

Exercice N° 1 Datation des séismes en Californie

La radioactivité se manifeste dans tout l'Univers. On peut utiliser les éléments radioactifs comme des horloges. Selon leur nature et leur durée de vie, ils peuvent renseigner sur l'âge de l'Univers, l'âge de la Terre, les processus géologiques et même l'histoire de l'humanité. On se propose ici de déterminer les dates de tremblements de terre qui se sont produits au cours des siècles à proximité de la faille de San Andreas en Californie.

1. Radioactivité naturelle du carbone

Données :

- numéros atomiques : $Z_{(Be)} = 4$, $Z_{(B)} = 5$, $Z_{(C)} = 6$, $Z_{(N)} = 7$, $Z_{(O)} = 8$

- célérité de la lumière dans le vide : $c = 2,998 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$.

- masses de quelques particules :

| particule | proton | neutron | électron | noyau ^{14}C | noyau ^{14}N |
|---------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| masse (en kg) | $1,672\,621 \times 10^{-27}$ | $1,674\,927 \times 10^{-27}$ | $9,109\,381 \times 10^{-31}$ | $2,325\,84 \times 10^{-26}$ | $2,325\,27 \times 10^{-26}$ |

1.1. Donner la composition en protons et en neutrons des noyaux atomiques suivants $^{12}_6\text{C}$ et $^{14}_6\text{C}$.

1.2. Les deux noyaux du 1.1. sont dits isotopes. Justifier cette affirmation en définissant le mot isotope.

1.3. Le carbone ^{14}C est un noyau radioactif émetteur β^- .

Écrire l'équation de la réaction nucléaire correspondante en la justifiant. On admet que le noyau fils n'est pas obtenu dans un état excité.

1.4. Calculer l'énergie de liaison, en joules, du carbone ^{14}C que l'on notera $E_l(^{14}\text{C})$.

1.5. En déduire l'énergie de liaison par nucléon (en joules par nucléon) du carbone ^{14}C .

1.6. Calculer l'énergie libérée (en joules) par la réaction de la question 1.3.

2. Datation par le carbone ^{14}C

Deux scientifiques, Anderson et Libby, ont eu l'idée d'utiliser la radioactivité naturelle du carbone ^{14}C pour la datation. Les êtres vivants, végétaux ou animaux, assimilent du carbone. La proportion du nombre de noyaux de ^{14}C par rapport au nombre de noyaux de ^{12}C reste constante pendant toute leur vie. À la mort de l'organisme, tout échange avec le milieu naturel cesse et les atomes de ^{14}C disparaissent peu à peu. La radioactivité décroît alors avec le temps selon une loi exponentielle, qui permet d'atteindre un ordre de grandeur de l'âge de l'échantillon analysé. On admet que le rapport entre le nombre de ^{14}C et ^{12}C est resté constant dans les êtres vivants au cours des derniers millénaires.

2.1. On note $N(t)$ le nombre de noyaux radioactifs d'atomes de « carbone 14 » à un instant de date t pour un échantillon et N_0 le nombre de noyaux radioactifs à un instant pris comme origine des dates ($t_0 = 0 \text{ s}$) pour ce même échantillon. On note λ la constante radioactive. Écrire la loi de décroissance radioactive.

2.2. Temps de demi-vie et constante radioactive.

2.2.1. Donner la définition du temps de demi-vie d'un échantillon radioactif que l'on notera $t_{1/2}$.

2.2.2. Retrouver l'expression littérale du temps de demi-vie en fonction de la constante radioactive : $t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}$

2.2.3. Le temps de demi-vie de l'isotope du carbone ^{14}C est $5,70 \times 10^3$ ans.

En déduire la valeur de la constante radioactive λ en an^{-1} .

