

Terminale S

BAC BLANC - Janvier 2012

Epreuve de Sciences physiques

OBLIGATOIRE

Durée : 3 h 30 Coefficient : 6

La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront pour une part importante dans l'appréciation des copies.

L'usage des calculatrices n'est pas autorisé

Le sujet comporte pages 10 pages.

On utilisera une feuille différente pour chaque exercice.

Le sujet comporte trois exercices indépendants :

EXERCICE I. COMME UN POISSON DANS L'EAU (6,5 points)

EXERCICE II. L'AMERICIUM 241 ET QUELQUES UTILISATIONS INDUSTRIELLES (5,5 points)

EXERCICE III. ONDES ULTRASONORES ET DEUX APPLICATIONS (4 points)

EXERCICE I. COMME UN POISSON DANS L'EAU (6,5 points)

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 Tétràs), 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 ($\text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^- (\text{aq})$) 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 $V_A = 20,0 \text{ mL}$ de la solution diluée S_A à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium S_B ($\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq})$) de concentration molaire en soluté apporté $c_B = 4,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$. 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.

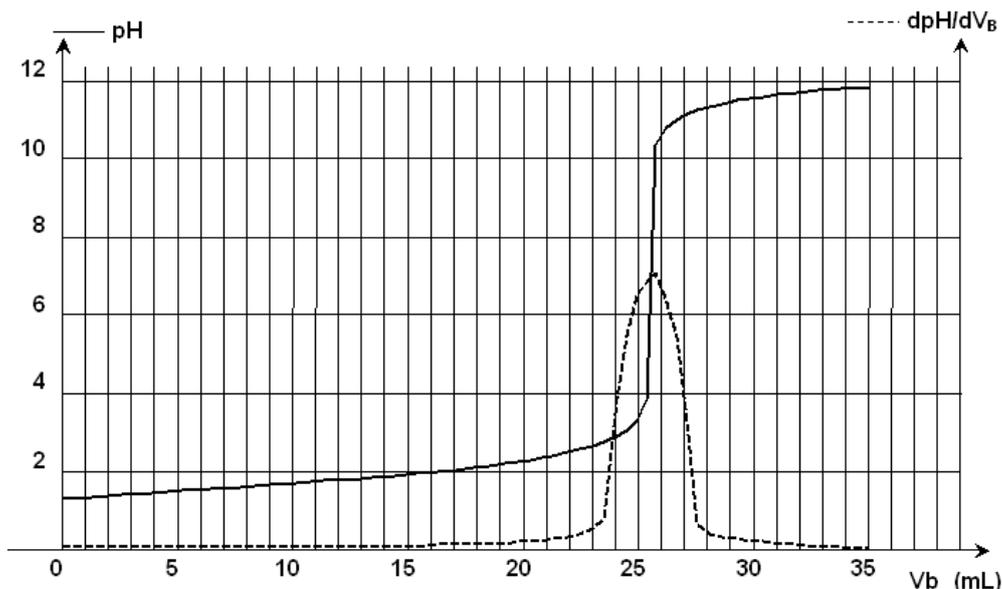


Figure 1 : Titrage de la solution commerciale diluée par la soude

Aide au calcul :

$$\lg 8 \approx 0,9$$

$$\lg 5 \approx 0,7$$

$$10^{6,4} = 2,5 \times 10^6$$

$$10^{-6,4} \approx 4,0 \times 10^{-7}$$

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

1.2. Équivalence

1.2.1. Définir l'équivalence.

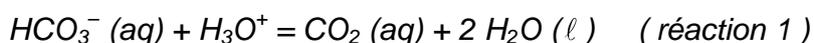
1.2.2. En déduire la valeur de la concentration des ions oxonium dans la solution diluée S_A .

