BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2006

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

DURÉE DE L'ÉPREUVE : 3 h 30 – COEFFICIENT : 6

obligatoire

L'usage des calculatrices EST autorisé

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré

Les données sont en italique

Ce sujet comporte un exercice de CHIMIE et deux exercices de PHYSIQUE présentés sur 8 pages numérotées de 1 à 8, y compris celle-ci.

Le candidat doit traiter les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres :

I. Transport du dioxygène dans le sang (6,5 points)
II. Contrôler la fusion nucléaire (5,5 points)
III. La poule, le chien et le pigeon (4 points)

EXERCICE I. TRANSPORT DU DIOXYGÈNE DANS LE SANG (6,5 points)

Le but de cet exercice est d'étudier, de manière simplifiée, le transport du dioxygène par l'hémoglobine du sang des poumons vers les organes.
Une molécule d'hémoglobine est constituée de plusieurs sous-unités. ***On ne considérera dans tout l'exercice que la sous-unité notée*** $Hb_{(aq)}$.
Le dioxygène est transporté de deux façons dans l'organisme :

- *sous forme de dioxygène dissous dans le sang que l'on note* $O_{2(aq)}$.
- *sous forme d'oxyhémoglobine que l'on notera* $HbO_{2(aq)}$.

Le sang est assimilé à une solution aqueuse.
Donnée :
Masse molaire de la sous-unité d'hémoglobine : $M(Hb) = 1,6 \times 10^4\ g.mol^{-1}$

Les quatre parties sont indépendantes.

1. Transport du dioxygène dans l'organisme par l'hémoglobine du sang

Au niveau des poumons, une sous-unité d'hémoglobine fixe une molécule de dioxygène pour donner une sous-unité d'oxyhémoglobine. L'équation de la réaction associée à la transformation chimique est :

$$Hb_{(aq)} + O_{2(aq)} = HbO_{2(aq)} \quad \text{(équation 1)}$$

1.1. *À l'état initial, on suppose qu'un volume V = 100 mL de sang contient une quantité de sous-unités d'hémoglobine notée* n_0, *un excès de dioxygène et ne contient pas de sous-unités d'oxyhémoglobine. Ce volume V de sang contient une masse m = 15 g de sous-unités d'hémoglobine.*
Calculer la quantité de matière n_0 *de sous-unités d'hémoglobine* correspondante.
1.2. En déduire l'avancement maximum x_{max} de la réaction. *On pourra s'aider d'un tableau d'évolution du système.*
1.3. *Le taux d'avancement final* τ_f *de la réaction chimique (1) a pour valeur 0,97.*
Donner la relation qui définit le taux d'avancement final τ_f et en déduire la valeur x_f de l'avancement final.
1.4. En déduire la quantité de sous-unités d'oxyhémoglobine HbO_2 formée dans l'état final.
1.5. *En une minute, le débit cardiaque moyen permet de traiter* $V_S = 5,0\ L$ *de sang au niveau des poumons.* En déduire la quantité correspondante n_S de sous-unités d'oxyhémoglobine HbO_2 formées pendant une minute.

2. Libération du dioxygène au niveau des organes

Le volume V de sang étudié dans la partie 1 arrive au niveau des tissus des organes. À ce stade une partie du dioxygène dissous est absorbée par les tissus faisant ainsi chuter la concentration en dioxygène dans le sang.
Le système chimique étudié dans la partie 1 se trouve alors dans un nouvel état initial, noté état 1, tel que la concentration en dioxygène dissous est $[O_2]_1 = 3,6 \times 10^{-5}\ mol.L^{-1}$; *celle de sous-unités d'hémoglobine est alors* $[Hb]_1 = 2,8 \times 10^{-4}\ mol.L^{-1}$ *et celle de sous-unités d'oxyhémoglobine est* $[HbO_2]_1 = 9,1 \times 10^{-3}\ mol.L^{-1}$.

2.1. Calculer la valeur du quotient de réaction Q_{r1} dans l'état 1 correspondant à l'équation (1).
2.2. *La constante d'équilibre* K_1 *liée à l'équation (1) a pour valeur* $K_1 = 3,0 \times 10^6$.
Dans quel sens évolue le système ?

3. Et lors d'un effort musculaire ?

Données :
Au cours d'un effort, du dioxyde de carbone est formé au niveau des muscles. Il se dissout dans le sang. Le couple acide-base mis en jeu est $CO_2, H_2O/HCO_3^-(aq)$ *de* $pKa = 6,4$.