2.3. L'activité $A(t)$ d'un échantillon radioactif à l'instant de date t est donnée ici par l'expression : $A(t) = \lambda \cdot N(t)$

2.3.1. Définir l'activité et donner son unité dans le système international.

2.3.2. En utilisant cette expression et la loi de décroissance, déduire que :

$$\frac{A(t)}{A_0} = \frac{N(t)}{N_0} = e^{-\lambda t} \text{ où } A_0 \text{ est l'activité à l'instant de date } t_0 = 0 \text{ s.}$$

3. La faille de San Andreas

En 1989, à proximité de la faille de San Andreas en Californie, on a prélevé des échantillons de même masse de végétaux identiques ensevelis lors d'anciens séismes. On a mesuré l'activité de chacun d'eux. On admet que cette activité est due uniquement à la présence de ^{14}C .

| échantillons numéro | 1 | 2 | 3 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|
| activités de l'échantillon (SI) | 0,233 | 0,215 | 0,223 |

3.1. L'activité d'un échantillon de même végétal vivant et de même masse est $A_0 = 0,255$ SI. On note t la durée qui s'est écoulée entre l'instant de date $t_0 = 0$ s du séisme et l'instant de la mesure.

Déterminer la valeur t_3 qui correspond à l'échantillon n°3.

3.2. En déduire l'année au cours de laquelle a eu lieu le séisme qui correspond à l'échantillon n°3 étudié en 1989.

3.3. Pour les échantillons 1 et 2, on propose les années 586 et 1247. Attribuer à chaque échantillon, l'année qui correspond. Justifier sans calcul.

Exercice N° 2 : Etude d'un texte sur les ondes

Le texte ci-dessous est composé d'extraits d'un cours d'océanographie, que l'on peut découvrir sur le site web de l'IFREMER (édité par son laboratoire de physique des océans): "Les ondes dans l'océan".

En océanographie, les ondes de surface se matérialisent par une déformation de l'interface entre l'océan et l'atmosphère. Les particules d'eau mises en mouvement au passage d'une onde se déplacent avec un petit mouvement qui leur est propre, mais restent en moyenne à la même position.

La houle est formée par le vent: c'est un phénomène périodique, se présentant sous l'aspect de vagues parallèles avec une longueur d'onde λ de l'ordre de 100 m au large, où la profondeur moyenne de l'océan est d'environ 4000 m.

On peut classer les ondes de surface, en fonction de leurs caractéristiques et de celles du milieu de propagation, en "ondes courtes" et en "ondes longues".

- **Ondes courtes:** lorsque la longueur d'onde λ est faible par rapport à la profondeur locale h de l'océan

(au moins $\lambda < 0,5 \cdot h$). Leur célérité v est définie par : $v = \sqrt{\frac{g \cdot \lambda}{2\pi}}$

- **Ondes longues:** lorsque la longueur d'onde λ est très grande par rapport à la profondeur h de l'océan ($\lambda > 10 \cdot h$), les ondes sont appelées ondes longues. Leur célérité v est définie par: $v = \sqrt{g \cdot h}$.

(Note: g est l'intensité du champ de pesanteur terrestre; on prendra $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$).

A – Questions sur le texte

A propos de la houle.

1. Au large (avec $h_1 = 4000$ m), la houle est-elle classée en ondes courtes ou longues?

Évaluer la célérité v_1 d'une houle de longueur d'onde $\lambda_1 = 80$ m, ainsi que la période T de ses vagues.

2. En arrivant près d'une côte sablonneuse (profondeur d'eau $h_2 = 3,0$ m), la longueur d'onde de la houle devient grande par rapport à la profondeur, elle rentre donc dans la catégorie des ondes longues. Sachant que sa période T ne varie pas, évaluer alors sa nouvelle célérité v_2 , ainsi que sa nouvelle longueur d'onde λ_2 .

3. Sur ces fonds ($h_2 = 3,0$ m), les vagues de houle arrivent parallèlement à une digue rectiligne, coupée par un chenal de 30 m de large, et qui ferme une assez vaste baie.

Le vent local étant nul, que peut-on observer sur une vue aérienne de ce site, derrière la digue, coté terre?

Dessiner l'aspect de la surface de l'eau (vagues), sur le **document A (annexe à rendre avec la copie)**, de façon réaliste.

Quel nom porte le phénomène observé? Avec quelles autres ondes (non mécaniques) peut-on observer le même phénomène?

