BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2018

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

Durée de l'épreuve : 3 heures 30
Coefficient : 8

L'usage de tout modèle de calculatrice, avec ou sans mode examen, est autorisé.

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré

Le sujet comporte trois exercices présentés sur 9 pages numérotées de 1 sur 9 à 9 sur 9, y compris celle-ci.

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

Spécialité

EXERCICE I – AUTOUR DU PAPILLON (11 points)

Pour se diriger dans l'obscurité ou chasser des insectes, certaines chauves-souris ont développé un système de sonar fondé sur la production et la réception d'ultrasons : l'écholocation.

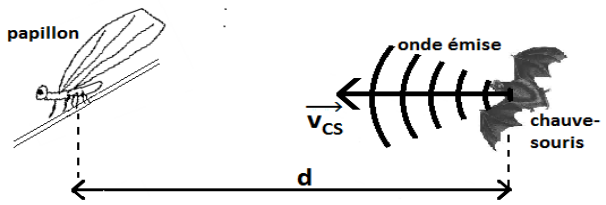


Figure 1. Schéma représentant une situation de chasse par une chauve-souris

Certains papillons « de nuit » sont en mesure d'entendre les émissions sonores des chauves-souris qui cherchent à les repérer. Pour les éviter, ils se laissent alors tomber de la branche sur laquelle ils se trouvent.

Cette tactique semble efficace, car seulement 7 % des papillons qui l'utilisent sont capturés contre 50 % de ceux qui ne l'utilisent pas (Pro Natura, 1999).

D'après un site internet (http://www.futura-sciences.com)

L'objectif de l'exercice est d'étudier le principe de l'écholocation et la tactique de défense des papillons de nuit.

Données :

- la fréquence sonore supposée émise par la chauve-souris est : f_e= 50,0 kHz ;
- vecteur vitesse de la chauve-souris : $\overrightarrow{v_{CS}}$;
- vitesse de l'onde émise par la chauve-souris : v_{onde} = 340 m.s^{-1} ;
- intensité de la pesanteur : g = 9,8 m.s^{-2} ;
- masse du papillon : m = 0,50 g ;
- altitude du papillon avant la chute : h = 1,2 m.

1. Étude du sonar de la chauve-souris

1.1. Onde émise par la chauve-souris

1.1.1. À quel domaine de fréquence appartient l'onde émise par la chauve-souris ?

1.1.2. Est-ce une onde mécanique ou électromagnétique ? Justifier.

1.1.3. Cette onde est-elle transversale ou longitudinale ? Justifier.

1.2. Vitesse de la chauve-souris

En utilisant l'effet Doppler, il est possible d'évaluer la vitesse v_{CS} d'une chauve-souris. Pour une chauve-souris se rapprochant d'un récepteur d'ultrasons, le dispositif mesure une fréquence f_r différente de la fréquence émise par la chauve-souris.

Données :

- fréquence mesurée par le récepteur : $f_r = 50{,}8$ kHz
- pour un émetteur en mouvement se rapprochant d'un récepteur fixe, la relation due à l'effet Doppler entre f_e ,fréquence émise par la source, et f_r , fréquence reçue par le récepteur , est donnée par :

$$f_r = f_e \times \frac{v_{onde}}{v_{onde} - v_{émetteur}}$$

1.2.1. Montrer que la valeur de la vitesse de la chauve-souris v_{CS} est proche de 19 km.h^{-1}.

1.2.2. Comparer v_{onde} et v_{CS}. Expliquer en quoi ce résultat est important pour le déplacement ou la chasse de la chauve-souris.

1.3. Écholocation

La durée mise par les ondes pour revenir à la chauve-souris permet à cette dernière, après réflexion de l'onde sur une proie, d'apprécier la distance la séparant de cette proie, un papillon par exemple.

Le signal émis par la chauve-souris lui revient après une durée $\tau = 16{,}7$ ms. Estimer la distance qui sépare la chauve-souris du papillon.

2. La tactique défensive du papillon

Le but de cette partie est d'étudier cette tactique de défense qui consiste pour le papillon à se laisser tomber. Nous allons déterminer si le papillon peut se protéger, par cette méthode, d'une chauve-souris distante de $d = 2{,}8$ m.

