_f}{[CH_3CO_2H]_f}$$

**2. Étude pH-métriques :**

2.1. quantité de matière initiale d'acide éthanoïque :  $n_1 = c_1 \times V_1$

$n_1 = 2,7 \cdot 10^{-3} \times 0,100$

$n_1 = 2,7 \times 10^{-4} \text{ mol}$

| 2.2.  | Avancement    | $CH_3CO_2H_{(aq)} + H_2O_{(l)} = CH_3CO_2^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$ |          |           |           |
|---|---------------|---|----------|-----------|-----------|
| État initial                                | $x = 0$       | $n_1$   | en excès | 0         | 0         |
| État final théorique                        | $x = x_{max}$ | $n_1 - x_{max}$   | en excès | $x_{max}$ | $x_{max}$ |
| État final expérimental ou état d'équilibre | $x = x_f$     | $n_1 - x_f$   | en excès | $x_f$     | $x_f$     |

Si la transformation est totale, l'acide éthanoïque est totalement consommé, soit  $n_1 - x_{max} = 0$

$x_{max} = n_1$  soit  $x_{max} = 2,7 \times 10^{-4} \text{ mol}$

2.3.  $[H_3O^+]_{(aq)}_f = 10^{-pH}$        $pH = -\log[H_3O^+]$  or d'après l'énoncé  $\log(2,0 \cdot 10^{-4}) = -3,7$   
 $[H_3O^+]_{(aq)}_f = 10^{-3,70} = 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$

$[H_3O^+]_{(aq)}_f = \frac{x_f}{V_1}$  soit  $x_f = [H_3O^+]_{(aq)}_f \times V_1$

$x_f = 2,0 \cdot 10^{-4} \times 0,100 = 2,0 \cdot 10^{-5} \text{ mol}$

2.4.  $\tau_1 = \frac{x_f}{x_{max}}$        $\tau_1 = \frac{2,0 \cdot 10^{-5}}{2,7 \cdot 10^{-4}} = 0,74 \times 10^{-5} \times 10^4 = 0,74 \cdot 10^{-1}$

$\tau_1 = 7,4 \cdot 10^{-2}$  La transformation est limitée car  $\tau_1 < 1$ .

2.5.1. D'après l'équation chimique  $[H_3O^+]_{(aq)}_f = [CH_3CO_2^-]_{(aq)}_f = \frac{x_f}{V_1}$

$[CH_3CO_2^-]_{(aq)}_f = 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$

2.5.2.  $c_1 = [CH_3CO_2H_{(aq)}]_{ini} = [CH_3CO_2H_{(aq)}]_f + [CH_3CO_2^-]_{(aq)}_f$

$[CH_3CO_2H_{(aq)}]_f = c_1 - [CH_3CO_2^-]_{(aq)}_f$

$[CH_3CO_2H_{(aq)}]_f = 2,7 \cdot 10^{-3} - 2,0 \cdot 10^{-4} = 27 \cdot 10^{-4} - 2,0 \cdot 10^{-4}$

$[CH_3CO_2H_{(aq)}]_f = 25 \cdot 10^{-4} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$



$$2.6. K_1 = \frac{[CH_3CO_2^-(aq)]_f \cdot [H_3O^+(aq)]_f}{[CH_3CO_2H(aq)]_f}$$

$$K_1 = \frac{2,0 \cdot 10^{-4} \times 2,0 \cdot 10^{-4}}{2,5 \cdot 10^{-3}} = \frac{4,0}{2,5} \times 10^{-8} \times 10^3$$

$$K_1 = 1,6 \cdot 10^{-5}$$

### 3. Étude conductimétrique :

3.1. Présence d'ions éthanoate  $CH_3CO_2^-$ , d'ions oxonium  $H_3O^+$ , on néglige la présence des ions hydroxyde car le pH est très acide (=3,70).