B – Au laboratoire du lycée, on veut compléter l'étude d'ondes analogues à la houle (en eaux peu profondes). On utilise une "cuve à ondes". Avec une webcam, on enregistre des vidéos de l'aspect de la surface de l'eau (en projection sur le verre dépoli vertical de la cuve). On traite ces vidéos à l'aide d'un logiciel adapté.

Dans un plan vertical, un vibreur anime d'un mouvement périodique (de période T), une réglette qui génère des vagues rectilignes parallèles, se propageant (sans réflexion) sur l'eau de la cuve, à la célérité v .

La profondeur h de l'eau est faible et constante. La webcam prend des images à des instants t , successifs séparés

par $\theta = \frac{1}{30}$ s $\approx 0,033$ s.

1. Selon la direction de propagation des ondes (axe xx'), on pointe sur des vues successives un même sommet de ride (ligne brillante sur le dépoli). On obtient, après étalonnage des distances, le tableau de mesures: **document B en annexe**.

a) Tracer sur le papier millimétré du **document C (annexe à rendre avec la copie)** le graphe x en fonction de t . En déduire la célérité v de cette onde. Est-elle constante?

b) Sur l'une des vues du film, on pointe (selon xx') les sommets de la ride n°1 et de la ride n°4. La distance entre ces deux sommets est $d = 0,088$ m. D'autre part, une étude en lumière stroboscopique a permis de déterminer la fréquence f du vibreur: $8 \text{ Hz} < f < 9 \text{ Hz}$.

- Évaluer la longueur d'onde λ de ces ondes.

- Les valeurs calculées de v et λ sont-elles en accord avec f donnée par le stroboscope?

2. Les ondes émises par le vibreur sont transversales, pratiquement sinusoïdales. On néglige le phénomène de dispersion. A un instant t , une vue en coupe (dans un plan vertical) de la surface de l'eau présente l'aspect reproduit sur le **document annexe**. (S est le point source, M est le front de l'onde).

a) Exprimer, en fonction de la période T des ondes, le retard τ que présente le mouvement du point M, par rapport au mouvement de S (expression littérale demandée).

b) A l'instant suivant, le point M se déplace:

- Verticalement vers le haut?

- Verticalement vers le bas?

- Horizontalement vers la gauche?

- Horizontalement vers la droite?

Justifier votre réponse.

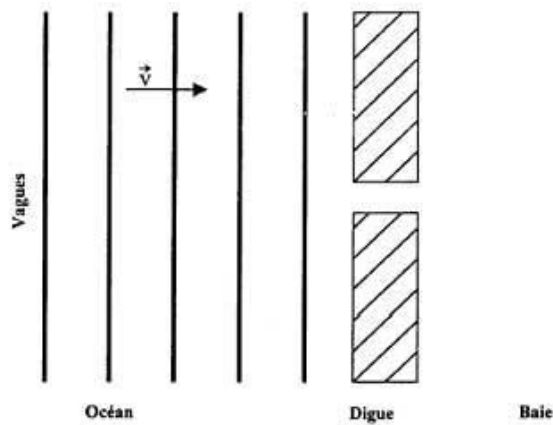
3. Sans rien modifier d'autre, on règle la fréquence du vibreur à $f' = 19$ Hz. La mesure de la célérité des ondes donne alors : $v' = 0,263 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Comparer cette célérité à celle trouvée au 1.a).

De quel phénomène, négligé jusqu'ici, la différence entre v et v' est-elle la manifestation?