On considère que le papillon est immobile au point C (figure 2), avant de se laisser tomber de la feuille. On prendra comme origine des temps, l'instant où le papillon commence à se laisser tomber.

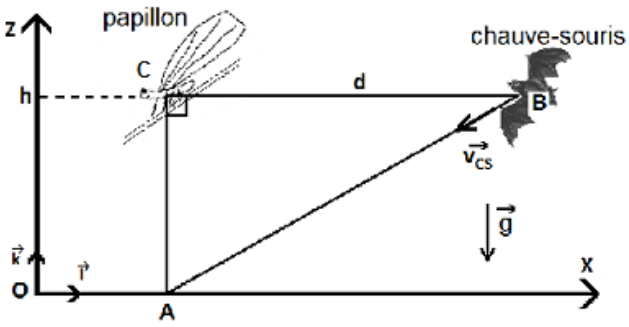


Figure 2. Schéma représentant les positions initiales du papillon et de la chauve-souris.

2.1. On étudie le mouvement du papillon dans le repère $(O, \vec{i}, \vec{k})$ en négligeant les forces de frottement de l'air sur le papillon ainsi que la poussée d'Archimède dans l'air. On repère le centre du papillon par un point G comme l'indique la figure 3.

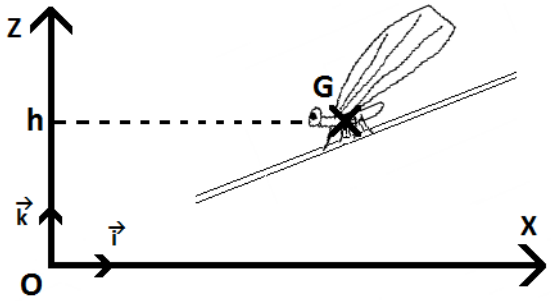


Figure 3 : Schéma représentant la position initiale du papillon.

2.1.1. Établir l'expression du vecteur accélération $\overrightarrow{a_G}$ du papillon en appliquant la deuxième loi de Newton au système {papillon} dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

2.1.2. Établir l'équation horaire $z(t)$ du mouvement du point G.

2.1.3. En déduire que l'expression de la durée de chute Δt_{chute} correspondant à l'arrivée du papillon au niveau du sol s'écrit : $\Delta t_{chute} = \sqrt{\frac{2h}{g}}$.

2.1.4. Vérifier que l'expression $\sqrt{\frac{2h}{g}}$ est bien homogène à un temps.

2.1.5. Calculer la durée nécessaire au papillon pour arriver au niveau du sol (point A) et ainsi être protégé.

2.2. On considère la vitesse de la chauve-souris constante et égale à la valeur v_{CS} déterminée précédemment. Conclure quant à l'efficacité de la tactique du papillon pour se protéger.

3. Le camouflage optique du papillon

L'iridescence est la propriété de certaines surfaces qui semblent changer de couleur selon l'angle de vue ou d'éclairage. Elle est bien visible sur les ailes de mouches, de libellules et de certains papillons. Ce phénomène provient d'une couche mince recouvrant ces ailes et produisant des couleurs interférentielles. Dans le cas des papillons, les ailes contiennent des écailles de fond et des écailles de recouvrement, disposées à la manière des tuiles d'un toit. La structure de ces écailles et les pigments qu'elles contiennent jouent un rôle dans la couleur observée. (…)

D'après un site internet (cnrs.fr)

Dans cette partie, le phénomène qui permet à ces papillons de se protéger des prédateurs est modélisé de façon simplifiée. Dans ce modèle élémentaire, schématisé sur la figure 4, on considère que :

- les écailles de l'aile du papillon sont assimilables à des couches minces à faces parallèles d'épaisseur constante e ;
- les ondes issues des chemins ① et ② interfèrent au niveau de la rétine de l'observateur ;
- l'aile du papillon est éclairée par de la lumière.