1.2.3. Montrer que dans la solution commerciale, la concentration des ions oxonium $[H_3O^+]$ est voisine de $2,5 \text{ mol.L}^{-1}$. 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 :



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 : $K_A = 10^{-6,4}$

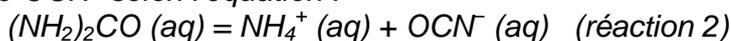
1.5. L'eau utilisée pour l'aquarium est très calcaire. Dans cette eau, les concentrations molaires initiales des espèces mises en jeu dans la réaction 1 sont telles que le quotient de réaction initial de cette réaction vaut : $Q_{r,i} = 5,0$.

1.5.1. On admettra que le système évolue spontanément dans le sens direct de l'équation (1). Le pH final sera-t-il supérieur, égal ou inférieur au pH calculé à la question 1.3. ?

1.5.2. 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 :



L'étude de la cinétique de cette réaction 2 peut être réalisée par conductimétrie. Pour cela on prépare un volume $V = 100,0 \text{ mL}$ d'une solution d'urée de concentration molaire en soluté apporté égale à $c = 0,020 \text{ mol.L}^{-1}$ et on suit sa décomposition en la maintenant dans un bain marie à $45 \text{ }^\circ\text{C}$. 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 :

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

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 : $v(t) = \frac{1}{V} \left(\frac{dx}{dt} \right)$ 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 : $[\text{NH}_4^+]_f = 2,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$.

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".

EXERCICE II. L'AMERICIUM 241 ET QUELQUES UTILISATIONS INDUSTRIELLES (5,5 pts)

Une des utilisations industrielles de l'américium 241 est la production de sources de neutrons dans les réacteurs nucléaires pour amorcer la réaction de fission.

D'autre part, certains détecteurs de fumée, équipant encore de nombreuses installations industrielles, malgré les difficultés de recyclage, utilisent aussi l'américium 241.

L'américium est un élément dont l'isotope 241 n'existe pas à l'état naturel. Il est produit dans les réacteurs nucléaires à partir du plutonium 241 (^{241}Pu) par désintégration β .

Dans cet exercice, nous étudierons ces deux utilisations : les sources de neutrons et les détecteurs de fumée.

Données:

- extraits de la classification périodique des éléments :

| | | | | | | |
|--------------------------|----------------------------|----------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
| ^3Li lithium | ^4Be béryllium | ^5B bore | ^6C carbone | ^7N azote | ^8O oxygène | ^9F fluor |
|--------------------------|----------------------------|----------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|

| | | | | | | |
|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| ^{92}U uranium | ^{93}Np neptunium | ^{94}Pu plutonium | ^{95}Am américium | ^{96}Cm curium | ^{97}Bk berkélium | ^{98}Cf californium |
|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------------|

- valeur du temps de demi-vie de l'américium 241 : $t_{1/2} = 433$ années ;
- masse molaire de l'américium 241 : $M(^{241}\text{Am}) = 241 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- constante d'Avogadro : $N_A = 6,0 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

1. Obtention de l'américium 241

1.1. Énoncer les règles de conservation qui permettent d'écrire l'équation d'une réaction nucléaire.

1.2. En vous aidant des données, écrire l'équation de la réaction de désintégration β donnant naissance à l'américium 241 à partir du plutonium 241.

2. Désintégration de l'américium 241

2.1. Lors de la désintégration d'un noyau d'américium 241, on obtient un noyau de neptunium 237 et une particule.

Écrire l'équation de cette réaction nucléaire en vous aidant des données. Comment nomme-t-on ce type de désintégration ?

2.2. Le noyau de neptunium est obtenu dans un état excité. Quelle est la nature du rayonnement alors émis ? Quelle est son origine ?

2.3. La loi de décroissance du nombre $N(t)$ de noyaux radioactifs d'un échantillon s'exprime par la relation: $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$.