Ce phénomène est-il présenté par des ondes non mécaniques? Lesquelles? Citer une application

Annexe

DOCUMENT A

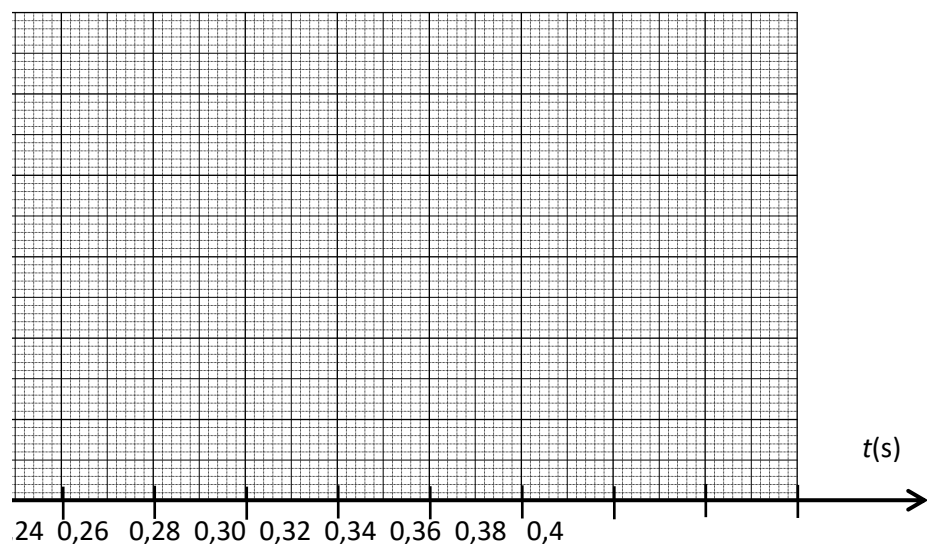


DOCUMENT B

↑

| $t(\text{s})$ | $x(\text{m})$ |
|---------------|---------------|
| 0,200 | 0,098 |
| 0,233 | 0,105 |
| 0,267 | 0,114 |
| 0,300 | 0,122 |
| 0,333 | 0,130 |
| 0,367 | 0,138 |
| 0,400 | 0,147 |

