2006/09 National EXERCICE I. COMME UN POISSON DANS L'EAU (6,5 points) CALCULATRICE INTERDITE

L'aquariophilie est une passion qui touche de plus en plus d'amateurs mais aussi de néophytes. De nombreux facteurs peuvent contribuer à un déséquilibre dangereux pour la vie et la santé des poissons. Il est donc nécessaire de contrôler régulièrement la qualité de l'eau.
Le pH de l'eau est la première grandeur qu'il faut mesurer, au moins une fois par semaine, et ajuster éventuellement. En effet, certains poissons ne peuvent évoluer que dans un milieu acide (c'est le cas des poissons d'Amazonie comme les Néons ou les Tétras), d'autres dans un milieu basique (c'est le cas des poissons d'Amérique Centrale comme les Platy et les Molly). Aucun de ces poissons ne tolère une trop forte teneur en ions ammonium (NH_4^+) ou en ions nitrite (NO_2^-) : le cycle de l'azote doit donc être surveillé en évitant soigneusement la surpopulation de l'aquarium et l'excès de nourriture.
D'après "Poissons et aquariums" - Édition Larousse

L'exercice suivant est destiné à préciser certains points de ce texte. On étudie d'abord un produit commercial utilisé pour diminuer le pH de l'eau de l'aquarium ; on s'intéresse ensuite à la formation des ions ammonium.

Les parties 1. et 2. sont indépendantes.

- Certaines aides au calcul peuvent comporter des résultats ne correspondant pas au calcul à effectuer.
- Le logarithme décimal est noté lg.

1. Étude d'une solution commerciale destinée à diminuer le pH de l'aquarium

*Sur l'étiquette du produit on peut lire que la solution commerciale S_0 est constituée d'acide chlorhydrique ($H_3O^+ + Cl^-$ (aq)) mais aucune concentration n'est indiquée. La transformation conduisant à l'acide chlorhydrique étant totale, la concentration c_0 de la solution commerciale est égale à la concentration en ions H_3O^+. On cherche à déterminer cette concentration en faisant un titrage pH-métrique. Pour cela on dilue 50 fois la solution commerciale et on procède au titrage d'un volume V_A = 20,0 mL de la solution diluée S_A à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium S_B (Na^+(aq) + HO^- (aq)) de concentration molaire en soluté apporté $c_B = 4{,}0 \times 10^{-2}$ mol.L^{-1}. On obtient la courbe de la **figure 1**. On a également fait apparaître la courbe représentant la dérivée du pH en fonction du volume de soude versé.*

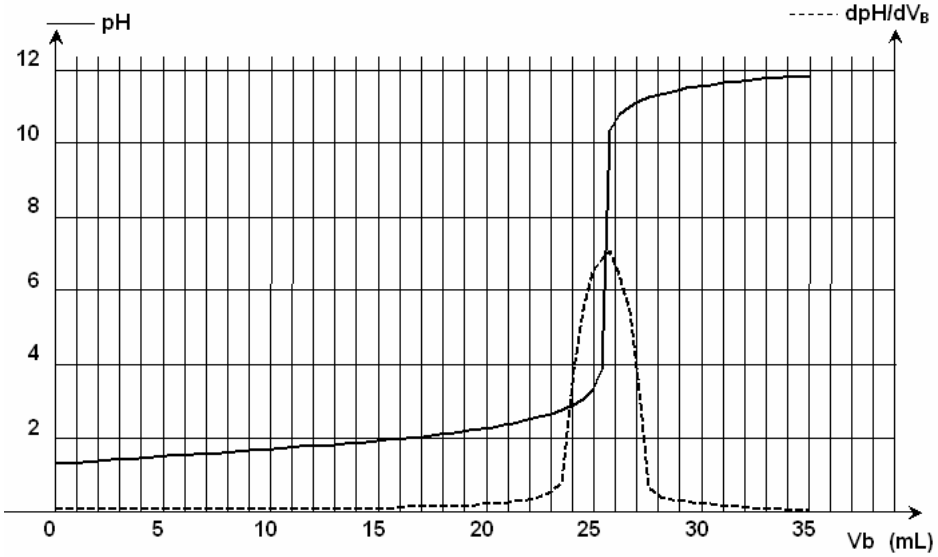


Figure 1 : Titrage de la solution commerciale diluée par la soude

Aide au calcul :

$lg\ 8 \approx 0{,}9$ $\qquad$ $lg\ 5 \approx 0{,}7$
$10^{6,4} = 2{,}5 \times 10^6$ $\qquad$ $10^{-6,4} \approx 4{,}0 \times 10^{-7}$

1.1. Écrire l'équation de la réaction support du titrage.

1.2. Équivalence

1.2.1. Définir l'équivalence.

1.2.2. En déduire la valeur de la concentration des ions oxonium dans la solution diluée S_A.

1.2.3. Montrer que dans la solution commerciale, la concentration des ions oxonium $[H_3O^+]$ est **voisine** de 2,5 mol.L^{-1} . *Cette valeur sera utilisée pour la suite de l'exercice.*

1.3. *On désire diminuer le pH de l'eau de l'aquarium et l'amener à une valeur proche de 6 alors qu'il était initialement égal à 7. Sur le mode d'emploi du fabricant on peut lire qu'il faut verser, en une fois, 20 mL de la solution commerciale dans 100 L d'eau. Pour simplifier le calcul, on considérera que le volume final reste égal à 100 L.*
Quelle serait la valeur du pH final de l'eau de l'aquarium s'il n'y avait qu'une simple dilution des ions H_3O^+ ?

1.4. *L'eau étant toujours plus ou moins calcaire, elle contient des ions hydrogénocarbonate ($HCO_3^-(aq)$) dont il faut tenir compte. Les ions H_3O^+ introduits vont, en effet, réagir avec ces ions.*
L'équation associée à la réaction considérée est la suivante :

$$HCO_3^-\,(aq) + H_3O^+ = CO_2\,(aq) + 2\,H_2O\,(\ell) \quad (\text{réaction 1})$$

1.4.1. Donner l'expression de la constante d'équilibre K_1 associée à l'équation de la réaction 1 en fonction des concentrations des différentes espèces chimiques présentes.

