

Nuisances sonores aériennes (06 points)

Exploiter des schémas ; effectuer des calculs ;
interpréter des observations.

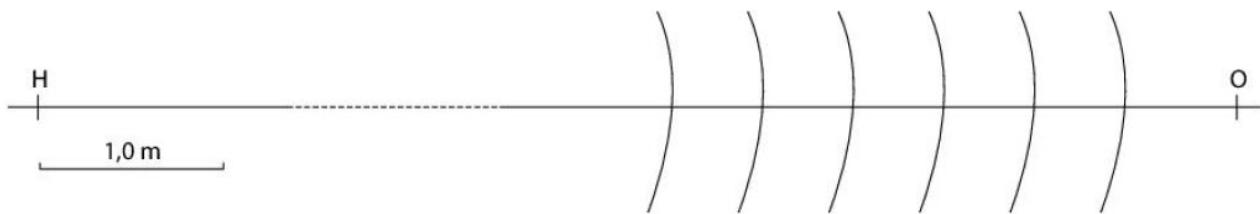
Un hélicoptère se dirige vers une piste d'atterrissage à basse altitude et à une vitesse constante. Il émet une onde sonore de fréquence f_0 . Un observateur immobile, positionné sur la piste perçoit cette onde avec une fréquence f' .

On se place dans un référentiel terrestre.

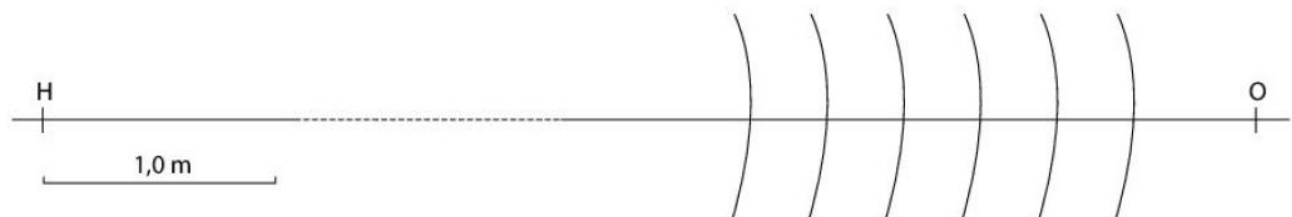
Les portions de cercles des schémas ci-dessous donnent les maxima d'amplitude des ondes sonores à un instant donné. Le point H modélise l'hélicoptère.



A L'hélicoptère est immobile sur la piste



B L'hélicoptère est en mouvement rectiligne uniforme vers l'observateur situé en O



1. a. Déterminer :

- la longueur d'onde λ_0 de l'onde sonore perçue par l'observateur lorsque l'hélicoptère est immobile ;
- la longueur d'onde λ' du son perçu par l'observateur lorsque l'hélicoptère est en mouvement rectiligne uniforme.

b. En déduire :

- la fréquence f_0 de l'onde sonore émise par l'hélicoptère ;
- la fréquence f' du son perçu par l'observateur lorsque l'hélicoptère est en mouvement.

c. Déterminer le décalage Doppler et discuter de son signe.

2. Calculer la valeur $v_{\text{hélico}}$ de la vitesse de l'hélicoptère lorsqu'il se rapproche de la piste.

3. À 5 m, le niveau d'intensité sonore L_1 du son produit par l'hélicoptère est 97 dB. À 10 m, l'intensité sonore I_1 de ce son est égale à $1,2 \times 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

a. Calculer le niveau d'intensité sonore L_2 du son à 10 m de l'hélicoptère.

b. En déduire l'atténuation du signal.

4. Pour protéger l'oreille, il est possible d'utiliser un casque antibruit actif. Un microphone positionné sur le casque capte le son extérieur et un circuit électronique crée un signal électrique en opposition de phase avec le son capté. Le casque convertit ce signal en un son qui se superpose au son extérieur.

Quel phénomène physique explique l'atténuation du niveau sonore par un casque antibruit actif ?

