



Baccalauréat des voies générale et technologique



Épreuve de physique-chimie de série S

Annales 0 : exemples d'exercices
[BO n° 27 du 4 juillet 2002](#)

Physique, enseignement obligatoire :

Datation au carbone 14

Attention : Les sujets proposés ne sont pas représentatifs de l'ensemble des possibilités offertes par les programmes et ne constituent donc pas une liste fermée de ces possibilités. Aussi doivent-ils être considérés comme des exemples et non comme des modèles.

27 août 2002

DATATION AU CARBONE 14

L'usage de la calculatrice est autorisé

La Terre est bombardée en permanence par des particules très énergétiques venant du cosmos. Ce rayonnement cosmique est composé notamment de protons très rapides. Les noyaux des atomes présents dans la haute atmosphère « explosent » littéralement sous le choc de ces protons très énergétiques et, parmi les fragments, on trouve des neutrons rapides. Ces neutrons rapides peuvent à leur tour réagir avec des noyaux d'azote de la haute atmosphère. Lors du choc, tout se passe comme si un neutron rapide éjectait un des protons d'un des noyaux d'azote et prenait sa place pour former un noyau Y_1 . Ce noyau Y_1 est un isotope particulier du carbone, le carbone 14, qui est radioactif : en émettant un électron et une particule non observable, l'antineutrino, il se décompose en un noyau Y_2 . La période ou demi-vie du carbone 14 est 5 570 ans. Comme le rayonnement cosmique bombarde la Terre depuis longtemps, un équilibre s'établit entre la création et la décomposition du carbone 14 : il y a autant de production que de décomposition si bien que la teneur en carbone 14 de tous les organismes vivants reste identique au cours du temps. Ce carbone s'oxyde en dioxyde de carbone qui se mélange à celui de l'atmosphère, à celui dissous dans l'eau, etc. et sera métabolisé par les plantes et à travers elles par tous les organismes vivants. Dans chaque gramme de carbone de l'atmosphère ou des organismes vivants, les atomes de carbone sont en très grande majorité des atomes de carbone 12, mais il y a $6,8 \cdot 10^{10}$ atomes de carbone 14.

D'après I. Berkès « La physique du quotidien »

On donne, pour différents noyaux :

H : Z = 1 ; He : Z = 2 ; C : Z = 6 ; N : Z = 7 ; O : Z = 8.

1 an = 365 jours

1. Réactions nucléaires dans la haute atmosphère

1.1. Le proton est représenté par le symbole ${}^1_1\text{H}$. Justifier cette écriture.

1.2. L'équation de la réaction qui a lieu lorsque le neutron rapide éjecte un des protons du noyau d'azote peut s'écrire : ${}_0^1\text{n} + {}_7^{14}\text{N} \rightarrow {}_Z^A\text{Y}_1 + {}_1^1\text{H}$

1.2.a. Énoncer les lois de conservation qui régissent une réaction nucléaire.

1.2.b. Vérifier que, comme l'indique le texte, on obtient bien du carbone 14 ; préciser la composition de ce noyau.

1.3. Désintégration du carbone 14

1.3.a. Ecrire l'équation de la réaction qui a lieu lorsque un noyau de carbone 14 se décompose à son tour, en précisant le type de radioactivité du carbone 14. On ne tiendra pas compte de l'antineutrino produit.

1.3.b. Identifier l'élément Y_2 formé.

2. Phénomène de décroissance radioactive

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

2.2. Constante radioactive

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

2.2.b. Par une analyse dimensionnelle, déterminer l'unité de λ .

2.2.c. A l'aide du texte, calculer sa valeur en unité SI, pour la désintégration du carbone 14.

2.3. Soit N le nombre moyen de noyaux radioactifs restant dans un échantillon à la date t. Le nombre moyen de désintégrations pendant une durée Δt courte devant $t_{1/2}$ est $-\Delta N$ (opposé de la variation de N). Ce nombre moyen de désintégrations est donné par la relation : $-\Delta N = \lambda \cdot N \cdot \Delta t$

Déterminer le nombre de désintégrations par minute et par gramme de carbone d'un organisme vivant à partir du moment de sa mort.

2.4. Même question pour un échantillon de 1 gramme et une durée de 1 seconde. Quelle unité peut-on attribuer à ce dernier résultat ?

3. Datation au carbone 14

3.1. Comment expliquer que la quantité moyenne de carbone 14 par kilogramme de matière (ou teneur) reste constante pour tous organismes en vie ?

3.2. Comment évolue la teneur en carbone 14 quand un organisme meurt ? Justifier la réponse.

3.3. *On date par la méthode du carbone 14 un morceau de sarcophage en bois trouvé dans une tombe de l'Égypte ancienne. Dans cet échantillon, on mesure en moyenne 10 désintégrations par minute et par gramme de carbone.*

3.3.a. Déterminer le nombre de noyaux de carbone 14 subsistant dans cet échantillon.

3.3.b. Proposer un âge pour le bois de ce sarcophage.

