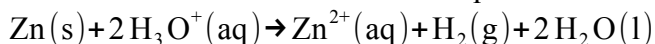


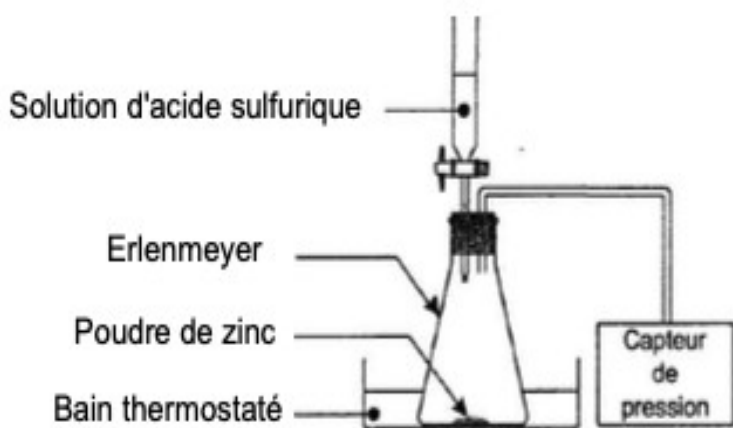
Les précipitations sont naturellement acides en raison du dioxyde de carbone présent dans l'atmosphère. Par ailleurs, la combustion des matières fossiles (charbon, pétrole et gaz) produit du dioxyde de soufre et des oxydes d'azote qui s'associent à l'humidité de l'air pour libérer de l'acide sulfurique et de l'acide nitrique. Ces acides sont ensuite transportés loin de leur source avant d'être précipités par les pluies, le brouillard, la neige ou sous forme de dépôts secs.

Très souvent, les pluies s'écoulant des toits sont recueillies par des gouttières métalliques, constituées de zinc.

Le zinc est un métal qui réagit en milieu acide selon la réaction d'équation :



Pour étudier cette transformation chimique, considérée comme totale, on réalise l'expérience dont le schéma simplifié est représenté sur la figure ci-dessous.



À l'instant de date $t = 0$ s, on verse rapidement, sur 0,50 g de poudre de zinc, 75,0 mL de solution d'acide sulfurique de concentration en ions oxonium H_3O^+ égale à $0,40 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

La pression mesurée à cet instant par le capteur est $P_i = 1020 \text{ hPa}$.

La formation de dihydrogène crée une surpression qui s'additionne à la pression de l'air initialement présent.

Les valeurs de la pression P , mesurée à différentes dates par le capteur de pression, sont alors reportées afin de tracer un graphique.

Données :

-Couples rédox : $\text{Zn}^{2+}(\text{aq})/\text{Zn(s)}$ et $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})/\text{H}_2(\text{g})$

-Masse molaire atomique du zinc : $M(\text{Zn}) = 65,4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

1-Retrouver, à partir des couples rédox, l'équation de la réaction modélisant la transformation chimique du zinc en milieu acide.

2-Dresser littéralement le tableau d'avancement associé à la transformation chimique du zinc en milieu acide.

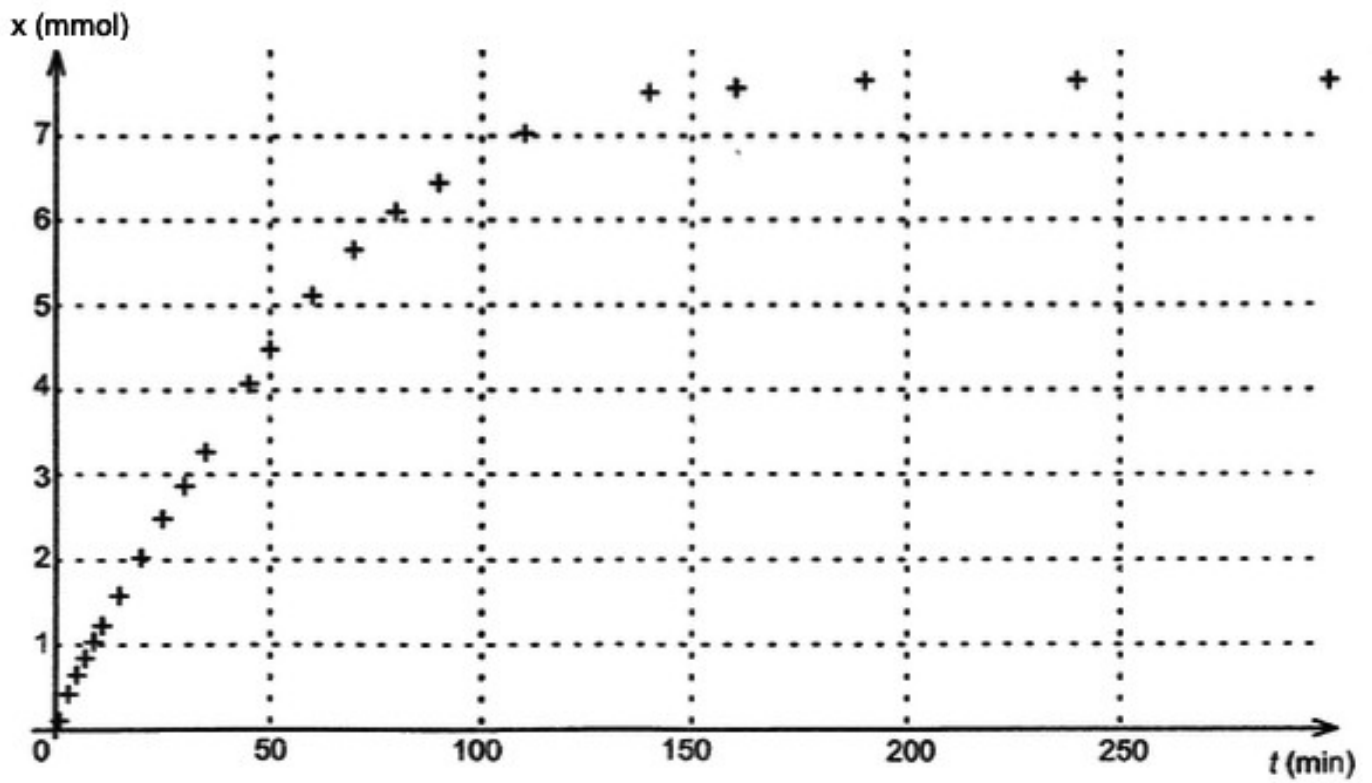
3-Déterminer la valeur de l'avancement maximal x_{max} puis le réactif limitant.

On considère que le dihydrogène libéré par la transformation chimique est un gaz parfait. À chaque instant la surpression $\Delta P = P - P_i$ est proportionnelle à la quantité $n(\text{H}_2)$ de dihydrogène formé et inversement proportionnelle au volume V_{gaz} de gaz contenu dans l'erlenmeyer : $\Delta P \times V_{\text{gaz}} = n(\text{H}_2) \times R \times T$, où P_i représente la pression mesurée à la date $t=0$ s, P la pression mesurée par le capteur et T la température du milieu (maintenue constante pendant l'expérience grâce au bain thermostaté).

4-a) Exprimer l'avancement x de la réaction en fonction de $P - P_i$, V_{gaz} , R et T .

4-b) Soit $P_{\text{max}} = 1757 \text{ hPa}$ la pression mesurée à l'état final. Montrer que $x = x_{\text{max}} \left(\frac{P - P_i}{P_{\text{max}} - P_i} \right)$.

Les valeurs de pression mesurées ont permis de tracer la courbe donnant l'évolution de l'avancement x en fonction du temps représentée ci-dessous.



5-Déterminer la valeur de l'avancement à la date $t=50,0$ min en sachant que $P=1452$ hPa. Vérifier cette valeur sur la courbe.

6-La transformation chimique du zinc en milieu acide est-elle totale ? Justifier.

Détartrant pour cafetières

Deux produits différents peuvent être utilisés pour détartrer les cafetières électriques. Le premier, se présentant sous forme de poudre, est de l'acide citrique. Le mode d'emploi pour un détartrage est le suivant :

- Diluer complètement la poudre détartrante dans 1/2 litre d'eau.
- Verser la solution dans le réservoir d'eau et mettre en marche l'appareil.
- Après écoulement de la moitié de la solution, arrêter l'appareil et laisser agir trente minutes.
- Remettre en marche pour l'écoulement du reste de la solution.
- Effectuer 3 rinçages successifs à l'eau claire.

Le deuxième détartrant est une poudre à base d'acide sulfamique. Son mode d'emploi ne diffère de celui du premier que par le temps d'action, réduit à dix minutes.

Données :

- Masse molaire de l'acide citrique : $M(A_1H) = 192,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
- Masse molaire de l'acide sulfamique : $M(A_2H) = 97,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Partie A : Fabrication de la solution détartrante n°1

A1-L'utilisation du verbe « diluer » dans le mode d'emploi du détartrant est-elle pertinente ? Justifier.

A2-La masse $m(A_1H)$ d'acide citrique utilisée pour obtenir le volume $V_1 = 0,50 \text{ L}$ de solution détartrante est égale à 20 g. Exprimer puis calculer la concentration en quantité de matière d'acide citrique de la solution détartrante n°1.

Partie B : Comportement des deux acides dans l'eau

On considère une solution d'acide citrique S_1 et une solution d'acide sulfamique S_2 de même concentration en quantité de matière en soluté apporté $C = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. À 25 °C, on mesure un pH de valeur 2,6 pour S_1 et de valeur 2,0 pour S_2 .

B1-Définir un acide selon Bronsted.

B2-Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation chimique entre un acide AH et l'eau.

B3-En utilisant un tableau d'avancement, établir l'expression du taux d'avancement final τ_f de la transformation chimique entre l'acide AH et l'eau en fonction du pH de la solution et de la concentration en quantité de matière en soluté apporté C.

B4-Calculer les taux d'avancement final, notés respectivement τ_{f1} et τ_{f2} , de chacune des transformations chimiques (celle pour l'acide citrique A_1H et celle pour l'acide sulfamique A_2H). Commenter les résultats obtenus.

Partie C : Titrage de l'acide sulfamique dans la solution détartrante n°2

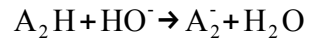
Pour déterminer le pourcentage massique d'acide sulfamique contenue dans la poudre du deuxième détartrant, on procède à un dosage par titrage acido-basique colorimétrique avec indicateur coloré.

Pour cela, on dissout une masse $m = 1,00 \text{ g}$ de ce détartrant dans de l'eau déminéralisée pour obtenir une solution S de volume $V = 100,0 \text{ mL}$.

Une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium, de formule $(\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq}))$ et de concentration $c_B = 0,200 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ permet de doser un volume $V' = 20,0 \text{ mL}$ de la solution S.

Le changement de couleur de l'indicateur coloré est repéré pour un volume de solution d'hydroxyde de sodium versée : $V_E = 9,8 \text{ mL}$.

Lors de ce dosage par titrage acido-basique, l'équation de la réaction support du titrage est :



C1-Déduire, de l'équation support du titrage, les deux couples acide-base qui sont mis en jeu dans cette transformation chimique. Justifier.

C2-a) Déterminer la masse $m(A_2H)$ d'acide sulfamique contenu dans $m = 1,00$ g de détartrant. Justifier votre démarche.

C2-b) En déduire le pourcentage massique d'acide sulfamique dans le détartrant n°2.

Un sachet de détartrant n°2 contient 20 g de poudre à dissoudre dans 0,50 L d'eau.

C3-a) Déterminer la masse d'acide sulfamique A_2H contenue dans le sachet de détartrant n°2.

C3-b) En déduire la concentration en quantité de matière de l'acide sulfamique dans la solution ainsi préparée.

« L'ammoniaque » est une solution obtenue en dissolvant du gaz ammoniac, $\text{NH}_3(\text{g})$, dans l'eau. Cette solution est présente dans de nombreux produits d'entretien.

On dispose d'une bouteille « d'ammoniaque » achetée dans le commerce dont l'étiquette précise : « Ammoniac 13,0 % en masse ».

On souhaite vérifier la concentration en ammoniac dans la solution commerciale.

Données à 25°C :

-Masse molaire de l'ammoniac : $M(\text{NH}_3) = 17,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

-Densité de la solution d'ammoniaque commerciale : $d_{\text{sol}} = 0,970$

- NH_4^+ est la formule chimique de l'ion ammonium

Partie A : Etude préliminaire

L'ammoniac est très soluble dans l'eau.

A1-Préciser si l'ammoniac est un acide ou une base en solution aqueuse. Justifier.

A2-Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation mise en jeu entre l'ammoniac dissous, $\text{NH}_3(\text{aq})$ et l'eau.

A3-À partir de la donnée figurant sur l'étiquette, montrer que la concentration en quantité de matière de l'ammoniac dans la solution commerciale est de l'ordre de $7,4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

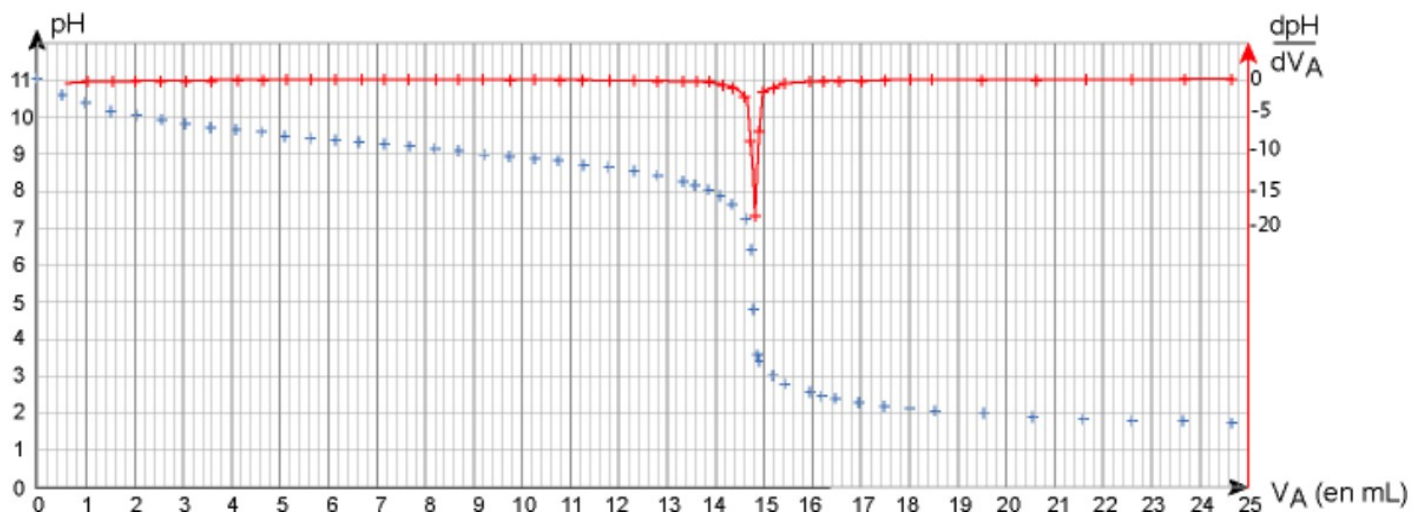
Partie B : Titrage de la solution « d'ammoniaque » commerciale

La solution S_0 de la bouteille « d'ammoniaque » étant trop concentrée pour réaliser le titrage, une solution S_d , 100 fois moins concentrée est préparée et on réalise un titrage suivi par pH-métrie de cette solution diluée.

-On prélève un volume $V_d = 10,0 \text{ mL}$ de solution S_d ;

-On titre ce prélèvement par une solution d'acide chlorhydrique ($\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$) de concentration $C_A = (5,00 \pm 0,02) \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

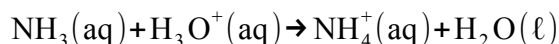
Les résultats des mesures effectuées au cours du titrage et leur exploitation sont présentés dans la figure ci-dessous.



B1-À partir du protocole et des résultats expérimentaux,

-déterminer la valeur du pH de la solution S_d ;

-montrer que l'équation de la réaction acide-base support du titrage est la suivante :



B2-Déterminer la valeur de la concentration $C(\text{NH}_3)_d$ en ammoniac dans la solution S_d . Justifier votre démarche.

Les incertitudes-types sur les volumes prélevés sont estimées à 0,2 mL. Par ailleurs, l'incertitude-type $u(C(\text{NH}_3)_d)$ sur la concentration $C(\text{NH}_3)_d$ se déduit des grandeurs mesurées par :

$$\frac{u(C(\text{NH}_3)_d)}{C(\text{NH}_3)_d} = \sqrt{\left(\frac{u(V_E)}{V_E}\right)^2 + \left(\frac{u(C_A)}{C_A}\right)^2 + \left(\frac{u(V_d)}{V_d}\right)^2}$$

Enfin, dans ces conditions expérimentales, le rapport entre la concentration $C(\text{NH}_3)_0$ de la solution S_0 de la bouteille « d'ammoniaque » et son incertitude $u(C(\text{NH}_3)_0)$ est considéré comme étant le même qu'entre la concentration $C(\text{NH}_3)_d$ de la solution diluée S_d et son incertitude $u(C(\text{NH}_3)_d)$: $\frac{u(C(\text{NH}_3)_d)}{C(\text{NH}_3)_d} = \frac{u(C(\text{NH}_3)_0)}{C(\text{NH}_3)_0}$.

B3-a) Déterminer la valeur de l'incertitude-type $u(C(\text{NH}_3)_0)$ sur la concentration en ammoniac de la solution S_0 commerciale. Écrire le résultat de la mesure de cette concentration $C(\text{NH}_3)_0$ avec son incertitude.

B3-b) Confronter la valeur de la concentration déterminée expérimentalement avec l'indication de l'étiquette de la bouteille « d'ammoniaque » commerciale (un calcul de z-score est attendu). Commenter.

L'acide benzoïque et ses sels (benzoate de sodium ou de potassium) sont utilisés comme conservateurs alimentaires du fait de leur capacité à inhiber le développement de levures, et dans de moindre mesure, de moisissures.

L'acide benzoïque est peu soluble dans l'eau : à 25°C, on peut dissoudre au maximum 3,42 g par litre de solution. Celle-ci est alors dite saturée.

On considérera par la suite un volume $V = 20,0 \text{ mL}$ de cette solution.

Données :

-Masse molaire de l'acide benzoïque : $M(\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_2) = 122,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

-Constante d'équilibre associée à la transformation chimique entre l'acide benzoïque et l'eau :
 $K_A = 6,46 \times 10^{-5}$

1-Montrer que la concentration en quantité de matière de l'acide benzoïque dans la solution saturée est égale à $C = 2,80 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

2-a) Justifier que l'acide benzoïque est un acide faible dans l'eau.

2-b) Ecrire l'équation de la réaction modélisant la transformation chimique entre l'acide benzoïque et l'eau.

2-c) Donner l'expression de la constante d'équilibre K_A associée à cette transformation.

2-d) Montrer, à l'aide d'un tableau d'avancement, que la constante d'équilibre K_A peut s'exprimer par :

$$K_A = \frac{(x_f)^2}{(C \times V - x_f) \times C^{\circ} \times V}$$

2-e) Déterminer la valeur de x_f (il faut résoudre une équation du second degré ...).

3-Donner la composition finale et le pH final du système chimique. Justifier.

4-Exprimer puis calculer le taux d'avancement final associé à cette transformation chimique. Conclure.

5-On ajoute à la solution précédente quelques gouttes d'acide chlorhydrique concentré ($\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$), sans modifier le volume, dans quel sens l'équilibre va-t-il se déplacer ? Justifier.

Certains équipements mécaniques, comme les moteurs, nécessitent l'utilisation d'huiles de valeur de viscosité contrôlée pour pouvoir fonctionner correctement.

Le but de cet exercice est d'étudier le principe de fonctionnement d'un viscosimètre à chute de bille permettant de mesurer, à température ambiante, la viscosité d'une huile appelée « huile C ».

Viscosimètre à chute de bille KF40 Brookfields®



La mesure de la viscosité de l'huile C repose sur l'exploitation de la chute verticale d'une bille en acier dans un récipient cylindrique, rempli de cette huile, représenté sur la figure 1. Le mouvement du centre de masse de la bille est étudié dans le référentiel terrestre supposé galiléen, muni d'un repère d'origine O, d'axe vertical (Oz) orienté vers le bas et de vecteur unitaire \vec{k} . La situation est schématisée sur la figure 1.