1.4.2. Exprimer cette constante d'équilibre en fonction de la constante d'acidité K_A du couple :

$$CO_2(aq),\ H_2O\ /\ HCO_3^-\,(aq).$$

Déterminer sa valeur numérique.
Donnée : $K_A = 10^{-6,4}$

1.5. *L'eau utilisée pour l'aquarium est très calcaire. Dans cette eau, les concentrations molaires initiales des espèces mises en jeu dans la réaction 1 sont telles que le quotient de réaction initial de cette réaction vaut : $Q_{r,i} = 5,0$.*

1.5.1. En utilisant le critère d'évolution spontanée, montrer que des ions H_3O^+ sont consommés si l'eau est calcaire.

1.5.2. Le *pH* final sera-t-il supérieur, égal ou inférieur au *pH* calculé à la question 1.3. ?

1.5.3. *Dans la notice du fabricant on trouve la phrase suivante : "Assurez-vous par des tests réguliers que votre eau est suffisamment calcaire car sinon il pourrait y avoir des risques de chutes acides ".* Expliquer.

2. Étude de la formation des ions ammonium.

L'urée, de formule $(NH_2)_2CO$, est un polluant de l'aquarium. Elle est contenue dans les déjections de certains poissons et conduit, au cours d'une réaction lente, à la formation d'ions ammonium NH_4^+ et d'ions cyanate OCN^- selon l'équation :

$$(NH_2)_2CO\,(aq) = NH_4^+\,(aq) + OCN^-\,(aq) \quad (\text{réaction 2})$$

L'étude de la cinétique de cette réaction 2 peut être réalisée par conductimétrie. Pour cela on prépare un volume V = 100,0 mL d'une solution d'urée de concentration molaire en soluté apporté égale à c = 0,020 mol.L^{-1} et on suit sa décomposition en la maintenant dans un bain marie à 45 °C. À différentes dates, on mesure la conductivité de la solution.
La conductivité σ de cette solution peut s'exprimer en fonction des concentrations des espèces ioniques en solution et des conductivités molaires ioniques (les ions H_3O^+ et HO^- (aq) sont en très faible quantité et pourront ne pas être pris en compte). On a donc la relation suivante :

$$\sigma = \lambda_{NH_4^+}\left[NH_4^+\right] + \lambda_{OCN^-}\left[OCN^-\right]$$

2.1. Montrer que la concentration de la solution en ions NH_4^+ (aq) peut être déterminée à partir de la mesure de la conductivité de la solution, les conductivités molaires ioniques étant connues.

2.2. Évolution du système chimique

2.2.1. Compléter littéralement le tableau descriptif de l'évolution du système, figurant **EN ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE À LA COPIE.**

2.2.2. En déduire la relation, à chaque instant, entre la concentration en ions NH_4^+ (aq) en solution et l'avancement de la réaction.

2.2.3. Calculer l'avancement maximal x_{max}.

2.3. *On peut ainsi représenter l'évolution de l'avancement de la réaction en fonction du temps (voir **figure 2 EN ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE À LA COPIE).***
En déduire le taux d'avancement de la réaction à l'instant de date t = 110 min.

2.4. *La vitesse volumique de réaction est donnée par la relation : $v(t) = \frac{1}{V}(\frac{dx}{dt})$ où x est l'avancement de la réaction à l'instant de date t et V le volume de la solution.*
Décrire, en utilisant la courbe précédente, l'évolution de cette vitesse.

2.5. *En poursuivant l'expérience pendant une durée suffisante, on obtient une concentration finale : $[NH_4^+]_f = 2{,}0 \times 10^{-2}$ mol.L^{-1} .*
Déterminer le taux d'avancement final de cette transformation. Cette transformation est-elle totale ?

2.6. Définir puis déterminer graphiquement le temps de demi-réaction.

2.7. *Dans l'aquarium, la valeur de la température est seulement de 27 °C.* Tracer sur la **figure 2 EN ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE AVEC LA COPIE**, l'allure de la courbe précédente à cette température.

2.8. *Les ions ammonium finissent par se transformer en ions nitrate dont l'accumulation risque de compromettre la vie des poissons. Ces derniers ions constituent un aliment essentiel pour les plantes vertes de l'aquarium.* Expliquer pourquoi dans les livres d'aquariophilie, on dit que l'aquarium doit être "bien planté".

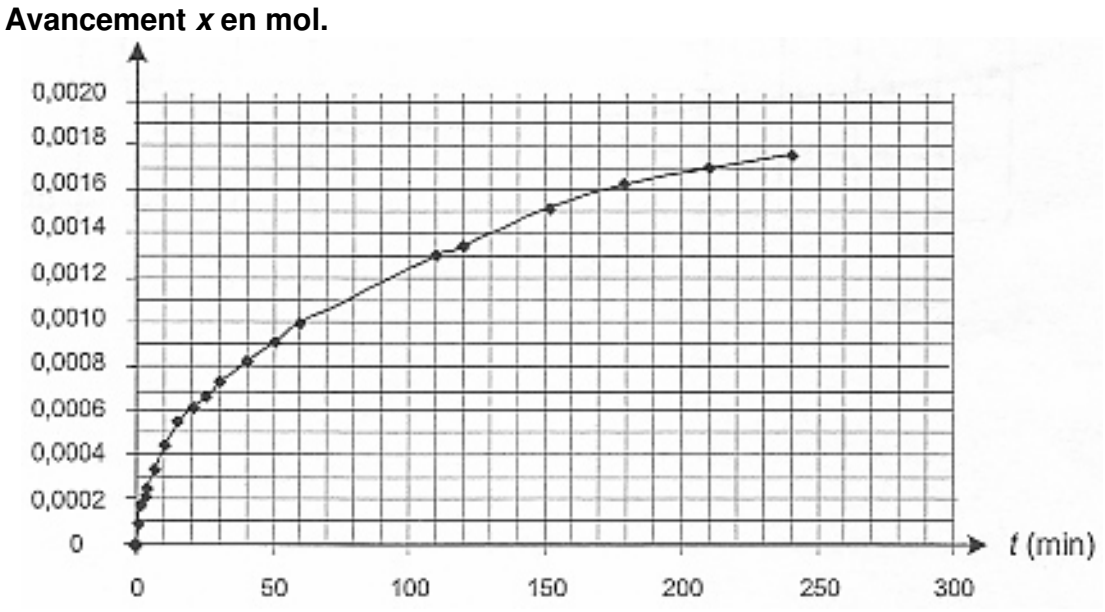
ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE À LA COPIE

2. Étude de la formation des ions ammonium.

