Le radon un danger méconnu

Bac S 2003 Amérique du Sud (ancien programme) · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Donner la composition du noyau de l'isotope $^{222}_{86}\mathrm{Rn}$ du radon.

Le numéro atomique est $Z = 86$: le noyau contient 86 protons.

Le nombre de nucléons est $A = 222$: il contient $A - Z = 222 - 86 = 136$ neutrons.

Noyau de radon 222 : **86 protons et 136 neutrons**.

PIÈGE
Répondre « 222 neutrons » : 222 est le nombre total de nucléons. Les électrons n'appartiennent pas au noyau, il ne faut pas les citer.

1.2 Écrire l'équation de la désintégration du radon 222, en rappelant les lois de conservation utilisées (noyau fils non excité).

Données utiles le radon 222 émet des particules α ; $Z = 84$: polonium Po

Une particule α est un noyau d'hélium $^{4}_{2}\mathrm{He}$. L'équation s'écrit $^{222}_{86}\mathrm{Rn} \longrightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{A}_{Z}\mathrm{X}$.

Lois de conservation (lois de Soddy) :

- conservation du nombre de nucléons : $222 = 4 + A$, donc $A = 218$;
- conservation du nombre de charge : $86 = 2 + Z$, donc $Z = 84$.

D'après le tableau, $Z = 84$ correspond au polonium.

$^{222}_{86}\mathrm{Rn} \longrightarrow {}^{218}_{84}\mathrm{Po} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$

COMPRENDRE
Le noyau fils n'étant pas excité, aucun rayonnement γ n'accompagne la désintégration : l'équation ne comporte que deux produits.

1.3 Expliquer brièvement pourquoi l'état gazeux du radon le rend dangereux.

Parce qu'il est gazeux, le radon s'échappe des roches, se mêle à l'air et s'accumule dans les locaux mal aérés. Il est alors inhalé : les désintégrations α du radon, puis celles de ses descendants solides qui se déposent dans les voies respiratoires, ont lieu au contact direct des cellules des poumons.

Gazeux, le radon est **respiré** : il irradie les poumons de l'intérieur.

2.1.1 La demi-vie du radon est très supérieure à la durée de l'expérience. Pourquoi le nombre d'événements détectés par seconde varie-t-il ?

En moins d'une heure, le nombre de noyaux de radon dans la fiole ne change pratiquement pas : la décroissance n'explique pas ces écarts.

La désintégration d'un noyau est un phénomène **aléatoire** : on ne peut pas prévoir l'instant où un noyau donné se désintègre. Le nombre de désintégrations pendant une durée fixée fluctue donc autour d'une valeur moyenne.

Les variations de n traduisent le **caractère aléatoire** de la désintégration radioactive.

2.1.2 Calculer la moyenne $\overline{n}$ et l'écart-type σ de cette série de mesures.

Données utiles les 20 valeurs de n du tableau

Moyenne : $\overline{n} = \dfrac{1}{20}\sum_{i=1}^{20} n_i = \dfrac{161}{20} = 8{,}05\ \text{s}^{-1}$

Écart-type : $\sigma = \sqrt{\dfrac{1}{20}\sum_{i=1}^{20}(n_i - \overline{n})^2} = \sqrt{\dfrac{178{,}95}{20}} = 2{,}99\ \text{s}^{-1}$

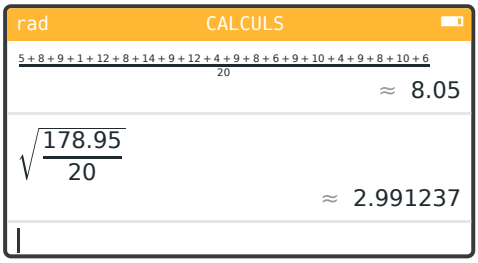
Ces deux valeurs s'obtiennent directement avec le mode statistique de la calculatrice.

$\overline{n} = 8{,}05\ \text{s}^{-1}$ et $\sigma = 2{,}99\ \text{s}^{-1}$

PIÈGE
La calculatrice affiche deux écarts-types : $\sigma \approx 2{,}99$ (division par 20) et $s \approx 3{,}07$ (division par 19). La question désigne σ.

MÉTHODE
Saisir les 20 valeurs dans une liste, puis lancer les statistiques à une variable. Vérifier que l'effectif affiché vaut bien 20 avant de relever la moyenne et l'écart-type.

