

Exercice n°1 : Radioactivité du césium 137.

Le césium $^{137}_{55}\text{Cs}$ peut constituer une source radioactive utilisée en T.P., lorsqu'elle est associée à un compteur Geiger Müller. Le césium 137 est émetteur β^- et donne un noyau de baryum Ba qui subit ensuite une désexcitation.

1. Ecrire l'équation de la désintégration β^- du césium puis celle de la désexcitation du baryum. Préciser le nom du rayonnement émis lors de la désexcitation. Cette désexcitation modifie-t-elle le numéro atomique et le nombre de masse du baryum ?
2.
 - a) Ecrire la loi de décroissance radioactive. Préciser la signification des notations utilisées.
 - b) La demi-vie du césium 137 est de 30 ans.
 - Quelle est la relation reliant la demi-vie et la constante radioactive ?
 - Calculer la constante radioactive en an^{-1} .
 - c) L'activité initiale de la source est $A(0) = 3,0 \cdot 10^4$ Bq. On rappelle qu'à l'instant t , l'activité $A(t)$ d'une substance radioactive peut s'écrire $A(t) = \lambda N(t)$ où $N(t)$ est le nombre de noyaux présents à l'instant t dans l'échantillon radioactif.
 - Etablir l'expression de $A(t)$ en fonction du temps et de l'activité initiale.
 - Quelle sera l'activité de la source 30 ans après sa préparation ?
 - d) Durant une séance de T.P., la source est utilisée en moyenne une heure. Son activité est-elle modifiée de façon appréciable durant la séance? Justifier sans calcul la réponse.
 - e) Quelle sera l'activité de la source 5 ans après sa préparation?
3. On effectue une série de mesures à l'aide du compteur Geiger Müller. La durée de chaque comptage est de 1s et on effectue 100 comptages. On note n , le nombre d'impulsions détectées par comptage et f le nombre de fois où la valeur n a été mesurée.

| | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| n | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| f | 0 | 4 | 12 | 20 | 28 | 16 | 12 | 6 | 2 | 0 | 0 |

- a) Pourquoi le nombre d'impulsions détectées par seconde est-il très inférieur à l'activité de la source ?
- b) Construire, sous forme d'un diagramme en bâtons, la représentation de f en fonction de n .
- c) Quelle caractéristique du phénomène de radioactivité ce diagramme met-il en évidence?
- d) À l'aide d'une calculatrice, déterminer la valeur moyenne \bar{n} et l'écart type σ .

Exercice n°2 : Du chlore dans les eaux souterraines.

Il existe deux principaux isotopes stables du chlore (dont les nombres de masse sont 35 et 37) trouvés dans les proportions respectives de 3 pour 1 et qui donnent aux atomes en vrac une masse molaire atomique apparente de $35,5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Le chlore a 9 isotopes avec des nombres de masse s'étendant de 32 à 40. Seulement trois de ces isotopes existent à l'état naturel : le Cl-35 stable (75,77 %), le Cl-37 stable (24,23 %) et le Cl-36 radioactif. Le rapport du nombre de noyaux de Cl-36 au nombre total de noyaux de Cl présents dans l'environnement est de $7,0\cdot 10^{-13}$ actuellement.

Le «chlore 36» (Cl-36) se désintègre essentiellement en «argon 36» (Ar-36). La demi-vie du Cl-36 est de $301\cdot 10^3$ ans. Cette valeur le rend approprié pour dater géologiquement les eaux souterraines sur une durée de soixante mille à un million d'années.

D'après un article d'encyclopédie.

Données:

- Relation entre le temps de demi-vie $t_{1/2}$ et la constante radioactive λ : $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$
 - Relation entre l'activité A d'un échantillon et le nombre moyen de noyau N présent dans cet échantillon, à une date t donnée : $A(t) = \lambda\cdot N(t)$
 - $1 \text{ an} = 3,156\cdot 10^7 \text{ s}$
 - Masse molaire atomique du chlore : $M(\text{Cl}) = 35,5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
 - Numéro atomique du chlore $Z = 17$; de l'argon $Z = 18$.
 - Constante d'Avogadro : $N_A = 6,02\cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
1. Dans l'article, l'auteur indique des valeurs 35 et 37 pour les isotopes stables du chlore. Que désignent plus précisément ces valeurs pour un noyau de chlore ?
 2. Définir le terme « isotopes ».
 3. Donner le symbole complet du noyau de « chlore 36 » et sa composition.
 4. Le texte évoque la réaction de désintégration d'un noyau de «chlore 36». Écrire l'équation de cette réaction, en indiquant:
 - les lois utilisées ;
 - le type de radioactivité mise en jeu.
 - Définir le temps de « demi-vie » $t_{1/2}$ du « chlore 36 ».
 5. Constante radioactive
 - a. Donner l'unité de la constante radioactive λ dans le système international d'unités.
 - b. Calculer la constante radioactive de l'isotope de « chlore 36 » dans ce système.
 6. Une bouteille contient un volume $V = 1,5 \text{ L}$ d'eau minérale. Sa teneur en ions chlorure est indiquée sur l'étiquette et vaut $t = 13,5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.
 - a. Calculer la quantité d'ions chlorure, en mol, dans l'eau de cette bouteille.