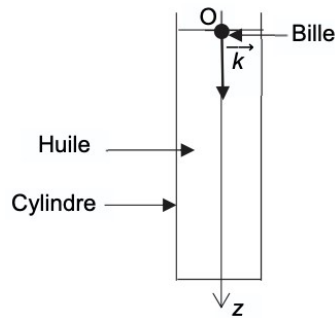


Figure 1. Schéma du dispositif expérimental de mesure

Données :

Les données numériques de cet exercice proviennent de travaux réalisés à l'université de Grenoble.

-Masse volumique de l'huile C : $\rho_h = 8,31 \times 10^2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$;

-Masse volumique de la bille : $\rho_b = 1,06 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$;

-Rayon de la bille : $r = 0,993 \text{ mm}$;

-Intensité de la pesanteur terrestre : $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;

-Volume d'une bille de rayon r : $V_b : \frac{4}{3} \pi r^3$;

-Pour discuter de l'accord du résultat d'une mesure avec une valeur de référence, on peut utiliser le quotient $\frac{|x - x_{\text{ref}}|}{u(x)}$ avec x la valeur mesurée, x_{ref} la valeur de référence et $u(x)$ l'incertitude-type associée $u(x)$ à la valeur mesurée x.

Lors de sa chute verticale dans l'huile C, la bille de masse m est soumise à trois forces :

-Son poids noté \vec{P} ;

-la poussée d'Archimède, exercée par l'huile, d'expression vectorielle $\vec{P}_A = -\rho_h \times V_b \times g \times \vec{k}$;

-la force de frottement exercée par l'huile sur la bille, d'expression vectorielle dans les conditions de l'expérience : $\vec{f} = -\alpha \times \eta_C \times v \times \vec{k}$ avec α une constante homogène à une distance, dépendant des paramètres géométriques du système, η_C la viscosité de l'huile C et v la valeur de la vitesse du centre de masse de la bille.

On donne $\alpha = 1,92 \times 10^{-2} \text{ m}$.

1-Montrer, à l'aide d'un raisonnement sur les unités, que la viscosité η_C s'exprime en $\text{N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}$.

À la date $t = 0$, la bille est lâchée avec une vitesse initiale nulle depuis le point O, situé dans l'huile, en haut du récipient cylindrique. Au bout de quelques instants, le mouvement de la bille devient rectiligne uniforme, la bille atteint alors une vitesse limite notée v_{lim} .

2-Préciser, en justifiant, si la valeur de la force de frottement \vec{f} augmente ou diminue quand la valeur de la vitesse de la bille augmente.

3-Représenter sur un schéma, sans calcul et en justifiant, l'ensemble des forces appliquées au système {bille}, lorsque la vitesse limite est atteinte.

4-Montrer que la vitesse limite vérifie l'équation : $\alpha \times \eta_C \times v_{\text{lim}} = \frac{4 \times \pi \times r^3 \times g \times (\rho_b - \rho_h)}{3}$

5-La valeur limite de la vitesse de la bille vaut $v_{\text{lim}} = 5,37 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$. Calculer la valeur de la viscosité η_C de l'huile C.

L'huile C a une viscosité de référence qui vaut $\eta_{\text{réf}} = 0,093 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}$ et l'incertitude-type sur la valeur de la viscosité η_C obtenue vaut $u(\eta_C) = 0,003 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}$.

6-Déterminer si la valeur de la viscosité η_C obtenue expérimentalement est en accord avec la valeur de référence.

On souhaite déterminer la durée nécessaire pour que la bille, lâchée avec une vitesse initiale nulle, atteigne sa vitesse limite.

7-Le vecteur accélération \vec{a} du centre de masse de la bille s'écrit : $\vec{a} = a \times \vec{k}$. À l'aide de la deuxième loi de Newton, montrer que l'accélération a peut s'écrire :

$$a = g \times \left(1 - \frac{\rho_h \times V_b}{m} \right) - \frac{\alpha \times \eta_C \times v}{m} \text{ où } m \text{ est la masse de la bille}$$

8-En déduire que l'évolution de la coordonnée v du vecteur vitesse \vec{v} de chute de la bille au cours du temps obéit à l'équation différentielle suivante :

$$\frac{dv}{dt} + \frac{3 \times \alpha \times \eta_C}{4 \times \rho_b \times \pi \times r^3} \times v = g \times \left(1 - \frac{\rho_h}{\rho_b} \right)$$

Si la bille est abandonnée avec une vitesse initiale nulle, la résolution de l'équation différentielle précédente permet d'obtenir l'expression de sa vitesse v(t) :

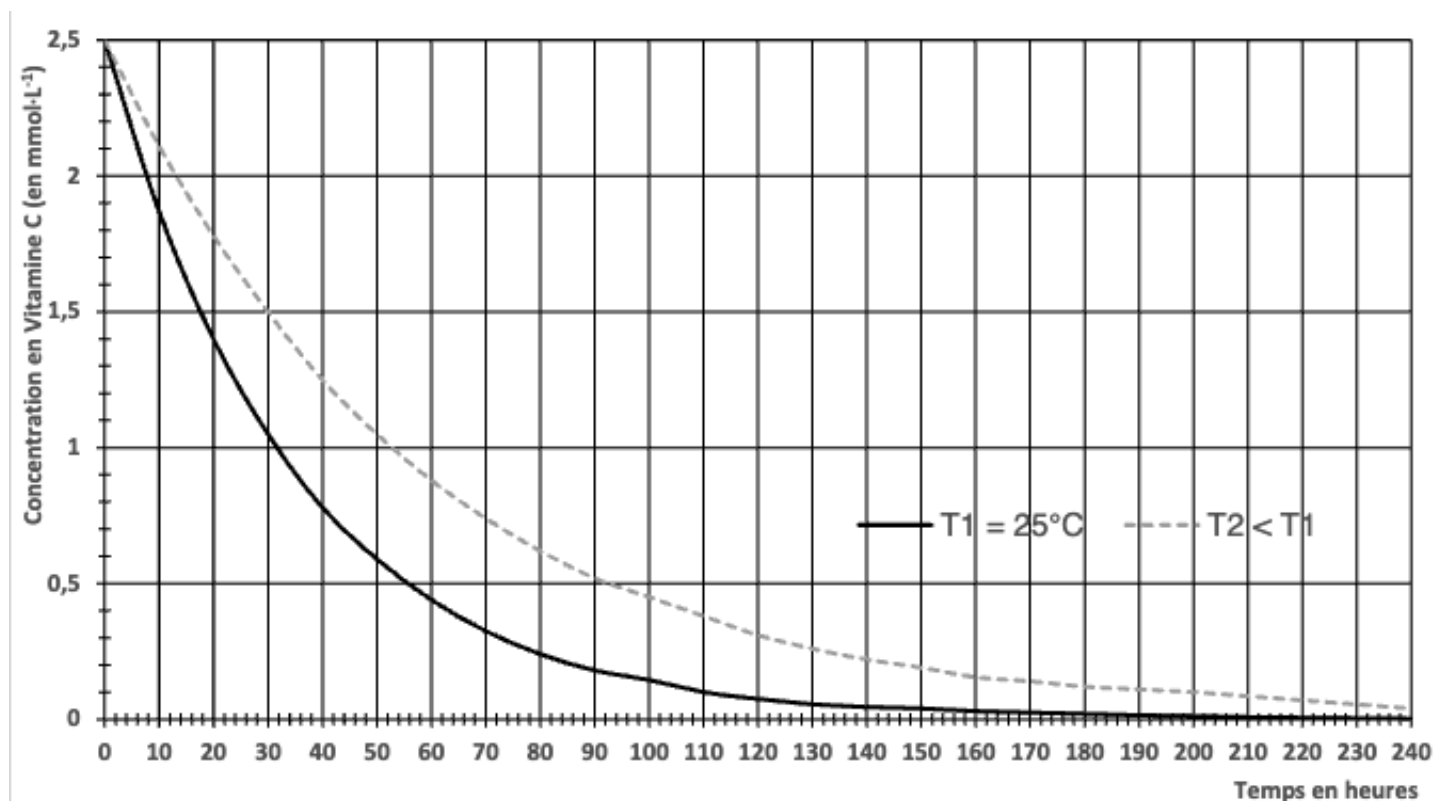
$$v(t) = v_{\text{lim}} \times \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \text{ avec } \tau = \frac{4 \times \rho_b \times \pi \times r^3}{3 \times \alpha \times \eta_C}$$

9-Calculer la valeur de τ en utilisant la valeur de la viscosité de référence de l'huile étudiée. Justifier que l'on peut considérer que la vitesse de la bille est pratiquement égale à sa valeur limite durant tout le mouvement sachant que le tube du viscosimètre a une hauteur d'environ 15 cm.

« La vitamine C est la plus fragile de toutes les vitamines : elle se dégrade rapidement à la chaleur, à l'eau, à l'air et à la lumière. Par exemple, à température ambiante, la moitié de la teneur en vitamine C d'un jus de fruit peut être perdue en 24 heures. En conséquence, les modes de stockage doivent être adaptés de manière à limiter les pertes : les industriels conservent les produits à basse température (inférieure à 5 °C) en y adjoignant des agents actifs. »

D'après l'AFSSA - Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments

On dispose d'un jus d'orange filtré à la température $T_1=25^\circ\text{C}$. À partir de données expérimentales, on a modélisé le suivi cinétique de la dégradation de la vitamine C, ou acide ascorbique, dans ce jus d'orange et à cette température (voir figure ci-dessous).



Données :

- L'acide ascorbique est aussi un réducteur et fait partie du couple : $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6(\text{aq})/\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6(\text{aq})$.
- Le dioxygène est l'oxydant du couple $\text{O}_2(\text{g})/\text{H}_2\text{O}(\text{l})$.

- 1-Écrire l'équation de la réaction modélisant la dégradation de la vitamine C par le dioxygène de l'air.
- 2-Définir la vitesse volumique de disparition de la vitamine C.
- 3-À partir du graphique de la figure, décrire qualitativement l'évolution de la vitesse de disparition de la vitamine C en fonction du temps, à une température donnée, et faire le lien avec un facteur cinétique à préciser.
- 4-Déterminer graphiquement les vitesses volumiques de disparition de la vitamine C à la température $T_1=25^\circ\text{C}$ et aux dates $t_0=0\text{ h}$ et $t_1=60\text{ h}$.
- 5-Déterminer graphiquement le temps de demi-réaction à la température $T_1=25^\circ\text{C}$ et vérifier que cette valeur est cohérente avec celle annoncée dans le texte introductif.
- 6-En comparant les deux courbes, donner un deuxième facteur cinétique, et indiquer pourquoi il est préférable de ne pas laisser le jus d'orange sur la table du petit déjeuner.

Parmi les divers équipements publics ou privés, les piscines sont souvent considérées comme énergivores. Pourtant, de nombreuses solutions techniques permettent d'optimiser la consommation d'énergie d'une piscine en agissant sur sa forme, son orientation et sur la source de production d'énergie nécessaire à son chauffage. Les pompes à chaleur sont des dispositifs désormais préconisés pour le chauffage de ces bassins d'eau.

L'objectif de cet exercice est de répondre à la question suivante : en quoi l'utilisation d'une pompe à chaleur contribue-t-elle à apporter une solution au défi énergétique ?

La pompe à chaleur

La pompe à chaleur (PAC) est un équipement de chauffage thermodynamique à énergie renouvelable. La PAC transfère de l'énergie depuis une source renouvelable, appelée source froide, telle que l'air extérieur, l'eau (d'une nappe souterraine ou de la mer), ou la terre vers un autre milieu (un bâtiment, un logement, un bassin d'eau, etc.).

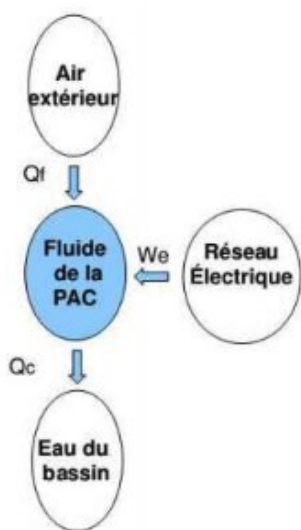
Pour exploiter ces différents gisements d'énergie renouvelable, une source d'énergie, généralement électrique, est toutefois nécessaire : aussi les PAC consomment-elles de l'électricité.

Le coefficient de performance η de la PAC est plus ou moins élevé selon la technologie, la source renouvelable ou l'usage de la PAC. Plus le coefficient de performance est élevé, plus la quantité d'énergie électrique nécessaire pour faire fonctionner la pompe est faible par rapport à la quantité d'énergie renouvelable prélevée au milieu.

Le coefficient de performance η d'une pompe à chaleur traduit donc la performance énergétique de celle-ci. Il est défini par la valeur absolue du rapport de l'énergie utile fournie par la PAC sur l'énergie électrique requise pour son fonctionnement. La valeur de ce coefficient η est généralement comprise entre 2,5 et 5. Elle dépend de la conception et du type de PAC, mais aussi de la température extérieure de la source froide.

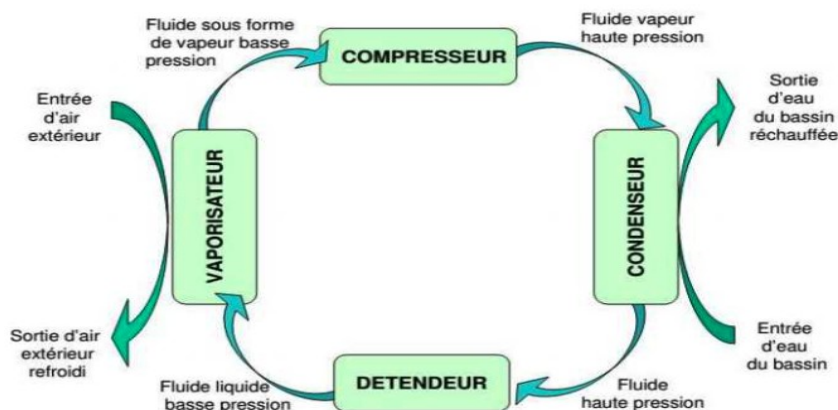
d'après : www.ademe.fr

La pompe à chaleur air / eau est une machine thermique ditherme qui fonctionne entre une source de température variable au cours du temps et une source de température quasi constante, tout en recevant de l'énergie électrique. La PAC fonctionne comme une machine cyclique. Au terme d'un cycle, la variation d'énergie interne ΔU du système {fluide frigorigène} contenu dans la PAC est nulle.



Des transferts énergétiques Q_f , Q_c et W_e sont mis en jeu au cours d'un cycle de la PAC, avec :

- Q_f énergie transférée de l'air extérieur (source froide dans ce dispositif) au fluide de la PAC ; cette énergie est renouvelable et gratuite ;
- Q_c énergie transférée par le fluide de la PAC à l'eau du bassin de la piscine ;
- W_e énergie électrique consommée par la PAC et transférée intégralement au fluide de la PAC sous une autre forme.



Données :

-Système étudié : le fluide frigorigène de la PAC ;

-Capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_{\text{eau}} = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;

-Masse volumique de l'eau liquide : $\rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ dans les conditions de l'étude.

Partie A : Fonctionnement global de la pompe à chaleur

A1-Parmi les transferts d'énergie Q_f , Q_c et W_e , indiquer ceux qui correspondent à une énergie reçue par le fluide de la PAC et ceux qui correspondent à de l'énergie cédée par le fluide de la PAC. En déduire le signe de ces transferts d'énergie pour le système étudié c'est-à-dire le fluide frigorigène de la PAC.

A2-Montrer que pour un cycle du fluide, on a l'égalité $Q_c = -(Q_f + W_e)$.

Le fluide frigorigène est un mélange choisi pour ses propriétés thermiques. Il circule dans des tuyaux à l'intérieur de la PAC et n'est donc jamais en contact direct avec l'air extérieur.

A3-Nommer le changement d'état que subit le fluide frigorigène contenu dans la PAC lors de son passage dans le vaporisateur. Lors de ce changement d'état, le fluide frigorigène a-t-il reçu ou cédé de l'énergie ?

Partie B : Chauffage de l'eau du bassin d'une piscine

Après remplissage d'une piscine de volume $V = 560 \text{ m}^3$ avec une eau initialement prise à une température de 17°C , on souhaite augmenter la température de l'eau de piscine jusqu'à 28°C . On considérera que le transfert thermique depuis la PAC sert intégralement à chauffer l'eau de la piscine sans déperdition.

B1-Exprimer puis calculer la variation d'énergie interne de l'eau du bassin ΔU_{eau} quand la température de l'eau a atteint 28°C . En déduire la valeur de l'énergie thermique Q_c transférée par le fluide de la PAC à l'eau du bassin de la piscine.

B2-On a mesuré l'énergie électrique W_e consommée (et facturée) pendant ce transfert et trouvé une valeur égale à $W_e = 8,0 \times 10^9 \text{ J}$. Déterminer la valeur de Q_f , l'énergie transférée par l'air extérieur au fluide de la PAC.

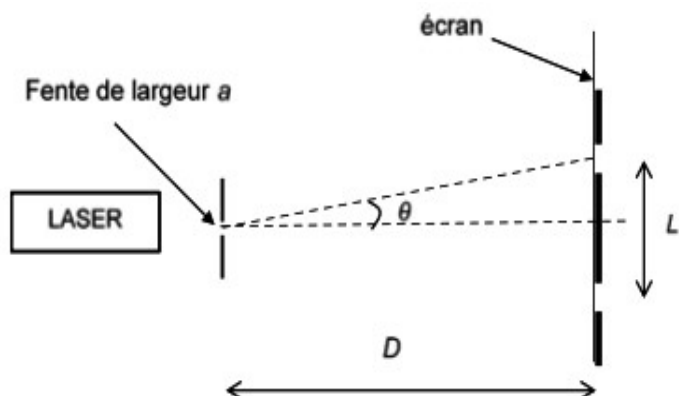
B3-Exprimer, puis calculer le coefficient de performance η de la PAC.

Partie C : Enjeux énergétiques

C1-Montrer qu'avec une PAC de coefficient de performance $\eta = 3,0$, on réalise 67 % d'économie sur sa facture en énergie électrique par rapport à un chauffage direct utilisant, par exemple, une résistance électrique.

C2-En conclusion, répondre en quelques lignes à la question suivante : en quoi l'utilisation de pompes à chaleur apporte-t-elle une réponse à des problématiques énergétiques contemporaines ?

