BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2024

PHYSIQUE-CHIMIE

Jour 2

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

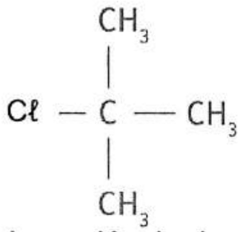
L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 12 pages numérotées de 1/12 à 12/12.

EXERCICE 1 - SUIVI CINÉTIQUE PAR CONDUCTIMÉTRIE DE L'HYDROLYSE DU CHLORURE DE TERTIOBUTYLE (9 POINTS)

Le chlorure de tertiobutyle est un composé organique utilisé comme solvant pour les peintures ou comme intermédiaire dans la synthèse de certains parfums. Instable en solution aqueuse, celui-ci se décompose par hydrolyse en formant un alcool.



La molécule de chlorure de tertiobutyle

L'objectif de cet exercice est de suivre l'évolution temporelle de l'hydrolyse du chlorure de tertiobutyle.

Suivi conductimétrique de l'hydrolyse du chlorure de tertiobutyle.

Lorsqu'une transformation chimique lente met en jeu une espèce ionique, la conductimétrie permet d'étudier sa cinétique.

Données :

- Le chlorure de tertiobutyle a pour formule $(CH_3)_3C\text{-}C\ell$. Pour simplifier, il sera noté par la suite $RC\ell$ où le groupe alkyle R représente $(CH_3)_3C$- ;
- L'équation de la réaction modélisant l'hydrolyse du chlorure de tertiobutyle est :

$$RC\ell(aq) + 2\,H_2O(\ell) \rightarrow ROH(aq) + H_3O^+(aq) + C\ell^-(aq)$$

- La valeur de la masse volumique ρ du chlorure de tertiobutyle : $\rho = 0{,}850\ g\cdot mL^{-1}$;
- Tableau regroupant les masses molaires atomiques des atomes de carbone, d'hydrogène et de chlore :

Atomes	Carbone C	Hydrogène H	Chlore $C\ell$
Masses molaires en $g\cdot mol^{-1}$	12,0	1,00	35,5

Q1. Représenter la formule semi-développée de l'alcool ROH produit lors de l'hydrolyse du chlorure de tertiobutyle. Entourer et nommer le groupe caractéristique présent.

Pour réaliser l'étude cinétique de l'hydrolyse du chlorure de tertiobutyle, on met en œuvre le protocole suivant :

- Verser un volume V_e = 200 mL d'un mélange d'eau et de propanone dans un bécher ;
- Placer le bécher dans un cristallisoir rempli d'eau ;
- Installer une sonde conductimétrique et un dispositif d'agitation ;
- À l'aide d'une pipette jaugée, verser un volume V = 1,0 mL de chlorure de tertiobutyle dans le volume V_e et déclencher l'enregistrement à cet instant ;
- Mesurer la conductivité σ toutes les 5 minutes pendant environ 100 minutes en prenant soin de stopper l'agitation pendant les mesures.

La courbe représentant la variation de la conductivité σ en fonction du temps t est donnée figure 1.

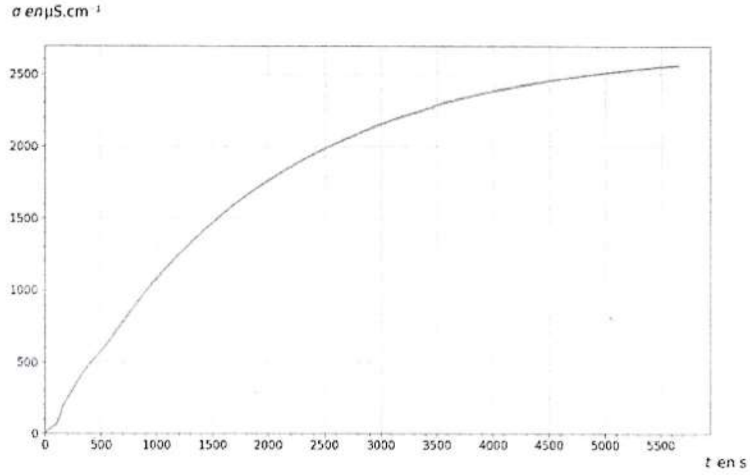


Figure 1. Représentation graphique des variations de la conductivité σ de la solution en fonction du temps t.

Donnée :

- Loi de Kohlrausch donne, pour une solution diluée, l'expression de la conductivité σ :

$$\sigma = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \cdot [X_i]$$

avec λ_i la conductivité molaire ionique de l'ion X_i et $[X_i]$ la concentration en quantité de matière de l'ion X_i.