- b. On suppose que le rapport du nombre de noyaux de « chlore 36 » au nombre total de noyaux de chlore présents dans cette eau minérale est celui donné dans l'article. Montrer que le nombre N de noyaux de « chlore 36 » présents dans cette bouteille est $N = 2,4 \cdot 10^8$.
- c. En déduire la valeur de l'activité en « chlore 36 » de l'eau que contient cette bouteille.
- d. En déduire également la valeur du nombre de désintégrations de noyaux de « chlore 36 » par jour.

7. Datation d'une eau souterraine.

L'étude des isotopes radioactifs apporte des informations concernant la durée du transit souterrain d'une eau c'est-à-dire l'âge de la nappe phréatique. Les ions chlorures $Cl_{(aq)}$ sont presque toujours présents dans les eaux minérales naturelles et ne sont que rarement impliqués dans les interactions eaux-rochers. **Dans les eaux de surface, le « chlore 36 » est renouvelé et la teneur en « chlore 36 » peut être supposée constante, ce qui n'est pas le cas dans les eaux souterraines des nappes phréatiques. Le « chlore 36 », de demi vie $3,01 \cdot 10^5$ ans, est donc un traceur particulièrement adapté à l'étude des eaux souterraines anciennes.**

a. Loi de décroissance radioactive.

On considère un échantillon, de volume V donné, d'eau issue d'une nappe phréatique. On note :

- $N(0)$ le nombre moyen de noyaux de « chlore 36 » présents dans cet échantillon à l'instant de date $t = 0$ s de la constitution de la nappe.
- $N(t)$ le nombre moyen de noyaux de « chlore 36 » dans l'eau extraite aujourd'hui de cette nappe et donc non renouvelée en « chlore 36 ».

Écrire la loi de décroissance radioactive liant $N(t)$, $N(0)$ et $t_{1/2}$.

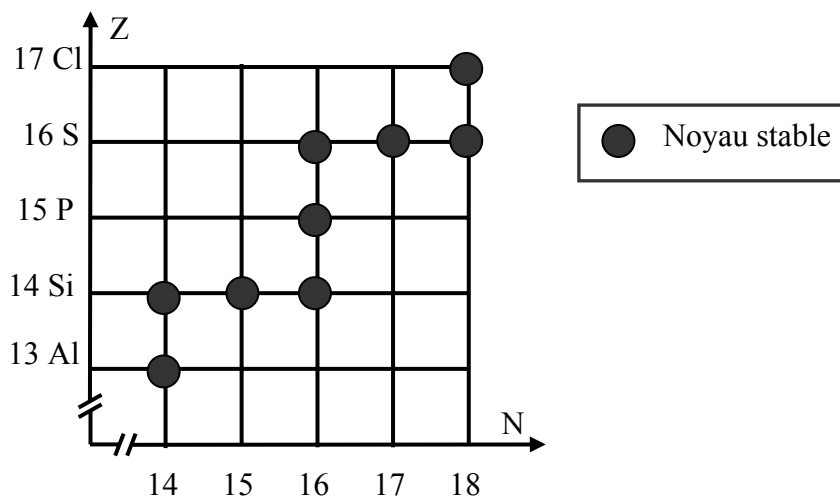
b. Datation d'une eau souterraine.

On admet que $N(0)$ est égal au nombre moyen de noyaux de « chlore 36 » présents dans un échantillon de même volume V d'eau de surface.

Déduire de la loi de décroissance écrite précédemment l'âge d'une nappe phréatique dont l'eau non renouvelée ne contient plus que 38 % du nombre de noyaux de « chlore 36 » trouvée dans les eaux de surface.

8. Pour dater une eau souterraine on peut aussi utiliser le « Silicium 32 ».

On considère une partie du diagramme (Z, N) .



- Placer sur ce diagramme le noyau de silicium 32.
- Montrer à l'aide du diagramme que ce noyau doit subir deux désintégrations radioactives successives pour se transformer en un noyau stable de « soufre 32 »
- Ecrire les deux équations de désintégration correspondantes en précisant pour chacune le type de radioactivité mise en jeu.
- On désire déterminer la demi-vie du « silicium 32 ». On a pu mesurer au cours du temps l'activité d'un échantillon contenant ce radioisotope et tracer le graphe du logarithme de l'activité en fonction du temps $\ln A = f(t)$.
 - Montrer que l'activité de l'échantillon peut se mettre sous la forme : $A(t) = A(0).e^{-\lambda t}$ où $A(0)$ est l'activité de l'échantillon à l'instant initial des mesures.
 - Exprimer $\ln A$ en fonction de t , $\ln A(0)$ et λ .

(On rappelle que $\ln(a.b) = \ln a + \ln b$; $\ln a^x = x.\ln a$ et $\ln e = 1$)

- Montrer que la forme de la courbe obtenue constitue une vérification expérimentale de l'expression trouvée précédemment.
- Déterminer graphiquement la valeur de la constante radioactive λ en an^{-1} .
- En déduire la demi vie du « silicium 32 ».
- Pourquoi ne pas avoir utilisé le « Silicium 32 » pour dater cette nappe phréatique ?