Tableau d'évolution du système chimique

		$(NH_2)_2CO$ (aq) = NH_4^+ (aq) + OCN^- (aq)		
État	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)		
		$(NH_2)_2CO$ (aq)	NH_4^+ (aq)	OCN^- (aq)
État initial	$x = 0$			
État en cours d'évolution	x			
État final en supposant la transformation totale	x_{max}			

Figure 2 : Cinétique de la décomposition de l'urée.



09/2006 Métropole **Calculatrice interdite**

EXERCICE III. MICROSCOPE CLASSIQUE ET MICROSCOPE CONFOCAL (4 points)

Depuis une vingtaine d'années la microscopie confocale a connu un développement considérable. Ces microscopes équipent maintenant un grand nombre de laboratoires de biologie. Par rapport à la microscopie optique classique, la microscopie confocale permet de réaliser l'image d'un plan à l'intérieur d'un échantillon transparent (par exemple dans le cas d'une cellule biologique).
À partir d'une série d'images des différents plans de l'échantillon on peut reconstruire, en utilisant l'outil informatique, l'image tridimensionnelle de l'objet étudié.

La première partie de cet exercice concerne l'étude d'un microscope optique classique.
La seconde partie illustre le principe de fonctionnement d'un microscope confocal.
Dans tout l'exercice, les figures ne sont pas réalisées à l'échelle.

Les deux parties de cet exercice sont indépendantes.

1. Étude d'un microscope optique classique

*L'objet éclairé AB (par exemple une cellule musculaire) est positionné sur la platine porte-échantillon, solidaire du bâti du microscope (**figure 1** EN ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE À LA COPIE). L'objectif est modélisé par une lentille mince convergente (L_1) de centre optique O_1 et de distance focale $\overline{O_1F'_1}$ = f '$_1$ = 4,5 mm. L'oculaire est modélisé par une lentille mince convergente (L_2) de centre optique O_2 et de distance focale $\overline{O_2F'_2}$ = f '$_2$ supérieure à f '$_1$. La distance $\Delta = \overline{F'_1F_2}$ entre le foyer image de l'objectif et le foyer objet de l'oculaire, appelée intervalle optique, est imposée par le constructeur et est égale à 180 mm.*

1.1. Position de l'image intermédiaire A_1B_1

1.1.1 Construire sur la **figure 1 EN ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE À LA COPIE** l'image intermédiaire A_1B_1 de l'objet AB.
1.1.2 Rappeler la formule de conjugaison des lentilles minces (relation de Descartes) qui permettrait de calculer la position de l'image A_1B_1.

1.2. Observation de l'objet à travers le microscope

1.2.1. Quelle est le rôle joué par l'image intermédiaire A_1B_1 pour l'oculaire (L_2) ?
1.2.2. *Le biologiste désire observer la cellule sans fatigue, c'est à dire sans accommoder. Dans ce cas l'image définitive A'B' donnée par le microscope doit se situer à l'infini.*
Où doit se former l'image intermédiaire A_1B_1 pour répondre à cette condition ?
1.2.3. Sur la **figure 1 EN ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE À LA COPIE**, placer dans ce cas les foyers de la lentille (L_2).

1.3. Calcul du grandissement

1.3.1. Rappeler la formule définissant le grandissement pour la lentille mince (L_1) dans le cas étudié.
1.3.2. En s'aidant de la **figure 1**, montrer que le grandissement γ_1 de l'objectif peut s'écrire $\gamma_1 = \frac{-\Delta}{f'_1}$.
1.3.3. Calculer la valeur algébrique du grandissement γ_1 . Que peut-on dire de l'inscription " $\times$ 40" inscrite sur la monture de l'objectif ?

2. Étude du microscope confocal

De nos jours on préfère souvent l'acquisition d'images numériques à la visualisation directe de l'image. Pour cela on peut utiliser un capteur d'image appelé "capteur CCD".
Le microscope classique est alors modifié de la façon suivante : on supprime l'oculaire (L_2) et on positionne le capteur CCD dans le plan de l'image intermédiaire donnée par l'objectif (L_1), en le centrant sur l'axe optique. Par extension ce système imageur continuera à être appelé microscope.
Pour réaliser un "microscope confocal", on introduit également un diaphragme de petite taille (par exemple 50 µm), lui aussi centré sur l'axe optique, dans le plan du capteur : de cette façon l'ensemble (capteur CCD + diaphragme) permet de réaliser un détecteur quasi ponctuel.

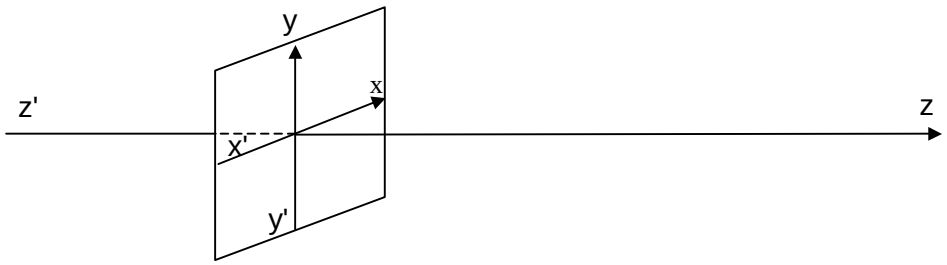
2.1. *Sur la **figure 2 EN ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE À LA COPIE**, on a construit le faisceau lumineux issu du point objet A limité par les bords de la lentille.*

2.1.1 On s'intéresse d'abord au point B de la cellule biologique n'appartenant pas à l'axe optique. Sur la **figure 2 EN ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE À LA COPIE**, construire l'image B_1 du point B ainsi que le faisceau lumineux issu de B passant par les bords de la lentille. Hachurer ce faisceau.