Partie A : Étude de la diffraction des ondes lumineuses



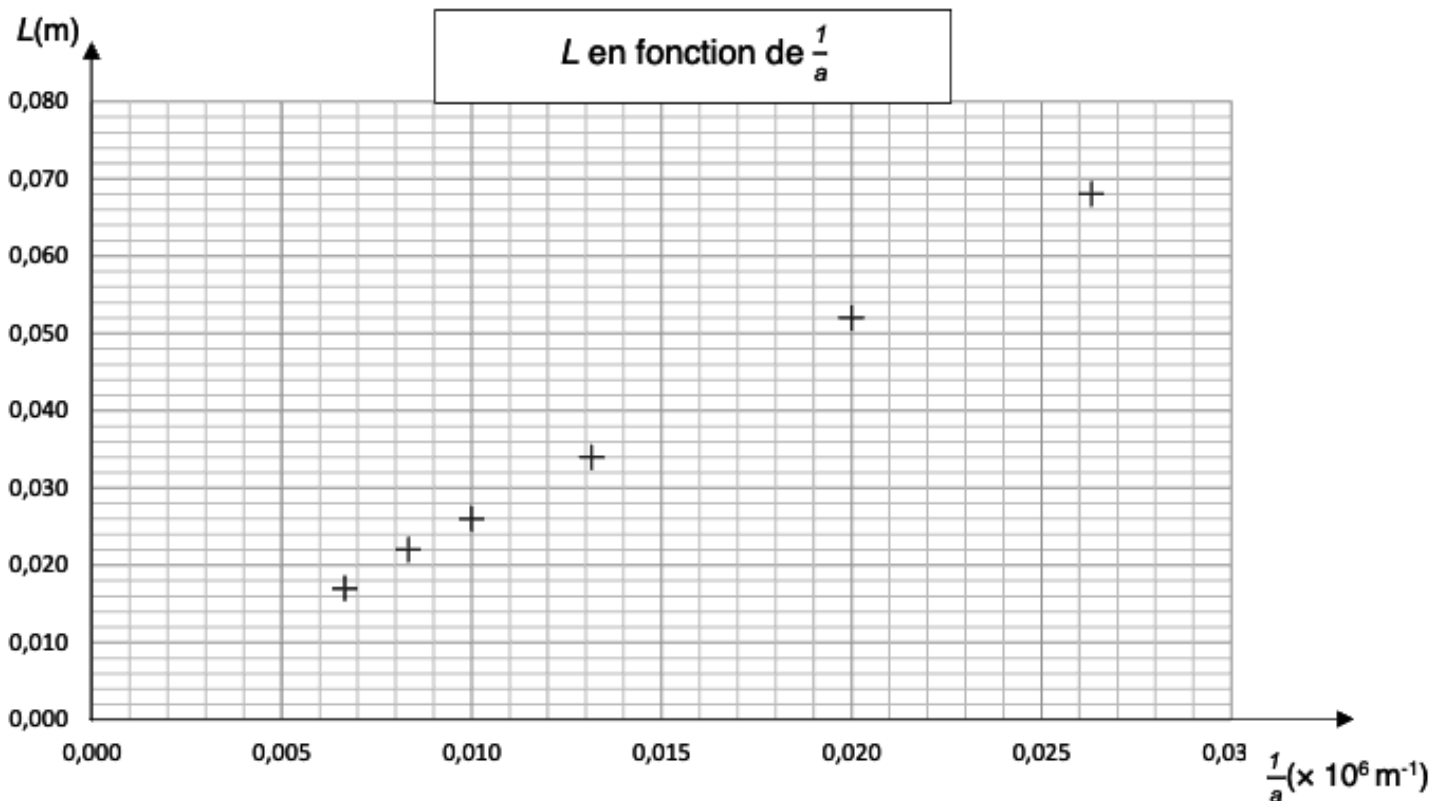
On dispose d'un laser de longueur d'onde inconnue λ face à une fente de largeur « a » réglable et d'un écran situé à une distance D égale à 2,00 m de la fente. On observe sur l'écran une figure de diffraction de tache centrale de largeur L. Le schéma de la figure ci-contre modélise le montage réalisé.

L'angle caractéristique de diffraction θ , en radian, a pour expression : $\theta = \frac{\lambda}{a}$.

L'angle θ étant petit, on peut considérer que la valeur de la tangente de l'angle θ est égale à l'angle θ : $\tan(\theta) = \theta$.

A1-Montrer que la largeur L de la tache centrale de diffraction a pour expression : $L = \frac{2\lambda D}{a}$.

Des mesures de la largeur L de la tache centrale de diffraction sur l'écran ont été effectuées en faisant varier la taille « a » de la fente. Le graphique ci-dessous est obtenu :



A2-a) À l'aide du graphique, montrer que la relation entre L et $\frac{1}{a}$ est du type $L = k \times \frac{1}{a}$.

A2-b) En utilisant la relation donnée question A1, indiquer l'expression de k en fonction de λ et D.

A2-c) Montrer que la valeur de la longueur d'onde λ est égale à $6,5 \times 10^{-7}$ m.

La valeur de l'angle θ_1 correspondant à la fente de largeur $a_1=38\ \mu\text{m}$ est égale à $1,7\times 10^{-2}\ \text{rad}$.

A3-a) Déterminer la valeur de l'angle θ_2 , en radian, correspondant à la fente de largeur a_2 égale à $150\ \mu\text{m}$.

A3-b) En déduire que la diffraction est la plus marquée pour la fente de largeur a_1 .

Partie B : Étude de la diffraction des ondes sonores

Dans des salles de spectacle, il existe des places appelées « places aveugles ». Installé à ce type de place, un spectateur se rend compte que la qualité sonore du concert ne le satisfait pas.

Lors du concert, le spectateur constate qu'il perçoit mieux les sons graves de fréquence f_1 égale à $200\ \text{Hz}$ que les sons aigus de fréquence f_2 de valeur $1,00\ \text{kHz}$.

Données :

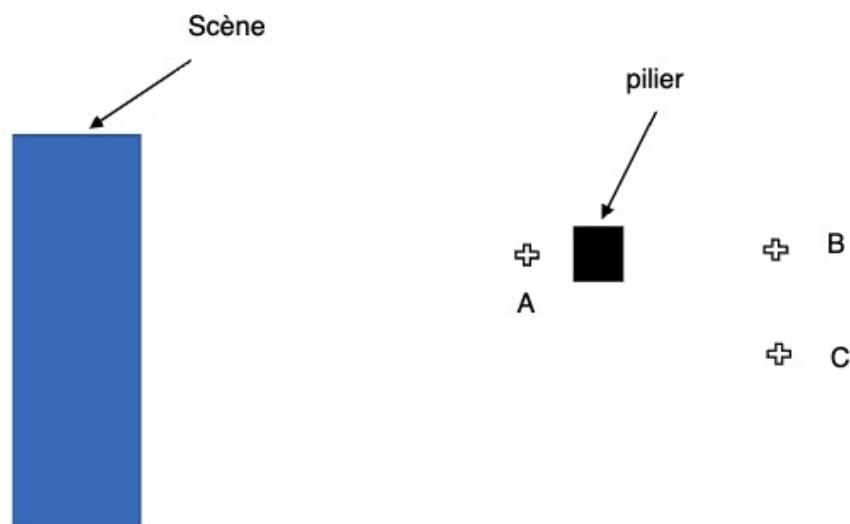
-Vitesse du son dans l'air à la température de 20°C : $v_{\text{son}}=340\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

-On rappelle que les caractéristiques de diffraction des ondes sont les mêmes pour les ondes lumineuses et les ondes sonores.

B1-Exprimer la longueur d'onde λ d'une onde sonore en fonction de la vitesse du son v_{son} et de sa fréquence f .

B2-Montrer que les longueurs d'onde λ_1 et λ_2 correspondant aux sons de fréquence f_1 et f_2 ont pour valeurs $\lambda_1=1,70\ \text{m}$ et $\lambda_2=0,340\ \text{m}$.

La figure ci-dessous représente la scène, un pilier de largeur voisine de $70\ \text{cm}$ et les positions possibles du spectateur lors du concert, repérées par les lettres A, B et C.



B3-Justifier que la diffraction par le pilier est identique à celle créée par une fente de même largeur.

B4-Choisir, en justifiant qualitativement, parmi les positions A, B ou C celle qui correspondrait le mieux à la situation décrite par le spectateur lors du concert.

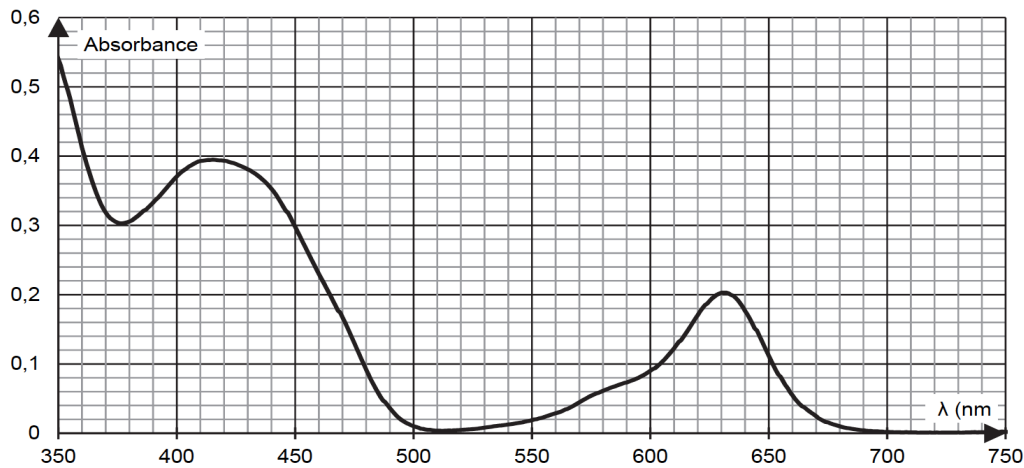
Colorant d'une boisson

On étudie une boisson verte à base de banane et de fruits tropicaux dont la recette est d'inspiration indonésienne. Elle est composée d'extraits de fruits, d'eau, d'éthanol, de sucre et de colorants alimentaires responsables de sa couleur vert vif.

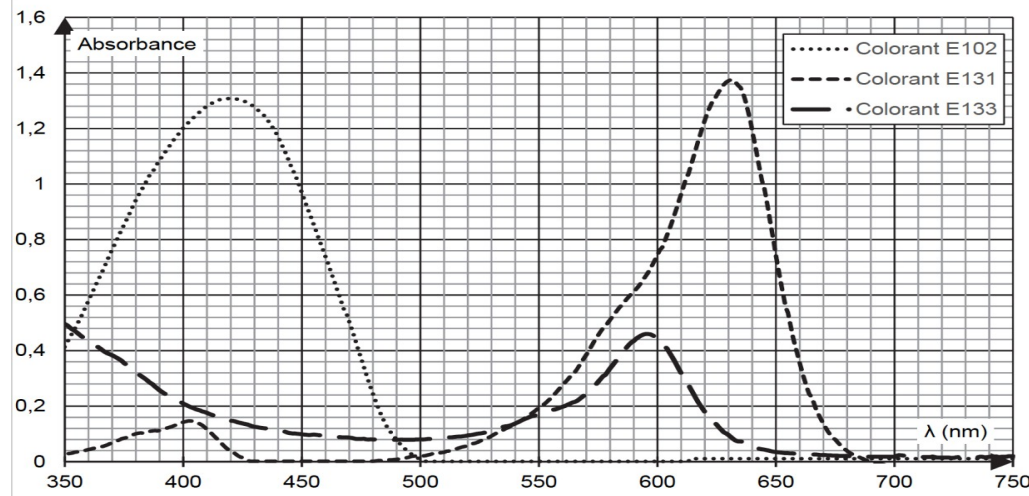
L'objectif de cet exercice est d'identifier la nature des colorants présents dans cette boisson et de s'interroger sur les risques éventuels pour la santé de l'un d'entre eux.

Données :

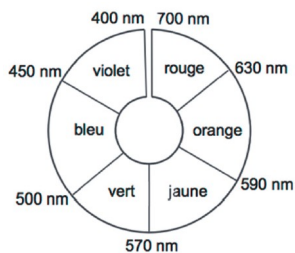
-Spectre d'absorbance n°1 : solution S de la boisson étudiée diluée d'un facteur 4



-Spectres d'absorbance n°2 : différents colorants alimentaires en solution aqueuse



-Cercle chromatique :



-Masse molaire du colorant E102 : $M(E102) = 534 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;

-Volume de la boisson étudiée contenu dans un verre de cocktail : $V = 3,0 \text{ cL}$;

-Concentration en masse de sucre dans la boisson étudiée : $t(\text{sucre})_{\text{boisson}} = 367 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$;

-Masse d'un morceau de sucre : $5,0 \text{ g}$.

-Largeur d'une cuve de spectrophotomètre : $\ell = 1,0 \text{ cm}$

1-Déterminer le nombre de morceaux de sucre équivalent à la quantité de sucre apportée par la boisson étudiée lorsqu'on boit un verre de cocktail. Commenter.

La couleur verte de la boisson étudiée est obtenue par le mélange de deux colorants alimentaires. On cherche à les identifier parmi les trois colorants analysés dans le spectre d'absorbance n°2.

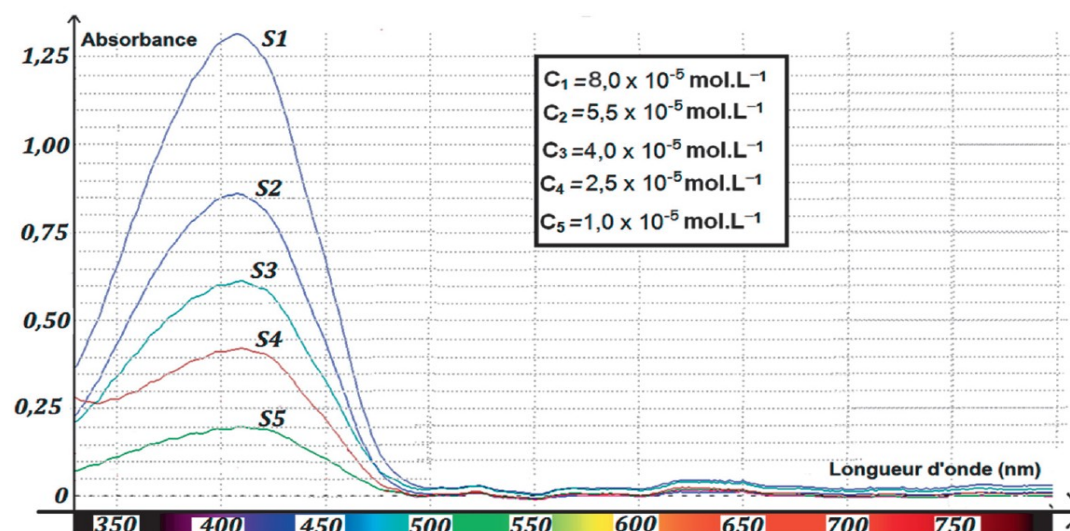
2-Donner, en justifiant, la couleur en solution aqueuse de chacun des colorants alimentaires E102, E131 et E133.

3-Déterminer, en justifiant, les deux colorants majoritairement présents dans la boisson étudiée.

La dose journalière admissible (DJA) d'un colorant est la masse maximale de colorant qu'une personne peut consommer par jour sans risque pour sa santé. Elle est habituellement exprimée en mg de substance par kg de masse corporelle et par jour. Pour le colorant E102, elle est de 7,5 mg par kilogramme de masse corporelle et par jour.

Pour déterminer la concentration de ce colorant dans la boisson étudiée, on réalise une gamme de solutions étalons de concentrations différentes à partir d'une solution-mère S_0 de colorant E102. On enregistre ensuite les spectres d'absorbance correspondants. Enfin, pour doser le colorant E102 dans la boisson étudiée, les spectres obtenus sont exploités à la longueur d'onde $\lambda=450\text{ nm}$. On note C_i , avec i allant de 1 à 5, la concentration en colorant E102 de la solution S_i .

Spectres d'absorbance de 5 solutions de concentrations différentes en colorant E102 :



4-À l'aide des spectres d'absorbance 1 et 2 fournis dans les données, expliquer le choix de la longueur d'onde $\lambda=450\text{ nm}$ plutôt que $\lambda'=420\text{ nm}$ pour réaliser le dosage du colorant E102 dans la boisson étudiée.

On rappelle que le spectre d'absorbance 1 est celui de la solution S de la boisson étudiée obtenue après dilution d'un facteur 4 de la solution commerciale.

5-Proposer un ensemble de verrerie permettant de préparer la solution S de la boisson étudiée diluée à partir de la solution commerciale.

6-a) En explicitant la démarche suivie, montrer que, pour la longueur d'onde choisie de 450 nm, la loi de Beer-Lambert est vérifiée pour le colorant E102.

6-b) En déduire la valeur du coefficient d'absorption molaire du colorant E102.

7-Déterminer la masse de colorant E102 contenue dans un verre de cocktail. Commenter.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.



Les larmes artificielles vendues dans le commerce peuvent être fabriquées à partir d'une solution aqueuse de chlorure de sodium.

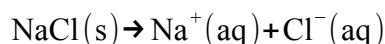
Elles sont fréquemment utilisées en ophtalmologie pour rincer les yeux puisque leur teneur en sel (ou chlorure de sodium NaCl) est équivalente à celle trouvée dans les larmes naturelles.

L'objectif de cet exercice est de vérifier, par deux méthodes différentes, la composition indiquée par le fabricant de larmes artificielles : « solution à 0,9 % en masse de chlorure de sodium ».

Les deux parties de cet exercice sont indépendantes.

Données :

-L'équation de la réaction chimique modélisant la dissolution totale du chlorure de sodium dans l'eau s'écrit :



-Masses molaires : $M(\text{Na}) = 23,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(\text{Cl}) = 35,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

-Densité de la solution de larmes artificielle du commerce : $d_{\text{larme}} = 1,01$

Partie A : Titrage des ions chlorure par réaction avec des ions argent

On introduit dans un erlenmeyer :

-5,0 mL de larmes artificielles;

-20 mL d'eau distillée;

-4 gouttes d'une solution de chromate de potassium (indicateur de fin de réaction).

On remplit une burette graduée avec une solution de nitrate d'argent ($\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{NO}_3^-(\text{aq})$) de concentration $C_0 = 5,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

On verse progressivement cette solution de nitrate d'argent dans l'erlenmeyer tout en agitant le mélange. La réaction entre les ions argent et les ions chlorure conduit à la formation d'un précipité blanc. L'équation de cette réaction correspondant au titrage est : $\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{AgCl(s)}$.

Le précipité blanc qui apparaît dans un premier temps s'intensifie au fur et à mesure des ajouts. À partir d'un volume $V_E = 15,5 \text{ mL}$, l'indicateur de fin de réaction donne un précipité rouge brique indiquant l'équivalence.

Vérifier la composition indiquée par le fabricant.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.

Partie B : Dosage par étalonnage du chlorure de sodium dans les doses de larmes artificielles

On dispose de dix solutions aqueuses de chlorure de sodium de différentes concentrations en quantité de matière C pour lesquelles on a mesuré leur conductivité σ . Les résultats ont permis de tracer le graphe $\sigma = f(C)$ qui représente l'évolution de la conductivité des solutions aqueuses de chlorure de sodium en fonction de leur concentration.

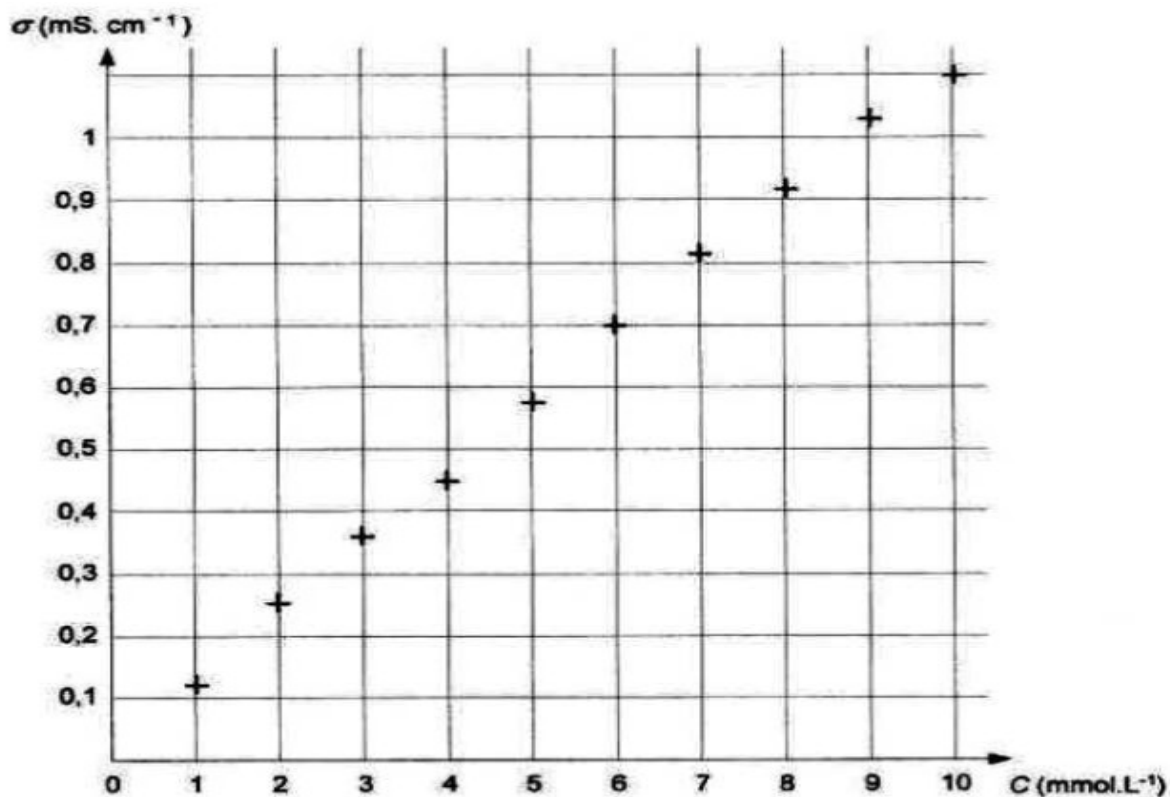
On dilue par un facteur 20 la solution des larmes artificielles. La valeur mesurée de la conductivité de la solution S ainsi obtenue est de $0,880 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$.