3.1. Écrire l'équation notée (2) de la réaction associée à la transformation entre le dioxyde de carbone dissous et l'eau.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 2 / 8
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

3.2. Représenter sur un diagramme les domaines de prédominance des espèces du couple $CO_2, H_2O / HCO_3^-$.

3.3. En déduire, en le justifiant, l'espèce prédominante de ce couple dans le sang au niveau des tissus pour un pH du sang égal à 7,4.

3.4. Pourquoi la dissolution du dioxyde de carbone provoque-t-elle une diminution du pH sanguin en l'absence d'autres réactions ?

3.5. *Chez l'homme, le pH du sang est compris dans des limites très étroites : 7,36 à 7,42. D'autre part, l'oxyhémoglobine peut réagir avec les ions oxonium selon l'équation :*

$$HbO_{2(aq)} + H_3O^+ = O_{2(g)} + HbH^+_{(aq)} + H_2O \quad \text{(équation 3)}$$

Montrer que les ions H_3O^+ produit par la réaction d'équation (2) permettent la libération du dioxygène nécessaire à l'effort musculaire tout en limitant la variation de pH, vue à la question 3.4.

4. Empoisonnement au monoxyde de carbone

La combustion d'une substance contenant du carbone produit du monoxyde de carbone dans certaines conditions, par exemple dans des poêles ou fourneaux mal aérés, ou dans la fumée de cigarettes.

L'équation associée à la réaction entre le monoxyde de carbone et une sous-unité d'hémoglobine s'écrit :

$$Hb_{(aq)} + CO_{(aq)} = HbCO_{(aq)} \quad \text{(équation 4)} \quad \text{avec } K_4 = 7{,}5 \times 10^7$$

Le tableau suivant donne les effets sur l'organisme associés aux valeurs du rapport des concentrations à l'équilibre $\frac{[HbCO]_{éq}}{[Hb]_{éq}}$.

$\frac{[HbCO]_{éq}}{[Hb]_{éq}}$	de $1{,}1 \times 10^{-4}$ à $2{,}6 \times 10^{-4}$	de $2{,}6 \times 10^{-4}$ à $2{,}6 \times 10^{-5}$	Supérieur à $2{,}6 \times 10^{-5}$
Effets	Maux de tête	Intoxication grave	Mort rapide

4.1. *L'analyse du sang d'une personne ayant respiré de l'air pollué par du monoxyde de carbone a révélé une concentration en monoxyde de carbone dissous dans le sang égale à* $2{,}0 \times 10^{-4}$ *mol.L*$^{-1}$.
Quels sont les effets ressentis par la personne ?

4.2. *Au sein de l'organisme il y a donc compétition entre le dioxygène et le monoxyde de carbone pour se fixer sur l'hémoglobine (équations 1 et 4). On atteint un état d'équilibre correspondant à l'équation :*

$$HbO_{2(aq)} + CO_{(aq)} = HbCO_{(aq)} + O_{2(aq)} \quad \text{(équation 5)}$$

Donner l'expression de la constante d'équilibre K_5 associée à l'équation 5 en fonction de K_1 et K_4 et calculer sa valeur.

4.3. *Une personne empoisonnée au monoxyde de carbone est placée dans un caisson hyperbare dans lequel on impose une concentration élevée en dioxygène permettant ainsi d'augmenter la concentration de dioxygène dissous dans le sang.* Expliquer qualitativement l'action du caisson hyperbare.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 3 / 8
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

EXERCICE II. CONTROLER LA FUSION NUCLEAIRE (5,5 points)

Le 28 juin 2005, le site de Cadarache (dans les Bouches du Rhônes) a été retenu pour l'implantation du projet international de fusion nucléaire ITER.
La fusion de deux noyaux légers en un noyau plus lourd est un processus qui libère de l'énergie. C'est le cas lors de la formation d'un noyau « d'hélium 4 » à partir de la réaction entre le deutérium et le tritium. On récupère une quantité d'énergie de quelques mégaélectronvolts (MeV), suivant la réaction :

$$^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{0}n \quad (1)$$

Des problèmes se posent si l'on cherche ainsi à récupérer cette énergie :
- pour initier la réaction, les noyaux doivent avoir la possibilité de s'approcher l'un de l'autre à moins de 10^{-14} m. Cela leur impose de vaincre la répulsion électrostatique. Pour ce faire, on porte la matière à une température de plus de 100 millions de degrés ;
- à la fin de la vie du réacteur de fusion, les matériaux constituant la structure du réacteur seront radioactifs. Toutefois, le choix d'éléments de structure conduisant à des produits radioactifs à temps de décroissance rapide permet de minimiser les quantités de déchets radioactifs. Cent ans après l'arrêt définitif du réacteur, la majorité voire la totalité des matériaux peut être considérée comme des déchets de très faible activité.