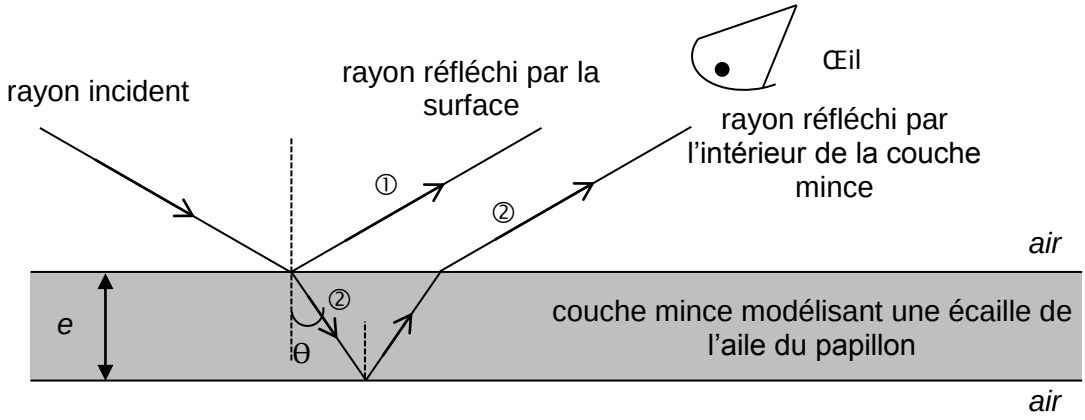


Figure 4. Schéma du trajet d'un rayon lumineux arrivant sur une écaille de l'aile du papillon

Données :

- la vitesse de la lumière dans l'air est notée *c* et sa valeur est supposée connue.
- épaisseur des couches minces modélisant les écailles de l'aile du papillon : e = 100 nm ;
- indice optique des couches minces principalement composée de chitine : n = 1,5 ;
  on admet que cet indice ne dépend pas de la longueur d'onde.
- une onde lumineuse monochromatique est caractérisée par une période temporelle T et une longueur d'onde λ ;
- domaines de longueurs d'ondes de la lumière visible :

Couleur	Violet	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Domaine de longueurs d'ondes (nm)	380-446	446-520	520-565	565-590	590-625	625-780

On note τ le retard de l'onde lumineuse qui a suivi le trajet ② par rapport à l'onde qui a suivi le trajet ①.

3.1. Pour une onde lumineuse monochromatique de période temporelle T, justifier qu'il y a interférences constructives pour $\tau = k \times T$ et interférences destructives pour $\tau = \left(k + \frac{1}{2}\right) \times T$ où k est un nombre entier.

3.2. Lorsque la lumière blanche arrive perpendiculairement à la surface de l'aile, le retard τ peut s'écrire :

$$\tau = \frac{2.n.e}{c} + \frac{T}{2}$$

3.2.1. Quelles ondes monochromatiques peuvent conduire à des interférences constructives ?

3.2.2. En déduire la couleur qui sera principalement perçue par l'observateur.

3.3. Lorsque la lumière blanche n'arrive pas perpendiculairement à la surface de l'aile, le retard a pour expression :

$$\tau = \frac{2.n.e.\cos(\theta)}{c} + \frac{T}{2}$$

Expliquer pourquoi la couleur de l'aile de papillon perçue par l'observateur sera différente s'il la regarde sous un autre angle.

EXERCICE II- AUTOUR DU SALICYLATE DE MÉTHYLE (4 POINTS)

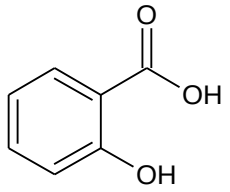
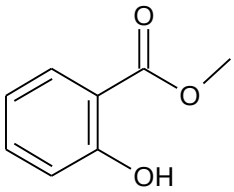
Les écorces de saule blanc et les fleurs des reines des prés ont été utilisées en Europe contre les douleurs, avec une certaine efficacité. En Amérique du Nord, l'huile essentielle de Wintergreen, obtenue par distillation de la gaulthérie couchée, est également employée avec succès en friction sur les articulations douloureuses.

Les premiers développements de la chimie organique, dans la première moitié du 19^{e} siècle, ont permis d'isoler les principes actifs de ces trois plantes : en 1828 la salicine, en 1838 l'acide salicylique, en 1831 l'aldéhyde salicylique, et enfin le salicylate de méthyle en 1843.