B1-Décrire le protocole détaillé permettant de préparer 50,0 mL de solution S_1 à la concentration $C_{S_1} = 1,00 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ à partir de la solution S_5 à la concentration $C_{S_5} = 5,00 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$.

B2-a) Dans le cas des solutions diluées, exprimer la conductivité σ d'une solution aqueuse de chlorure de sodium en fonction des concentrations et des conductivités molaires ioniques de chaque espèce chimique présente en solution.

B2-b) Montrer que l'expression précédente est en accord avec l'écriture $\sigma = k \times C$.

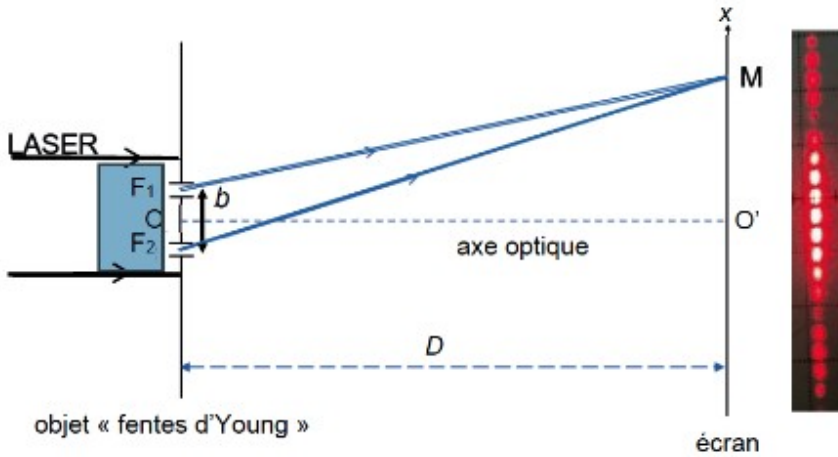
On donne ci-dessous le graphe $\sigma = f(C)$ qui représente l'évolution de la conductivité des solutions aqueuses de chlorure de sodium en fonction de leur concentration.



B3-Vérifier la composition indiquée par le fabricant.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.

Pour identifier l'espèce d'un oiseau, la plume est une des parties du corps de l'animal qu'il est possible d'étudier. Les plumes d'oiseaux sont des objets complexes qui possèdent des structures géométriques périodiques à des échelles différentes, qu'il est possible d'étudier par des méthodes interférométriques.



L'expérience des fentes d'Young permet d'obtenir sur un écran une figure d'interférences constituée d'une succession de franges brillantes et sombres qui se répartissent sur un axe de direction parallèle à la droite joignant les deux fentes.

La figure ci-contre donne une schématisation d'une expérience des fentes d'Young dans l'air, de centres F_1 et F_2 , ainsi qu'une photographie de la figure d'interférences obtenue.

Un faisceau lumineux issu d'un laser de longueur d'onde λ , éclaire un objet plan totalement opaque en dehors de deux fentes, séparées d'une distance notée b . Cet objet est appelé objet « fentes d'Young ».

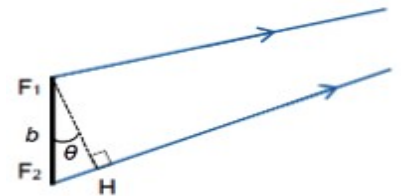
Le faisceau est constitué d'un ensemble de rayons parallèles, et se propage parallèlement à l'axe optique (OO'), le point O étant à égale distance des points F_1 et F_2 et le point O' étant situé sur l'écran.

Les ondes issues des fentes interfèrent sur l'écran. En un point M de celui-ci, on admet que la différence de chemin optique entre les deux ondes s'écrit $\Delta L = \delta = F_2M - F_1M$.

L'écran est situé à une distance D des fentes très grande devant la distance b ($D \gg b$). Dans l'approximation des petits angles ($\theta \ll 1 \text{ rad}$) : $\sin(\theta) = \theta$; $\tan(\theta) = \theta$.

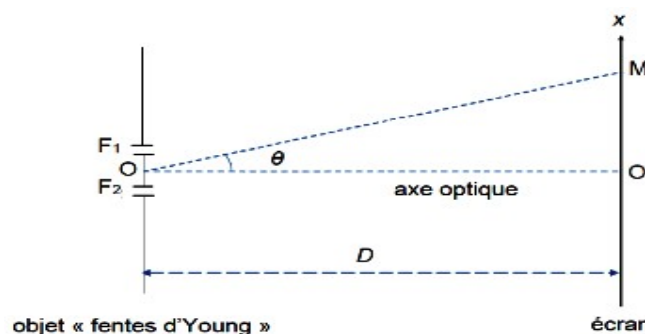
1-Préciser la condition que doit vérifier la différence de chemin optique ΔL pour que les ondes issues des fentes interfèrent de manière constructive au point M . Indiquer en justifiant dans ce cas si la frange au point O' est brillante ou sombre.

Sur la figure ci-contre, le point H représente le projeté orthogonal de F_1 sur le segment $[F_2M]$. On admet que la différence de chemin optique ΔL est égale à la longueur du segment $[F_2H]$.



2-Montrer que, dans les conditions de l'expérience ($\theta \ll 1 \text{ rad}$), il est possible d'exprimer la différence de chemin optique par la relation suivante : $\Delta L = b \cdot \theta$.

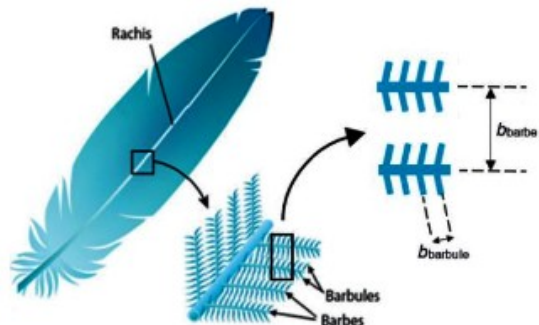
On montre, avec une très bonne approximation, que l'angle θ est égal à l'angle $O'OM$ dans le triangle rectangle $O'OM$ représenté sur la figure ci-dessous. L'abscisse du point M sur l'axe $O'x$ est notée x .



3-a) Après avoir exprimé l'angle θ en fonction de D et x , montrer que la différence de chemin optique ΔL a pour expression : $\Delta L = \frac{b \times x}{D}$.

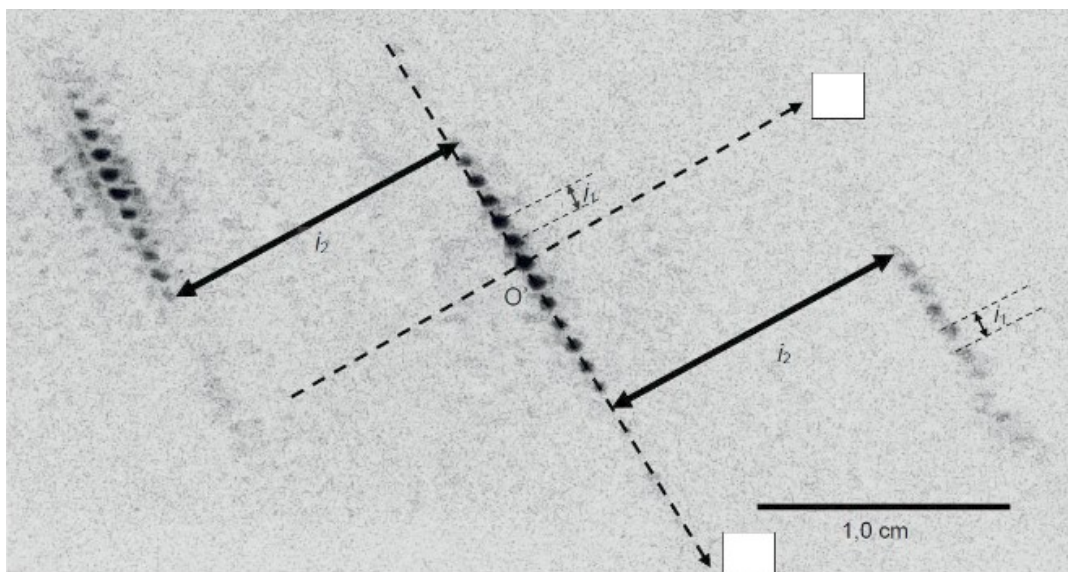
3-b) En déduire l'expression des abscisses x_k des franges brillantes, en fonction de λ , D , b et d'un entier relatif k .

4-Rappeler la définition de l'interfrange puis montrer que l'interfrange i est donnée par l'expression littérale suivante : $i = \frac{\lambda \times D}{b}$.



La figure ci-contre montre qu'une plume d'oie est composée d'un ensemble de barbes (tiges) fixées sur le rachis (axe principal de la plume d'oie). Les barbes supportent des éléments plus petits et fins, invisibles à l'oeil nu, appelés barbules. Les barbes sont régulièrement espacées d'une distance notée b_{barbe} , les barbules sont également régulièrement espacées d'une distance notée b_{barbule} (voir figure) et sont dans une direction pratiquement perpendiculaire à celle des barbes. Les barbules sont plus resserrées que les barbes, on a donc $b_{\text{barbule}} < b_{\text{barbe}}$.

On réalise la même expérience que celle des fentes d'Young en remplaçant l'objet « fentes d'Young » par une plume d'oie, éclairée avec un laser dont la longueur d'onde est $\lambda = 650 \text{ nm}$. L'écran est placé à une distance $D = 74 \text{ cm}$ de la plume. On obtient alors une figure d'interférences dont la photographie est donnée ci-dessous. Il s'agit d'une photographie en négatif : les points sombres sur la photographie correspondent à des points brillants dans la réalité.



L'écran est rapporté à un repère d'origine O' et d'axes $O'x$ et $O'y$ orthogonaux.

Dans un modèle très simplifié, il est possible de montrer que les interférences sont constructives uniquement en des points de coordonnées (x_k, y_ℓ) , vérifiant les relations : $x_k = k \times \frac{\lambda \times D}{b_{\text{barbe}}}$ et $y_\ell = \ell \times \frac{\lambda \times D}{b_{\text{barbule}}}$ où k et ℓ sont des entiers relatifs.

Le modèle prévoit que seulement certains de ces points sont lumineux du fait de détails de la géométrie des plumes auxquels on ne s'intéresse pas ici.

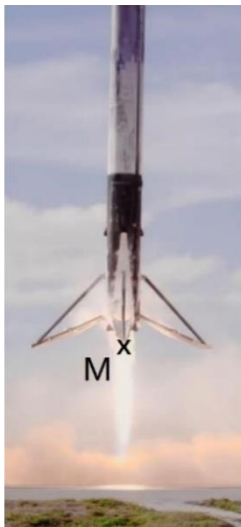
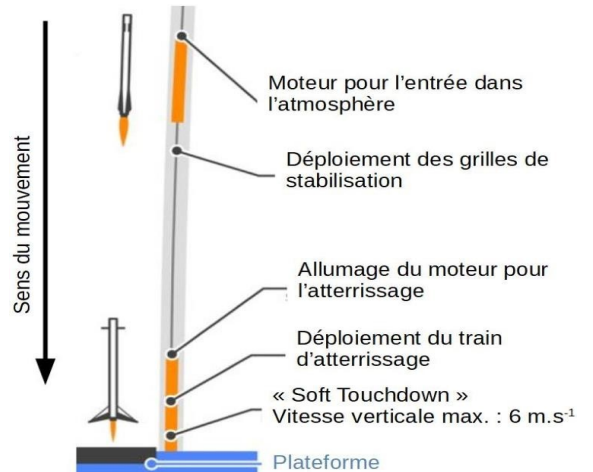
5-Montrer que le modèle simplifié permet d'expliquer certaines caractéristiques de la figure d'interférences observée sur la photographie. Dans les cases vides de cette photographie, identifier, en justifiant, l'axe $O'x$ puis l'axe $O'y$.

6-En exploitant la photographie, évaluer les valeurs des interfranges i_1 et i_2 puis en déduire les valeurs des espacements b_{barbule} et b_{barbe} .

Fusée à atterrissage

Une technologie spatiale développée par une société commerciale permet de récupérer le premier étage d'une fusée après son décollage. Le schéma ci-contre montre qu'après la séparation entre le premier et le second étage, le premier revient sur Terre pour atterrir délicatement sur une plateforme. Cet atterrissage doit s'effectuer « en douceur », c'est-à-dire avec une valeur de la composante verticale de la vitesse inférieure à $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Cet exercice se propose d'étudier le retour sur Terre du premier étage de la fusée.



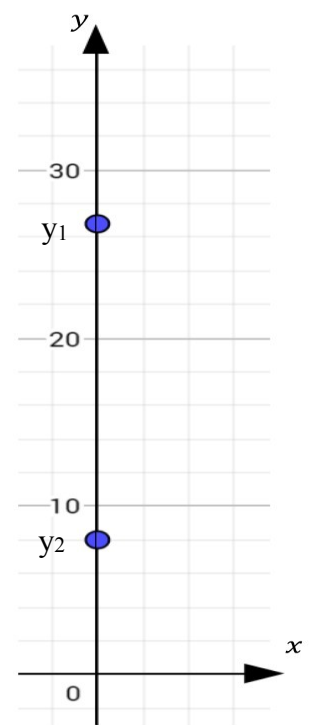
Le premier étage de la fusée chute dans l'atmosphère terrestre depuis une altitude de plusieurs dizaines de kilomètres. Pour ralentir sa chute, il utilise son moteur. On étudie le mouvement de cet étage à proximité du sol après le déploiement du train d'atterrissage. Lors de cette dernière phase, sa masse est considérée comme constante.

Disposant d'une vidéo de l'atterrissage du premier étage d'une fusée, un pointage des positions du point M a été réalisé et a permis d'obtenir les graphiques 1 et 2 ci-après.

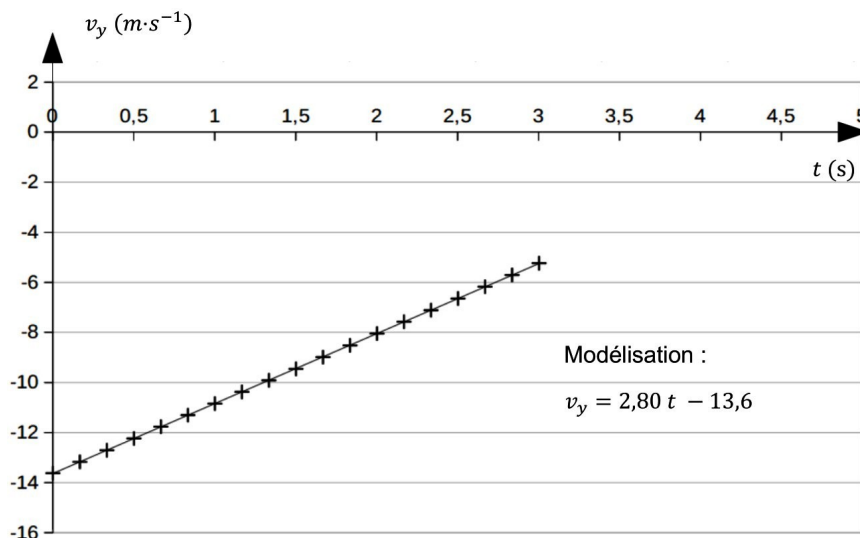
On a représenté ci-contre deux positions successives du point M aux dates $t_1=0,50\text{s}$ et $t_2=2,50\text{s}$ lors de la phase de l'atterrissage du premier étage. Celui-ci se trouve alors respectivement aux altitudes y_1 et y_2 .

Le mouvement est étudié dans le référentiel terrestre supposé galiléen. Lors de la dernière phase de l'atterrissage, le mouvement du système est vertical et s'effectue selon l'axe Oz orienté suivant la verticale ascendante.

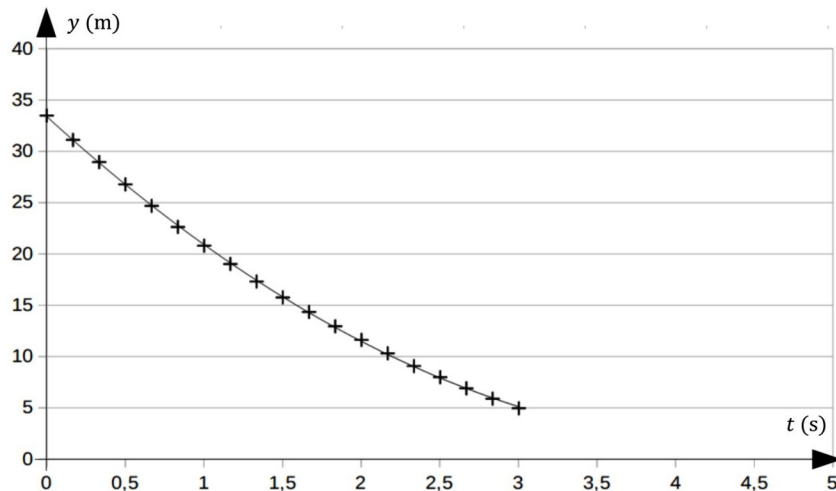
Donnée : $g = 9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.



Graphique 1 : Évolution de la coordonnée verticale v_y du vecteur vitesse du point M en fonction du temps.



Graphique 2 : Évolution de l'altitude y du point M en fonction du temps.



- 1-a) Déterminer à partir du pointage puis à partir du graphique 1 la valeur de la vitesse du point M à la date t_1 . Justifier un éventuel écart.
- 1-b) Représenter sur un schéma le vecteur vitesse du point M à la date t_1 en utilisant l'échelle de représentation suivante : $1,0 \text{ cm} \Leftrightarrow 6,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.
- 2-Déterminer la valeur de l'accélération et commenter le signe de la projection de l'accélération suivant Oy . Qualifier le mouvement.
- 3-Représenter, sur un schéma, les forces qui modélisent les principales actions qui s'exercent sur le premier étage de la fusée étudiée de manière à rendre compte du signe de la projection de l'accélération suivant Oy . Justifier.
- 4-En exploitant les graphiques 1 et 2, montrer que l'équation horaire $y = f(t)$ du mouvement du point M peut s'écrire : $y(t) = 1,40 t^2 - 13,6 t + 33$ avec y en m et t en s.
- 5-Déterminer la valeur de la vitesse du système lorsqu'il touche le sol en admettant que l'accélération ne varie pas sur les derniers mètres.
- 6-Préciser si l'atterrissage s'effectue « en douceur ».

Le « water bottle flip » est un jeu d'adresse consistant à lancer une bouteille plastique partiellement remplie d'eau afin qu'elle se pose verticalement sur sa base sur une table placée à proximité. Il faut beaucoup s'entraîner pour réussir un « water bottle flip ». Initialement, la bouteille n'est tenue que par son col. Le mouvement ascendant du bras communique la vitesse juste suffisante à la bouteille. Tandis qu'elle monte puis redescend, celle-ci tourne sur elle-même.

Quelques photos successives tirées d'une vidéo montrant un lancer réussi.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



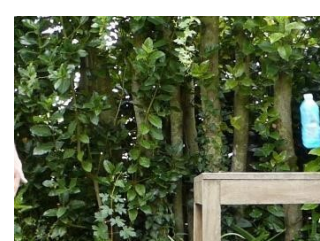
(g)



(h)



(i)



(j)

Dans cet exercice, on se propose d'étudier le mouvement du centre de masse de la bouteille.

Le système considéré est l'ensemble {bouteille + eau} de masse $m = 162 \text{ g}$ dont on étudie le mouvement du centre de masse, noté G . Le système évolue dans le champ de pesanteur terrestre \vec{g} uniforme.