D'après le livre « Le monde subatomique », de Luc Valentin et le site Internet du CEA.

Les cinq parties sont indépendantes.

Données :
masse du neutron : $m(n) = 1{,}674927 \times 10^{-27}$ kg
masse du proton : $m(p) = 1{,}672622 \times 10^{-27}$ kg
masse d'un noyau de deutérium : $m(^{2}_{1}H) = 3{,}344497 \times 10^{-27}$ kg
masse d'un noyau de tritium : $m(^{3}_{1}H) = 5{,}008271 \times 10^{-27}$ kg
masse d'un noyau d' « hélium 4 » : $m(^{4}_{2}He) = 6{,}646483 \times 10^{-27}$ kg
célérité de la lumière dans le vide : $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m.s^{-1}
1eV = $1{,}60 \times 10^{-19}$ J

Les « combustibles » utilisés dans le réacteur de fusion ne nécessitent pas de transport de matière radioactive. En effet, le deutérium n'est pas radioactif. Le tritium est fabriqué sur site, à partir d'un élément Y non radioactif suivant la réaction :

$$Y + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{3}_{1}H$$

1. Le tritium

Donner la composition et le symbole du noyau Y en précisant les règles de conservation..
On donne un extrait de la classification périodique : H (Z=1), He(Z=2), Li (Z=3), Be (Z=4), B(Z=5).

2. Le noyau de deutérium

2.1. Donner la composition du noyau de deutérium $^{2}_{1}H$.

2.2. *Le deutérium et le tritium sont des isotopes.* Justifier cette affirmation.

2.3. Donner l'expression littérale puis la valeur du défaut de masse $\Delta m(^{2}_{1}H)$ du noyau de deutérium.

2.4. En déduire l'énergie $E(^{2}_{1}H)$ correspondant à ce défaut de masse en J puis en MeV et donner sa signification physique.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 4 / 8
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé
scanner ou cliquer

3. Étude de la réaction de fusion

On considère la réaction de fusion traduite par l'équation (1) dans le texte. Donner l'expression littérale de l'énergie libérée par cette réaction en fonction des données de l'énoncé.
Calculer cette énergie en MeV.

4. Ressources en deutérium

On trouve le deutérium en abondance dans l'eau de mer. La ressource dans les océans est estimée à $4{,}6\times10^{13}$ *tonnes.*
La réaction (1) libère une énergie de 17,6 MeV.
On assimile la masse d'un atome de deutérium à la masse de son noyau.

4.1.