Ces principes actifs sont efficaces pour soulager les douleurs rhumatismales, mais leurs teneurs sont trop faibles dans les différentes plantes pour permettre d'en généraliser l'usage. Aussi leurs synthèses ont été mises au point.

Source : CNRS.fr (dossier : du saule blanc à l'aspirine)

Données :

Nom	***Formule brute***	***Masse molaire***	***Masse volumique***	***Formule développée***
Acide salicylique	$C_7H_6O_3$	$M_1 = 138\ g.mol^{-1}$		
Méthanol	CH_4O	$M_2 = 32\ g.mol^{-1}$	$\rho_2 = 0,792\ g.mL^{-1}$	
Salicylate de méthyle	$C_8H_8O_3$	$M_3 = 152\ g.mol^{-1}$	$\rho_3 = 1,17\ g.mL^{-1}$	

1. Synthèse du salicylate de méthyle

On peut synthétiser le salicylate de méthyle à partir de l'acide salicylique et du méthanol.

1.1. Écrire la formule développée du méthanol puis entourer le groupe caractéristique et nommer la fonction associée.

1.2. L'acide salicylique réagit avec le méthanol pour former du salicylate de méthyle et un produit nommé A.

1.2.1. Écrire l'équation de la réaction et identifier le produit A obtenu lors de cette synthèse.

1.2.2. À quelle catégorie appartient cette réaction ?

1.3. Une synthèse est réalisée en laboratoire en introduisant 10,0 g d'acide salicylique et 10,0 mL de méthanol.

1.3.1 Déterminer les quantités de matières n_1 d'acide salicylique et n_2 de méthanol introduites dans le milieu réactionnel.

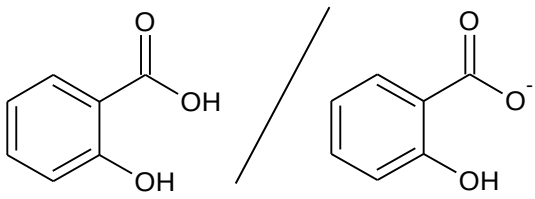
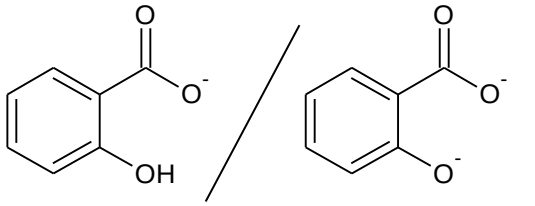
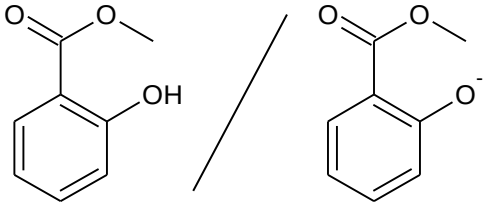
1.3.2 En déduire le réactif limitant de la synthèse.

1.3.3 La masse de salicylate de méthyle obtenue après synthèse et purification est de 6,9 g. Déterminer le rendement expérimental de cette synthèse.

2. Pommades contre les douleurs musculaires

Données :

- pour pénétrer la surface cutanée de la peau, les principes actifs ne doivent pas être chargés ;
- pH de la peau proche de 5 ;

Couple acide/base	Ordre de grandeur du pK_A
	$pK_{A1} = 3$
	$pK_{A2} = 10$
	$pK_A = 10$

Entre le salicylate de méthyle et l'acide salicylique lequel est préféré pour un usage dans les pommades contre les douleurs musculaires ? Justifier.

EXERCICE III - LES PLUIES ACIDES (5 points)

Depuis le début des années 1950, on observe une augmentation de l'acidité des eaux de pluie dans diverses régions du monde. Ces " pluies acides " résultent essentiellement de la présence dans l'air de dioxyde de soufre et d'oxydes d'azote. Ces gaz sont issus de différentes activités industrielles et de la combustion de produits fossiles riches en soufre. Ils se dissolvent dans la vapeur d'eau de l'atmosphère et forment des espèces acides (notamment de l'acide sulfurique et de l'acide nitrique) qui acidifient les pluies […]

D'après *cnrs.fr*

Le dioxyde de soufre issu de l'activité humaine est, entre autres, émis par les industries pétrolières et les centrales thermiques ; ce gaz est un traceur de la pollution industrielle. Il est donc important d'en évaluer la concentration.