Illustrer la réponse par un schéma.

5. À proximité de la piste, le son de l'hélicoptère est perçu dans un hangar dont la porte coulissante, est ouverte sur 80 cm de large. L'hélicoptère est immobile.

a. Pourquoi le phénomène de diffraction peut-il être pris en compte ?

b. Déterminer l'angle caractéristique de diffraction θ .

Données

- Célérité du son dans l'air $v_{\text{son}} = 345 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Relation entre le décalage Doppler Δf et la valeur de la vitesse $v_{\text{hélico}}$:

$$\Delta f = f_0 \times \frac{v_{\text{hélico}}}{v_{\text{son}} - v_{\text{hélico}}}$$

- $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

Exercice 2 - Datation d'une roche (10 points)

Les phénomènes de radioactivité permettent, en géologie, la datation des roches. Il est par exemple possible d'utiliser le strontium 87 (^{87}Sr), qui est notamment issu de la désintégration du rubidium 87 (^{87}Rb), lui-même également présent dans une roche.

Les objectifs de cet exercice sont d'étudier le principe de la datation au strontium 87, puis d'utiliser des résultats d'analyse pour déterminer l'âge d'une roche du site de Meymac situé dans le département de la Corrèze, site âgé de plusieurs centaines de millions d'années.



Données :

- temps de demi-vie du noyau de rubidium 87 exprimé en années (a) : $t_{1/2} = 49,2 \times 10^9$ a ;
- constante radioactive du noyau de rubidium 87 : $\lambda = 1,41 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$;
- on suppose qu'une datation d'un échantillon de 1 g de roche par le rubidium 87 radioactif est possible tant qu'il reste au moins $N_{\min} = 2,0 \times 10^9$ noyaux de rubidium 87 dans l'échantillon ;
- extrait du diagramme (N,Z) : les cases grises indiquent les éléments stables.

87	88	89
Kr	Rb	Sr
36	37	38
86	87	88
Kr	Rb	Sr
36	37	38
85	86	87
Kr	Rb	Sr
36	37	38

1. Le rubidium 87, un isotope radioactif adapté pour dater une roche

Q1. Rappeler la définition de noyaux isotopes.

Q2. Écrire l'équation de la désintégration du rubidium 87 indiquée par la flèche sur l'extrait du diagramme (N,Z).

Q3. Préciser à quel type de désintégration correspond cette transformation nucléaire.

On estime qu'un échantillon de 1 g de roche du site de Meymac contenait à sa formation $N_{\text{Rb}}(0) = 5,8 \times 10^{20}$ noyaux de rubidium 87. On souhaite déterminer l'âge maximal d'une roche qu'il serait possible de déterminer par une datation au rubidium 87 d'un échantillon de 1 g.

Q4. Rappeler la définition du temps de demi-vie $t_{1/2}$.

Q5. Déterminer, en justifiant le résultat, le nombre maximal de demi-vies après lequel il reste suffisamment de rubidium 87 dans l'échantillon pour qu'on puisse le détecter.

On remarquera que le rapport $\frac{5,8 \times 10^{20}}{2,0 \times 10^9}$ est compris entre 2^{38} et 2^{39} .

Q6. Justifier que le rubidium 87 est adapté pour dater un échantillon de 1 g de roche du site de Meymac.

2. Décroissance radioactive du rubidium 87 dans une roche

La désintégration spontanée des noyaux de rubidium 87 présents dans un échantillon de 1 g de roche suit la loi de décroissance radioactive. Le nombre $N_{\text{Rb}}(t)$ de noyaux de rubidium 87 présents dans un échantillon de roche à la date t est solution de l'équation différentielle suivante :

$$\frac{dN_{\text{Rb}}(t)}{dt} = -\lambda \cdot N_{\text{Rb}}(t)$$

Q7. Vérifier que $N_{\text{Rb}}(t) = N_{\text{Rb}}(0) \cdot e^{-\lambda t}$ est solution de l'équation différentielle ci-dessus.