2.1.2 On s'intéresse ensuite au point D de la cellule biologique. Sur la **figure 3 EN ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE À LA COPIE**, construire l'image D_1 du point D et le faisceau lumineux issu du point D limité par les bords de la lentille. Hachurer ce faisceau.

2.1.3 En utilisant **les figures 2 et 3** complétées précédemment **DE L'ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE À LA COPIE**, montrer que la plus grande partie de la lumière détectée par le capteur est émise par le point A et non par les point B et D.

2.2. *Le système (capteur CCD + diaphragme) étant fixe et centré sur l'axe optique, il est nécessaire de déplacer l'objet pour former successivement toutes les images des points situés entre A et B. Pour cela on utilise une platine porte-échantillon motorisée. Cette platine permet un déplacement dans les trois directions x'x, y'y et z'z (voir figure ci-dessous). On construit alors point par point l'image d'un plan de l'échantillon. Pour cette raison, on appelle cette technique "microscopie à balayage". Par opposition à la microscopie classique, elle nécessite donc un temps d'acquisition correspondant au déplacement point par point de l'échantillon.*



Selon quel axe et dans quel sens faut-il déplacer l'échantillon et où faut-il placer l'objet AB de façon à pouvoir détecter l'image du point B ? Positionner alors l'objet AB sur la **figure 4 EN ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE À LA COPIE**; tracer le faisceau issu de B et limité par les bords de la lentille.

2.3. En utilisant le même système d'axes, indiquer comment il faut déplacer l'échantillon pour acquérir l'image du point D de la cellule biologique ?

La microscopie confocale permet ainsi d'acquérir une série d'images des plans en profondeur dans un échantillon transparent et par suite, d'obtenir, grâce à un traitement informatique, des informations sur la structure spatiale de l'échantillon.

ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE À LA COPIE

Attention : les schémas ne sont pas à l'échelle et la figure 2. n'est pas à la même échelle horizontale que la figure 1.

