

Durée 3 h 30 min. Calculatrice autorisée.

ELEVES NON SPECIALISTES
EXERCICES 1 et 2 sur la même copie. EXERCICE n°3 à part.

Exercice n°1 : Ondes ultrasonores et applications (7 points)

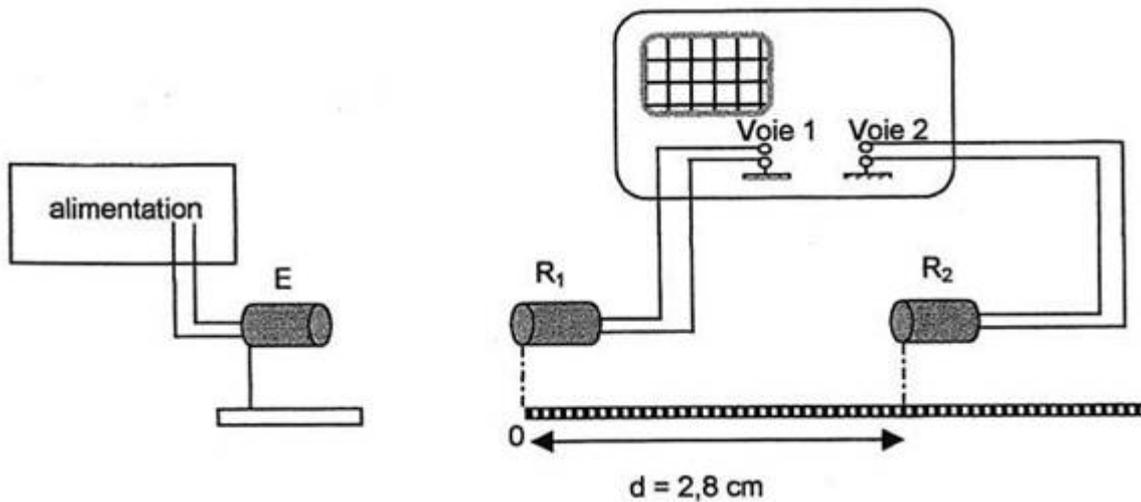
Cet exercice a pour objectifs de déterminer, dans la partie A, quelques grandeurs caractéristiques des ultrasons puis, dans la partie B, d'étudier deux applications des ultrasons : le nettoyage par cavitation acoustique et l'échogramme du cerveau.

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 R₁ et R₂ ;
- un oscilloscope ;
- une règle graduée.

Il réalise le montage suivant :

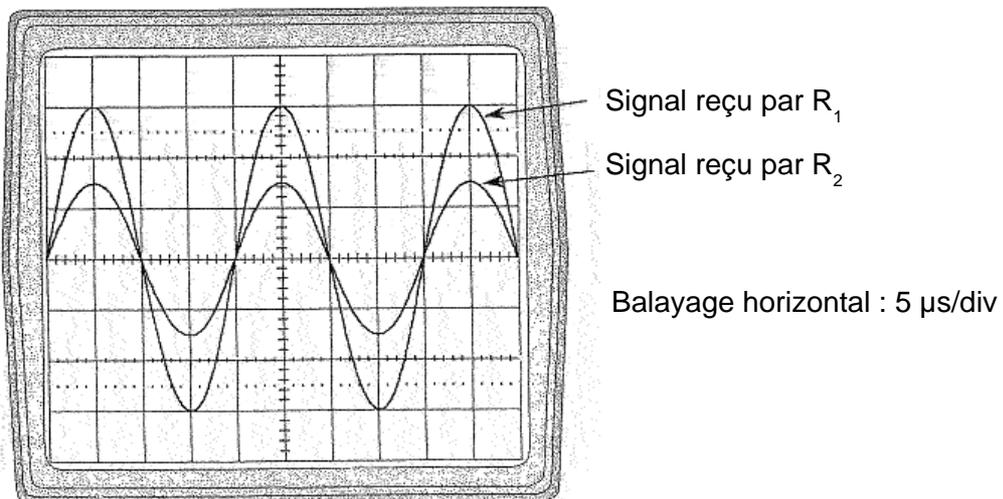


L'émetteur E génère une onde ultrasonore progressive sinusoïdale qui se propage dans l'air jusqu'aux récepteurs R₁ et R₂. L'émetteur et les deux récepteurs sont alignés.