DOCUMENT C

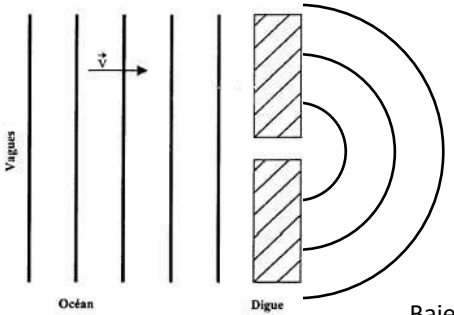


DOCUMENT D



| | |
|---|---|
| I | <p>1.1 $^{12}_6\text{C}$: Z = 6 donc 6 protons ; A = 12 donc 6 neutrons (A – Z)</p> <p>$^{14}_6\text{C}$: 6 protons et 8 neutrons.</p> |
| | <p>1.2 Deux noyaux sont isotopes s'ils possèdent le même nombre de protons (donc le même numéro atomique Z) mais un nombre de neutrons différent (et donc des nombres A de nucléons différents). Les noyaux $^{12}_6\text{C}$ et le $^{14}_6\text{C}$ répondent à cette définition.</p> |
| | <p>1.3 Le carbone ^{14}C est un noyau radioactif émetteur β^-, il y a donc libération d'un électron lors de sa désintégration : $^{14}_6\text{C} \longrightarrow ^{14}_7\text{N} + ^0_{-1}\text{e}^-$</p> <p>On trouve le noyau d'azote en appliquant les lois de conservation (conservation de la charge électrique et conservation du nombre de nucléons).</p> |
| | <p>1.4 $E_\ell (^{14}\text{C}) = \Delta m c^2$ où $\Delta m > 0$ représente le défaut de masse du noyau</p> <p>$E_\ell (^{14}\text{C}) = \{Z.m_p + (A - Z).m_n - m(^{14}\text{C})\} \times c^2$</p> <p>$E_\ell (^{14}\text{C}) = \{6 \times 1,672621 \times 10^{-27} + 8 \times 1,674927 \times 10^{-27} - 2,32584 \times 10^{-26}\} \times (2,998 \times 10^8)^2$</p> <p>$E_\ell (^{14}\text{C}) = 1,589 \times 10^{-11} \text{ J}$</p> |
| | <p>1.5 $\frac{E_\ell (^{14}\text{C})}{A} = \frac{1,589 \times 10^{-11}}{14} = 1,135 \times 10^{-12} \text{ J/nucléon}$</p> |
| | <p>1.6 $E_{\text{libérée}} = (m_{e^-} + m(^{14}\text{N}) - m(^{14}\text{C})).c^2$</p> <p>$E_{\text{libérée}} = (9,109\,381 \times 10^{-31} + 2,325\,27 \times 10^{-26} - 2,325\,84 \times 10^{-26}) \times (2,998 \times 10^8)^2$</p> <p>$E_{\text{libérée}} = -4,304.10^{-13} \text{ J}$; Le milieu extérieur reçoit donc une énergie de $4,304.10^{-13} \text{ J}$.</p> |
| | <p>2.1 $N(t) = N_0.e^{-\lambda.t}$</p> |
| | <p>2.2.1 Le temps de demi-vie $t_{1/2}$ d'un échantillon radioactif est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux initialement présents se sont désintégrés.</p> |
| | <p>Par définition à $t = t_{1/2}$, on a $N(t_{1/2}) = N_0/2$</p> <p>En utilisant la loi de décroissance radioactive on a : $N(t_{1/2}) = N_0 \cdot e^{-\lambda.t_{1/2}} = \frac{N_0}{2}$</p> <p>2.2.2 en simplifiant par N_0, on obtient $e^{-\lambda.t_{1/2}} = \frac{1}{2}$: on élimine l'exponentielle en passant au logarithme népérien : –</p> <p>$\lambda.t_{1/2} = \ln\left(\frac{1}{2}\right)$ or $\ln\left(\frac{1}{2}\right) = \ln(1) - \ln(2) = 0 - \ln(2)$;</p> <p>on obtient $-\lambda.t_{1/2} = -\ln(2)$ soit finalement $t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}$</p> |
| | <p>2.2.3 $t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda} = \frac{\ln(2)}{5,70 \times 10^3} = 1,22 \times 10^{-4} \text{ an}^{-1}$</p> |
| | <p>2.3.1 L'activité A correspond au nombre de désintégrations par seconde, elle s'exprime en becquerel (Bq).</p> |

| | |
|-------|--|
| 2.3.2 | $\frac{A(t)}{A_0} = \frac{\lambda N(t)}{\lambda N_0} = \frac{N(t)}{N_0}$; D'autre part $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$ d'où $\frac{A(t)}{A_0} = \frac{N(t)}{N_0} = e^{-\lambda t}$ |
| 3.1 | $\frac{A(t)}{A_0} = e^{-\lambda t}$ soit $\ln\left(\frac{A(t)}{A_0}\right) = -\lambda t$ d'où $t_3 = -\frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{A(t_3)}{A_0}\right)$ $t_3 = -\frac{1}{1,22 \times 10^{-4}} \ln\left(\frac{0,223}{0,255}\right) \approx 1,10 \times 10^3$ ans |
| 3.2 | L'année au cours de laquelle a eu lieu le séisme correspond à $1989 - 1,10 \times 10^3 = 8,90 \times 10^2$. Le séisme a eu lieu environ en l'an 890. Cette méthode de datation ne permet pas de donner une date précise à un an près. |
| 3.3 | Plus l'échantillon est ancien et plus son activité est faible. Donc l'échantillon 2, d'activité plus faible, correspond à l'an 586 et l'échantillon 1 correspond à l'an 1247. |