4.1.1. Déterminer le nombre N de noyaux présents dans la masse m = 1,0 kg de deutérium.

4.1.2. En déduire l'énergie E libérée par une masse m = 1,0 kg de deutérium.

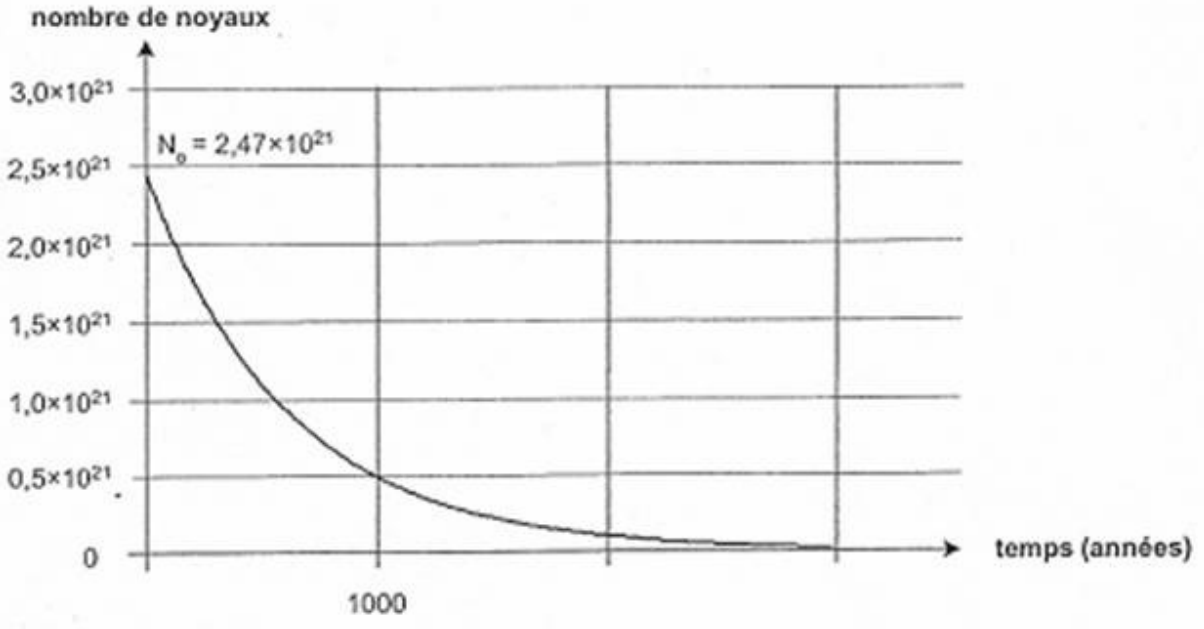
4.2. *La consommation annuelle énergétique mondiale actuelle est d'environ* 4×10^{20} *J. On fait l'hypothèse simplificatrice selon laquelle le rendement d'une centrale à fusion est équivalent à celui d'une centrale nucléaire. Ceci revient à considérer que seule 33 % de l'énergie libérée par la réaction de fusion est réellement convertie en électricité.*
Estimer en années, la durée Δt nécessaire pour épuiser la réserve de deutérium disponible dans les océans répondant à la consommation annuelle actuelle.

Les ressources en combustible sont en fait limitées par le lithium, utilisé pour fabriquer le tritium. L'utilisation du lithium contenu dans l'eau de mer ramène les limites à quelques millions d'années.

5. Le temps de demi-vie des déchets

Les centrales nucléaires actuelles produisent de l'énergie par des réactions de ***fission nucléaire.*** *Ces réactions produisent des déchets radioactifs qui sont classés par catégories, suivant leur demi-vie et la valeur de leur activité. Ainsi, les déchets dits de "moyenne activité" (catégorie B) ont pour particularité d'avoir une demi-vie supérieure à 30 ans et d'émettre un rayonnement* α *d'activité supérieure à* $3{,}7 \times 10^{3}$ *Bq pour 1 gramme de noyaux radioactifs.*

L' «américium 241 » fait partie des éléments contenus dans les déchets générés par une centrale nucléaire.
Le graphique ci-dessous représente le nombre de noyaux d'un échantillon de 1,0 g d' «américium 241 ». L'équation de la courbe est donnée par : $N = N_0.e^{-\lambda.t}$ *avec* $\lambda = 5{,}1 \times 10^{-11}$ *S.I.*



5.1 Définir le temps de demi-vie $t_{1/2}$ de l' «américium 241 ».

5.2. En utilisant la courbe précédente et en précisant la méthode utilisée, déterminer ce temps de demi-vie.

5.3. *L' «américium 241 » se désintègre suivant la réaction*

$$^{241}_{95}Am \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{237}_{93}Np$$

De quel type de radioactivité s'agit-il ? Justifier la réponse.

5.4. *L'activité A est reliée au nombre de noyaux de l'échantillon par la relation* $A = \lambda . N$.

5.4.1. En utilisant l'équation de la courbe, déterminer la durée t_1 en années, au bout de laquelle un gramme d'«américium 241 » a une activité égale à $3{,}7 \times 10^3$ Bq.

Au bout de cette durée, l' «américium 241 » issu d'une centrale nucléaire peut être considéré comme un déchet de fission dit de « faible activité ».

5.4.2. *L'ordre de grandeur de* t_1 *est de* 10^4 *ans.*

Préciser en quoi, dans le domaine des déchets, la fusion représente un avantage sur la fission.

EXERCICE III. LE CHIEN, LA POULE ET LE PIGEON (4 points)

C'est la fin de l'été, il fait lourd et chaud. Toby le chien et Cocot la poule conversent.