2.3.1. Que représentent les grandeurs N_0 et λ ? Préciser l'unité de ces grandeurs dans le système international.

2.3.2. Citer les trois paramètres dont dépend le nombre de désintégrations dans un échantillon.

2.4. L'activité $A(t)$ d'un échantillon radioactif peut s'exprimer par la relation suivante $A(t) = \lambda \cdot N(t)$.

2.4.1. En déduire la loi de décroissance de l'activité $A(t)$.

2.4.2. Que représente une activité d'un becquerel ?

2.4.3. On prépare à partir d'un échantillon d'américium 241 deux sources secondaires : une première de masse m et une seconde de masse $2m$. Ont-elles la même activité ? Justifier.

2.5. La valeur du temps de demi-vie d'un échantillon d'américium 241 est d'environ 433 années.

2.5.1. Définir le temps de demi-vie radioactive $t_{1/2}$ d'un échantillon.

2.5.2. En déduire, en fonction de son activité présente notée A_0 , l'activité d'un échantillon de masse m d'américium 241 : 433 ans plus tard, 1299 ans plus tard.

3. Utilisations industrielles de l'américium 241

3.1. Source de neutrons

Le mélange béryllium - américium sert de source de neutrons pour amorcer des réactions de fission.

Le béryllium 9 réagit avec les particules α émises par l'américium 241 pour donner un noyau $^A_Z X$ et un neutron.

3.1.1. À l'aide du tableau dans les données, écrire l'équation de cette réaction et déterminer la nature du noyau A_ZX .

3.1.2. Les réacteurs nucléaires exploitent l'énergie dégagée par les nombreuses réactions de fission possibles comme par exemple : ${}_0^1n + {}_{92}^{235}\text{U} \rightarrow {}_{36}^{91}\text{Kr} + {}_{56}^{142}\text{Ba} + 3{}_0^1n$

a. En s'appuyant sur l'exemple, définir une réaction de fission nucléaire.

b. Expliquer pourquoi la source d'américium n'est utile qu'au démarrage de la réaction nucléaire.

3.2. Détecteur de fumée

Un détecteur de fumée est constitué d'une chambre de détection dans laquelle se trouvent deux électrodes sous tension et une source contenant quelques dixièmes de milligrammes d'américium (**figure 4**).

Le rayonnement α produit lors de la désintégration de l'américium ionise les molécules contenues dans l'air de la chambre de détection. Les ions et les électrons obtenus sont attirés par la plaque positive ou négative suivant le signe de leur charge. L'ampèremètre détecte un courant dans le circuit.

Quand de la fumée entre dans la chambre de détection, les ions et les électrons se fixent sur les particules contenues dans la fumée. La modification de la valeur de l'intensité du courant déclenche l'alarme.

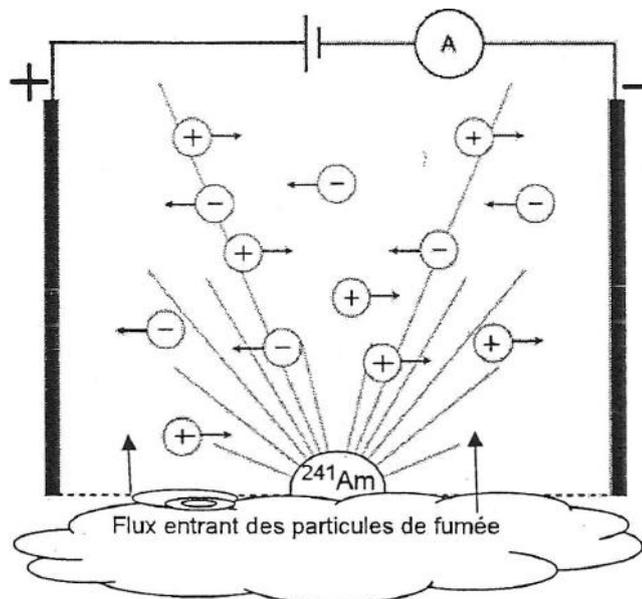


Figure 4. Vue en coupe du détecteur de fumée

Afin de déterminer la masse d'américium contenue dans un détecteur, on mesure l'activité de l'échantillon à un instant de date t_0 . On trouve $A_0 = 2,1 \times 10^7$ Bq.