Le récepteur R₁ est placé au zéro de la règle graduée.

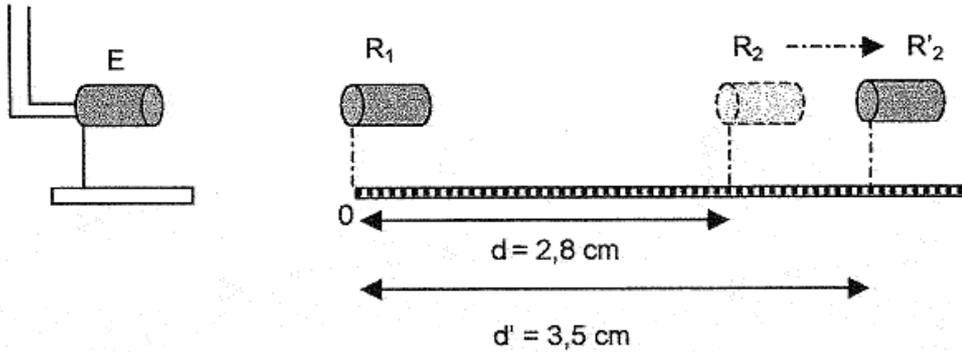
Les signaux captés par les récepteurs R₁ et R₂ sont appliqués respectivement sur les voies 1 et 2 d'un oscilloscope pour être visualisés sur l'écran de celui-ci.

Lorsque le récepteur R₂ est situé à d = 2,8 cm du récepteur R₁, 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 ?

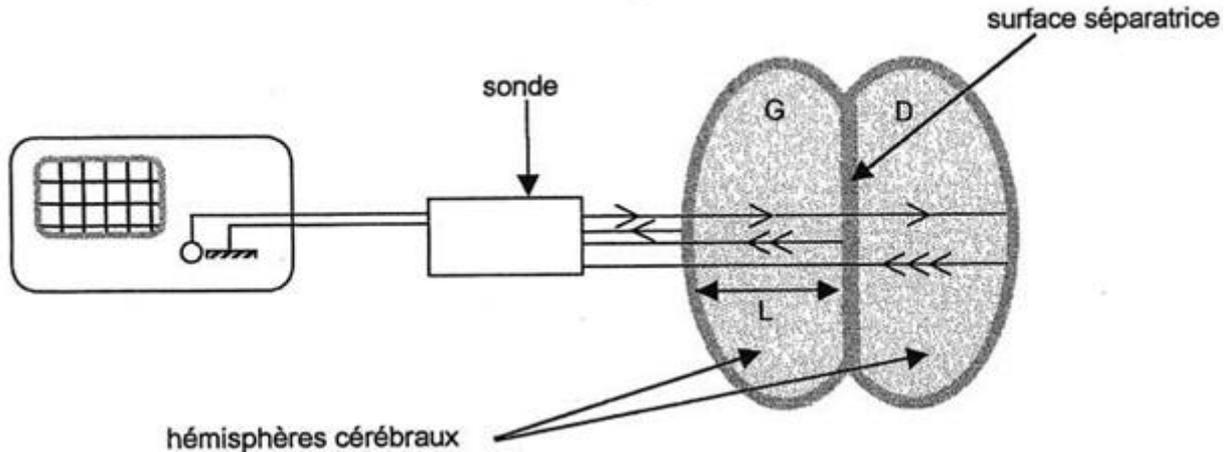
2.3. Interpréter brièvement la formation suivie de l'implosion des microbulles dans une tranche de liquide.