Q2. À partir de la loi de Kohlrausch, exprimer la conductivité σ de la solution en fonction des concentrations en quantité de matière en ions oxonium H_3O^+ et en ions chlorure $C\ell^-$ respectivement notées $[H_3O^+]$ et $[C\ell^-]$ et des conductivités molaires ioniques de chaque ion notées $\lambda_{H_3O^+}$ et $\lambda_{C\ell^-}$.

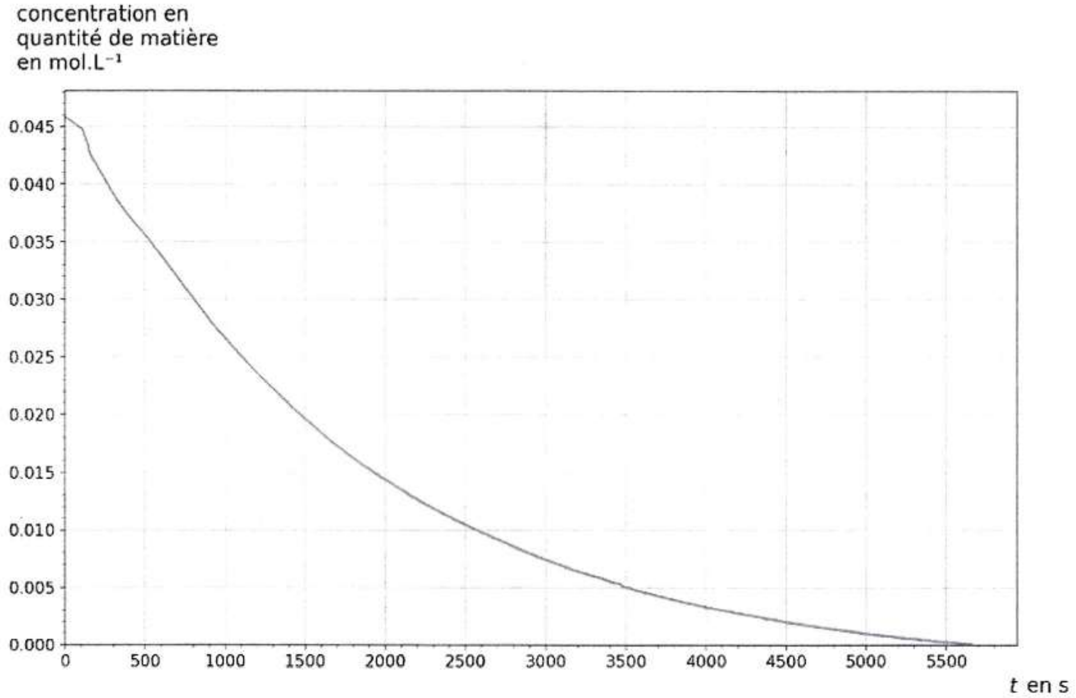
Q3. En déduire une expression de σ en fonction de la concentration en quantité de matière en ions oxonium $[H_3O^+]$ et des conductivités molaires ioniques $\lambda_{H_3O^+}$ et $\lambda_{C\ell^-}$.

Q4. À partir de l'expression établie à la question précédente, justifier qu'il est possible de réaliser un suivi cinétique par conductimétrie de l'hydrolyse du chlorure de tertiobutyle.