À LA CALCULATRICE



2.2.1 Calculer l'activité moyenne du gaz prélevé en $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$.

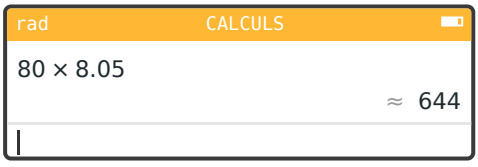
Données utiles $\overline{A} = k \times \overline{n}$; $k = 80$; $\overline{n} = 8{,}05\ \text{s}^{-1}$ (2.1.2)

$\overline{A} = k \times \overline{n} = 80 \times 8{,}05 = 644\ \text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$

$\overline{A} = 6{,}4 \times 10^2\ \text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$

COMPRENDRE
Le coefficient $k = 80$ n'a que deux chiffres significatifs : le résultat est arrondi à deux chiffres, d'où l'écriture $6{,}4 \times 10^2$ plutôt que 644.

À LA CALCULATRICE



2.2.2 Quelles vont être les conclusions du technicien sur la qualité de l'air dans la cave, d'après le texte ?

Données utiles seuil préconisé par l'Union européenne : $400\ \text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$; $\overline{A} = 6{,}4 \times 10^2\ \text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ (2.2.1)

$6{,}4 \times 10^2\ \text{Bq} \cdot \text{m}^{-3} > 400\ \text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$: l'activité volumique moyenne dépasse le seuil à partir duquel l'Union européenne demande des actions correctives.

L'air de la cave **n'est pas conforme** : il faut agir, d'abord en ventilant mieux la cave.

3.1.1 Justifier l'allure de la courbe $\ln \overline{A} = f(t)$ tracée.

Données utiles $\overline{A} = \overline{A}_0 \times e^{-\lambda t}$

On prend le logarithme népérien de la loi de décroissance :

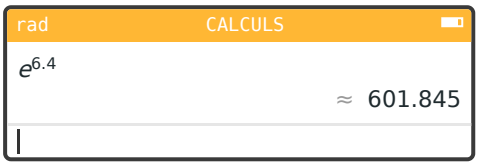
$$\ln \overline{A} = \ln\left(\overline{A}_0 \times e^{-\lambda t}\right) = \ln \overline{A}_0 - \lambda t$$

$\ln \overline{A}$ est une fonction affine de t, de la forme $y = a\,t + b$ avec $a = -\lambda < 0$ et $b = \ln \overline{A}_0$.

La courbe est une **droite décroissante**, de coefficient directeur $-\lambda$ et d'ordonnée à l'origine $\ln \overline{A}_0$.

COMPRENDRE
L'ordonnée à l'origine lue, environ 6,4, donne $\overline{A}_0 = e^{6,4} \approx 6,0 \times 10^2$ Bq · m^{-3} : c'est bien l'ordre de grandeur de l'activité trouvée en 2.2.1.

À LA CALCULATRICE



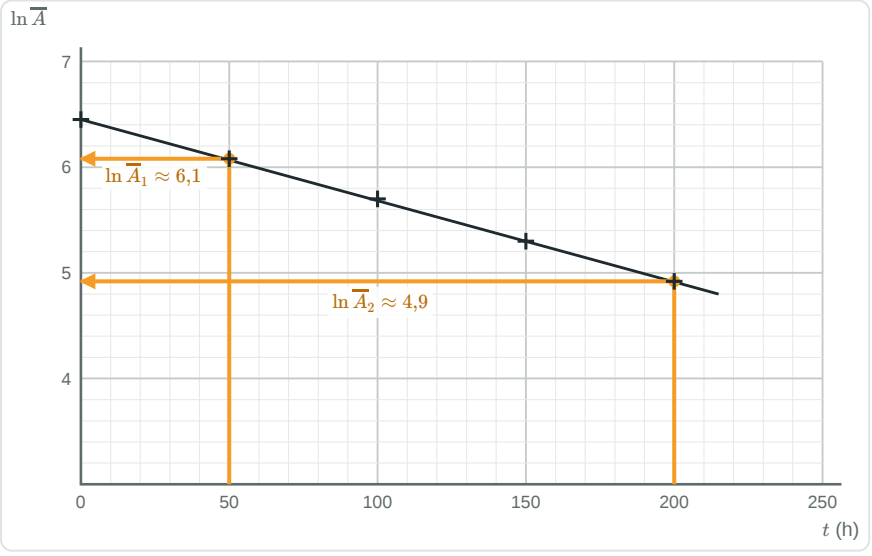
3.1.2 En déduire la valeur de la constante radioactive λ du radon 222 en h^{-1}.