Données :

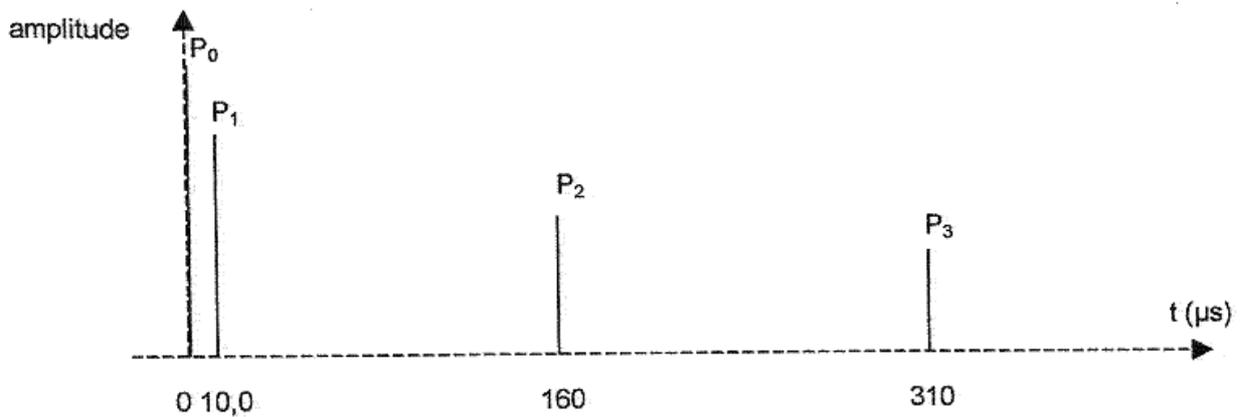
- la température d'ébullition d'un liquide diminue quand la pression diminue.
- définition d'une implosion : écrasement brutal d'un corps creux sous l'effet d'une pression extérieure supérieure à la pression intérieure.

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).

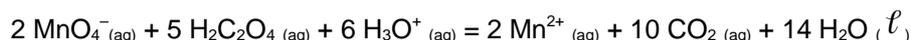
La célérité des ultrasons dans les hémisphères est $v = 1500 \text{ m.s}^{-1}$.

- 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.

Exercice n°2 : Où il est question de lumière...(7 points)

On étudie la cinétique de la réaction, en solution aqueuse, entre les ions permanganate, de formule MnO_4^- (aq), et l'acide éthanedioïque, ou acide oxalique de formule $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ (aq).

L'équation associée à la réaction, considérée comme totale, modélisant la transformation chimique étudiée s'écrit :



On suit l'évolution du système chimique par spectrophotométrie.

En solution aqueuse, les ions permanganate absorbent une partie des radiations du spectre visible contrairement à toutes les autres espèces chimiques présentes dans le milieu réactionnel qui n'interagissent pas avec la lumière visible.

Le spectrophotomètre est réglé sur la longueur d'onde λ dans l'air de l'une des radiations absorbées par les ions permanganate. Il permet de mesurer l'absorbance A_λ de la solution du milieu réactionnel.

L'absorbance A_λ de la solution est une grandeur qui est proportionnelle à la concentration effective des ions permanganate, soit :

$$A_\lambda (t) = k. [\text{MnO}_4^- \text{(aq)}] (t)$$

1. Radiation lumineuse et suivi spectrophotométrique

Le spectre d'absorption $A = f(\lambda)$ d'une solution aqueuse de permanganate de potassium de concentration $[\text{MnO}_4^- \text{(aq)}] = 5,0 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$ en ions effectivement présents en solution est donné **figure 1 de l'annexe**.

- 1.1. Dans quel intervalle de longueurs d'onde l'absorbance est-elle significative ?
Quelle est la couleur de la solution ?
- 1.2. Un laser de longueur d'onde 540 nm serait-il adapté pour l'étude spectrophotométrique de la transformation ?

On introduit dans la cuve du spectrophotomètre, un volume $V_1 = 1,0 \text{ mL}$ d'une solution aqueuse acidifiée de permanganate de potassium de concentration effective en ions permanganate $[\text{MnO}_4^- \text{(aq)}] = 5,0 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$.

À la date $t_0 = 0 \text{ min}$, on ajoute un volume $V_2 = 1,0 \text{ mL}$ d'une solution aqueuse d'acide oxalique de concentration effective en acide oxalique $[\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \text{(aq)}] = 12,5 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$.