On fait l'hypothèse que les actions de l'air sont négligeables.

Le mouvement est étudié dans le système d'axes (Oxy) (Cf. **figure 1**).

À la date $t = 0 \text{ s}$, le centre de masse G est placé à l'origine du repère O et sa vitesse initiale, notée \vec{v}_0 a une direction faisant un angle α avec l'axe horizontal (Ox) .

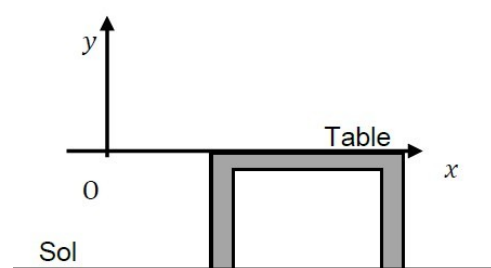
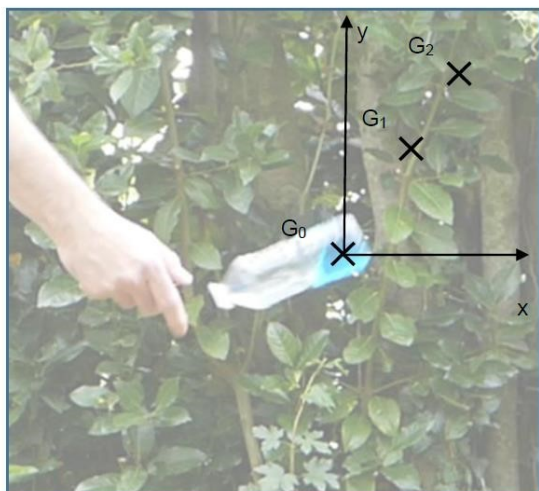


figure 1

Recherche des conditions initiales sur la vitesse



Grâce à la vidéo montrant un lancer réussi, on a pu pointer la position du centre de masse G à différents instants.

Sur la **figure 2**, la durée entre deux positions successives est $\tau = 40$ ms.

L'échelle est donnée par la bouteille dont la hauteur est 18,8 cm.

figure 2 : chronophotographie du mouvement du centre de masse G lors du « water bottle flip » réussi.

1-Représenter sur la copie, sans souci d'échelle, le système d'axes (Oxy) , le vecteur \vec{v}_0 , l'angle α ainsi que les coordonnées v_{0x} et v_{0y} et l'allure de la trajectoire du centre de masse de la bouteille.

2-À partir des données expérimentales fournies et de la **figure 2**, vérifier que la valeur expérimentale v_0 du vecteur initial \vec{v}_0 est proche de $3,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

3-Proposer une méthode permettant de déterminer expérimentalement la valeur de l'angle α .

Modélisation du déplacement du centre de masse

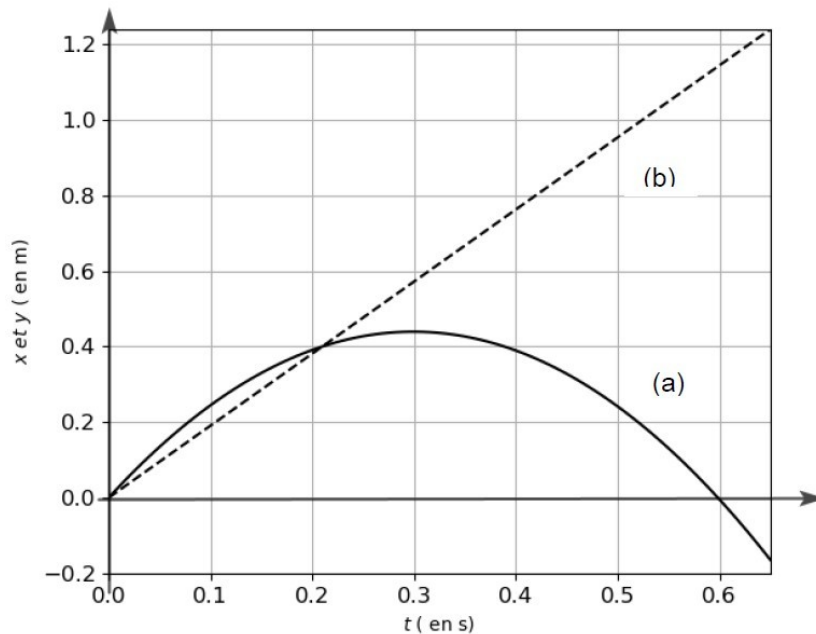
4-En précisant la loi utilisée, donner les expressions des coordonnées du vecteur accélération \vec{a} du centre de masse : $a_x(t)$ et $a_y(t)$.

5-En déduire les expressions des coordonnées $v_x(t)$ et $v_y(t)$ du vecteur vitesse du centre de masse puis les équations horaires du mouvement $x(t)$ et $y(t)$.

Pour déterminer la distance à laquelle tombe la bouteille par rapport au point O , on crée un programme en langage python dont un extrait est présenté ci-dessous. Ce programme utilise les équations horaires modélisant le déplacement du centre de masse et les valeurs expérimentales : $v_0 = 3,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ $\alpha = 59^\circ$ $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

```
5. g = 9.81 # Intensité du champ de pesanteur en m /s²
6.
7. v0 = float(input('valeur de la vitesse initiale(en m/s) : v0 = ')
8. alpha = float(input('valeur de l'angle de tir(en degré) : alpha = ')
9.
10. # Tracé des courbes horaires
11.
12. t=np.linspace(0,0.65,100)
13. for i in t :
14.     x = v0*cos(alpha*pi/180)*t #calcul de x à la date t
15.     y = -0.5*g*t**2+  *t #calcul de y à la date t
16.
17. plt.plot(t,x,'k--',label='x en fonction de t')
18. plt.plot(t,y,'k',label='y en fonction de t')
19.
```

L'exécution de ce programme permet d'obtenir le graphique ci-dessous qui modélise l'évolution des coordonnées (x, y) , exprimées en mètre, du point G au cours du temps.



6- Associer chacun de ces tracés à $x(t)$ et $y(t)$.

7- Préciser ce qui est caché par le rectangle gris dans la ligne 15 du programme (expression ou valeur).

On estime que le centre de masse G se trouve à une hauteur voisine de 2,0 cm du fond de la bouteille lorsque celle-ci se pose sur la table.

8- Estimer la durée du mouvement de la bouteille obtenue par la modélisation.

La durée du mouvement de la bouteille lors de la réalisation de ce « water bottle flip » a été mesurée. On a obtenu $\Delta t = (0,50 \pm 0,05)$ s.

9- Proposer au moins une explication permettant de rendre compte de l'écart entre cette durée réelle et la durée obtenue par la modélisation.

10- À l'aide du modèle, déterminer la distance à laquelle la bouteille tombe sur la table par rapport à l'origine du repère. Indiquer ce qu'il est possible de prévoir pour la distance réelle.

Etude énergétique

Pour cette étude énergétique on gardera les mêmes paramètres expérimentaux que pour le programme écrit en langage python : $v_0 = 3,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ $\alpha = 59^\circ$ $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

11- Déterminer, à partir du théorème de l'énergie mécanique, la flèche de la trajectoire du centre de masse G .

12- Représenter l'allure des courbes représentant les variations des énergies cinétique, potentielle et mécanique en fonction du temps.

Les astronomes s'intéressent particulièrement aux exoplanètes (planètes situées en dehors de notre système solaire) présentant des similitudes avec notre Terre car elles pourraient éventuellement réunir des conditions indispensables à l'apparition de la vie telle que nous la connaissons.

L'objectif de cet exercice est de déterminer quelques caractéristiques d'une exoplanète dont la découverte a été annoncée en décembre 2021, dans le cadre d'un projet international.

Cette exoplanète est nommée GJ 367b, elle sera notée P dans cet exercice. Elle est en orbite autour de l'étoile hôte GJ 367, qui sera notée E.

Donnée :

-Constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$

Partie A : Détection par la méthode du transit

Une exoplanète peut être détectée par la méthode du transit planétaire qui consiste à mesurer régulièrement la luminosité d'une étoile afin de détecter la baisse périodique de sa luminosité.

Cette baisse de luminosité est associée au passage par rapport à l'observateur d'une exoplanète devant l'étoile (figure 1 et figure 2 ci-dessous).

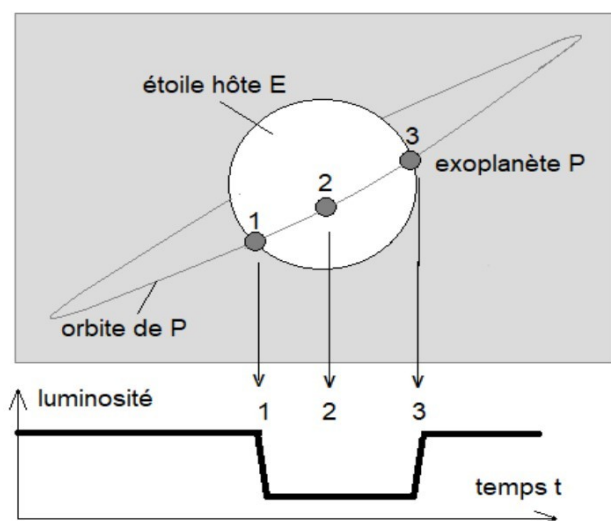


Figure 1. Variation de la luminosité de l'étoile lors d'un transit

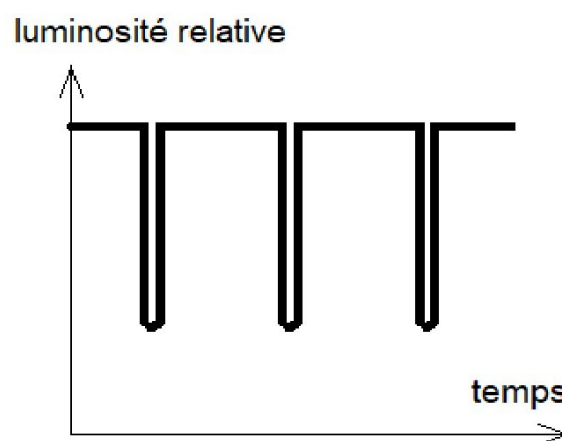


Figure 2. Variation de la luminosité d'une étoile pour trois transits consécutifs

A1-À partir de la figure 3 en ANNEXE, justifier l'utilisation du terme « périodique » pour décrire la variation de luminosité de l'étoile.

A2-À partir de la figure 3 en ANNEXE, déterminer la valeur de la période T du phénomène observé le plus précisément possible, en indiquant la méthode employée.

Partie B : Mouvement de l'exoplanète GJ 367b

Dans le référentiel de l'étoile E, supposé galiléen, on considère que l'orbite de l'exoplanète P est circulaire, de centre O (centre de l'étoile) et de rayon r. La masse de l'exoplanète est notée m_p .

Par ailleurs, l'exploitation d'observations complémentaires a permis de déterminer la valeur de la masse de l'étoile E : $M_E = 9,5 \times 10^{29} \text{ kg}$.

B1-Sans souci d'échelle, représenter sur la figure 4 en ANNEXE la force gravitationnelle exercée par l'étoile E sur l'exoplanète P.

B2-Écrire l'expression vectorielle de cette force dans le repère de Frenet $(P, \vec{u}_t, \vec{u}_n)$ en fonction de G , M_E , m_p et r .

B3-Énoncer la deuxième loi de Kepler, dite « loi des aires ».

B4-Compléter la figure 4 en ANNEXE afin d'illustrer cette loi et justifier que le mouvement de l'exoplanète P est uniforme.

B5-Appliquer la deuxième loi de Newton à l'exoplanète P et démontrer que la vitesse v_p de l'exoplanète P sur son orbite peut s'écrire : $v_p = \sqrt{\frac{G \times M_E}{r}}$.

B6-Donner l'expression de la période de révolution T de l'exoplanète P en fonction de sa vitesse v_p et du rayon r de son orbite circulaire. Montrer que la troisième loi de Kepler est vérifiée pour l'exoplanète P autour de l'étoile E.

B7-En admettant que $T = 7,7$ h, montrer que la valeur du rayon r de la trajectoire circulaire de l'exoplanète autour de l'étoile E est proche d'un million de kilomètres.

Partie C : GJ 367b : une exoplanète de fer ?

Concernant l'exoplanète GJ 367b, en décembre 2021, un magazine scientifique titre « Une planète de fer a été découverte ».

Les chercheurs ont pu déterminer que l'exoplanète P a un volume V_p égal à 37 % du volume de la Terre V_T et une masse M_P égale à 55 % de la masse de la Terre M_T .

Données :

-Masse de la Terre : $M_T = 5,97 \times 10^{24}$ kg

-Rayon de la Terre : $R_T = 6,37 \times 10^6$ m

-Masse volumique du fer : $\rho(\text{Fe}) = 7,9 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

-Volume d'une sphère de rayon r : $V = \frac{4}{3} \times \pi \times r^3$

Calculer la masse volumique de la planète et justifier la référence au fer dans le titre « Une planète de fer a été découverte ».

ANNEXE

Figure 3 : Variation temporelle de la luminosité relative de l'étoile GJ 367

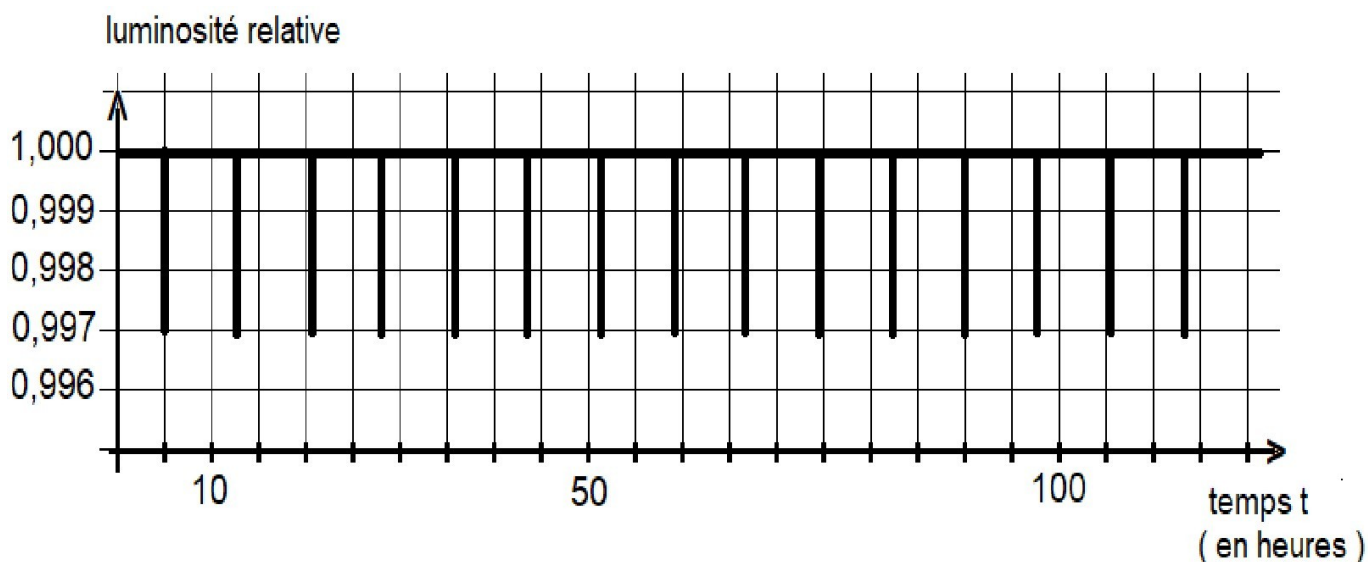
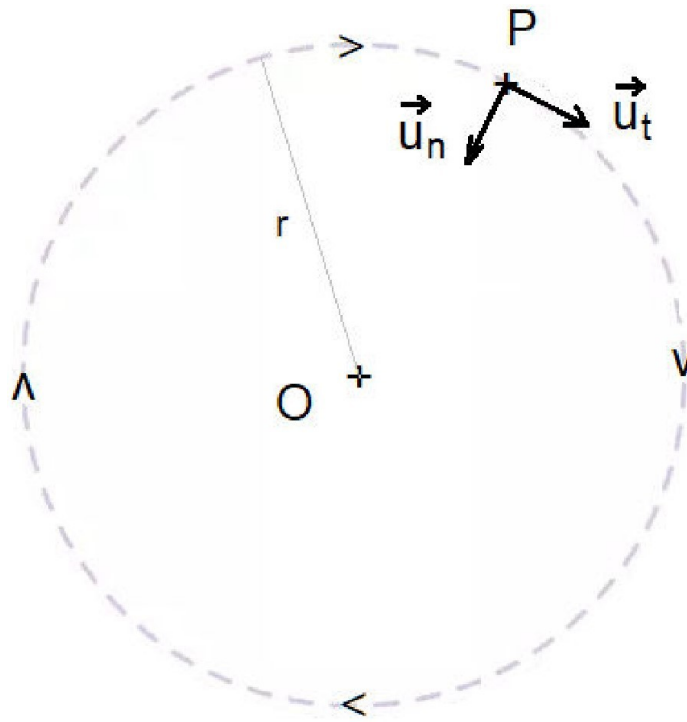


Figure 4 : Trajectoire de l'exoplanète P autour du centre O de l'étoile GJ 367



La planète Saturne a été observée à travers une lunette astronomique pour la première fois par l'astronome Galilée en 1610. Il a pu entrevoir la planète, mais sa lunette ne lui a pas permis de distinguer clairement ce qui l'entourait (figure 1).

Ce n'est qu'en 1655, grâce à une lunette plus perfectionnée, que Christian Huygens comprend que ce qui entoure Saturne sont des anneaux dont l'aspect varie avec l'angle d'observation. La même année, il découvre également Titan, le plus gros satellite de Saturne (figures 2 et 3).

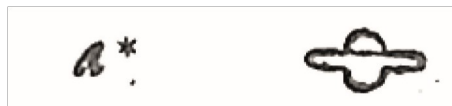
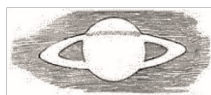


Figure 1. Saturne représentée par Galilée en 1610

Figure 2. Un des premiers dessins de Saturne réalisé par Huygens en 1655

Figure 3. Positions respectives de Saturne et de Titan schématisées par Huygens en 1655

Le but de cet exercice est d'étudier la lunette astronomique de Huygens afin de comparer ses observations de Saturne et de ses anneaux à celles de Galilée.

Données :

-Caractéristiques des lunettes astronomiques utilisées par Galilée et Huygens :

	Distance focale f_1' de l'objectif	Distance focale f_2' de l'oculaire	Diamètre a de l'objectif	Grossissement
Lunette de Galilée utilisée en 1610			29,0 mm	$G_{Gal} = 14$
Lunette de Huygens utilisée en 1655	329 cm	7,0 cm	51,0 mm	

-Un observateur peut distinguer deux points différents d'un objet si l'angle sous lequel sont vus ces deux points, depuis le point d'observation, est supérieur ou égal à $3,0 \times 10^{-4}$ rad ;

-Approximation dans le cas de petits angles ($\theta \ll 1$ rad) : $\tan(\theta) = \theta$;

-Distance moyenne entre la Terre et Saturne : $D_{T-S} = 1,42 \times 10^9$ km ;

-Distance entre la surface de Saturne et son premier anneau : $D_{A-B} = 3,17 \times 10^4$ km.

Partie A : Observation de Saturne par Huygens

La lunette de Huygens, considérée comme afocale, est modélisée par un système de deux lentilles minces convergentes notées L_1 et L_2 . La lentille L_1 représente l'objectif et la lentille L_2 l'oculaire. Leurs centres optiques respectifs sont notés O_1 et O_2 et leurs distances focales respectives sont notées f_1' et f_2' .

Sur la figure A1 de l'ANNEXE, réalisée sans souci d'échelle, sont représentées les deux lentilles et la position du foyer image F_1' de la lentille L_1 . La lunette est utilisée pour observer un objet AB, supposé « à l'infini », dont l'image par l'objectif sera notée A_1B_1 . Deux rayons lumineux issus de B sont représentés sur le schéma.

A1-Préciser le sens du terme « afocal ».