1. Le chien entend le tonnerre

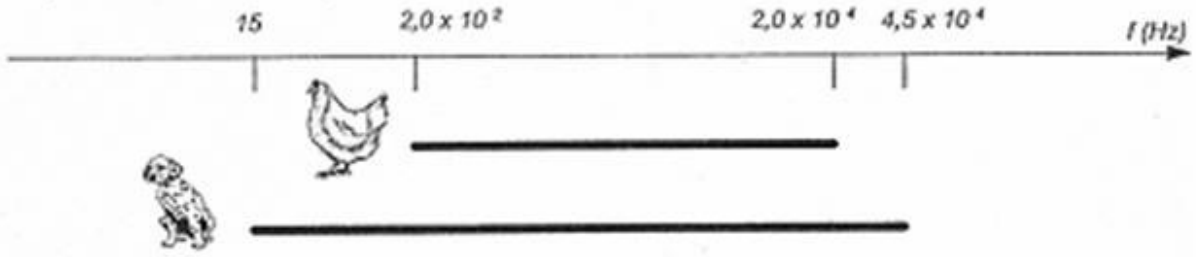
Toby : « Le temps est à l'orage. J'entends le tonnerre au loin. »
Cocot : « Le tonnerre ? Je n'entends rien. Tu vas bien Toby ? »
Toby : « Je l'entends te dis-je ! »

Quelques instants plus tard, l'orage s'étant rapproché, les deux animaux entendent le tonnerre gronder.

Cocot : « Nom d'un chien. Comment as-tu su ? À ma connaissance l'air n'est pas considéré comme un milieu dispersif. »
Toby : « Ce n'est pas dû au fait que le milieu de propagation soit ou non dispersif. Vois-tu, lorsque le tonnerre gronde, des sons de toutes fréquences sont émis. Dans l'air, les sons s'atténuent d'autant plus que leur fréquence est élevée ; les sons de basse fréquence sont perçus à des distances bien supérieures à ceux de fréquence plus importante. »

1.1. Définir un milieu dispersif.
1.2. En s'aidant des domaines de fréquences audibles représentés ci-dessous, préciser lequel des deux animaux :
1.2.1. entend les sons les plus graves ;
1.2.2. entend les sons les plus aigus.
1.3. Dire pourquoi Toby peut entendre le tonnerre gronder au loin alors que Cocot ne le peut pas.
1.4. Calculer la longueur d'onde correspondant au son le plus grave entendu par la poule.

Données :
Célérité du son dans l'air : $v = 340\ m.s^{-1}$.
On rappelle que plus la fréquence d'un son est élevée, plus le son est aigu.
Fréquences audibles par la poule et le chien :



2. Le pigeon lance un défi

Rocoul le pigeon voyageur atterrit.
Rocoul : « Tous aux abris , il y a de la grêle qui nous arrive. J'ai vu passer un grêlon aussi gros que moi. »
Toby : « Je n'en crois rien ! »
Rocoul : « En fait le grêlon était assez gros, environ 2 cm de diamètre et tombait très vite. »
Toby : « Je vois...tu ne devais pas voler bien haut pour que le grêlon ait eu le temps d'atteindre une vitesse voisine de sa vitesse limite. »
Rocoul : « Plus haut que tu ne le penses ! D'ailleurs, je te mets au défi de savoir à quelle altitude je volais. »

On considère un grêlon de diamètre 2,0 cm et de masse m = 3,8 g que l'on suppose constante.
Lors de cette étude, on néglige la poussée d'Archimède et on modélise les frottements de l'air par une force de même direction que le vecteur vitesse, de sens opposé à celui-ci et de valeur $F = kv$.

Le mouvement est étudié selon un axe vertical descendant (Ox) dont l'origine O se situe à la base du nuage.

2.1. Faire un inventaire des forces qui agissent sur le grêlon et préciser l'expression vectorielle de chaque force.

2.2. Appliquer la deuxième loi de Newton au grêlon et en déduire l'équation différentielle qui régit l'évolution de **la valeur *v* de la vitesse** du grêlon.

2.3. Montrer que l'expression de la valeur v_{lim} de la vitesse limite de chute est $v_{lim} = \frac{mg}{k}$.

2.4. En s'aidant de la figure 1 ci-dessous qui représente l'évolution au cours du temps de la vitesse du grêlon, déterminer la valeur v_{lim} de sa vitesse limite de chute. On donnera le résultat avec deux chiffres significatifs.

2.5. Quelle doit être la valeur de *k* correspondant à cette vitesse limite dans le cadre de ce modèle ? *On prendra* $g = 9{,}8\ m.s^{-2}$.