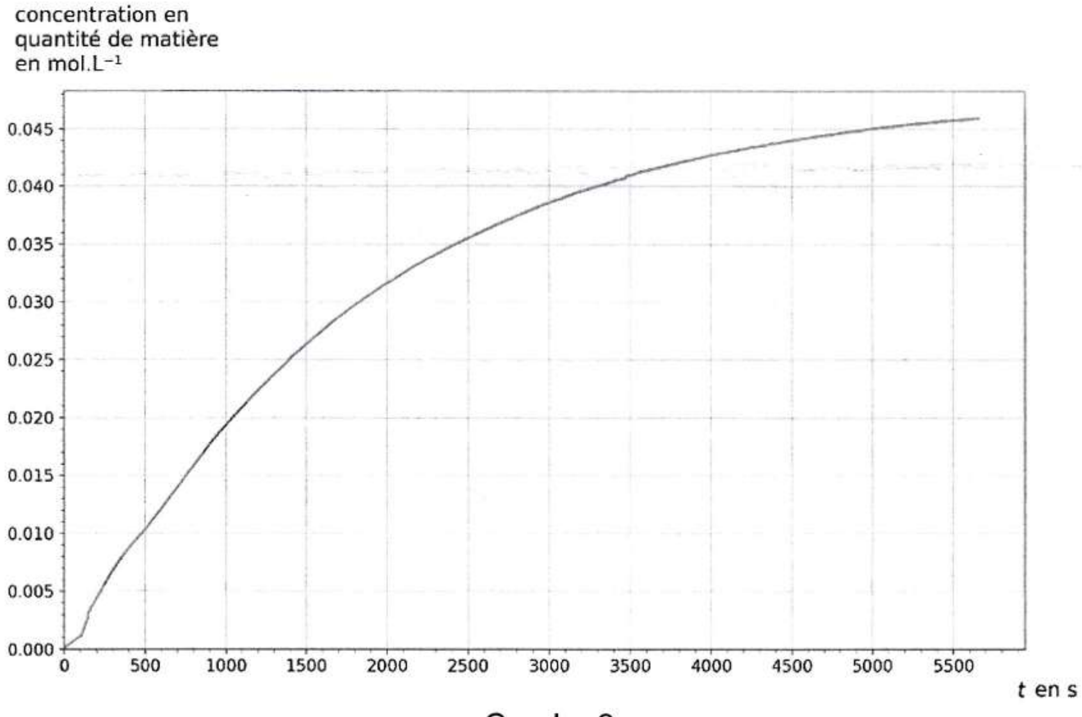
Q5. Calculer la valeur de la quantité de matière initiale de chlorure de tertiobutyle introduit notée n_0.

Q6. En déduire la valeur de la concentration en quantité de matière initiale en chlorure de tertiobutyle c_0 dans le mélange réalisé conformément au protocole.

Les courbes représentant la concentration en quantité de matière en chlorure de tertiobutyle $[RC\ell]$ et la concentration en quantité de matière en ions oxonium $[H_3O^+]$ en fonction du temps t sont données figure 2.



Courbe 1



Courbe 2

Figure 2. Représentations graphiques des variations des concentrations en quantité de matière [RCℓ] et $\left[H_3O^+\right]$ en fonction du temps.

Q7. Associer, en justifiant votre choix, chaque courbe 1 et 2 à chacune des espèces chimiques RCℓ et H_3O^+.

Q8. À l'aide d'une des deux courbes, montrer que l'hydrolyse du chlorure de tertiobutyle est totale.

Q9. Définir le temps de demi-réaction noté $t_{1/2}$ d'une transformation chimique.

Q10. Estimer graphiquement sa valeur $t_{1/2}$ à l'aide d'une des deux courbes de la figure 2.

Loi de vitesse.

Q11. Donner l'expression de la vitesse volumique de disparition $v_{RC\ell}$ du chlorure de tertiobutyle.

Q12. Indiquer qualitativement comment évolue la vitesse volumique de disparition du chlorure de tertiobutyle $v_{RC\ell}$ au cours du temps en justifiant votre réponse.

Si la cinétique de la transformation est d'ordre 1 alors la vitesse volumique de disparition du chlorure de tertiobutyle peut également s'écrire : $v_{RC\ell}(t) = k \cdot [RC\ell]_{(t)}$ où k est une constante positive.

Q13. Donner l'allure de la courbe représentant la vitesse volumique de disparition du chlorure de tertiobutyle $v_{RC\ell}$ en fonction de la concentration en chlorure de tertiobutyle $[RC\ell]$ en sachant que la réaction suit une loi d'ordre 1.

Q14. Établir l'expression de l'équation différentielle du premier ordre vérifiée par $[RC\ell]_{(t)}$.

La solution de l'équation différentielle est de la forme $[RC\ell]_{(t)} = A \cdot e^{-k \cdot t}$.

Q15. Déterminer la valeur de A à partir des conditions initiales de la transformation d'hydrolyse du chlorure de tertiobutyle.

Pour linéariser l'expression de la solution, on utilise la fonction logarithme népérien.
La courbe représentant le logarithme népérien de la concentration en chlorure de tertiobutyle $\ln[RC\ell]$ en fonction du temps t est donnée figure 3.