A2-Placer, sur la figure A1 de l'ANNEXE, les foyers objet F_2 et image F_2' de la lentille L_2 dans le cas d'une lunette afocale.

A3-Construire, sur la figure A1 de l'ANNEXE, la marche des deux rayons lumineux issus de B qui émergent de la lunette en faisant apparaître l'image intermédiaire A_1B_1 .

La lunette de Huygens est constituée d'un tube long de 372 cm. Comme indiqué sur la figure 4, l'oculaire est placé à une extrémité du tube. L'objectif quant à lui est enfoncé de 36 cm par rapport à l'autre extrémité, afin de le protéger de la buée.

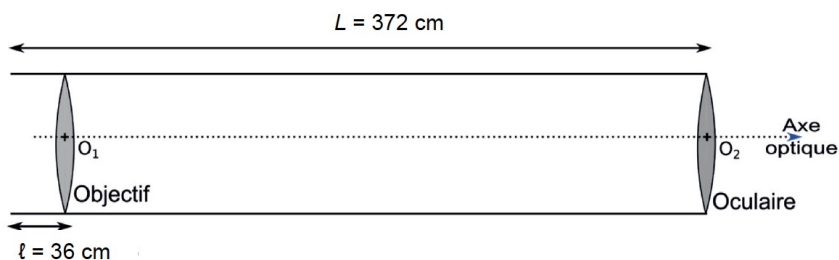


Figure 4. Représentation schématique de la lunette de Huygens (échelle non respectée)

A4-Vérifier, à partir des données, que la lunette d'Huygens peut être considérée comme « afocale ».

L'angle θ , représenté sur la figure A1 de l'ANNEXE, désigne l'angle sous lequel l'espace AB entre la surface de Saturne et son premier anneau est vu à l'œil nu depuis la Terre, lorsque les anneaux de Saturne sont vus de face (voir figure 5).

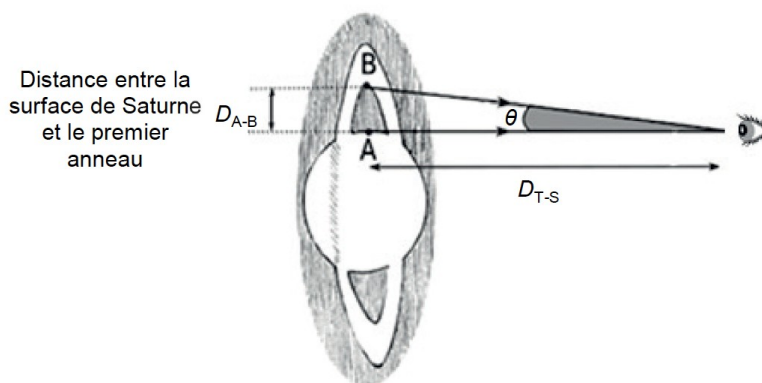


Figure 5. Angle sous lequel Saturne est vue par Huygens sans la lunette (échelle non respectée)

On note θ' l'angle sous lequel un observateur voit l'image A'B' de l'espace AB, à travers la lunette astronomique.

A5-Placer l'angle θ' sur la figure A1 de l'ANNEXE.

A6-Donner l'expression du grossissement G_{Huy} de la lunette de Huygens en fonction des angles θ et θ' .

A7-Montrer que le grossissement G_{Huy} de la lunette de Huygens s'exprime en fonction des distances focales des lentilles L_1 et L_2 constituant la lunette : $G_{\text{Huy}} = \frac{f'_1}{f'_2}$.

A8-Calculer la valeur du grossissement G_{Huy} de la lunette utilisée par Huygens.

A9-Conclure sur la possibilité pour Huygens de distinguer la surface de Saturne de son premier anneau en utilisant la lunette.

Partie B : Prise en compte de la diffraction dans l'observation astronomique

L'observation des détails d'un objet avec une lunette astronomique est principalement limitée par le phénomène de diffraction. En effet, l'image donnée par l'objectif d'une source ponctuelle « à l'infini » n'est pas un point mais une figure de diffraction circulaire, appelée tache d'Airy, représentée en figure 6.

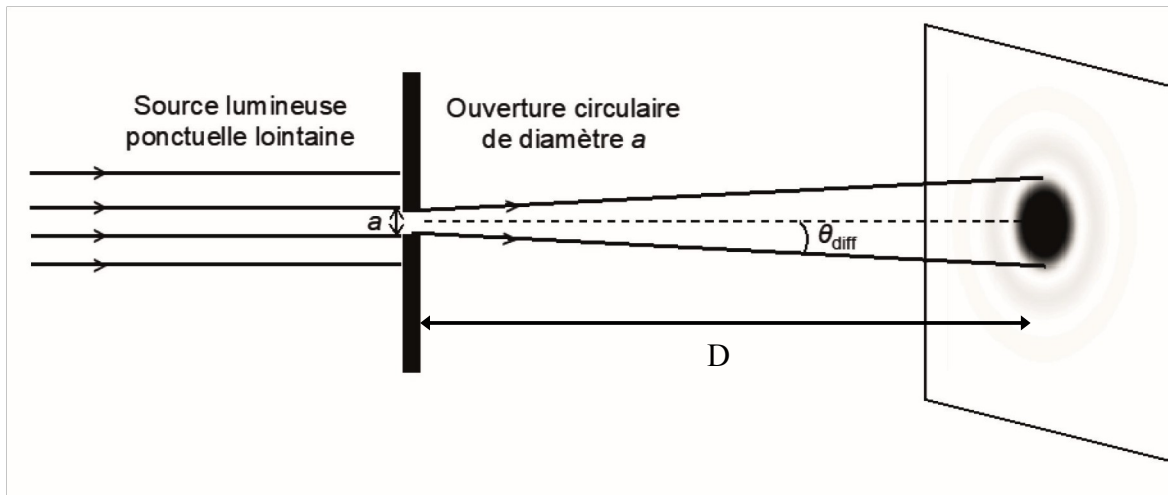


Figure 6. Figure de diffraction obtenue par une ouverture circulaire (échelle non respectée – image en négatif)

Dans le cas de la lunette astronomique, on admet que l'angle caractéristique de diffraction vérifie la relation : $\theta_{\text{diff}} = 1,22 \times \frac{\lambda}{a}$ avec λ la longueur d'onde du faisceau incident et a le diamètre de l'objectif.

C1-Exprimer la largeur de la tâche centrale de diffraction en fonction de λ , a et D .

Une lunette astronomique ne permet de distinguer deux points A et B que si l'écart angulaire θ entre les directions de ces deux points vus depuis la Terre est supérieur ou égal à l'angle caractéristique de diffraction, c'est-à-dire si la condition $\theta \geq \theta_{\text{diff}}$ est vérifiée. Si ce n'est pas le cas, les taches d'Airy associées aux deux points se superposent et les deux points ne peuvent être séparés visuellement.

C2-Expliquer pourquoi on peut considérer que le phénomène de diffraction a empêché Galilée d'observer les anneaux de Saturne avec sa lunette astronomique contrairement à Huygens qui a pu les observer. Une approche quantitative est attendue (on effectuera les calculs avec une valeur de la longueur d'onde $\lambda = 550 \text{ nm}$, pour laquelle l'œil humain est le plus sensible).

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et doit être correctement présentée.

ANNEXE

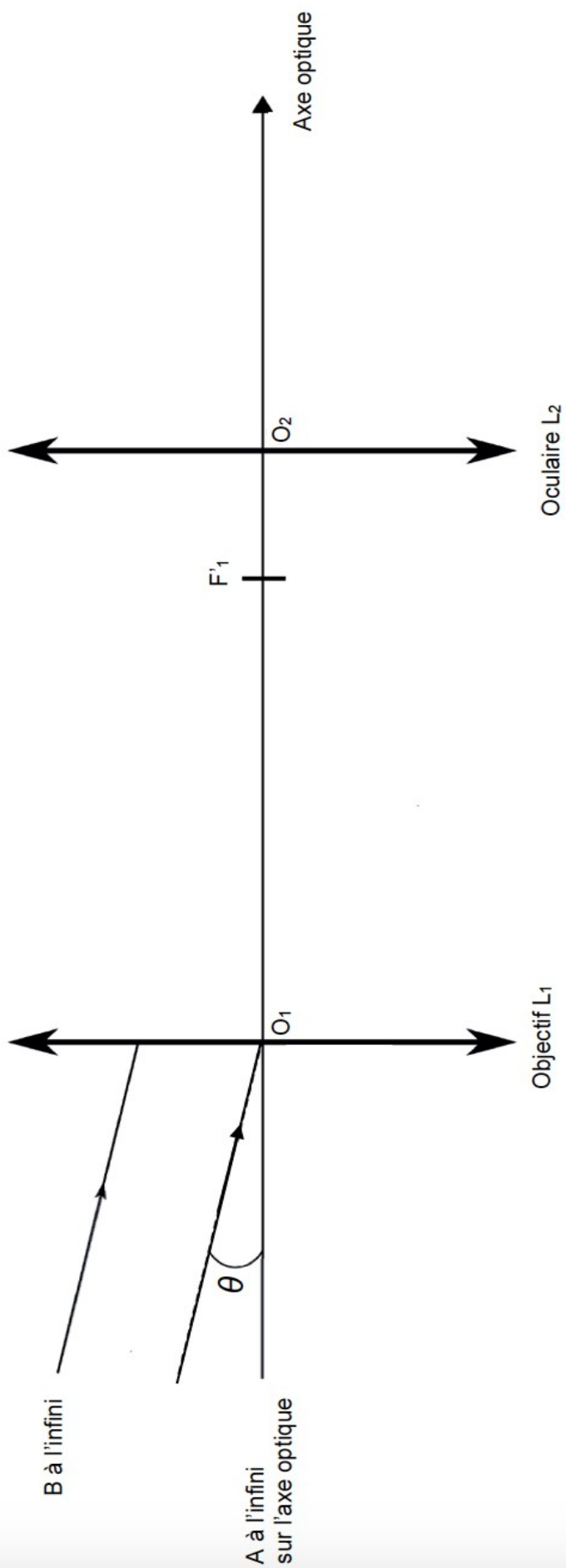


Figure A1. Schéma de la lunette de Huygens (échelle non respectée)

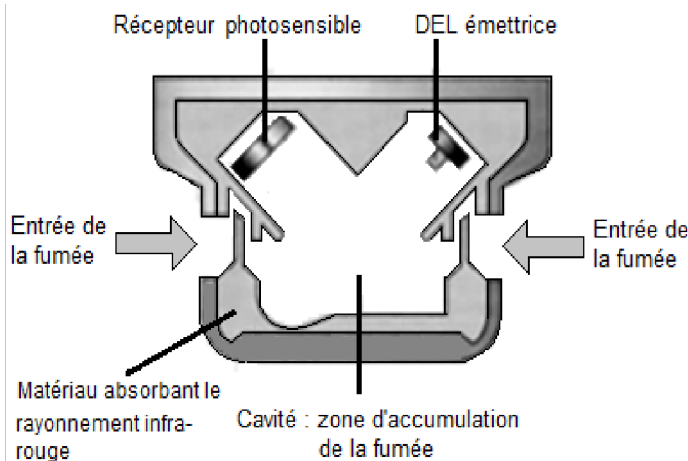
Afin de prévenir des risques d'incendies, l'installation de détecteurs de fumées est obligatoire dans tous les logements depuis janvier 2016. Il existe différents types de détecteurs comme les détecteurs optiques ou les détecteurs ioniques.

Dans cet exercice, on étudiera ces deux types de détecteurs de fumées, puis on s'intéressera au choix de l'emplacement du détecteur dans le cadre de la protection des personnes.

Partie A : Détecteur optique de fumées

Le principe de fonctionnement de ce détecteur de fumées (figure ci-contre) repose sur le fait qu'une diode électroluminescente (ou DEL) produit en continu un rayonnement. Lorsqu'il rencontre des particules de fumées, le rayonnement est dévié dans toutes les directions. Un récepteur photosensible détecte alors le rayonnement et génère un courant électrique qui déclenche une alarme sonore avertissant les usagers de la présence de fumées.

La longueur d'onde du rayonnement émis par la DEL dépend du matériau utilisé pour sa fabrication. Pour produire un rayonnement infrarouge, on peut utiliser de l'arséniure de gallium (GaAs). Dans ce cas, l'énergie des photons émis est de l'ordre de 1,4 eV.



D'après « La physique par les objets quotidiens », C. Ray et J-C Poizat éditions Belin

Données :

- 1 électronvolt (eV) = $1,6 \times 10^{-19}$ J ;
- Constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J . s ;
- La valeur de la célérité de la lumière dans le vide est supposée connue du candidat.

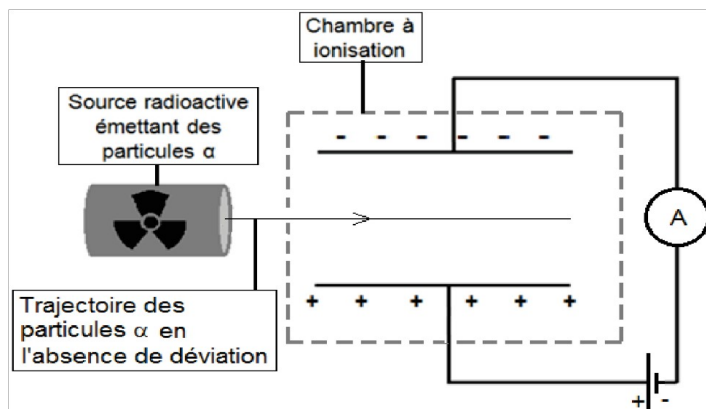
A1-Le récepteur photosensible ne détecte que les rayonnements appartenant au domaine de l'infrarouge. Vérifier que le rayonnement lumineux émis par la DEL utilisée dans le détecteur optique de fumées appartient bien à ce domaine.

A2-On admet que les particules solides présentes dans la fumée ont une taille comprise 0,1 µm et 100 µm. Quel phénomène physique peut contribuer à la déviation du faisceau lumineux si des fumées sont présentes ? Justifier.

A3-En présence de fumées, le rayonnement émis par la DEL est dévié dans toutes les directions. Expliquer brièvement pourquoi l'alarme ne se déclenche qu'en présence de fumées.

Partie B : Détecteur ionique de fumées

Le principe de ce détecteur de fumées repose sur l'ionisation de l'air par des particules α. En l'absence de fumées, ces particules arrachent des électrons aux molécules de dioxygène et de diazote présentes dans la chambre à ionisation. Pour le dioxygène, l'ionisation nécessite un apport d'énergie de 12 eV par molécule. Les ions et les électrons formés par l'ionisation de l'air sont soumis à un champ électrique uniforme entre deux plaques. Un courant électrique de faible intensité apparaît alors dans le circuit électrique.



Lorsque la fumée pénètre dans la chambre à ionisation, une partie des électrons et des ions issus de l'ionisation se fixe aux poussières de fumées. La baisse de l'intensité du courant électrique qui en résulte déclenche un avertisseur sonore.

D'après « La physique par les objets quotidiens », C. Ray et J-C Poizat, éditions Belin

Données :

-1 électronvolt (eV) = $1,60 \times 10^{-19}$ J ;

-Charge élémentaire : $e = 1,6 \times 10^{-19}$ C ;

-Pour un condensateur plan, le champ électrostatique E est reliée à la tension U et à la distance d qui sépare les plaques par la relation : $E = \frac{U}{d}$.

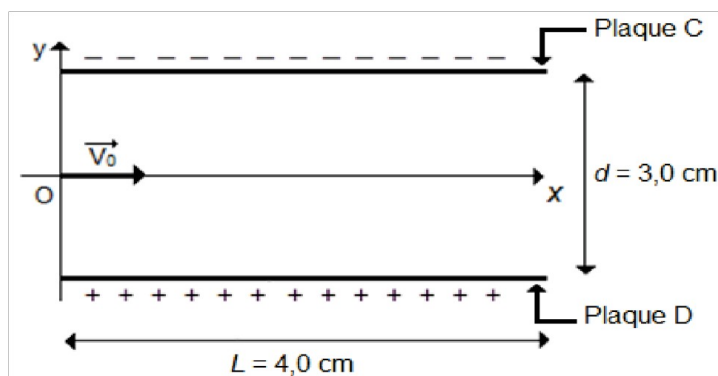
-Charge de la particule α : $q_\alpha = +2e$;

-Masse d'une particule α : $m_\alpha = 6,64 \times 10^{-27}$ kg ;

-Intensité du champ de pesanteur terrestre : $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

On s'intéresse au mouvement d'une particule α arrivant dans la chambre à ionisation en l'absence de fumée. Cette particule arrive en un point O avec un vecteur vitesse initiale \vec{v}_0 parallèle aux plaques C et D du condensateur plan (voir figure ci-contre).

Une tension constante $U = 9,0 \text{ V}$ est appliquée entre les deux plaques C et D. La valeur de la vitesse initiale v_0 est égale à $1,6 \times 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.



On étudie le mouvement de la particule α dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

À l'instant $t = 0$, la particule α est au point O.

Lors de cette étude, on négligera les éventuelles collisions avec les molécules de l'air ainsi que la valeur du poids de la particule α devant la valeur de la force électrostatique \vec{F}_e subie par cette particule.

B1-Vérifier quantitativement que l'hypothèse concernant le poids de la particule α est justifiée.

B2-Reproduire sur la copie la figure du condensateur plan donnée ci-dessus puis y représenter le champ électrostatique \vec{E} et la force électrostatique \vec{F}_e que subit la particule α au point O. Justifier.

B3-Établir les équations horaires du mouvement de la particule α .

B4-Déterminer la valeur de la coordonnée y_L de la particule lorsqu'elle a parcouru une distance suivant l'axe Ox égale à $L = 4,0 \text{ cm}$. Expliquer pourquoi le mouvement de cette particule peut être considéré comme rectiligne dans la chambre d'ionisation.

B5-Montrer que l'énergie cinétique initiale des particules α est suffisante pour ioniser des molécules de dioxygène.

Partie C : Niveau d'intensité sonore du détecteur de fumées

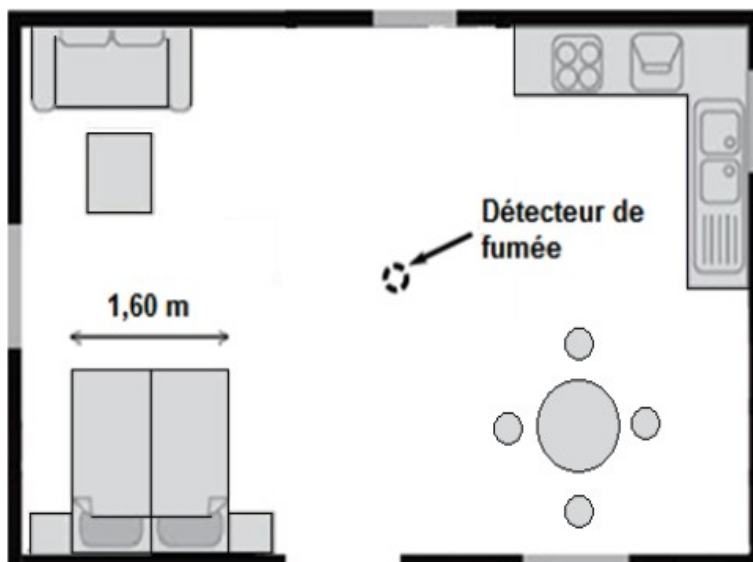
Une personne endormie est réveillée par un bruit dont le niveau d'intensité sonore est supérieur à 75 dB.

Un particulier souhaite installer un détecteur de fumées au plafond de son appartement. Le niveau d'intensité sonore du détecteur est de 85 dB à 3 m. Le particulier se demande si l'emplacement prévu est judicieusement choisi.

Données :

-Niveau d'intensité sonore de référence : $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

C1-Exprimer puis calculer l'intensité sonore minimale d'un bruit afin qu'une personne endormie soit réveillée.



C2-Montrer que $L_2 = L_1 + 20 \log \left(\frac{d_1}{d_2} \right)$ où L_2 est le niveau d'intensité sonore mesuré à la distance d_2 de la source et L_1 le niveau d'intensité sonore mesuré à la distance $d_1 < d_2$ de la source.