3.2.1. En vous référant aux questions 2.3 et 2.5.1, montrer que la relation entre la constante de désintégration λ et le temps de demi-vie $t_{1/2}$ est : $\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$.

3.2.2. En utilisant la relation donnée en 2.4, calculer le nombre N_0 de noyaux présents au moment de la mesure. On donne $\ln 2 = 0,7$ et on considère que 433 années valent 10^{10} s.

3.2.3. En déduire la quantité de matière n_0 d'américium 241 ainsi que la masse m_0 de l'échantillon en grammes.

EXERCICE III. ONDES ULTRASONORES ET DEUX APPLICATIONS (4 points)

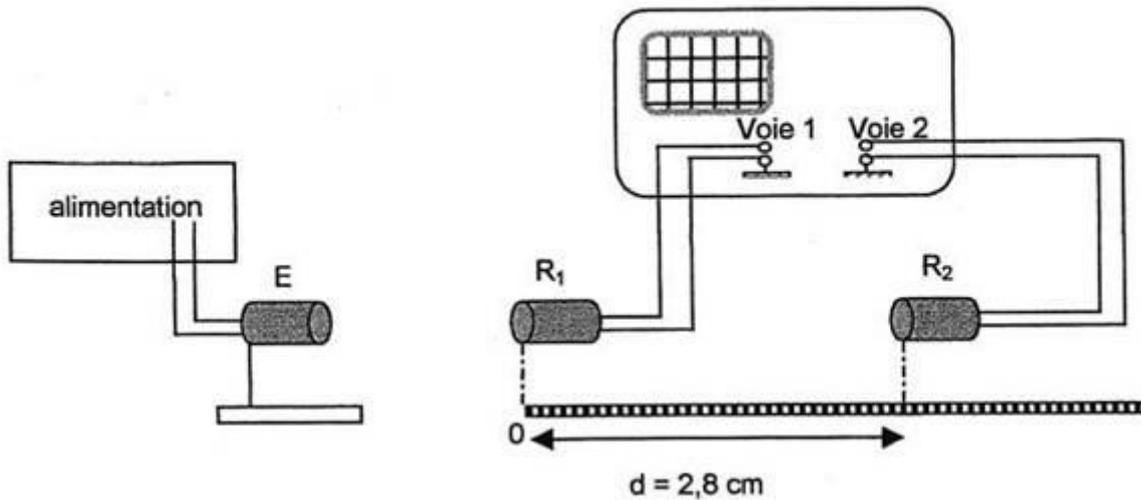
Cet exercice a pour objectifs de déterminer, dans la partie A, quelques grandeurs caractéristiques des ultrasons puis, dans la partie B, d'étudier deux applications des ultrasons : le nettoyage par cavitation acoustique et l'échogramme du cerveau.

Partie A

1. Au cours d'une séance de travaux pratiques, un élève dispose du matériel suivant :

- un émetteur d'ultrasons E et son alimentation électrique ;
- deux récepteurs d'ultrasons R_1 et R_2 ;
- un oscilloscope ;
- une règle graduée.

Il réalise le montage suivant :