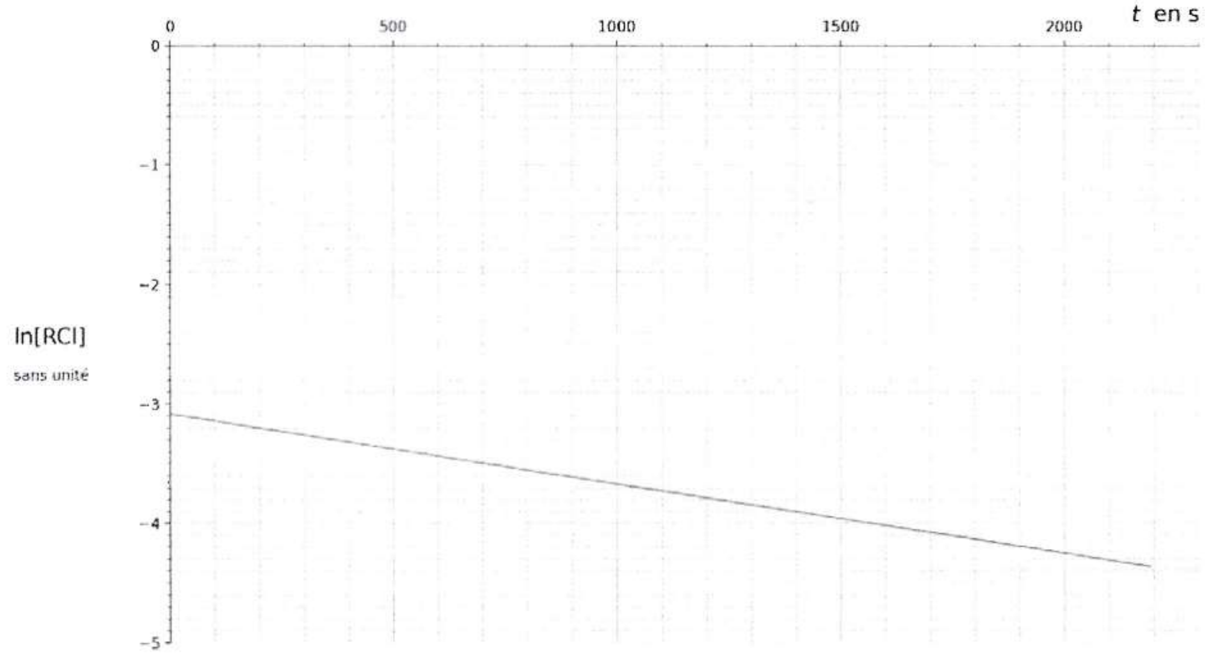


Figure 3. Représentation graphique des variations du logarithme népérien de la concentration en chlorure de tertiobutyle ln[RCℓ] en fonction du temps t.

Q16. Calculer la valeur du coefficient directeur noté a de la droite obtenue.

Données :

- La valeur de k dans l'expression de la vitesse volumique de disparition du chlorure de tertiobutyle $v_{RC\ell}(t) = k \cdot [RC\ell](t)$ est $k = -a$;
- Le temps de demi-réaction noté $t_{1/2}$ s'exprime en fonction de k : $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$.

Q17. À l'aide de l'expression précédente, calculer la valeur du temps de demi-réaction $t_{1/2}$ et comparer à la valeur obtenue à la question Q10.

EXERCICE 2 - LA MASSE DE LA TERRE (6 POINTS)

De tout temps, l'Homme a cherché à mesurer ce qui l'entoure de l'infiniment petit à l'infiniment grand. Il a donc dû mettre en place des protocoles de mesure indirecte pour accéder aux dimensions des objets hors de sa portée.

L'objectif de cet exercice est de mesurer la masse de la Terre par deux méthodes.

Mesure de la masse de la Terre à l'aide d'un satellite.

On étudie le mouvement du centre de masse *A* d'un satellite, dans le référentiel géocentrique, considéré comme galiléen. Ce satellite est situé à une distance $r = OA$ par rapport au centre *O* de la Terre.
On fait l'approximation, dans un premier temps, que le mouvement du satellite est circulaire uniforme et on considère que la seule force qui s'applique sur le satellite est la force d'interaction gravitationnelle $\overrightarrow{F_{T/A}}$ exercée par la Terre, de masse M_T sur le satellite, de masse *m*.
Le repère de Frenet $(A, \overrightarrow{u_T}, \overrightarrow{u_N})$ est représenté figure 1.

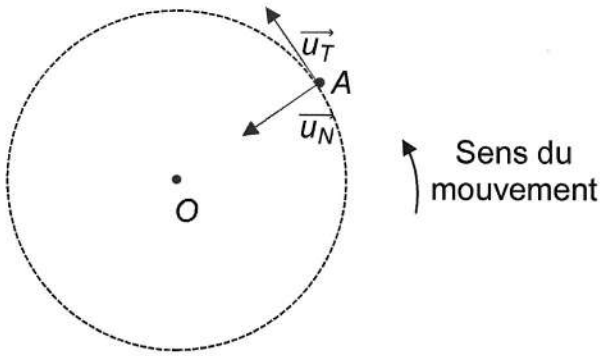


Figure 1. Mouvement circulaire uniforme d'un satellite *A* centré sur *O*.