C3-À l'aide du plan ci-dessus, schématisant la pièce, déterminer si l'emplacement du détecteur est satisfaisant pour réveiller une personne.

On précise que la hauteur sous plafond est de 2,5 m dans l'appartement du particulier.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.

Remarque : pour cette étude, on négligera les phénomènes de réflexion du son sur les parois de la pièce.

Un airbag, ou coussin gonflable de sécurité, est une membrane ou enveloppe flexible dans laquelle un gaz est très rapidement injecté par une transformation chimique explosive pour gonfler l'enveloppe et ainsi amortir un choc.

Les airbags sont principalement utilisés dans les automobiles pour protéger les passagers lors d'une collision et ainsi leur éviter une décélération excessive en percutant certains accessoires de la voiture.

Donnée :

Dans les expériences de laboratoire, l'accélération est souvent exprimée en g, correspondant à la valeur : $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Partie A : Étude d'un circuit RC et application à un détecteur de choc

Les airbags sont déclenchés par une chaîne électronique utilisant un capteur d'accélération, tel que l'accéléromètre MEMS (Micro-Electro-Mechanical-System).

Le but de cette partie est de montrer qu'un MEMS se comporte comme un circuit RC.

On s'intéresse à la réponse d'un circuit RC soumis à un signal d'entrée $u_G(t)$ ayant la forme d'une tension en créneaux. Cette tension en créneaux prend alternativement des valeurs E et 0 V , sa période est notée T .

Le schéma de la figure 1 en propose une représentation.

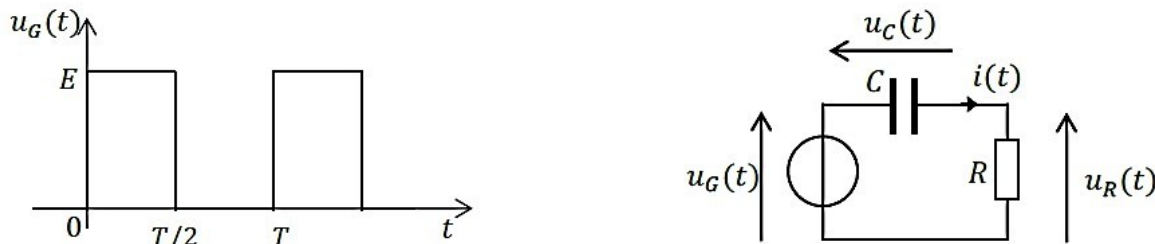


Figure 1. Signal d'entrée $u_G(t)$ et schéma électrique du circuit

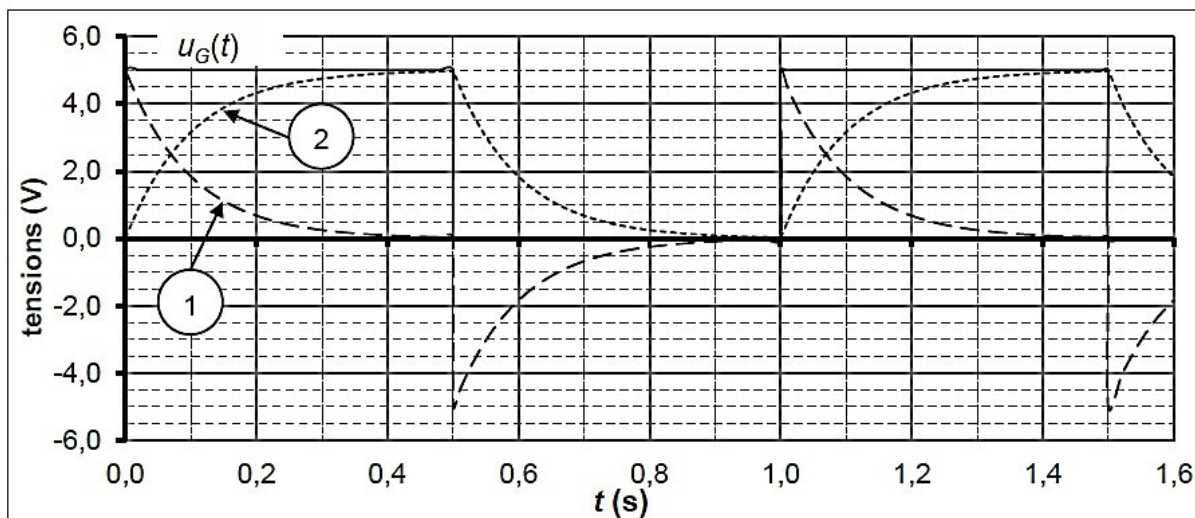


Figure 2. Représentation temporelle simulée des tensions $u_G(t)$, $u_C(t)$ et $u_R(t)$.

A1-À l'aide de la figure 2, déterminer la valeur de E ainsi que celle de la fréquence f de la tension en créneau $u_G(t)$.

A2-Établir l'expression de l'intensité $i(t)$ du courant circulant dans le circuit en fonction de C et $\frac{du_C(t)}{dt}$

A3-À $t = 0$ s, la tension $u_G(t)$ passe de 0 V à E . Le condensateur est initialement déchargé. On étudie dans cette question la phase de charge du condensateur entre $t = 0$ s et $t = T/2$ s.

A3-a) Établir l'équation différentielle vérifiée par la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur lorsque $u_G(t) = E$.

A3-b) Vérifier que $u_C(t) = E \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) \right)$ est solution de l'équation différentielle.

A3-c) À partir de l'expression de $u_C(t)$, montrer que $u_R(t) = E \exp\left(-\frac{t}{RC}\right)$

A4-Associer les courbes 1 et 2 de la figure 2 aux tensions $u_C(t)$ et $u_R(t)$. Justifier.

A5-Les représentations temporelles de ces tensions ont été simulées avec $C = 1 \mu\text{F}$. Estimer la valeur de la résistance R en explicitant la méthode.

L'accéléromètre MEMS est constitué d'une partie mobile qui, soumise à une accélération, entraîne le déplacement de l'armature commune aux deux condensateurs. En l'absence d'accélération, chaque condensateur a une capacité C . On considère un déplacement de l'accéléromètre MEMS suivant Ox , lorsqu'il est soumis à une accélération, leurs capacités prennent respectivement les valeurs C_1 et C_2 comme l'illustrent les schémas de la figure 3.

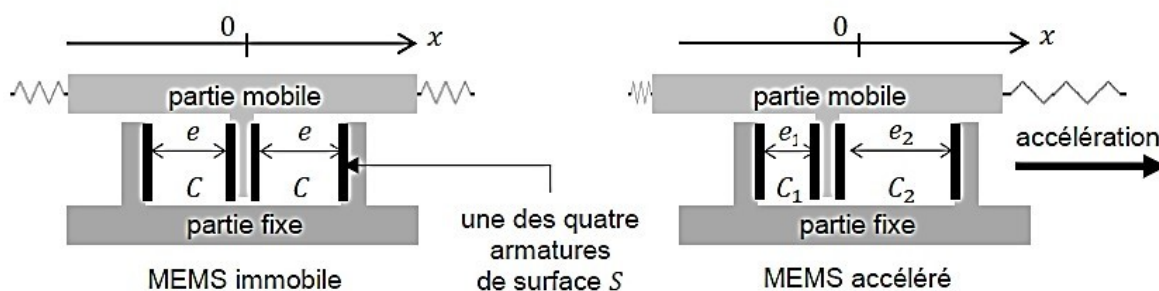


Figure 3. Schéma de principe de l'accéléromètre MEMS

La capacité d'un condensateur plan dont les armatures ont une surface S et sont séparées d'une distance e est donnée par la relation :

$$C = \frac{\epsilon \times S}{e} \text{ où } \epsilon \text{ est une constante.}$$

A6-Comparer C_1 et C_2 en justifiant la réponse.

On suppose que les capacités sont reliées à l'accélération par les relations suivantes :

$C_1 = C \times (1 + k \times a_x)$ et $C_2 = C \times (1 - k \times a_x)$ où k est une constante positive et a_x est la composante de l'accélération suivant l'axe Ox .

A7-Donner le signe de a_x qui permet de rendre compte de la situation schématisée sur la figure 3. Commenter.

Un circuit électrique non décrit permet de délivrer une tension de sortie continue V_{out} reliée à la composante de l'accélération a_x par la fonction affine : $V_{out} = V_0 + S \times a_x$ où V_0 est une tension continue et S est appelée sensibilité du capteur d'accélération.

A8-Pour un accéléromètre dédié à la détection d'un accident frontal et au déclenchement d'un airbag, $S = 27 \text{ mV/g}$ avec $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Donner la signification physique de V_0 et calculer la variation de la valeur de la tension de sortie pour une accélération suivant x de 40 g. Commenter.

Partie B : Étude d'un crash-test

Un essai de choc (crash-test) est une opération réalisée en laboratoire consistant à tester le comportement des véhicules en cas de choc ou de collision. Le véhicule testé est projeté à une vitesse donnée sur un obstacle massif de façon à reconstituer les conditions d'un choc et de mesurer les déformations du véhicule et les dommages causés aux passagers. Ceux-ci sont remplacés par des mannequins.

La figure 4 présente trois images issues de la vidéo d'un crash-test.

Le chronométrage est indiqué en millisecondes en haut à gauche sur chaque photo.

L'impact a lieu à la date $t = 0$ s. Toutes les photos sont à la même échelle.



Source : euroncap.com

Figure 4. Photos du crash-test

B1-Lors du crash-test, la voiture arrive à vitesse donnée sur l'obstacle. À partir des images, évaluer cette vitesse en $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$. Détailler la démarche.

L'analyse de la vidéo permet de représenter les vitesses d'une des mires de la portière arrière de la voiture et de la tête du mannequin simulant le conducteur.

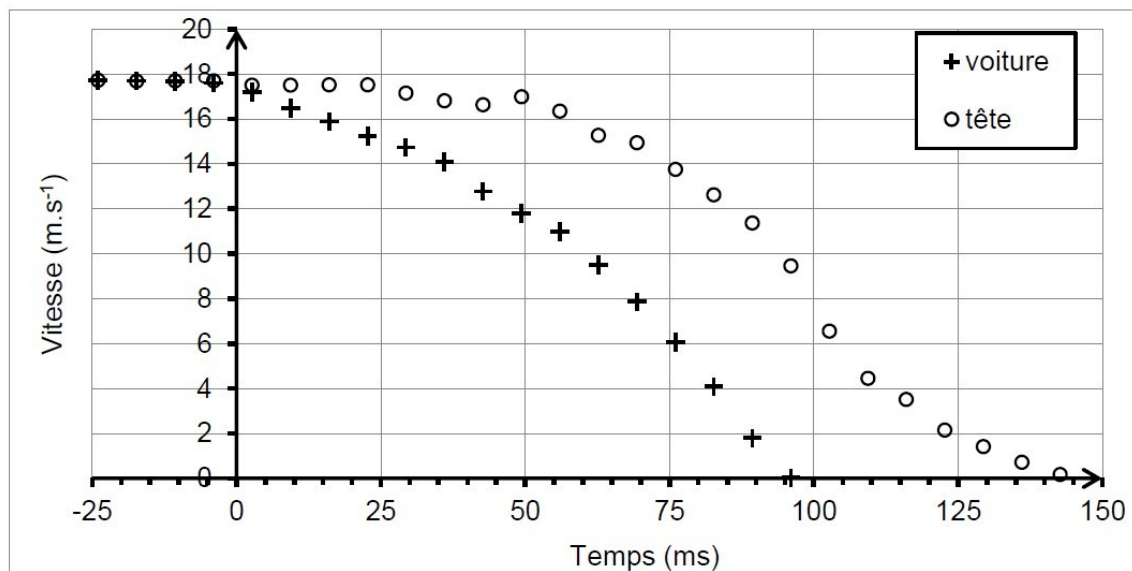


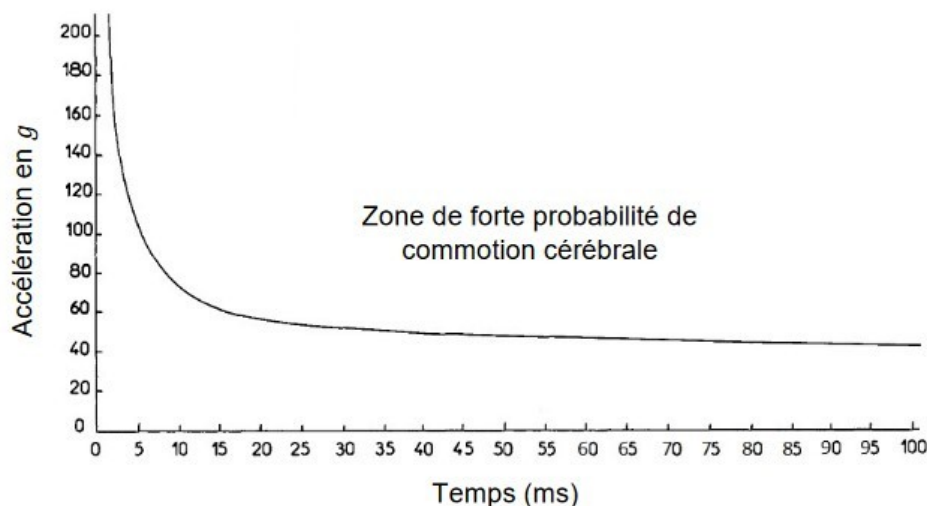
Figure 5. Évolutions au cours du temps des vitesses de la voiture et de la tête

B2-a) Caractériser le mouvement de la tête pendant les 25 ms suivant la date de l'impact qui a lieu à la date $t=0\text{s}$.

B2-b) Schématiser sommairement la voiture à la date $t=75\text{ms}$ et représenter sans souci d'échelle ses vecteurs vitesse et accélération.

B2-c) Estimer la valeur maximale de l'accélération subie par la tête du mannequin au cours du choc. Détailler la démarche.

La courbe suivante délimite la zone de forte probabilité d'apparition d'une commotion cérébrale en fonction de la valeur et de la durée de l'accélération subie par la tête.



D'après la Fédération Internationale des Ingénieurs et Techniciens de l'Automobile et de la Society of Automobile Engineers.

Figure 6. Probabilité d'apparition d'une commotion cérébrale

B3-La probabilité d'apparition d'une commotion cérébrale est-elle importante pour un conducteur lors d'un choc similaire à celui réalisé lors du crash-test étudié ? Justifier.

Partie C : Charge explosive

Données :

Espèce chimique	NaN ₃	KNO ₃
Masse molaire (g . mol ⁻¹)	65,0	101,1

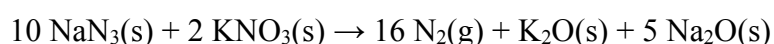
-Pression atmosphérique : $P_0 = 101 \text{ kPa}$;

-Constante des gaz parfaits : $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;

-La conversion de température de degré Celsius en degré Kelvin est donnée par la relation : $T(\text{K}) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273$.

Lorsqu'une accélération excessive est détectée, un mélange constitué d'azoture de sodium (NaN₃) et de nitrate de potassium (KNO₃) contenu dans une cartouche est mis à feu.

Cette mise à feu produit du diazote, gaz nécessaire au gonflage de l'airbag. La modélisation de cette transformation chimique, supposée totale, conduit à la réaction dont l'équation est la suivante :



C1-Rappeler l'équation d'état du gaz parfait en précisant les unités de chacune des grandeurs. On note P la pression, V le volume, T la température et n le nombre de moles du gaz parfait.

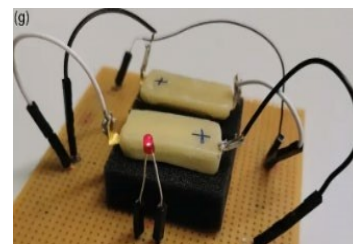
C2-Dans le cadre du modèle du gaz parfait, déterminer la valeur de la quantité de matière de diazote permettant, à 20 °C et à la pression atmosphérique, le gonflement d'un airbag de 60 L, volume moyen d'un airbag conducteur.

C3-Montrer que la masse minimale d'azoture de sodium nécessaire à la production de diazote pour le gonflement de l'airbag est de 101 g. En déduire la masse minimale de nitrate de potassium que doit contenir la cartouche.

C4-Le volume occupé par les réactifs solides est égal à 70 cm³. Expliquer l'intérêt d'utiliser un dispositif avec des réactifs solides plutôt que du diazote stocké dans un réservoir sous pression à la température de 20 °C.

L'électronique comestible est au cœur de l'attention des scientifiques qui cherchent à améliorer la réalisation de certains diagnostics de santé, et le déploiement d'équipements médicaux facilement ingérables et sans danger.

Un nouveau pas vient d'être franchi avec la création d'une batterie rechargeable entièrement comestible, pouvant se dissoudre dans le corps humain en toute sécurité (voir prototype de la batterie comestible développée par les chercheurs de l'Institut Italien de Technologie)



D'après <https://www.futura-sciences.com/>

Dans cet exercice, on s'intéresse à deux utilisations possibles de ce prototype :

- alimenter de petits équipements électroniques permettant de surveiller la santé d'un patient ;
- remplacer les piles rechargeables présentes dans les jouets, dispositifs sources d'intoxication après ingestion par les jeunes enfants.

Composition et fonctionnement de la pile

Le prototype réalisé par des chercheurs italiens est constitué de deux électrodes :

- la première notée CA / R est en or, recouverte de charbon actif et de 0,75 mg de riboflavine ou vitamine B2;
- la seconde notée CA / Q est en or, recouverte de charbon actif et de 0,60 mg de quercétine (pigment végétal présent dans les câpres ou l'oignon rouge).

L'ensemble est séparé par un film d'algue Nori immergé dans une solution électrolytique d'hydrogénosulfate de sodium ($\text{Na}^+(\text{aq}); \text{HSO}_4^-(\text{aq})$) puis encapsulé dans de la cire d'abeille (**Figure 1**).

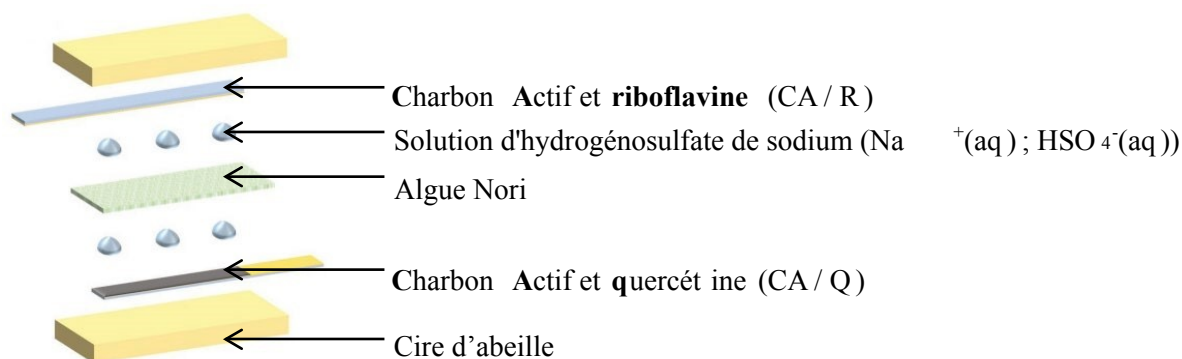


Figure 1 : composition de la pile – D'après Adv. Mater. 2023, 35, 2211400

Lors de son fonctionnement, la pile permet d'obtenir une tension de 0,65 V et de délivrer un courant d'intensité constante de 48 μA pendant une durée $\Delta t = 12$ minutes. Ce courant permet selon les scientifiques italiens d'alimenter de petits dispositifs médicaux.

Données :

-Informations relatives à la riboflavine et la quercétine :

	Formule Brute	Masse molaire moléculaire ($\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$)	Couple oxydant / réducteur
riboflavine (R)	$\text{C}_{17}\text{H}_{20}\text{N}_4\text{O}_6$	376,36	$\text{C}_{17}\text{H}_{18}\text{N}_4\text{O}_6(\text{s}) / \text{C}_{17}\text{H}_{20}\text{N}_4\text{O}_6(\text{s})$
quercétine (Q)	$\text{C}_{15}\text{H}_{10}\text{O}_7$	302,24	$\text{C}_{15}\text{H}_{10}\text{O}_7(\text{s}) / \text{C}_{15}\text{H}_{12}\text{O}_7(\text{s})$

-Nombre d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$;

-Charge élémentaire : $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$;

-Constante de Faraday : $F = 96\,500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$.