On appelle t_f la date à laquelle il reste $N_{\text{min}} = 2,0 \times 10^9$ noyaux de rubidium 87 dans l'échantillon.

Q8. Déterminer l'expression de t_f en fonction de N_{min} , $N_{\text{Rb}}(0)$ et λ .

Q9. Calculer la valeur de t_f puis la comparer à la réponse donnée dans la question **Q6**. Commenter.

3. Datation d'une roche du site de Meymac au strontium 87

On considère que la quantité de strontium 87 formé au cours du temps dans la roche est uniquement issue de la désintégration du rubidium 87. La quantité de strontium 87 présent dans la roche à une date t s'écrit :

$$N_{\text{Sr}}(t) = N_{\text{Sr}}(0) + N_{\text{Sr formé}}(t) \quad \text{Équation 1}$$

avec :

- $N_{\text{Sr}}(t)$: nombre de noyaux de strontium 87 présents à la date t ;
- $N_{\text{Sr}}(0)$: nombre de noyaux de strontium 87 présents à la date $t = 0$;
- $N_{\text{Sr formé}}(t)$: nombre de noyaux de strontium 87 formés par la désintégration du rubidium 87 à la date t .

Q10. Donner la relation entre $N_{\text{Sr formé}}(t)$, $N_{\text{Rb}}(0)$ et $N_{\text{Rb}}(t)$, sachant que pour un noyau de rubidium 87 qui se désintègre, un noyau de strontium 87 se forme.

Q11. En déduire l'égalité :

$$N_{\text{Sr formé}}(t) = N_{\text{Rb}}(t) \cdot (e^{\lambda t} - 1) \quad \text{Équation 2}$$

Les équations 1 et 2 permettent enfin d'obtenir l'équation 3 :

$$\frac{N_{\text{Sr}}(t)}{N_{\text{réf}}} = \frac{N_{\text{Sr}}(0)}{N_{\text{réf}}} + (e^{\lambda t} - 1) \cdot \frac{N_{\text{Rb}}(t)}{N_{\text{réf}}} \quad \text{Équation 3}$$

où $N_{\text{réf}}$ représente le nombre de noyaux stables de strontium 86, supposé constant au cours du temps.

On écrit l'équation 3 sous la forme $y = b + (e^{\lambda t} - 1) \cdot x$ avec $y = \frac{N_{\text{Sr}}(t)}{N_{\text{réf}}}$, $b = \frac{N_{\text{Sr}}(0)}{N_{\text{réf}}}$ et $x = \frac{N_{\text{Rb}}(t)}{N_{\text{réf}}}$, dans laquelle :

- y et x sont des grandeurs mesurables par les géologues pour un ensemble d'échantillons prélevés dans une roche donnée ;
- b est une grandeur indépendante de l'échantillon.

Plusieurs échantillons de roche du site de Meymac sont prélevés à la date t_{roche} correspondant à l'âge de la roche. Pour chaque échantillon, on mesure les grandeurs x et y . Les résultats obtenus sont présentés sur la figure 1 ci-après :