Q1. Reproduire la figure 1 sur votre copie et représenter sans souci d'échelle, la force d'interaction gravitationnelle $\overrightarrow{F_{T/A}}$ exercée par la Terre sur le satellite.

On note *G* la constante de gravitation universelle.

Q2. Donner l'expression vectorielle de la force gravitationnelle $\overrightarrow{F_{T/A}}$ en fonction du vecteur unitaire $\overrightarrow{u_N}$, de G, M_T, m et r.

Q3. En appliquant la deuxième loi de Newton au centre de masse *A* du satellite, établir que sa vitesse a pour expression $v = \sqrt{\frac{G \cdot M_T}{r}}$.

Q4. À l'aide de l'expression littérale de la vitesse *v* du satellite et de la définition de la période de révolution *T* du satellite autour de la Terre, vérifier que l'expression de la troisième loi de Kepler est : $\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{G \cdot M_T}$.

Astérix, le premier satellite artificiel français, a été lancé le 26 novembre 1965, la France devient alors la troisième puissance spatiale mondiale.

On considère que le satellite Astérix A parcourt une trajectoire elliptique autour de la Terre de centre O. Les points B et C symbolisent respectivement le périgée et l'apogée de l'ellipse.

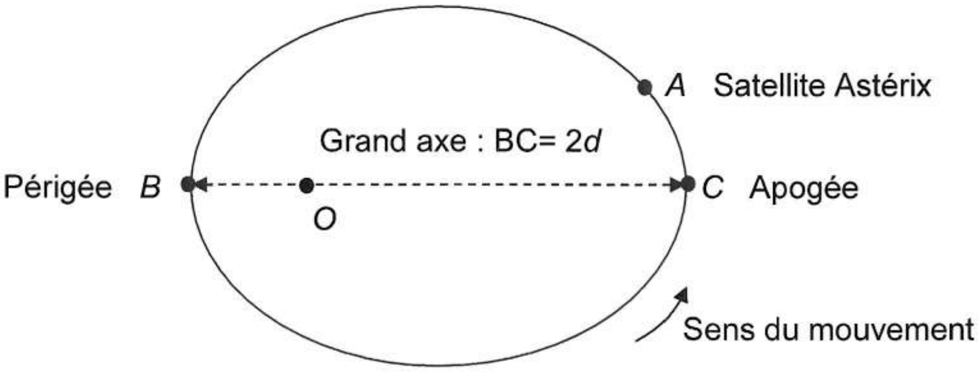


Figure 2. Trajectoire elliptique du satellite Astérix.

Données :

- Grand axe : $BC = 2d$;
- Distance entre le périgée et le centre de la Terre : $D_{OB} = 6{,}89\times10^{6}$ m ;
- Distance entre l'apogée et le centre de la Terre : $D_{OC} = 8{,}07\times10^{6}$ m ;
- Constante de gravitationnelle universelle : $G = 6{,}67\times10^{-11}\ \text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}$.

Q5. En vous aidant de la figure 2 et des données, calculer la valeur du demi-grand axe d de l'ellipse de la trajectoire du satellite Astérix.

Dans le cas d'une trajectoire elliptique, la troisième loi de Kepler établie à la question Q4 s'écrit en remplaçant la valeur du rayon de la trajectoire circulaire par la valeur du demi-grand axe de la trajectoire elliptique. Ainsi, on obtient l'expression : $\frac{T^2}{d^3} = \frac{4\,\pi^2}{G\cdot M_T}$.

Donnée :

- Le satellite Astérix effectue 1400 révolutions autour de la Terre en une durée Δt d'une valeur égale à $9{,}03\times10^{6}$ s.

Q6. En exploitant l'expression de la période T de révolution d'un satellite en orbite elliptique, calculer la masse M_T de la Terre.

Mesure de la masse de la Terre à l'aide d'un pendule.

Un pendule simple est constitué d'une masse ponctuelle fixée à l'extrémité d'un fil inextensible de longueur ℓ et de masse négligeable.
L'étude des oscillations d'un pendule simple permet de déterminer la masse de la Terre. Pour cela, on fait osciller le pendule autour de sa position d'équilibre verticale et on repère sa position en mesurant l'angle θ.