DATATION AU CARBONE 14	
Question	Compétences
1.1. Le proton est représenté par le symbole ${}^1_1\text{H}$. Justifier cette écriture.	Connaître la signification du symbole ${}^A_Z\text{X}$ et donner la composition du noyau correspondant.
1.2.a. Énoncer les lois de conservation qui régissent une réaction nucléaire.	Connaître et utiliser les lois de conservation.
1.2.b. Vérifier que, comme l'indique le texte, on obtient bien du carbone 14 ; préciser la composition de ce noyau.	Connaître la signification du symbole ${}^A_Z\text{X}$ et donner la composition du noyau correspondant. Connaître et utiliser les lois de conservation.
1.3.a. Écrire l'équation de la réaction qui a lieu lorsque un noyau de carbone 14 se décompose à son tour, en précisant le type de radioactivité du carbone 14. On ne tiendra pas compte de l'antineutrino produit.	Connaître et utiliser les lois de conservation. À partir de l'équation d'une réaction nucléaire, reconnaître le type de radioactivité.
1.3.b. Identifier l'élément Y_2 formé.	Définir l'isotopie et reconnaître les isotopes. Connaître la signification du symbole ${}^A_Z\text{X}$ et donner la composition du noyau correspondant.
2.1. Donner la définition du temps de demi-vie $t_{1/2}$.	Connaître la définition de la constante de temps et du temps de demi-vie.
2.2.a. Donner la relation entre la constante radioactive λ et le temps de demi-vie $t_{1/2}$.	Connaître la définition de la constante de temps et du temps de demi-vie.
2.2.b. Par une analyse dimensionnelle, déterminer l'unité de λ .	Déterminer l'unité de λ ou de τ par analyse dimensionnelle.
2.2.c. À l'aide du texte, calculer sa valeur pour la désintégration du carbone 14.	Utiliser les relations entre τ , λ et $t_{1/2}$. Analyser, en termes scientifiques, une situation, une expérience, un document.
2.3. Déterminer le nombre de désintégrations par minute et par gramme de carbone d'un organisme vivant au moment de sa mort.	Analyser, en termes scientifiques, une situation, une expérience, un document.
2.4. Même question pour un échantillon de 1 gramme et une durée de 1 seconde. Quelle unité peut-on attribuer à ce dernier résultat ?	Savoir que 1 Bq est égal à une désintégration par seconde.
3.1. Comment expliquer que la teneur moyenne en carbone 14 des organismes "vivants" reste constante ?	Analyser, en termes scientifiques, une situation, une expérience, un document. Expliquer le principe de la datation, le choix d'un radioélément et dater un événement.
3.2. Comment évolue la teneur en carbone 14 quand un organisme meurt ? Justifier la réponse.	Analyser, en termes scientifiques, une situation, une expérience, un document.
3.3.a. Déterminer le nombre de noyaux de carbone 14 subsistant dans cet échantillon.	Connaître l'expression de la loi de décroissance et exploiter la courbe de décroissance. Utiliser les fonctions du programme de mathématiques.
3.3.b. Proposer un âge pour le bois de ce sarcophage.	Connaître l'expression de la loi de décroissance et exploiter la courbe de décroissance. Utiliser les fonctions du programme de mathématiques. Expliquer le principe de la datation, le choix d'un radioélément et dater un événement.

DATATION AU CARBONE 14			
N° question	Réponse	Points	Commentaires
1.1.	Le noyau d'hydrogène contient 1 nucléon au total, dont 1 proton. Il est donc constitué uniquement d'un proton.	0,25	
1.2.a.	Lors d'une réaction nucléaire, il y a conservation du nombre de nucléons A et du nombre de charge Z.	0,25	
1.2.b.	Y ₁ contient 6 protons, c'est donc un noyau de carbone, composé de 6 protons et de 14 - 6 = 8 neutrons.	0,5	
1.3.a.	$^{14}_6\text{C} \rightarrow \text{}^0_{-1}\text{e} + ^{14}_7\text{Y}_2$ Radioactivité β ⁻ .	0,75	
1.3.b.	Y ₂ contient 7 protons, c'est donc un noyau d'azote.	0,25	
2.1.	Le temps de demi-vie est le temps au bout duquel la moitié des noyaux présents initialement dans l'échantillon ont disparu.	0,25	
2.2.a.	$\lambda = \ln 2 / t_{1/2}$.	0,25	
2.2.b.	$[\lambda] = [\ln 2] / [t_{1/2}] = 1 / [t]$.	0,25	
2.2.c.	$\lambda = \ln 2 / (5570 \times 3600 \times 24 \times 365) = 3,94 \times 10^{-12} \text{ s}^{-1}$.	0,25	0 si pas d'unité.
2.3.	$-\Delta N = 3,94 \times 10^{-12} \times 60 \times 6,8 \times 10^{10} = 16 \text{ dés./min.g}$ car N est constant dans un organisme vivant.	0,25	
2.4.	$\Delta N = 16 / 60 = 0,27 \text{ dés. /s.g} = 0,27 \text{ Bq/g}$	0,5	
3.1.	Les organismes vivants perdent quotidiennement des atomes de carbone 14 par sécrétion, respiration, déjections... et du fait de sa désintégration spontanée. Ils assimilent parallèlement du carbone, notamment dans leur alimentation. Ce carbone est composé entre autres de carbone 14 qui entretient les réserves de l'organisme vivant. Ainsi, dans leur organisme, la proportion de carbone 14 comparée à celle de carbone 12 reste celle de l'environnement dans lequel ils vivent.	0,5	
3.2.	Quand l'organisme meurt, il n'entretient plus ses réserves en carbone 14 qui s'amointrissent donc peu à peu.	0,5	
3.3.a.	$-\Delta N / \Delta t = \lambda \times N$ Donc $N = -1 / \lambda \times \Delta N / \Delta t$ Or $-\Delta N / \Delta t = 10 / 60 \text{ dés. /s.g}$ Donc $N = 10 / (60 \times 3,94 \times 10^{-12}) = 4,2 \times 10^{10} \text{ atomes}$	0,75	
3.3.b.	$N = N_0 \exp(-\lambda t)$ donc $t = -1 / \lambda \times \ln(N / N_0)$ $= -1 / 3,94 \times 10^{-12} \times \ln(4,2 \times 10^{10} / 6,8 \times 10^{10})$ $= 1,2 \times 10^{11} \text{ s} = 3,8 \times 10^3 \text{ ans.}$	0,5	
TOTAL		6 points	