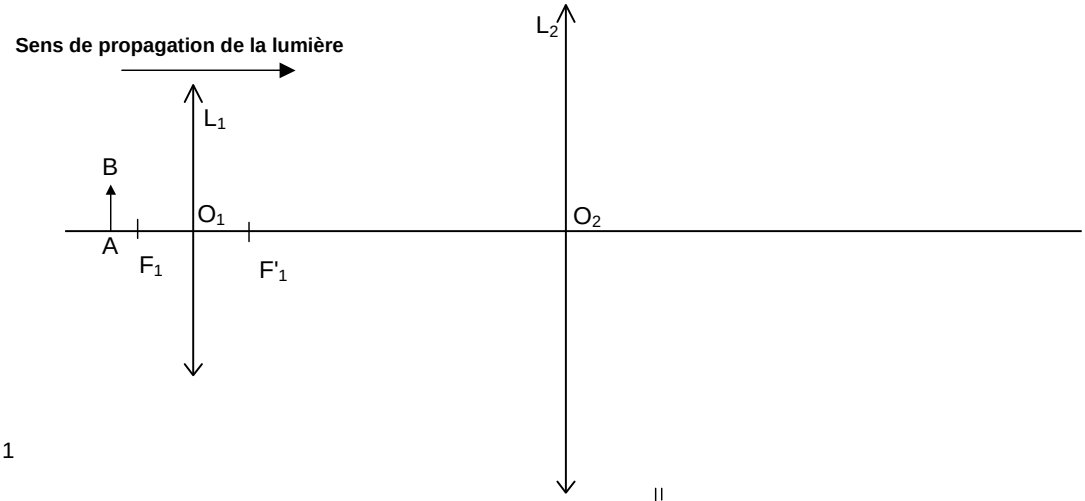


Figure 1

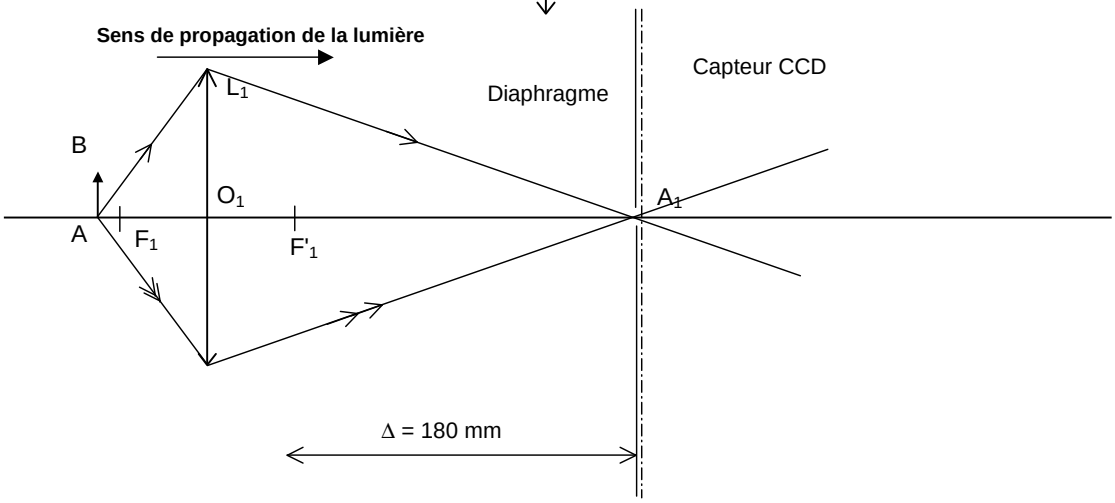


Figure 2

Δ = 180 mm

ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE À LA COPIE

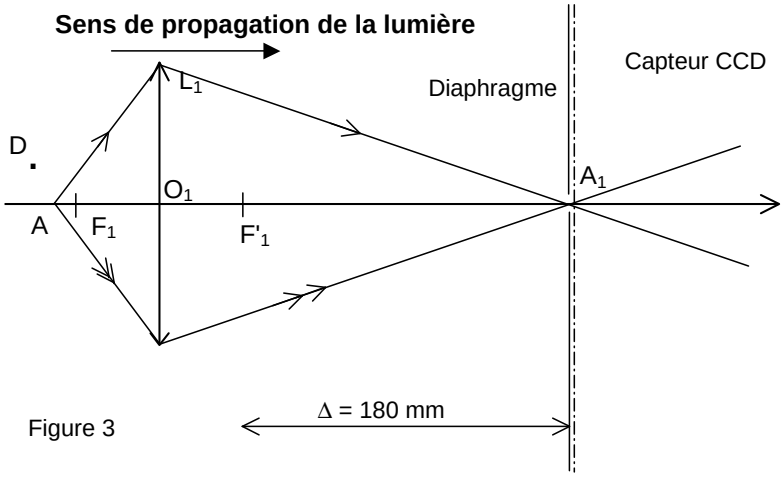


Figure 3

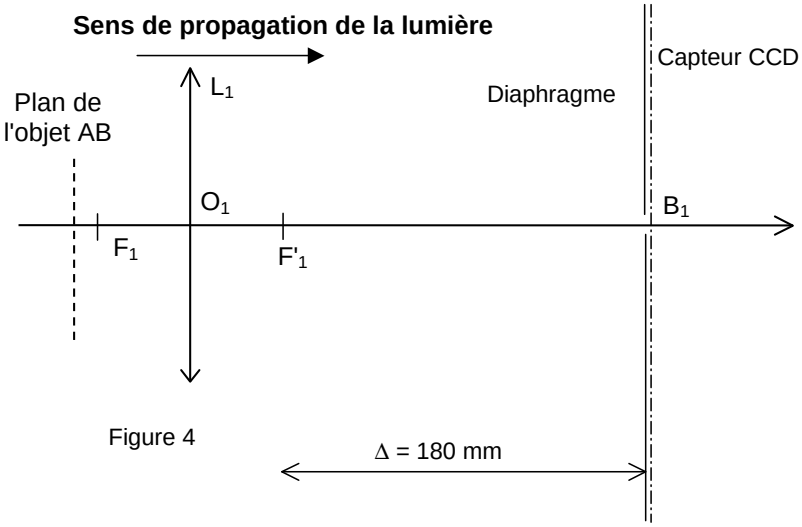


Figure 4

09/2006 Métropole **Calculatrice interdite**

EXERCICE III. NUCLÉOSYNTHÈSE DES ÉLÉMENTS CHIMIQUES (4 points)

Le but de cet exercice est d'étudier les réactions nucléaires qui se produisent dans l'univers, notamment dans les étoiles, et qui engendrent la synthèse des éléments chimiques.

Données: *masse d'un noyau d'hydrogène ou d'un proton: $m_p = 1{,}67 \times 10^{-27}$ kg*
masse d'un positron (ou positon) : m_e
célérité de la lumière dans le vide : $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m.s^{-1}
constante radioactive du "béryllium 8", $\lambda \approx 1 \times 10^{16}$ s^{-1}
1 eV = 1,60 $\times 10^{-19}$ J
constante de Planck : h= 6,63 $\times 10^{-34}$ J.s

Certaines aides au calcul peuvent comporter des résultats ne correspondant pas au calcul à effectuer.

1. Les premiers éléments présents dans l'univers

Selon le modèle du big-bang, quelques secondes après l'explosion originelle, les seuls éléments chimiques présents étaient l'hydrogène (90%), l'hélium et le lithium, ce dernier en quantité très faible. Les physiciens ont cherché à comprendre d'où provenaient les autres éléments existant dans l'univers.

1.1. Déterminer la composition des noyaux des atomes d'hélium $^{4}_{2}\mathrm{He}$ et $^{3}_{2}\mathrm{He}$ ainsi que celle de l'ion hélium $^{4}_{2}\mathrm{He}^{2+}$.

1.2. *La synthèse des éléments chimiques plus lourds se fait par des réactions nucléaires.*
Pourquoi cette synthèse ne peut-elle pas se faire par des réactions chimiques ?

2. Fusion de l'hydrogène

Sous l'action de la force gravitationnelle les premiers éléments (hydrogène, hélium…) se rassemblent, formant des nuages gazeux en certains endroits de l'univers. Puis le nuage s'effondre sur lui-même et la température centrale atteint environ 10^{7} K. À cette température démarre la première réaction de fusion de l'hydrogène dont le bilan peut s'écrire: $4\,^{1}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + 2\,{}^{0}_{1}\mathrm{e}$. Une étoile est née.

2.1. En notant m_{He} la masse d'un noyau d' "hélium 4", écrire l'expression littérale de l'énergie $|\Delta E|$ libérée lors de cette réaction de fusion des 4 noyaux d'hydrogène.
L'application numérique donne une valeur voisine de $|\Delta E| \approx 4 \times 10^{-12}$ J

2.2. Cas du Soleil

2.2.1. *À sa naissance on peut estimer que le Soleil avait une masse d'environ $M_S = 2 \times 10^{30}$ kg. Seul un dixième de cette masse est constituée d'hydrogène suffisamment chaud pour être le siège de réactions de fusion. On considère que l'essentiel de l'énergie produite vient de la réaction de fusion précédente.*
Montrer que l'énergie totale E_T pouvant être produite par ces réactions de fusion est voisine de $E_T \approx 10^{44}$ J.

2.2.2. *Des physiciens ont mesuré la quantité d'énergie reçue par la Terre et en ont déduit l'énergie E_S libérée par le Soleil en une année: $E_S \approx 10^{34}$ J.an^{-1} .*
En déduire la durée Δt nécessaire pour que le Soleil consomme toutes ses réserves d'hydrogène.

3. Un produit de la fusion de l'hélium

D'autres réactions de nucléosynthèse peuvent se produire au cœur d'une étoile. Selon les modèles élaborés par les physiciens, l'accumulation par gravitation des noyaux d'hélium formés entraîne une contraction du cœur de l'étoile et une élévation de sa température. Lorsqu'elle atteint environ 10^8 K, la fusion de l'hélium commence : ${}^4_2He + {}^4_2He \rightarrow {}^8_4Be$. Il se forme ainsi des noyaux de "béryllium 8" radioactifs de très courte durée de vie.