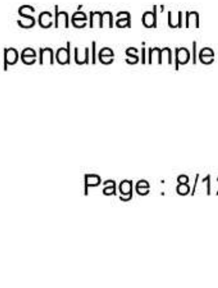


Schéma d'un pendule simple

On représente les variations de l'angle θ en fonction du temps pour un pendule de longueur ℓ = 1,0 m sur la figure 3.

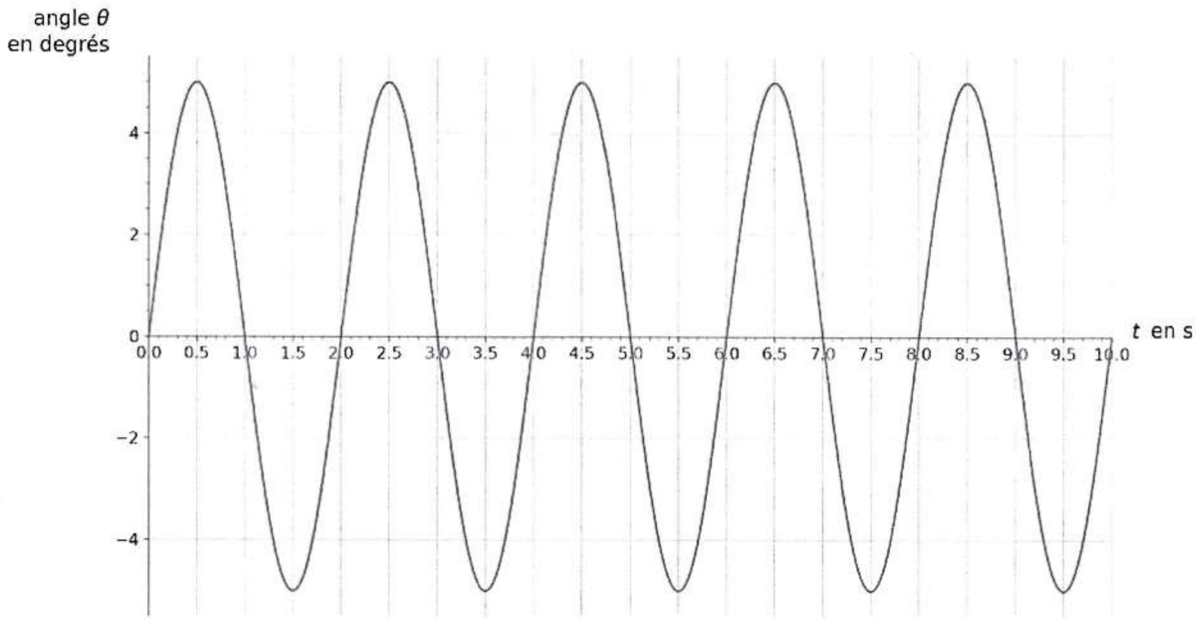


Figure 3. Variations de l'angle θ en fonction du temps.

Q7. Exploiter la figure 3 pour déterminer, le plus précisément possible, la valeur de la période T des oscillations du pendule.

On admet que l'expression de la période des oscillations du pendule est $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$ avec ℓ la longueur du pendule, en mètres, et T la période des oscillations, en secondes.

Q8. Calculer la valeur de l'intensité de pesanteur g.

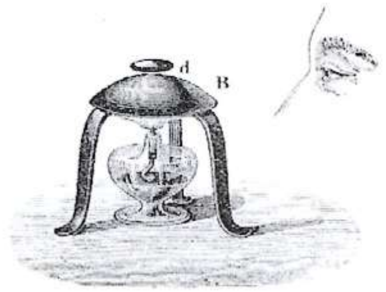
Donnée :

- Distance entre le pendule et le centre de la Terre : $R_T = 6{,}37 \times 10^3$ km.

Q9. En considérant que le poids P du pendule est de valeur égale à la force d'interaction gravitationnelle F exercée par la Terre sur le pendule, déterminer la valeur M_T de la masse de la Terre.

EXERCICE 3 - ÉTUDE DE LA CALÉFACTION (5 POINTS)

La caléfaction est le comportement particulier d'une goutte d'eau déposée sur une plaque très chaude : elle ne se volatilise pas ni immédiatement ni totalement mais demeure jusqu'à quelques minutes à l'état liquide au-dessus de la plaque, flottant sur un coussin de vapeur. Ce phénomène a été étudié pour la première fois en 1756 par Johann LEIDENFROST.