Le spectrophotomètre mesure l'absorbance du milieu réactionnel en fonction du temps (cf. **figure 2, annexe**).

2. Absorbance et cinétique chimique

- 2.1. En regard de la transformation chimique réalisée et de la réaction qui la modélise, justifier l'évolution de l'absorbance du milieu réactionnel au cours du temps.
- 2.2. Déterminer les quantités de matière initiales des ions permanganate et d'acide oxalique.
- 2.3. A l'aide d'un tableau d'avancement, déterminer l'avancement maximal en supposant les ions H_3O^+ (aq) en large excès.
- 2.4. 2.4.a) Le graphe donnant l'évolution de l'avancement au cours du temps se trouve dans la figure 3 de l'annexe.

Rappelez la formule de la vitesse volumique de la réaction en fonction de l'avancement x et du V volume du mélange réactionnel.

2.4.b) Expliquez comment procéder à partir de cette formule pour calculer la vitesse volumique à une date t à partir de la courbe 3.

2.4.c) Comment évolue la vitesse volumique de cette transformation à partir de $t = 3 \text{ min}$? Justifiez à partir du graphe. Pourquoi observe-t-on cette évolution ?

- Définir le temps de demi réaction $t_{1/2}$.
- Déterminer graphiquement $t_{1/2}$.

EXERCICE II: ANNEXE à rendre avec la copie

Question 1.1 : Figure 1

Courbe d'absorbance d'une solution de permanganate de potassium à la concentration de $0,5 \text{ mmol.L}^{-1}$

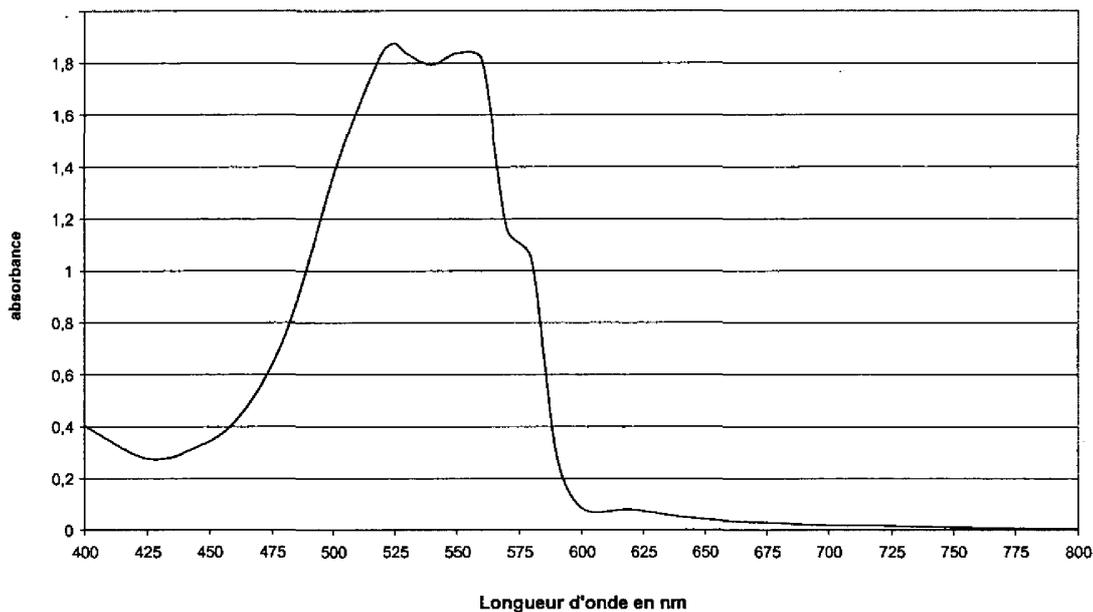


Figure 2 :