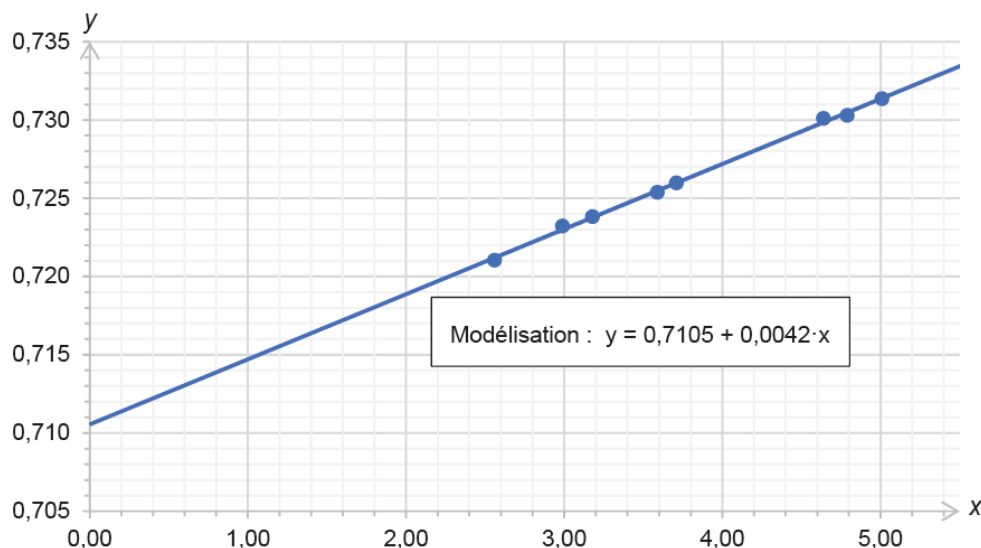


Figure 1. Mesures pour différents échantillons de roche du site de Meymac

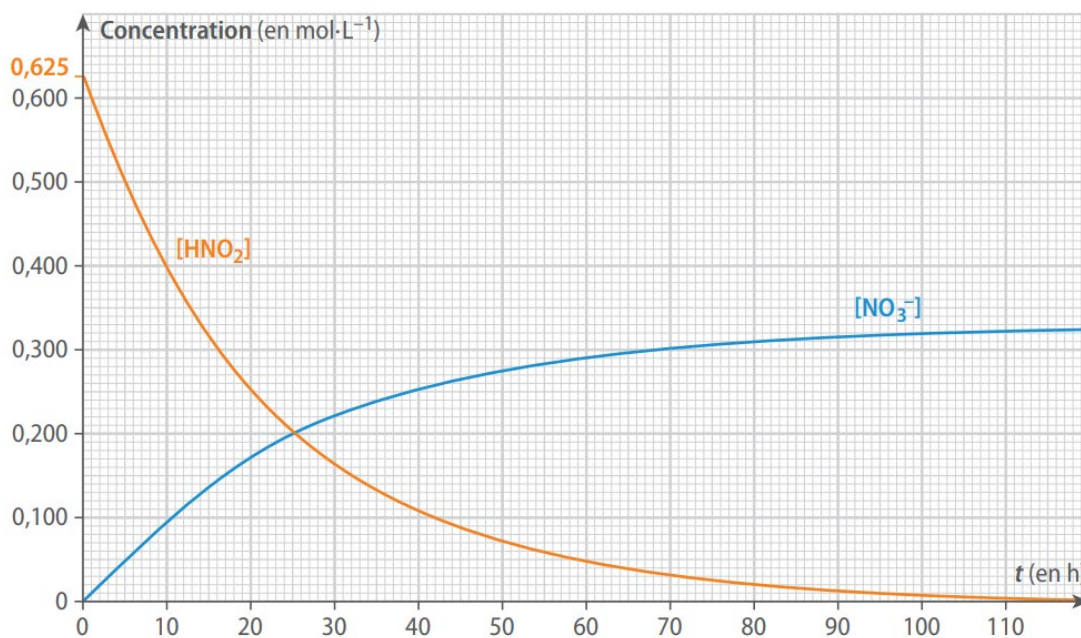
Q12. Déterminer l'âge t_{roche} de la roche du site de Meymac.

Exercice 3 – Décomposition de l'acide nitreux (4 points)

En solution aqueuse, l'acide nitreux HNO_2 est peu stable et se transforme lentement en acide nitrique ($\text{H}^+(\text{aq})$, $\text{NO}_3^-(\text{aq})$) avec un dégagement de monoxyde d'azote NO .

L'équation de la réaction est : $2 \text{HNO}_2(\text{aq}) \rightarrow \text{NO}(\text{g}) + 2 \text{H}^+(\text{aq}) + \text{NO}_3^-(\text{aq})$

On suit l'évolution des concentrations $[\text{HNO}_2]$ et $[\text{NO}_3^-]$ au cours du temps dans 100 mL de solution d'acide nitreux de concentration initiale $C_0 = 0,625 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.