D'après l'équation chimique  $[H_3O^+(aq)]_f = [CH_3CO_2^-(aq)]_f$

$$3.2. \sigma = \lambda_{CH_3CO_2^-} \cdot [CH_3CO_2^-(aq)]_f + \lambda_{H_3O^+} \cdot [H_3O^+(aq)]_f$$

$$3.3. \sigma = (\lambda_{CH_3CO_2^-} + \lambda_{H_3O^+}) \cdot [H_3O^+(aq)]_f$$

$$[H_3O^+(aq)]_f = [CH_3CO_2^-(aq)]_f = \frac{\sigma}{\lambda_{CH_3CO_2^-} + \lambda_{H_3O^+}}$$

$$[H_3O^+(aq)]_f = [CH_3CO_2^-(aq)]_f = \frac{5,00 \cdot 10^{-2}}{4,1 \cdot 10^{-3} + 35,9 \cdot 10^{-3}} = \frac{5,00 \cdot 10^{-2}}{40,0 \cdot 10^{-3}} = \frac{5}{4} \times \frac{10^{-2}}{10 \times 10^{-3}}$$

$$[H_3O^+(aq)]_f = [CH_3CO_2^-(aq)]_f = 1,25 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3} = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$3.4.1. c_2 = 1,0 \cdot 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 100 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ et } [CH_3CO_2^-(aq)]_f = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$\frac{c_2}{[CH_3CO_2^-]_f} = \frac{100}{1,25} = 80$$

$$[CH_3CO_2^-(aq)]_f = \frac{c_2}{80} < \frac{c_2}{50} \text{ l'approximation 1 est justifiée.}$$

3.4.2. Si  $c_2 \approx [CH_3CO_2H(aq)]_f$  cela signifie que l'acide s'est très peu dissocié dans l'eau.

La transformation peut être considérée comme étant très limitée.

On a  $c_2 = [CH_3CO_2H(aq)]_{\text{ini}} = [CH_3CO_2H(aq)]_f + [CH_3CO_2^-(aq)]_f$

et  $c_2 \approx [CH_3CO_2H(aq)]_f$  donc  $[CH_3CO_2^-(aq)]_f$  est négligeable face à  $[CH_3CO_2H(aq)]_f$ .

$$3.4.3. K_2 = \frac{[CH_3CO_2^-(aq)]_f \cdot [H_3O^+(aq)]_f}{[CH_3CO_2H(aq)]_f} = \frac{[H_3O^+(aq)]_f^2}{c_2}$$

$$K_2 = \frac{(1,25 \cdot 10^{-3})^2}{0,10} = \frac{(1,25)^2 \cdot 10^{-6}}{0,10} = 1,56 \cdot 10^{-5}$$

$$3.4.4. \tau_2 = \frac{[CH_3CO_2^-(aq)]_f}{c_2}$$

$$\tau_2 = \frac{1,25 \cdot 10^{-3}}{0,10} = 1,25 \cdot 10^{-2}$$

### 4. Conclusion :

4.1. La constante d'équilibre K ne dépend pas de la concentration initiale en acide éthanoïque, puisque avec deux concentrations différentes on obtient la même valeur de K.

4.2. Oui, le taux d'avancement final d'une transformation chimique limitée dépend de l'état initial du système. En effet avec deux concentrations initiales différentes, on obtient deux taux d'avancement différents.

4.3. Affirmation 1 : Plus l'acide est dissocié et plus le taux d'avancement final  $\tau$  est grand.



Affirmation **juste** :  $\tau = \frac{x_f}{x_{\max}}$ , plus l'acide est dissocié et plus  $x_f$  est grand alors  $\tau$  est plus grand.

( $x_{\max}$  étant constant).

Affirmation 2 : Plus la solution d'acide éthanoïque est diluée, moins l'acide est dissocié.

Affirmation **fausse** :  $c_1 < c_2$  donc la solution 1 est davantage diluée.

On a obtenu  $\tau_1 > \tau_2$ , dans la solution 1 l'acide s'est davantage dissocié.