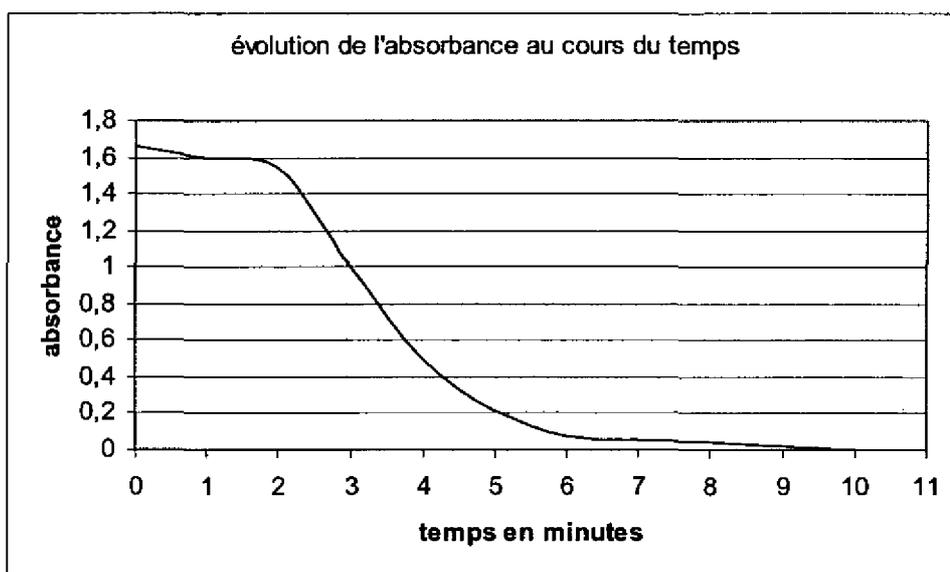
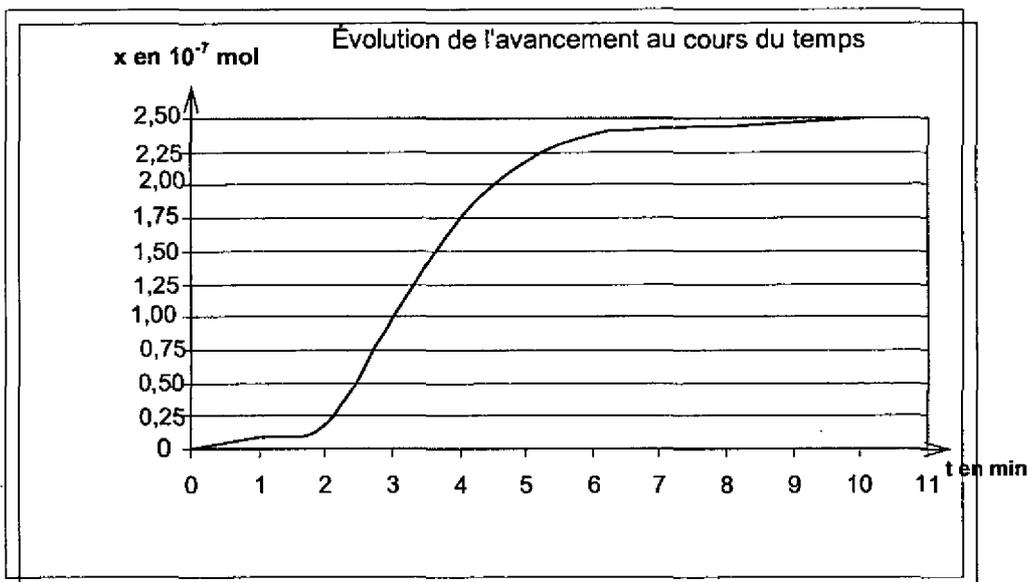


Figure 3 :



Exercice n°3 : La bouteille magique (6 points)

Au cours d'une séance de travaux pratiques, un élève d'une terminale S doit réaliser le mélange réactionnel décrit dans le protocole expérimental suivant.

Protocole expérimental

Dans un erlenmeyer contenant une solution S dont on ne se souciera pas du contenu, on dissout du glucose. On ajoute une solution de bleu de méthylène. Cette solution donne une coloration bleue au mélange réactionnel. On constate que la solution bleue devient progressivement incolore. Boucher l'erlenmeyer et agiter vigoureusement : la solution devient immédiatement bleue puis se décolore de nouveau lentement. Agiter une nouvelle fois : la solution devient tout de suite bleue puis se décolore progressivement.