Données utiles lectures sur la figure 1 : $\ln \overline{A}_1 \approx 6,1$ à $t_1 = 50$ h ; $\ln \overline{A}_2 \approx 4,9$ à $t_2 = 200$ h

Le coefficient directeur de la droite vaut $-\lambda$. On le calcule avec les deux points repérés sur la figure :

$$-\lambda = \frac{\ln \overline{A}_2 - \ln \overline{A}_1}{t_2 - t_1} = \frac{4,9 - 6,1}{200 - 50} = -8,0 \times 10^{-3}\ \text{h}^{-1}$$

$\lambda = 8,0 \times 10^{-3}$ h^{-1}

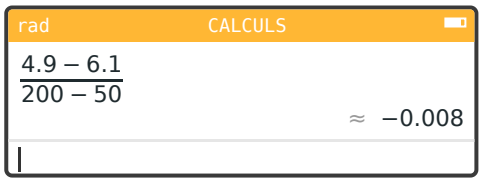


3.1.2 · Figure 1 du sujet, avec la lecture des deux points utilisés

PIÈGE
Oublier le signe : la pente est négative, mais λ est positive. Les ordonnées lues sont déjà des logarithmes : ne pas leur appliquer ln une seconde fois.

COMPRENDRE
Les ordonnées se lisent à 0,1 près, sur un écart de 1,2 seulement : λ n'est connue qu'à 10 % environ. Une lecture voisine (6,1 et 5,0) donnerait $7,3 \times 10^{-3}$ h^{-1}.

À LA CALCULATRICE



3.2.1 Définir en une phrase le temps de demi-vie $t_{1/2}$ du radon.

La demi-vie $t_{1/2}$ est la durée au bout de laquelle la **moitié des noyaux** de radon 222 initialement présents dans un échantillon se sont désintégrés : $N(t_{1/2}) = \frac{N_0}{2}$.

COMPRENDRE
L'activité étant proportionnelle au nombre de noyaux restants, elle est elle aussi divisée par deux à chaque demi-vie.

3.2.2 Donner la relation entre le temps de demi-vie $t_{1/2}$ et la constante radioactive λ.

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

MÉTHODE

Pour la retrouver : $N_0\, e^{-\lambda t_{1/2}} = \dfrac{N_0}{2}$ donne $e^{-\lambda t_{1/2}} = \dfrac{1}{2}$, soit $\lambda\, t_{1/2} = \ln 2$.

3.2.3 Calculer le temps de demi-vie $t_{1/2}$ du radon 222.

Données utiles $\lambda = 8{,}0 \times 10^{-3}\ \text{h}^{-1}$ (3.1.2)

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{\ln 2}{8{,}0 \times 10^{-3}} = 87\ \text{h}$$

$$t_{1/2} = 87\ \text{h}$$

PIÈGE

λ est en h^{-1} : la demi-vie obtenue est en heures, pas en secondes ni en jours.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{\ln(2)}{8.0 \times 10^{-3}} \approx 86.6434$

3.2.4 Comparer cette valeur à celle donnée dans le texte encadré.

Données utiles texte : demi-vie de 3,8 jours ; $t_{1/2} = 87$ h (3.2.3)

Valeur du texte : $t_{1/2} = 3{,}8 \times 24 = 91$ h.

Écart relatif : $\dfrac{91 - 87}{91} = 0{,}04$, soit environ 4 %.

Cet écart est inférieur à l'imprécision de la lecture graphique dont dépend λ (ordonnées lues à 0,1 près).

$87\ \text{h} \approx 91\ \text{h}$ (soit 3,6 jours contre 3,8 jours) : la valeur expérimentale est **en accord** avec celle du texte.

MÉTHODE

Comparer deux valeurs impose de les mettre dans la même unité, puis de chiffrer l'écart (écart relatif) avant de conclure.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$3.8 \times 24 \approx 91.2$

$\dfrac{91 - 87}{91} \approx 0.04395604$

$\dfrac{87}{24} \approx 3.625$