On s'intéresse à la radioactivité du "béryllium 8". Soit N(t) le nombre de noyaux de "béryllium 8" présents dans l'échantillon à l'instant de date t, et N_0 celui à l'instant de date $t_0 = 0$ s.

3.1. En utilisant la loi de décroissance radioactive, démontrer la relation entre la demi-vie $t_{1/2}$ et la constante radioactive λ : $t_{1/2} = \dfrac{\ln 2}{\lambda}$.

3.2. Calculer le temps de demi-vie $t_{1/2}$ *du "béryllium 8".*

Aide au calcul : $ln2 \approx 0,7$

3.3. En déduire le rapport $\dfrac{N(t_1)}{N_0}$ à l'instant de date $t_1 = 1,4 \times 10^{-16}$ s

4. Vers des éléments plus lourds

Dans les étoiles de masse au moins 4 fois supérieure à celle du Soleil, d'autres éléments plus lourds peuvent ensuite être formés par fusion, par exemple le carbone ${}^{12}C$, l'oxygène ${}^{16}O$, le magnésium ${}^{24}Mg$, le soufre ${}^{32}S$ (…) et le fer ${}^{56}Fe$.

4.1. Donner l'expression littérale de l'énergie de liaison par nucléon $\dfrac{E_\ell}{A}$ d'un noyau de fer ${}^{56}_{26}Fe$, en fonction des masses du neutron m_n, du proton m_p, du noyau de "fer 56" m_{Fe} et de la célérité de la lumière dans le vide c.

4.2. Indiquer sur la courbe d'Aston représentée, **EN ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE À LA COPIE**, le point correspondant à la position du noyau de "fer 56".

4.3. En s'aidant de la courbe précédente, dire où se situent les noyaux capables de libérer de l'énergie lors d'une réaction de fusion.

5. L'élément fer

Dans certaines étoiles, à la fin de la période des fusions, une explosion se produit libérant de l'énergie. Des noyaux de fer ${}^{56}_{26}Fe$ sont dissociés et d'autres sont recréés par désintégration radioactive des noyaux de cobalt ${}^{56}_{27}Co$. Les noyaux de fer, formés dans un état excité, émettent alors des rayonnements d'énergie bien déterminée, tels que le satellite SMM a pu en détecter en 1987 en observant une supernova dans le nuage de Magellan.

5.1. *Lors de la désintégration radioactive du noyau de cobalt ${}^{56}_{27}Co$ il se forme, en plus du fer ${}^{56}_{26}Fe$, une autre particule.*
Écrire l'équation de cette désintégration et nommer la particule formée.

5.2. *L'un des rayonnements détectés a une énergie de 1238 keV.*

5.2.1. Quelle est l'origine de ce rayonnement émis par le fer ?

5.2.2. *Ce rayonnement a une énergie bien déterminée.*

Que peut-on en déduire concernant les niveaux d'énergie du noyau de fer ?

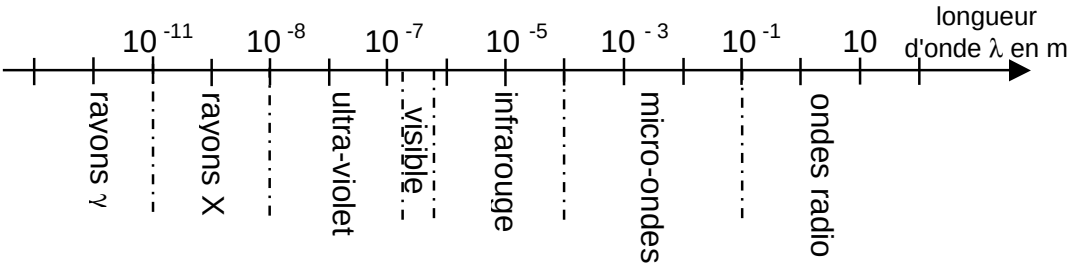
5.2.3. Ce rayonnement est-il un rayonnement X ou γ ?Justifier.

On pourra s'aider de la gamme de longueur d'onde donnée sur la ***figure 1****.*

Aide au calcul :

$$\frac{6,63}{3,00\times1,238}=1,8 \qquad \frac{6,63\times1,238}{3,00}=2,7 \qquad \frac{3,00\times6,63}{1,238}=16$$