L'objectif de l'exercice est de savoir si une centrale thermique exploitant la combustion de carburants provenant du pétrole dépasse les seuils de qualité concernant le dioxyde de soufre.

Pour cela, on fait barboter pendant soixante heures, 10,0 m^3 de gaz émis par la centrale dans 1,0 L d'eau : on obtient la solution S_0 que l'on analyse.

On place 25,0 mL de la solution S_0 dans un erlenmeyer. On verse ensuite goutte à goutte une solution de permanganate de potassium de concentration molaire $1{,}00\times10^{-4}$ $mol.L^{-1}$ jusqu'à persistance de la coloration violette, le volume de solution de permanganate de potassium alors versé est de 5,4 mL.

1. Questions préliminaires

1.1. Sachant que les couples oxydant/réducteur mis en jeu sont $MnO_{4\,(aq)}^-/Mn_{(aq)}^{2+}$ et $SO_{4\,(aq)}^{2-}/SO_{2(aq)}$, retrouver l'équation de la réaction modélisant l'action du dioxyde de soufre avec les ions permanganate $MnO_{4\,(aq)}^-$.

1.2. Expliquer l'évolution de la couleur de la solution contenue dans l'erlenmeyer au fur et à mesure de l'ajout de la solution de permanganate de potassium.

2. Problème :

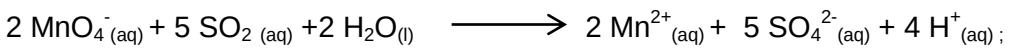
En faisant l'hypothèse que la totalité du dioxyde de soufre présent dans les effluents gazeux de la centrale thermique se dissout dans l'eau recueillie, déterminer si les gaz émis par la centrale sont conformes aux normes de qualité de l'air.

L'analyse des données ainsi que la démarche suivie seront évaluées et nécessitent d'être correctement présentées. Les calculs numériques seront menés à leur terme avec rigueur. Il est aussi nécessaire d'apporter un regard critique sur le résultat et de discuter de la validité de l'hypothèse formulée.

Données :

Élément	S	O
Masse molaire atomique	32,1 $g.mol^{-1}$	16,0 $g.mol^{-1}$

- le dioxyde de soufre a des propriétés réductrices et l'ion permanganate est un puissant oxydant. Ces deux espèces chimiques réagissent ensemble selon la réaction d'équation :



$$2\ MnO_{4\,(aq)}^{-} + 5\ SO_{2\ (aq)} + 2\ H_2O_{(l)} \longrightarrow 2\ Mn^{2+}_{(aq)} + 5\ SO_4^{2-}{}_{(aq)} + 4\ H^{+}_{(aq)}\ ;$$

- couleurs des solutions aqueuses :

Solutions aqueuses	Solution d'acide sulfurique ($2H^{+}_{(aq)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)}$)	Solution de sulfate de manganèse ($Mn^{2+}_{(aq)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)}$)	Solution de permanganate de potassium ($K^{+}_{(aq)} + MnO_{4\,(aq)}^{-}$)	Solution de dioxyde de soufre $SO_{2(aq)}$
couleurs des solutions aqueuses	incolore	incolore	violet	incolore

Document : Normes de qualité de l'air relatives au dioxyde de soufre (SO_2) :

La directive 2008/50/CE du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe fixe des normes pour le SO_2 :

- Seuil d'information et de recommandation(1) : 300 µg/m^3 en moyenne sur 1 heure
- Seuil d'alerte(2) : 500 µg / m^3 sur 3 heures consécutives

(1) Le seuil d'alerte correspond à un niveau de concentration de substances polluantes au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine de l'ensemble de la population et à partir duquel les États membres doivent immédiatement prendre des mesures.

(2) Le seuil d'information correspond à un niveau de concentration de substances polluantes au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine des groupes particulièrement sensibles de la population et pour lequel des informations immédiates et adéquates sont nécessaires.