1. Construire le tableau d'avancement de la réaction.
2. Définir et calculer les vitesses volumiques de disparition de HNO_2 et d'apparition de NO_3^- à $t = 0$.
3. Déterminer la date t_1 à laquelle les deux courbes se coupent. Quelle est la composition du mélange à cette date ?
4. Déterminer les vitesses volumiques de disparition de HNO_2 et d'apparition de NO_3^- à la date t_1 .

		$\text{HNO}_2 \text{ (aq)} \rightarrow \text{NO (g)} + 2\text{H}^+ \text{ (aq)} + \text{NO}_3^- \text{ (aq)}$			
Av.	Quantité de matière...	...de HNO_2	...de NO	...de H^+	...de NO_3^-
0	...apportée à l'état initial	6,25 $\times 10^{-2}$ mol	0	0	0
x	...en cours de réaction	6,25 $\times 10^{-2} - 2x$	x	2x	x
$x_f = x_{\max}$ $= 3,125$ $\times 10^{-2}$ mol	...présente à l'état final	0	3,125 $\times 10^{-2}$ mol	6,25 $\times 10^{-2}$ mol	3,125 $\times 10^{-2}$ mol

1 p

1.

2.

$$v_{\text{D}(\text{HNO}_2)} = -\frac{d[\text{HNO}_2]}{dt} \quad \text{et} \quad v_{\text{A}(\text{NO}_3^-)} = \frac{d[\text{NO}_3^-]}{dt}$$

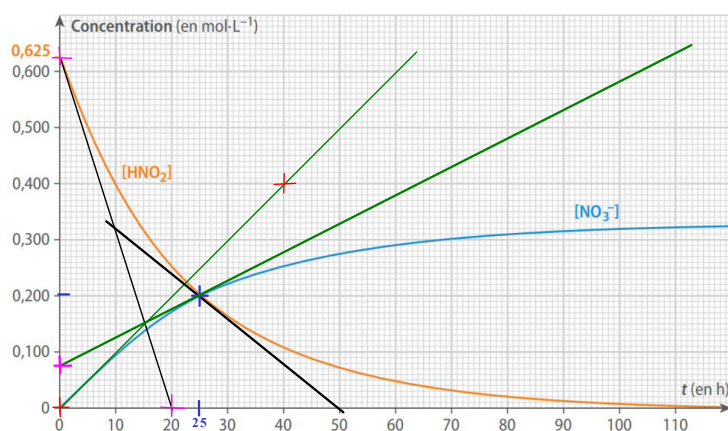
On trace les tangentes à la courbe et on calcule leurs coefficients directeurs :

$$v_{\text{D}(\text{HNO}_2)}(0) = -\frac{0,625 - 0}{0 - 20} = 3,1 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$$

0,5 p

$$v_{\text{A}(\text{NO}_3^-)}(0) = \frac{0,40 - 0}{40 - 0} = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$$

0,5 p



3.

Les deux courbes se coupent à la date $t_1 = 25 \text{ h}$. 0,25 p

À cette date, $[\text{HNO}_2] = [\text{NO}_3^-] = 0,200 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ donc 0,25 p

$[\text{H}^+] = 2[\text{NO}_3^-] = 0,400 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et il y a eu dégagement 0,25 p

de $n_{\text{NO}} = 2,0 \times 10^{-2} \text{ mol}$ de NO. 0,25 p

4.

$$v_{\text{D}(\text{HNO}_2)} = -\frac{d[\text{HNO}_2]}{dt} \quad \text{et} \quad v_{\text{A}(\text{NO}_3^-)} = \frac{d[\text{NO}_3^-]}{dt}$$

On trace les tangentes à la courbe et on calcule leurs coefficients directeurs :

$$v_{\text{D}(\text{HNO}_2)}(25) = -\frac{0 - 0,200}{50 - 25} = 8,3 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$$

0,5 p

$$v_{\text{A}(\text{NO}_3^-)}(25) = \frac{0,200 - 0,080}{25 - 0} = 4,8 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$$

0,5 p