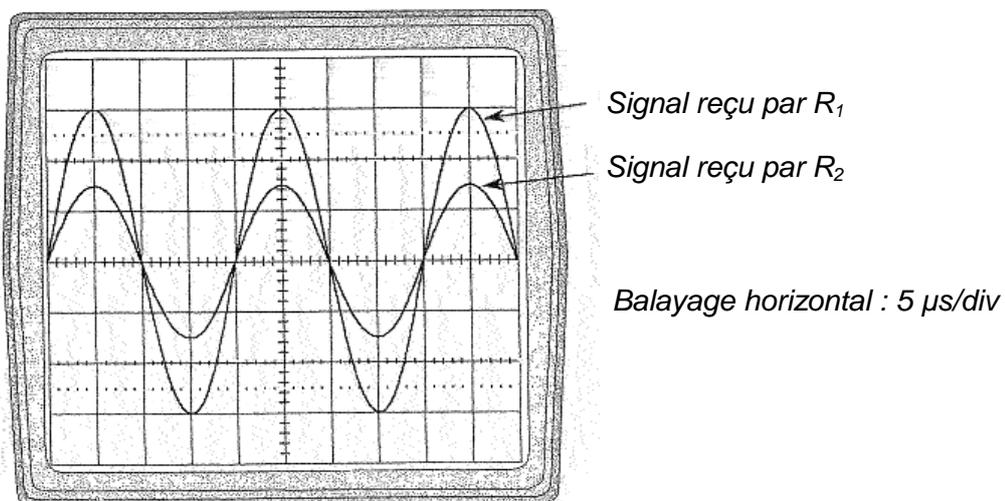


L'émetteur E génère une onde ultrasonore progressive sinusoïdale qui se propage dans l'air jusqu'aux récepteurs R_1 et R_2 . L'émetteur et les deux récepteurs sont alignés.

Le récepteur R_1 est placé au zéro de la règle graduée.

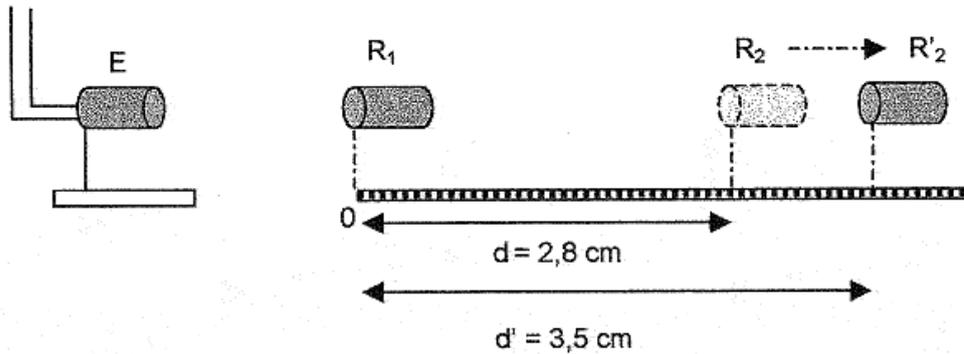
Les signaux captés par les récepteurs R_1 et R_2 sont appliqués respectivement sur les voies 1 et 2 d'un oscilloscope pour être visualisés sur l'écran de celui-ci.

Lorsque le récepteur R_2 est situé à $d = 2,8$ cm du récepteur R_1 , les signaux reçus par les deux récepteurs sont en phase. On observe l'oscillogramme ci-dessous sur l'écran.



1.1. Déterminer la fréquence f des ultrasons émis.

On éloigne lentement R_2 le long de la règle ; on constate que le signal reçu par R_2 se décale vers la droite ; on continue à éloigner R_2 jusqu'à ce que les signaux reçus par R_1 et R_2 soient à nouveau en phase. Soit R'_2 la nouvelle position occupée par R_2 . On relève la distance d' séparant désormais R_1 de R'_2 : on lit $d' = 3,5$ cm.



1.2. Définir en une phrase la longueur d'onde λ ; écrire la relation entre la longueur d'onde λ , la célérité v des ultrasons dans le milieu et la période T des ultrasons.

1.3. Exprimer en fonction de la période T des ultrasons le retard τ du signal reçu par R'_2 par rapport à celui reçu par R_2 .

En déduire la longueur d'onde.

1.4. Calculer la célérité des ultrasons dans l'air.

1.5. On immerge, en veillant à leur étanchéité, l'émetteur et les deux récepteurs R_1 et R_2 dans l'eau contenue dans une cuve de dimensions suffisantes. Sans changer la fréquence f de l'émetteur, on constate que pour observer deux signaux successifs captés par R_2 en phase, il faut éloigner R_2 de R_1 sur une distance 4 fois plus grande que dans l'air.