| | |
|---------------|--|
| II A.1 | Ondes courtes si $\lambda < 0,5 \cdot h$ et ondes longues si $\lambda > 10 \cdot h$; Au large $h_1 = 4000$ m et λ de l'ordre de 100 m, on a donc $\lambda < 0,5 \cdot h$. On parlera d'ondes courtes. $v_1 = \sqrt{\frac{g \cdot \lambda_1}{2\pi}} = \sqrt{\frac{10 \times 80}{2\pi}} = 11 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}; \lambda_1 = v_1 T \text{ donc } T = \frac{\lambda_1}{v_1} = \frac{\lambda_1}{\sqrt{\frac{g \cdot \lambda_1}{2\pi}}} = \sqrt{\frac{2\pi \lambda_1}{g}} = T = \sqrt{\frac{2\pi \times 80}{10}} = 7,1 \text{ s}$ |
| A.2 | T ne varie pas. Il s'agit d'ondes "longues", on a $v_2 = \sqrt{g \cdot h_2} = \sqrt{10 \times 3} = 5,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ $\lambda_2 = v_2 T = \sqrt{g \cdot h_2} \times \sqrt{\frac{2\pi \lambda_1}{g}} = \sqrt{2\pi h_2 \lambda_1} = \sqrt{2\pi \cdot 3,0 \times 80} = 39 \text{ m}$ |
| A.3 |  <p>Derrière la digue, coté terre, on pourra observer des vagues de forme circulaire centrée sur l'ouverture du chenal.</p> <p>On constate que $\lambda_2 (=39\text{m})$ est supérieure à l'ouverture $a (=30\text{m})$ du chenal, ainsi le phénomène de diffraction sera bien visible. λ n'est pas modifiée.</p> <p>On peut également observer ce phénomène avec des ondes électromagnétiques telles des ondes lumineuses lorsqu'elles rencontrent un obstacle ou un trou.</p> |

| | |
|----------------------|---|
| <p>B.1.a)</p> | <p>Le graphe représentant la fonction $x = f(t)$ est une droite dont le coefficient directeur est égal à la célérité v de l'onde. Presque tous les points expérimentaux sont sur la droite, on en déduit que la célérité de l'onde est constante aux légères erreurs de pointage près. On choisit deux points sur la droite : A ($t_A = 0,25$; $x_A = 0,11$) et B ($t_B = 0,38$; $x_B = 0,141$). $v = \frac{x_B - x_A}{t_B - t_A} = \frac{0,141 - 0,110}{0,38 - 0,25} = 0,24 \text{ m.s}^{-1}$</p> |
| <p>B.1.b)</p> | <p>Le sommet de la ride 1 et le sommet de la ride 4 sont séparés par une distance $d = 3\lambda$</p> <p>$\lambda = \frac{d}{3} = 0,029 \text{ m}$. On a en théorie $\lambda = \frac{v}{f}$ soit $f = \frac{v}{\lambda}$.</p> <p>Expérimentalement, on obtient $f_{exp} = \frac{0,23846}{0,02933} = 8,1 \text{ Hz}$</p> <p>Ce résultat est conforme avec la fréquence annoncée du stroboscope puisqu'on vérifie $8 < f_{exp} < 9 \text{ Hz}$.</p> |
| <p>B.2.a)</p> | <p>La perturbation créée en S a parcouru une distance $d = SM = 2,5\lambda$ environ. Elle se déplace à la célérité v. Il a fallu une durée τ pour qu'elle parcourt cette distance.</p> <p>$v = \frac{d}{\tau} = \frac{2,5 \times \lambda}{\tau}$ or $\lambda = v.T$ d'où $v = \frac{2,5 \times v.T}{\tau}$; $\tau = 2,5.T$</p> |
| <p>B.2.b)</p> | <p>L'onde est transversale: la direction de la perturbation est perpendiculaire à la direction de propagation. La propagation a lieu dans un plan horizontal, la perturbation a lieu dans le plan vertical. Le point M va se déplacer verticalement vers le haut car M est opposition de phase par rapport à S.</p> |
| <p>B.3</p> | <p>$f' = 19 \text{ Hz}$ et $v' = 0,263 \text{ m.s}^{-1}$; On avait établi que pour $f = 8$ à 9 Hz alors $v = 0,24 \text{ m.s}^{-1}$; Quand la fréquence de la source change alors la célérité de l'onde change. Ceci est caractéristique d'un milieu dispersif. Il y a donc eu dispersion.</p> <p>Ce phénomène a lieu avec des ondes lumineuses. Il est visible avec de la lumière blanche. Lorsque la lumière blanche pénètre dans un prisme en verre, avec une incidence particulière, elle est dispersée. On observe alors un arc en ciel sur un écran placé derrière le prisme. La lumière blanche est décomposée.</p> |