2.6. *La figure 2 représente l'évolution au cours du temps de la distance que parcourt le grêlon depuis la base du nuage.*

2.6.1. Déterminer la durée Δt au bout de laquelle la vitesse atteinte est égale à 95 % de la vitesse limite.

2.6.2. En déduire la distance *d* parcourue par le grêlon à partir de la base du nuage.

2.7. *La base du nuage est située à 2,5 km d'altitude.* Toby a-t-il raison d'affirmer que Rocoul devait voler bien bas. ?

Données :

Figure 1 : évolution temporelle de la vitesse

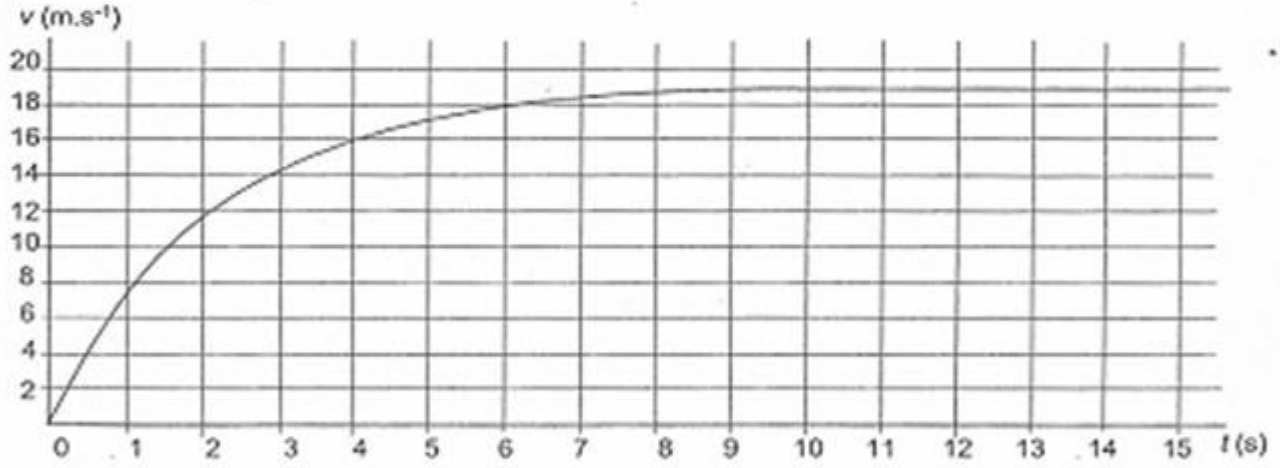
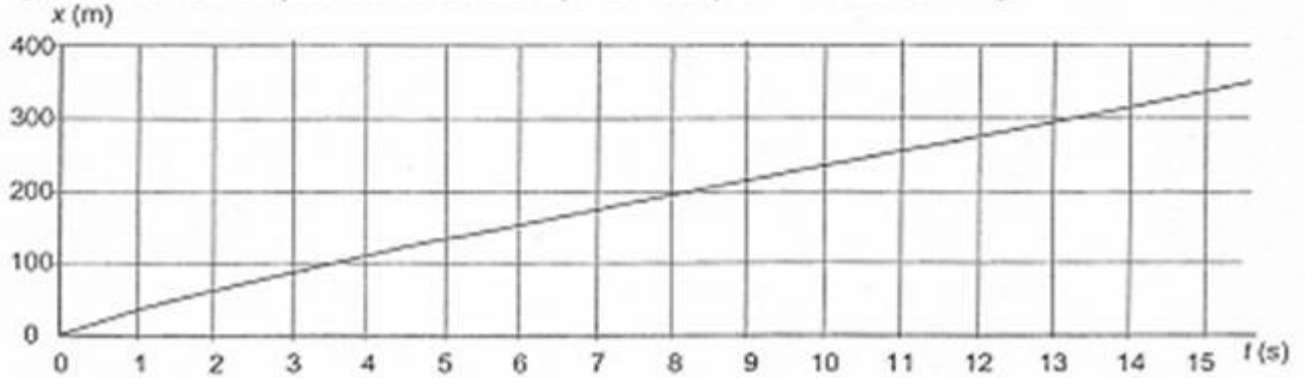


Figure 2 : évolution temporelle de la distance x parcourue à partir de la base du nuage



Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 8 / 8
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé
scanner ou cliquer