Déterminer la célérité des ultrasons dans l'eau.

Partie B

2. Le nettoyage par cavitation acoustique.

Le nettoyage par ultrasons est mis en œuvre dans de très nombreux secteurs d'activités : industrie mécanique, horlogerie, bijouterie, optique ... Il repose sur le phénomène de cavitation acoustique la cavitation est produite en émettant des ultrasons de forte puissance dans un liquide.

L'émetteur est un disque constitué d'un matériau piézoélectrique sur les faces duquel sont déposées deux électrodes métallisées. Lorsqu'une tension électrique sinusoïdale est appliquée entre ces deux électrodes, le matériau se dilate et se contracte périodiquement. Ces déplacements périodiques du disque provoquent des successions de dépressions - surpressions du liquide qui est en son contact. Cette perturbation se propage ensuite de proche en proche dans l'ensemble du fluide : c'est l'onde ultrasonore.



Lors du passage de l'onde dans une « tranche » de liquide, le phénomène de cavitation se produit si la puissance de l'onde est suffisante : des microbulles de vapeur dont le diamètre peut atteindre $100 \mu\text{m}$ apparaissent. Les microbulles de vapeur sont transitoires. Elles implosent en moins d'une microseconde. Les ondes de choc émises par l'implosion nettoient la surface d'un solide plongé dans le liquide.

2.1. L'onde ultrasonore est une onde mécanique progressive.

Définir une telle onde.

2.2. S'agit-il d'une onde longitudinale ou transversale ?

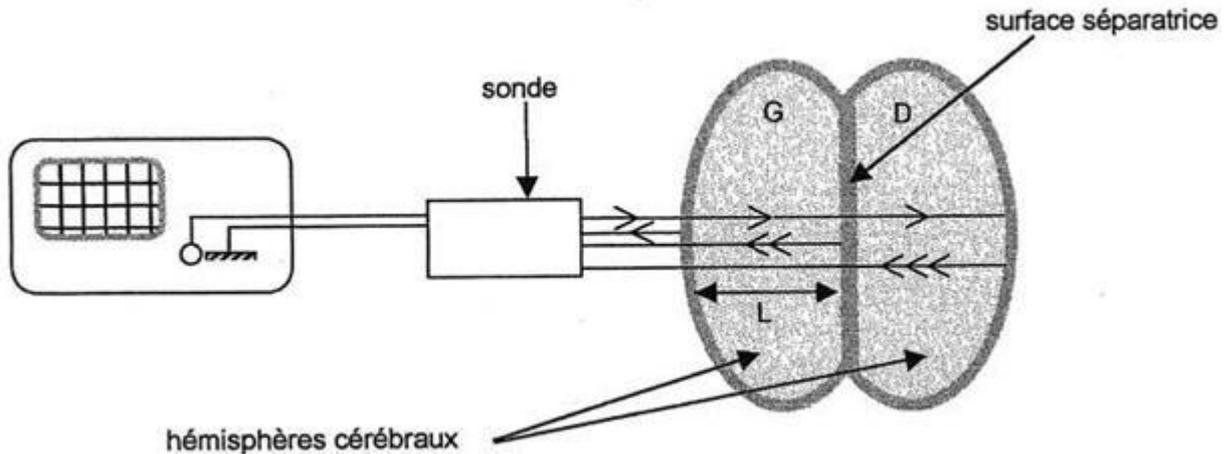
2.3. Interpréter brièvement la formation suivie de l'implosion des microbulles dans une tranche de liquide.