Figure 1: Gamme de longueurs d'onde

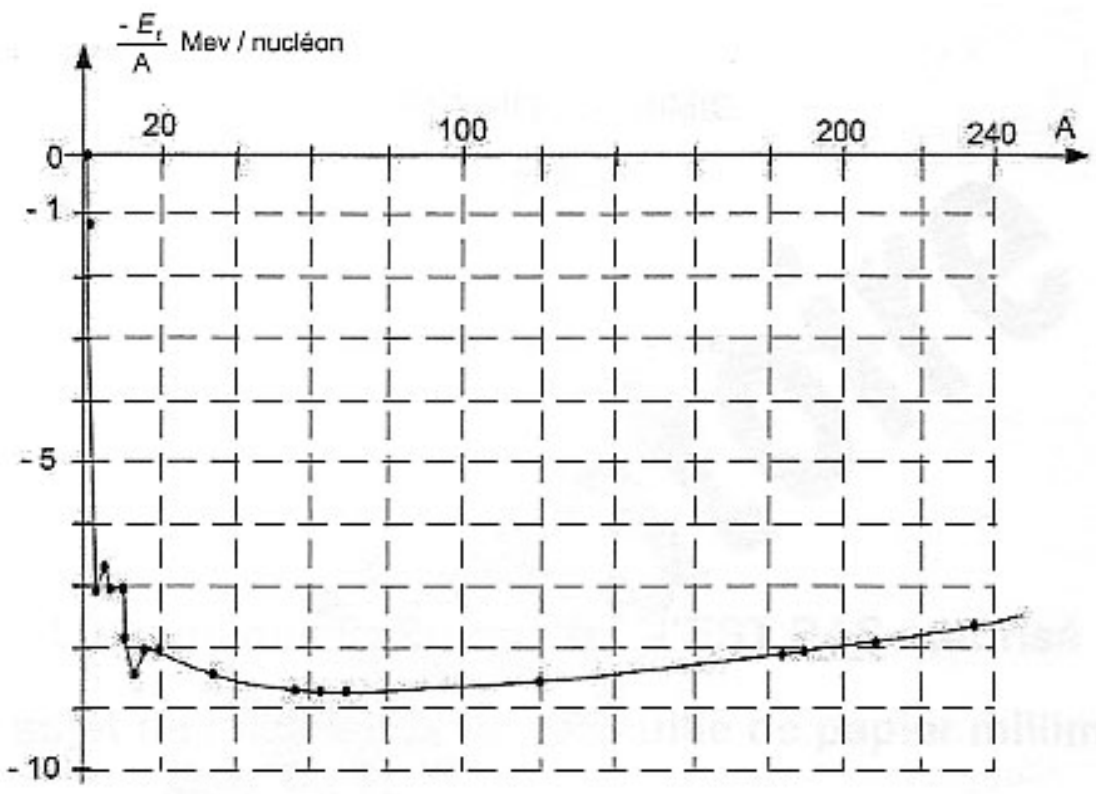


Remarque: L'énergie libérée lors de l'explosion de l'étoile permet de former les éléments de nombre de masse supérieure à 56.

ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE À LA COPIE

4. Vers des éléments plus lourds

Courbe d'Aston :



09/2006 Métropole EXERCICE II. LA VIE D'UNE BULLE (5,5 points) Calculatrice interdite

On se propose dans cet exercice de faire une plongée au cœur de l'effervescence d'une boisson gazeuse, d'illustrer et d'interpréter sous l'angle de la physico-chimie les différentes étapes de la vie éphémère d'une bulle, à savoir : sa naissance, son ascension dans le liquide, et son éclatement en surface.
Dans tout l'exercice les bulles seront assimilées à des sphères, et la boisson à un liquide de masse volumique égale à celle de l'eau. Le référentiel d'étude est terrestre considéré comme galiléen.

Données:
Masses volumiques : eau $\rho_e = 1{,}0\times10^{3}$ kg.m^{-3}; dioxyde de carbone $\rho_{dc} = 1{,}8$ kg.m^{-3}
Intensité de la pesanteur: g = 10 m.s^{-2}.

1. Naissance et décollement d'une bulle

Dans une bouteille fermée de boisson gazeuse, un équilibre s'établit entre le dioxyde de carbone qui est dissous dans la boisson et le dioxyde de carbone gazeux piégé dans le col de la bouteille. Lors de l'ouverture de celle-ci, l'équilibre est rompu et la boisson ***se débarrasse d'une partie du dioxyde de carbone dissous qui retourne progressivement en phase gazeuse. Il y a formation de bulles qui vont s'enrichir continûment en gaz au cours de leur remontée.***
Dans un verre, les bulles naissent sur des sites de nucléation qui sont des embryons de bulles présents en solution ou de petites poches d'air piégées par des impuretés microscopiques (fibres de cellulose, microcristaux …). ***La figure 1*** *illustre cette formation de bulles sur un site de nucléation.*
Dès que la valeur de la poussée d'Archimède $\vec{F}_A$ à laquelle la bulle est soumise dépasse la valeur de la force capillaire qui l'ancre à son site de nucléation, la bulle se détache. Puis une autre bulle naît et subit le même sort.

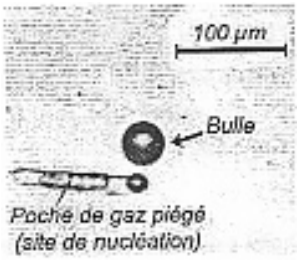


Figure 1

Pour une bulle qui vient de se détacher du site de nucléation dans un liquide de masse volumique ρ_e :

1.1. Donner la direction et le sens de la poussée d'Archimède $\vec{F}_A$ qui s'exerce sur une bulle de volume V_0 dans la boisson.

1.2. Donner l'expression littérale de sa valeur en fonction du volume V_0 de la bulle.

2. Ascension d'une bulle : à la recherche d'une modélisation satisfaisante

*À l'instant de date t_0 = 0 s, une bulle de rayon r_0 = 20 µm, située au point A à la profondeur z_0 = 0 m dans le repère (O ; $\vec{k}$) (****figure 2****) se détache de son site de nucléation avec une vitesse initiale v_0 nulle dans le référentiel terrestre supposé galiléen. Elle remonte* ***verticalement*** *vers la surface S du liquide, qu'elle atteint avec une vitesse v_S d'environ 15 cm.s^{-1}.*

Dans un premier temps (pour les questions 2.1. et 2.2.), on assimile la bulle de gaz à une sphère dont le volume ne varie pas lors de sa remontée.

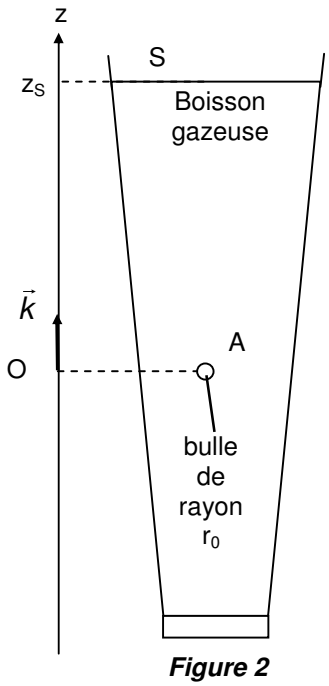


Figure 2

2.1. Étude du mouvement d'une bulle en l'absence de force de frottement

2.1.1. Montrer que le poids $\vec{P}_0$ de la bulle a une valeur négligeable devant celle de la poussée d'Archimède $\vec{F}_A$ en calculant le rapport: $\frac{P_0}{F_A}$.

2.1.2. En utilisant la deuxième loi de Newton, établir l'expression de la coordonnée a_z du vecteur accélération de la bulle en fonction des masses volumiques ρ_e et ρ_{dc} et de g.

2.1.3. En déduire l'expression de la valeur de la vitesse de la bulle en fonction du temps.

2.1.4. Montrer que la durée t_s théoriquement nécessaire pour que la bulle atteigne la surface avec la vitesse v_s est alors d'environ trente microsecondes.