Données du problème

La seule espèce colorée dans le mélange réactionnel est la forme oxydée du bleu de méthylène qui donne une coloration bleue. Elle est notée $BM^+(aq)$. La forme réduite est notée $BMH(aq)$. Dans les conditions de l'expérience, le glucose est un réducteur qui réduit le bleu de méthylène. On admettra qu'il est introduit en large excès devant les autres réactifs. Le glucose est noté $RCHO(aq)$. Sa masse molaire est $M = 180 \text{ g.mol}^{-1}$.

Couples oxydant/réducteur mis en jeu

$BM^+(aq) / BMH(aq)$ $O_2(aq) / H_2O(\ell)$ $RCOOH(aq) / RCHO(aq)$

1. Équation de la réaction modélisant la transformation chimique entre le glucose et la solution de bleu de méthylène.

- 1.1. Donner la définition d'un oxydant, puis d'un réducteur.
- 1.2. Écrire la demi équation électronique de réduction de la forme oxydée $BM^+(aq)$ du bleu de méthylène.
- 1.3. Écrire la demi-équation électronique d'oxydation du glucose $RCHO(aq)$.
- 1.4. En déduire que l'équation d'oxydoréduction entre le glucose et la forme oxydée du bleu de méthylène est :
$$RCHO(aq) + BM^+(aq) + H_2O(\ell) = RCOOH(aq) + BMH(aq) + H^+(aq) \quad (\text{équation 1})$$

Cette réaction est lente.

2. Interprétation des observations

Lorsque l'on agite l'erlenmeyer, une partie du dioxygène de l'air se dissout dans la solution puis réagit en oxydant la forme réduite du bleu de méthylène. L'équation de la réaction modélisant la transformation chimique observée est donnée ci-dessous :



Cette réaction est rapide et totale.

- 2.1. À l'aide des caractéristiques des équations chimiques 1 et 2, expliquer les variations de couleur observées lors de l'expérience et leurs vitesses.
- 2.2. Quel facteur cinétique pourrait-on utiliser pour augmenter la vitesse de la réaction décrite dans la partie 1 ?

3. Étude quantitative

L'erlenmeyer dans lequel l'élève réalise l'expérience est bouché hermétiquement et contient un volume $V(O_2) = 48 \text{ mL}$ de dioxygène et $5,0 \text{ g}$ de glucose $RCHO$. Le volume molaire des gaz dans les conditions de l'expérience vaut $V_m = 24,0 \text{ L.mol}^{-1}$.

- 3.1. Compléter de façon littérale et en respectant les notations, le tableau d'avancement de l'ANNEXE.
- 3.2. Démontrez que la quantité de matière initiale $n_i(O_2)$ de dioxygène contenu dans l'erlenmeyer est $2,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$.
On réalise une série d'agitations successives qui permet de dissoudre tout le dioxygène présent dans l'erlenmeyer.
- 3.3. En déduire que la quantité de matière $n_i(BMH)$ susceptible de réagir avec la quantité de matière initiale $n_i(O_2)$ de dioxygène est $4,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$.
- 3.4. À partir de l'équation 1, montrer que la quantité de matière de glucose $n(RCHO)$ ayant réagi au cours de l'expérience est $4,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$. On pourra s'aider d'un tableau d'avancement.
- 3.5. En déduire la masse m de glucose n'ayant pas réagi dans l'erlenmeyer.

ANNEXE DE L'EXERCICE III

Question 3.1. Tableau d'avancement

Équation chimique		$2 \text{BMH}(\text{aq}) + \text{O}_2(\text{aq}) + 2\text{H}^+(\text{aq}) = 2 \text{H}_2\text{O}(\ell) + 2 \text{BM}^+(\text{aq})$				
État du système	Avancement	Quantités de matière				
État initial	0	$n_i(\text{BMH})$	$n_i(\text{O}_2)$	excès	excès	0
État intermédiaire	x			excès	excès	
État final	x_{max}			excès	excès	