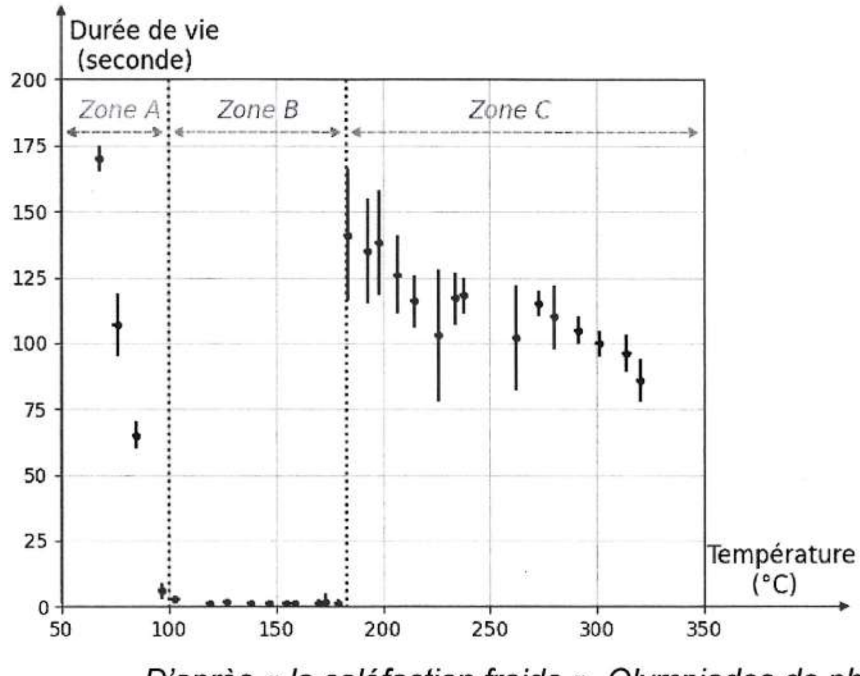


D'après « Heat: a mode of motion », J. Tyndall, (1875). p. 158

Figure 1. Observation de l'espace entre la base chauffée *B*, et une goutte *d*.

L'objectif de cet exercice est de déterminer la valeur de la distance entre la goutte et la plaque.

On appelle durée de vie, la durée au bout de laquelle la goutte s'est complétement évaporée après son dépôt. Cette durée est étudiée expérimentalement en fonction de la température de la plaque sur laquelle est déposée une goutte de volume 50 µL à 20 °C. Les résultats sont reportés dans le graphique ci-dessous : pour différentes températures, on note la durée de vie et sa barre d'incertitude.



D'après « la caléfaction froide », Olympiades de physique 2015.

Figure 2. Durée de vie d'une goutte de 50 µL en fonction de la température de la plaque.

Dans le cadre de cet exercice, la zone A présentée sur la figure 2 ne présente pas d'intérêt car la température associée aux valeurs de durées de vie est inférieure à la température d'ébullition de l'eau. En revanche, au-delà de cette température (100 °C), on distingue deux zones pour lesquelles le comportement de la goutte est différent.

Q1. À l'aide de la figure 2, proposer un argument afin de justifier le manque d'intérêt de la zone B pour l'étude de la caléfaction.

John Tyndall a montré en 1875 que dans la zone C, au-delà de 180°C, appelé seuil de Leidenfrost, la goutte peut persister quelques minutes avant de se vaporiser. Pour mesurer l'épaisseur du coussin de vapeur sur lequel flotte la goutte on fait passer un faisceau lumineux entre la goutte et la plaque.

Lorsqu'on envoie un faisceau laser de longueur d'onde λ, on observe sur un écran placé à une distance $D = 2{,}00$ m le phénomène représenté figure 4. On note a l'épaisseur du coussin de vapeur entre la goutte et la plaque chauffée.

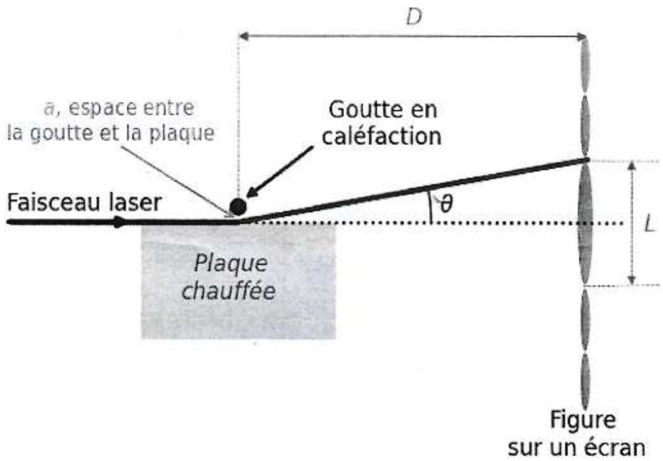


Figure 3. Schéma de la situation.