Données :

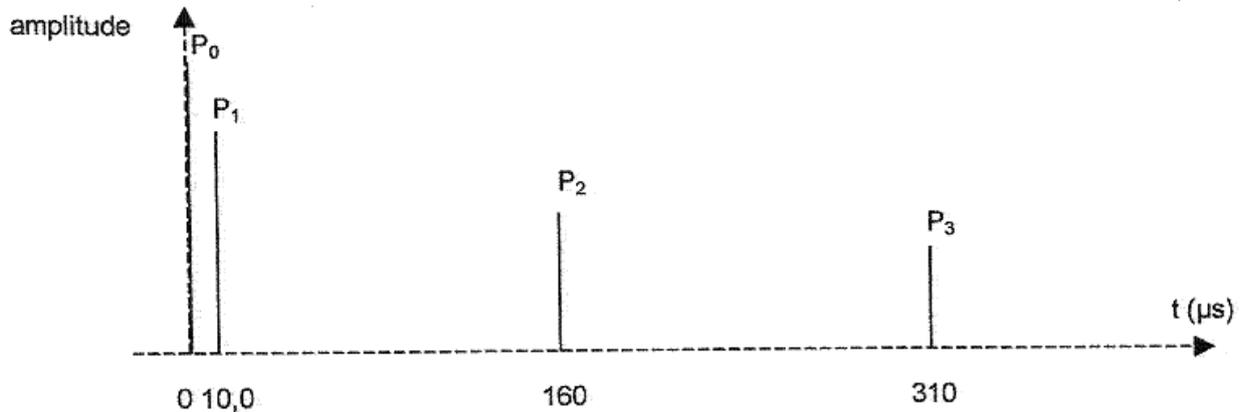
- la température d'ébullition d'un liquide diminue quand la pression diminue.
- définition d'une implosion : écrasement brutal d'un corps creux sous l'effet d'une pression extérieure supérieure à la pression intérieure.

3. L'échogramme du cerveau.

Une sonde, jouant le rôle d'émetteur et de récepteur, envoie une impulsion ultrasonore de faible durée et de faible puissance en direction du crâne d'un patient. L'onde sonore pénètre dans le crâne, s'y propage et s'y réfléchit chaque fois qu'elle change de milieu. Les signaux réfléchis génèrent des échos qui, au retour sur la sonde, y engendrent une tension électrique très brève. Un oscilloscope relié à la sonde permet la détection à la fois de l'impulsion émettrice et des divers échos.



L'oscillogramme obtenu sur un patient permet de tracer l'échogramme ci-dessous : les tensions électriques étant redressées, seule la partie positive de celles-ci est envoyée sur l'oscilloscope ; la durée d'émission de l'impulsion étant très brève ainsi que celle des échos, on observe sur l'écran des pics verticaux : P_0 , P_1 , P_2 , P_3 .



P_0 correspond à l'émission à l'instant de date $t = 0$ s de l'impulsion ; P_1 à l'écho dû à la réflexion sur la surface externe de l'hémisphère gauche (G sur le schéma) ; P_2 à l'écho sur la surface de séparation des deux hémisphères ; P_3 à l'écho sur la surface interne de l'hémisphère droit (D sur le schéma).

La célérité des ultrasons dans les hémisphères est $v = 1500 \text{ m.s}^{-1}$.

3.1. Quelle est la durée Δt du parcours de l'onde ultrasonore dans l'hémisphère gauche ainsi que dans le droit ?

3.2. En déduire la largeur L de chaque hémisphère.

Aide au calcul : $15 \times 15 = 225$

ANNEXE RELATIVE A L'EXERCICE 1 À RENDRE AGRAFÉE À LA COPIE

2. Étude de la formation des ions ammonium.

Tableau d'évolution du système chimique

| État | Avancement (mol) | $(\text{NH}_2)_2\text{CO} (\text{aq}) = \text{NH}_4^+ (\text{aq}) + \text{OCN}^- (\text{aq})$ | | |
|--|------------------|---|-----------------------------|----------------------------|
| | | Quantités de matière (mol) | | |
| | | $(\text{NH}_2)_2\text{CO} (\text{aq})$ | $\text{NH}_4^+ (\text{aq})$ | $\text{OCN}^- (\text{aq})$ |
| 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.

Avancement x en mol.