2.1.5. Cette valeur correspond-elle aux observations de la vie quotidienne ? Conclure quant à la validité du modèle proposé.

2.2. Étude du mouvement de la bulle en présence d'une force de frottement

Le liquide exerce sur la bulle une force de frottement, proportionnelle à sa vitesse, qui peut s'écrire vectoriellement $\vec{f} = -k.\vec{v}$ *, k est un coefficient qui dépend du rayon de la bulle et de la viscosité du fluide dans lequel elle se déplace.*

2.2.1. Représenter schématiquement, sans souci d'échelle, les forces non négligeables qui s'exercent sur la bulle en mouvement après son décollement du site de nucléation.

2.2.2. En appliquant la deuxième loi de Newton, montrer que l'équation différentielle qui régit l'évolution de la vitesse de la bulle s'écrit alors:

$$\frac{dv}{dt} + \frac{kv}{\rho_{dc} V_0} = \frac{\rho_e}{\rho_{dc}} g$$

2.2.3. En déduire l'expression littérale de la vitesse limite v_{lim} atteinte par la bulle.

2.2.4. *L'application numérique donne* v_{lim} *voisin de 1 mm.s*$^{-1}$. Compte tenu de cette valeur, conclure quant à la validité du modèle proposé.

2.3. Un autre paramètre à prendre en compte

*Les modélisations précédentes ne décrivent pas de manière satisfaisante le mouvement de la bulle dans la boisson gazeuse. En particulier, les expériences réalisées dans du champagne montrent que la variation du volume de la bulle ne peut pas être négligée (**figure 3**).*
On se propose d'en trouver l'origine.
On suppose que la quantité de matière n_0 *de gaz présent dans la bulle et la température restent constantes. Dans ce cas, lors d'une remontée de 12 cm du point A à la surface S, la diminution de pression du gaz ne ferait augmenter son volume initial que de 2 %.*
Dans la réalité, l'augmentation du volume est un million de fois supérieure ! Un des deux paramètres supposés constants dans le texte précédent ne l'est donc pas.

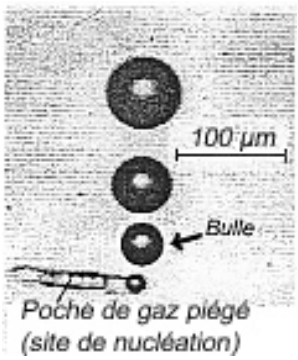


Figure 3

2.3.1. En s'aidant d'une phrase du texte introductif à la partie 1 de cet exercice, expliquer pourquoi le volume de la bulle augmente si fortement lors de sa remontée.

2.3.2. *Durant l'ascension le poids de la bulle est toujours négligeable devant la poussée d'Archimède.*
Sachant que le coefficient *k* défini à la question 2.2. augmente avec le rayon de la bulle, préciser qualitativement l'influence de la variation du volume de la bulle sur chacune des forces qui s'exercent sur elle au cours de la remontée.

Des laboratoires spécialisés ont élaboré des modèles plus satisfaisants tenant compte de paramètres négligés précédemment.

3.L'éclatement des bulles en surface

La bulle a maintenant gagné la surface et le film liquide qui constitue la partie émergée de la bulle s'amincit (figure 4.a) jusqu'à se rompre lorsque son épaisseur avoisine le micromètre. Le trou qui apparaît s'ouvre (figure 4.b) et la durée de disparition de la calotte sphérique n'est que de quelques dizaines de microsecondes ! Le cratère qui reste à la surface du liquide ne va pas durer (figure 4.c).
De violents courants apparaissent et, en se refermant, cette cavité projette vers le haut un mince jet de liquide (figure 4.d). Le jet se brise ensuite en fines gouttelettes (figure 4.e) qui en retombant dans le liquide engendrent des ondes circulaires centrées sur la "bulle-mère" (figure 4.f).
*Ces observations nécessitent l'utilisation d'une caméra ultra-rapide capable de filmer jusqu'à 2000 images par seconde avec une résolution proche du micromètre (**figure 5**).*

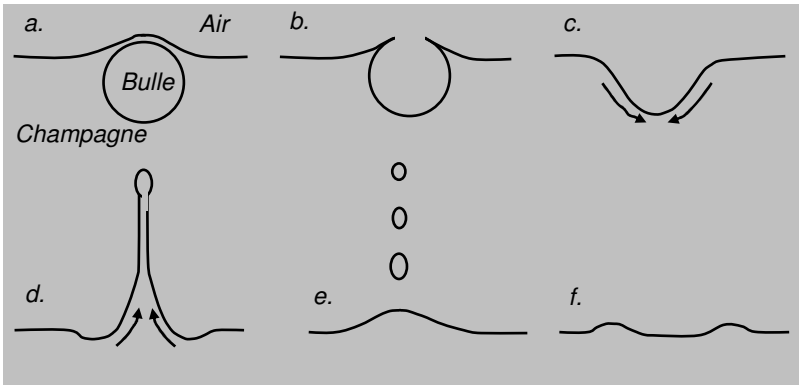


Figure 4

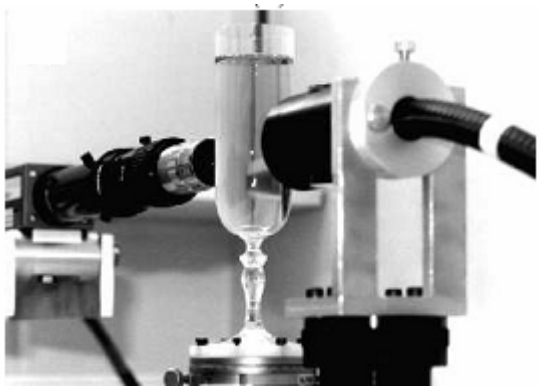


Figure 5

3.1. Malgré l'utilisation de la caméra ultra-rapide, pourquoi ne peut-on pas obtenir d'images du film liquide en train de se rompre ?

3.2. L'onde circulaire créée est-elle longitudinale ou transversale ?Justifier.

Bien qu'éphémère, la vie d'une bulle n'en est pas moins riche en événements !