Figure 4. Photographie de l'écran.

Q2. Nommer le phénomène observé sur la figure 4.

Q3. Donner une condition sur la taille de l'espace a, entre la goutte et la plaque, pour que ce phénomène soit facilement observable avec un laser de longueur d'onde λ.

Donnée :
- Pour un petit angle exprimé en radians, $\theta = \tan\theta$.

Q4. Montrer à l'aide de la figure 3 que dans l'approximation des petits angles, on peut écrire que $\theta = \frac{L}{2 \cdot D}$.

Donnée :
- L'angle θ dépend de la longueur d'onde λ du laser et de l'espace a entre la goutte et la plaque : $\theta = \frac{\lambda}{a}$.

Q5. Établir l'expression de a en fonction de D, L et θ.

Une lecture de la photographie de la figure 4 par un logiciel de traitement de l'image donne le résultat de la figure 5.

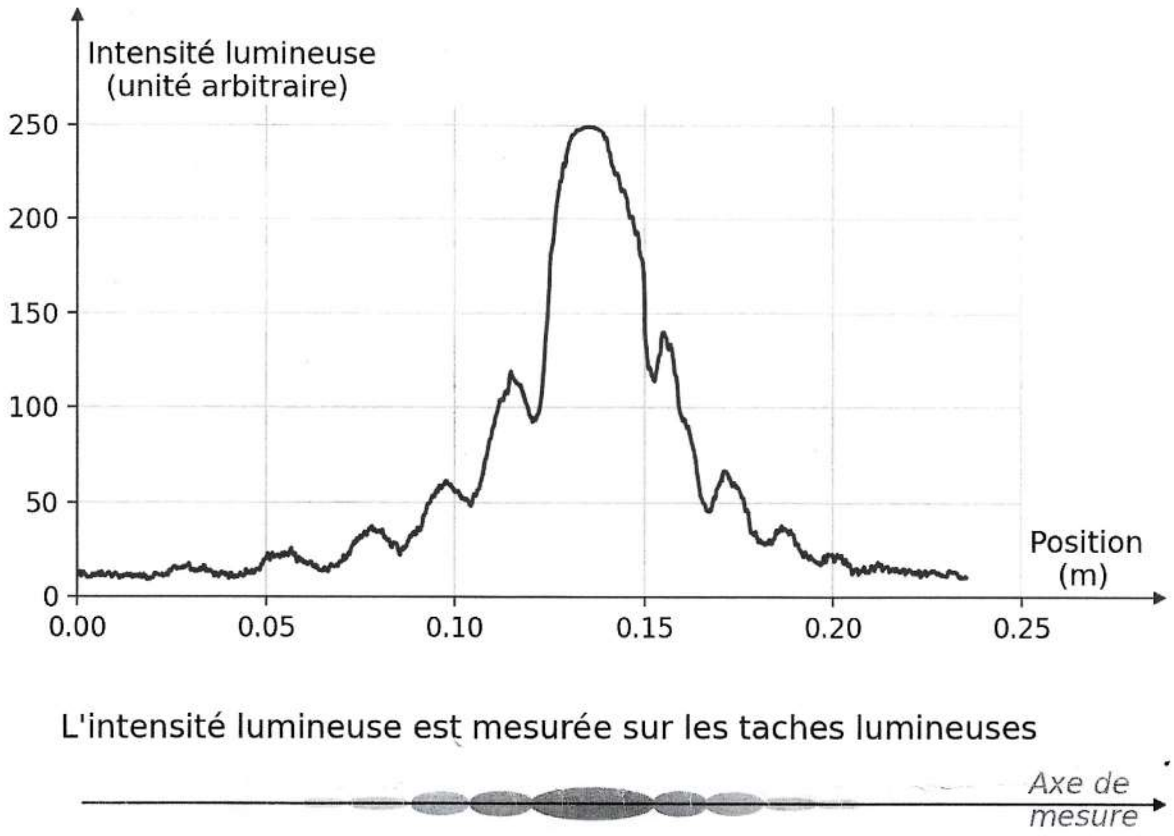


Figure 5. Résultat de l'analyse de la photographie obtenue.

Q6. En vous appuyant sur la figure 5, déterminer la valeur de la largeur de la tache centrale L.

Donnée :

➢ La longueur d'onde λ du laser utilisé est de valeur égale à 532 nm.

Q7. Calculer la valeur de l'intervalle a entre la goutte et la plaque.