-Le Faraday est la valeur absolue de la charge électrique d'une mole d'électrons.

1-a) Écrire l'équation de la réaction électrochimique modélisant la transformation de la riboflavine lors du fonctionnement de la pile.

1-b) En déduire si la riboflavine subit une oxydation ou une réduction. Justifier.

La pile comestible est utilisée pour alimenter un conducteur ohmique de résistance R .

2- Compléter le schéma de fonctionnement de la pile situé en ANNEXE en mentionnant :

-la borne positive

-la borne négative

-le sens du courant dans le circuit

-le sens des électrons dans le circuit

3- Indiquer le rôle joué par le film d'algue Nori immergé dans la solution électrolytique d'hydrogénosulfate de sodium ($\text{Na}^+(\text{aq}); \text{HSO}_4^-(\text{aq})$).

La réaction électrochimique modélisant la transformation mise en jeu sur l'électrode recouverte de quercétine est : $\text{C}_{15}\text{H}_{10}\text{O}_7(\text{s}) + 2\text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{C}_{15}\text{H}_{12}\text{O}_7(\text{s})$

4-a) Déterminer la charge électrique Q délivrée par la pile pendant les 12 min de fonctionnement.

4-b) En déduire que la quantité de matière d'électrons n_e consommée par l'électrode recouverte de quercétine pendant la durée Δt vaut $n_e = 3,6 \times 10^{-7}$ mol.

4-c) Indiquer si, au bout de 12 min, la demi-pile est déchargée en calculant le pourcentage de quercétine qui a été consommée pendant cette durée.

Recharge de la pile

Une deuxième possibilité d'application de cette batterie comestible est son utilisation pour remplacer les piles Lithium-Ion ou Nickel Métal Hybride utilisées dans les jouets. En effet, ces dernières présentent un danger d'intoxication en cas d'ingestion par un jeune enfant.

Les scientifiques italiens ont étudié le comportement de leur prototype après plusieurs charges sous une tension comprise entre 0,60 et 0,80 V pour un courant de $48 \mu\text{A}$ (Figure 2).

5- Indiquer la courbe qui représente la charge de la batterie comestible en analysant le graphe de la figure 2 Expliquer.

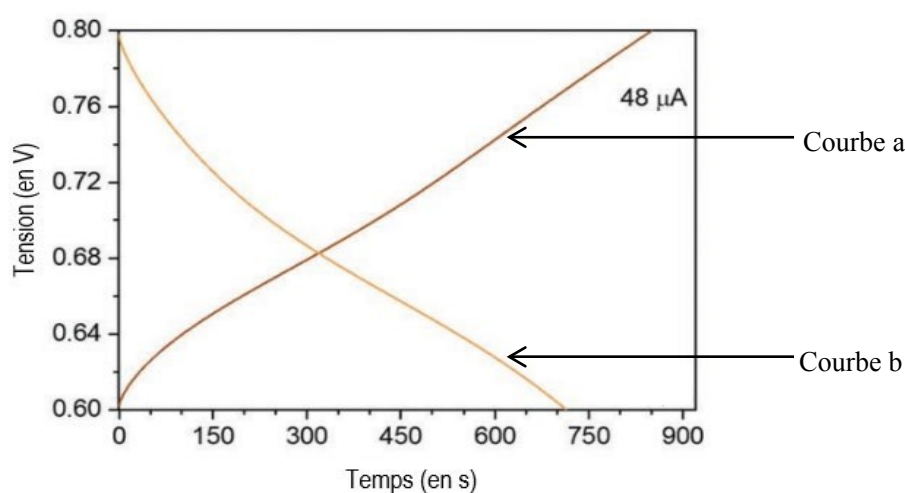


Figure 2 : charge et décharge de la batterie – D'après Adv. Mater. 2023, 35, 2211400

On cherche à comparer la capacité d'une pile comestible à celle d'une pile classique Nickel Métal Hybride.

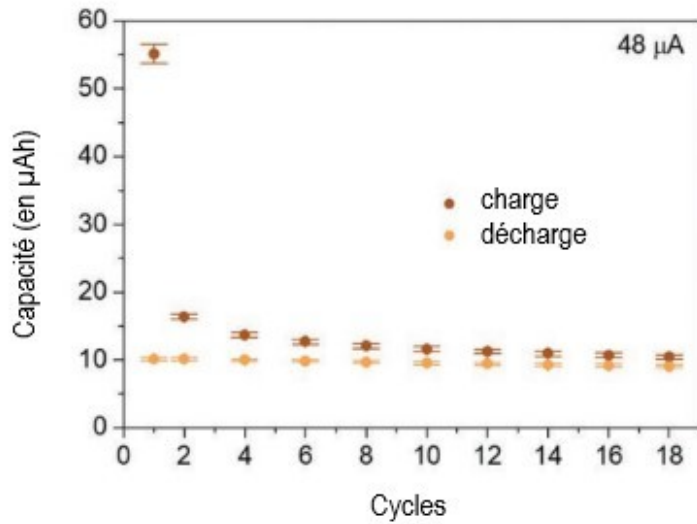
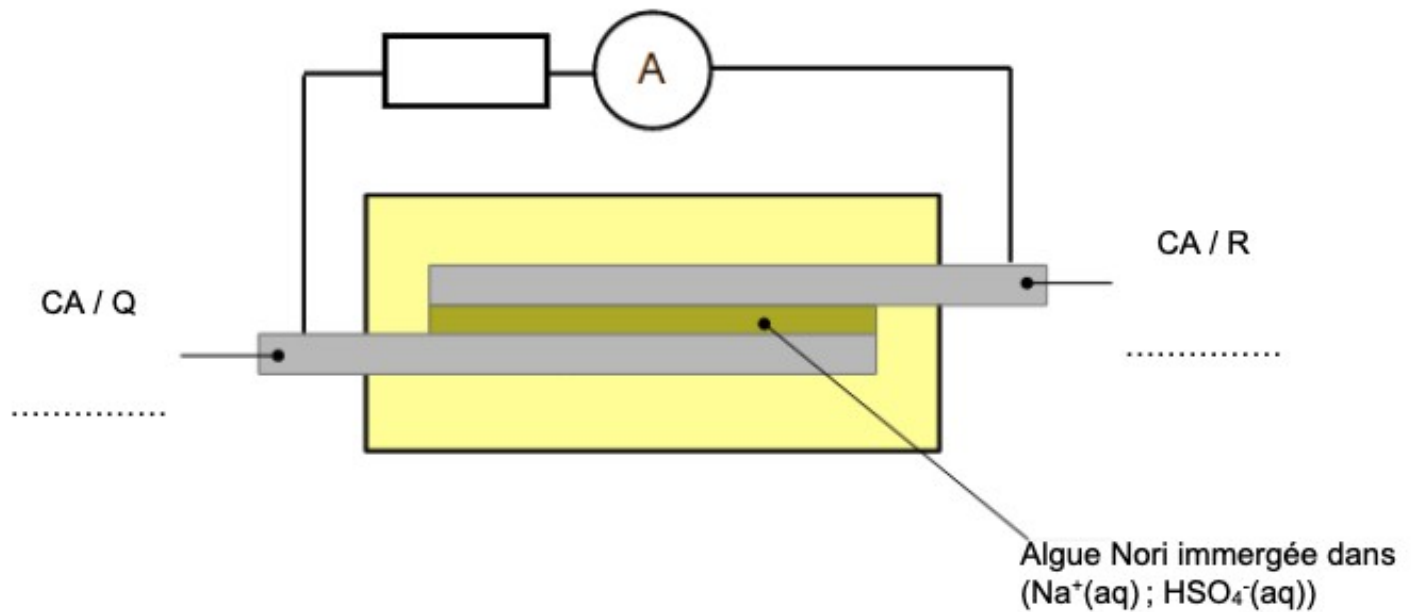


Figure 3 : capacité électrique de la batterie comestible après plusieurs cycles charge /décharge – D’après Adv. Mater. 2023, 35, 2211400 (à gauche)

Figure 4 : pile Nickel Métal Hybride (NMH)– D’après Adv. Mater. 2023, 35, 2211400 (à droite)

6-Calculer, avec les données fournies par la **figure 4**, la capacité en Ampèreheure (notée A·h) de la pile Nickel Métal Hybride. Discuter de la possibilité d’une réelle application de la batterie comestible dans la vie courante.

Annexe

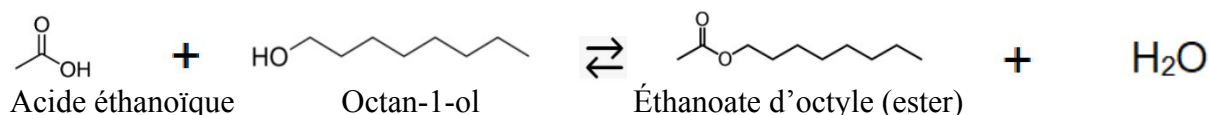


Du fait de son odeur fruitée, l'éthanoate d'octyle est un ester utilisé pour préparer des arômes artificiels, en particulier des arômes d'orange.

Cet exercice porte sur la synthèse de l'éthanoate d'octyle. Dans un premier temps, on détermine le rendement d'un protocole donné de synthèse de l'éthanoate d'octyle. Dans un second temps, on cherche à optimiser ce protocole afin d'augmenter le rendement.



Équation de la réaction de synthèse



Protocole simplifié de la synthèse de l'éthanoate d'octyle

Synthèse

Introduire, dans un ballon, une quantité $n_1=0,100$ mol d'acide éthanoïque et $n_2=0,100$ mol d'octan-1-ol. Ajouter quelques grains de pierre ponce. Adapter un réfrigérant à eau sur le ballon. Chauffer à reflux à 40 °C pendant 2 heures. Après chauffage, laisser refroidir jusqu'à température ambiante.

Traitement du milieu réactionnel

Ajouter, par le haut du réfrigérant, 50 mL d'une solution aqueuse d'hydrogénocarbonate de sodium. Transvaser le contenu du ballon dans une ampoule à décanter. Extraire la phase organique.

Données :

-Sur les espèces chimiques mises en jeu :

Espèce chimique	Acide éthanoïque	Octan-1-ol	Éthanoate d'octyle
Formule brute	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	$\text{C}_8\text{H}_{18}\text{O}$	$\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}_2$
Représentation topologique			
Solubilité en solution aqueuse	Totale	Faible	Très faible
Masse molaire (en g/mol)	60,0	130	172

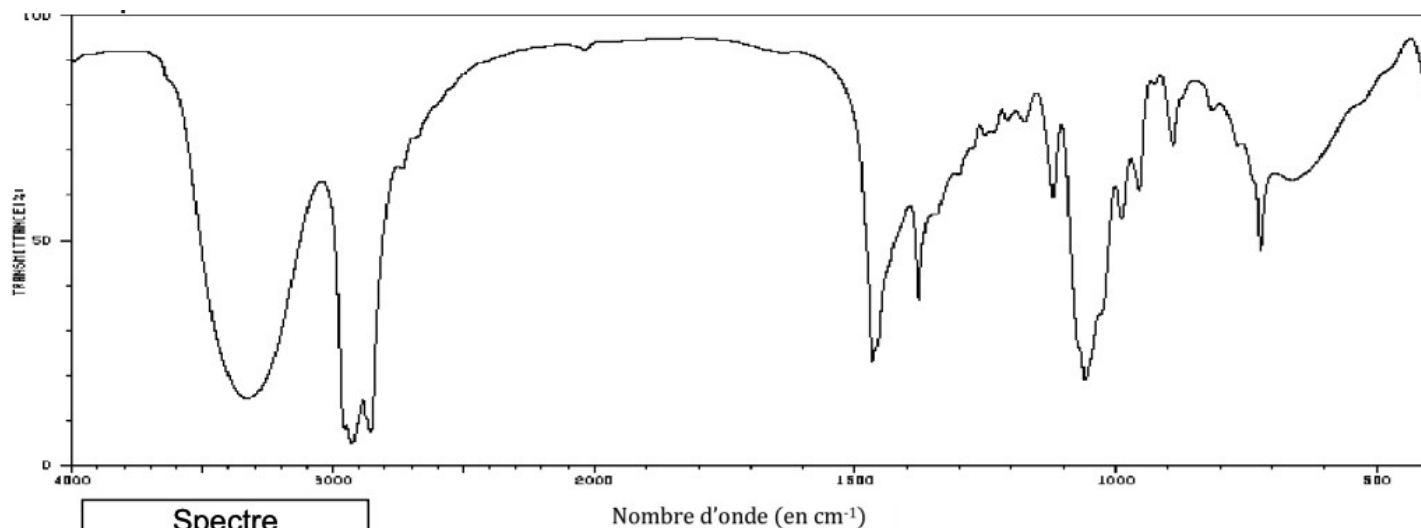
-Table de données de spectroscopie infrarouge :

Liaison	O – H	C = O
Nombres d'onde (en cm^{-1})	3 200 à 3 500	1 650 à 1 740
Intensité du pic	Forte	Forte
Largeur du pic	Large	Fine

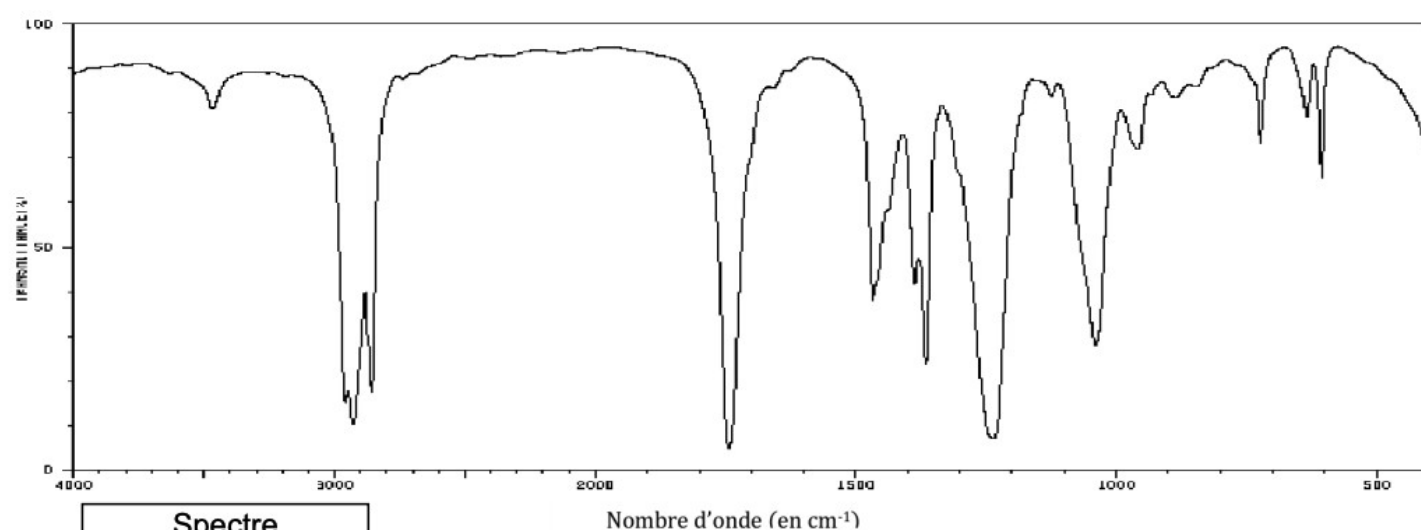
Rendement de la synthèse

Une première analyse de la phase organique obtenue après la synthèse est faite par chromatographie sur couche mince (CCM). Celle-ci révèle la présence de deux espèces chimiques. Une séparation est réalisée. Deux liquides, A et B, de masse respective $m_A=4,30$ g et $m_B=11,34$ g sont obtenus.

Leurs spectres IR sont donnés ci-dessous :



Spectre
du liquide A



Spectre
du liquide B

https://sdfs.db.aist.go.jp/sdfs/cgi-bin/direct_frame_top.cgi

- 1-Justifier l'intérêt de l'utilisation d'un montage de chauffage à reflux.
- 2-Expliquer l'intérêt d'ajouter une solution aqueuse dans le milieu réactionnel avant de procéder à la séparation par décantation (comme indiqué dans la partie « traitement du milieu réactionnel » du protocole).
- 3-Identifier, en justifiant, les espèces chimiques pouvant être présentes dans la phase organique.
- 4-a) Recopier et nommer les groupes fonctionnels présents dans les molécules d'acide éthanoïque et d'éthanoate d'octyle.
- 4-b) Justifier le nom de la molécule d'ester : éthanoate d'octyle.
- 5-À l'aide des deux spectres, montrer que le liquide A correspond à l'alcool et le liquide B à l'ester.
- 6-Déterminer les quantités de matière en octan-1-ol et en éthanoate d'octyle obtenues.

Le rendement de la synthèse est défini par : $\eta = \frac{n(\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}_2)_f}{n(\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}_2)_{\max}}$

où $n(\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}_2)_f$ représente la quantité de matière d'éthanoate d'octyle à l'état final, à l'équilibre, et $n(\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}_2)_{\max}$ la quantité de matière d'éthanoate d'octyle si la transformation était totale.

- 7-Calculer le rendement de cette synthèse.

Optimisation de la synthèse

Durant la synthèse, avant la séparation des deux phases, le quotient de réaction peut être exprimé en fonction des quantités de matière des espèces suivant la relation :
$$Q_r = \frac{n(\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}_2) \times n(\text{H}_2\text{O})}{n(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2) \times n(\text{C}_8\text{H}_{18}\text{O})}$$

Données :

-La constante d'équilibre de la réaction de synthèse vaut $Q_{r,\text{éq}} = K = 4,0$.

-Avec un mélange équimolaire initial en acide et en alcool, le rendement de cette réaction de synthèse a pour valeur : $\eta = 66 \%$.

Afin d'augmenter le taux d'avancement de la synthèse, on introduit un réactif en excès.

8-En raisonnant sur le quotient de réaction, expliquer pourquoi l'ajout d'un réactif permet de déplacer l'équilibre.

On note :

- n'_1 la nouvelle quantité d'acide éthanoïque initiale ;

-pour rappel, n_2 , la quantité d'octan-1-ol initiale ($n_2 = 0,100 \text{ mol}$) ;

- $x_{\text{éq}}$ l'avancement de la réaction à l'équilibre.

9-Montrer que le quotient de réaction dans l'état d'équilibre du système peut s'exprimer sous la forme :

$$Q_{r,\text{éq}} = \frac{x_{\text{éq}}^2}{(n'_1 - x_{\text{éq}}) \times (n_2 - x_{\text{éq}})}$$

10-Déterminer la quantité n'_1 d'acide éthanoïque à introduire pour obtenir un rendement d'au moins 0,95.

Dans les élevages ovins, les agneaux consomment des céréales et des protéagineux riches en phosphore qui favorisent la formation de minuscules cristaux dans l'urine de ces animaux. Ces cristaux sont à l'origine d'une maladie appelée lithiase urinaire ou gravelle.

D'après le site des partenaires de la production ovine en France (inn-ovin.fr), l'ajout quotidien de chlorure d'ammonium à l'alimentation des agneaux, à raison de 300 mg (à 10 % près) par kilogramme de masse corporelle, est une solution efficace pour prévenir cette maladie. Le chlorure d'ammonium est en effet un acide qui permet d'abaisser le pH des urines pour le bien-être des animaux.

Un éleveur administre chaque jour, à un agneau de 24 kg, un litre de solution de chlorure d'ammonium ($\text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$) qu'il a préparé lui-même.

On souhaite vérifier que la préparation de l'éleveur est conforme à la préconisation du site des partenaires de la production ovine en France.

Donnée :

-Masse molaire du chlorure d'ammonium solide $\text{NH}_4\text{Cl}(\text{s})$: $M = 53,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

-Conductivité molaire ionique :

$\lambda(\text{Na}^+) = 50,1 \text{ S} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$, $\lambda(\text{NH}_4^+) = 73,5 \text{ S} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$, $\lambda(\text{HO}^-) = 198,6 \text{ S} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$

Partie A : Réalisation du titrage

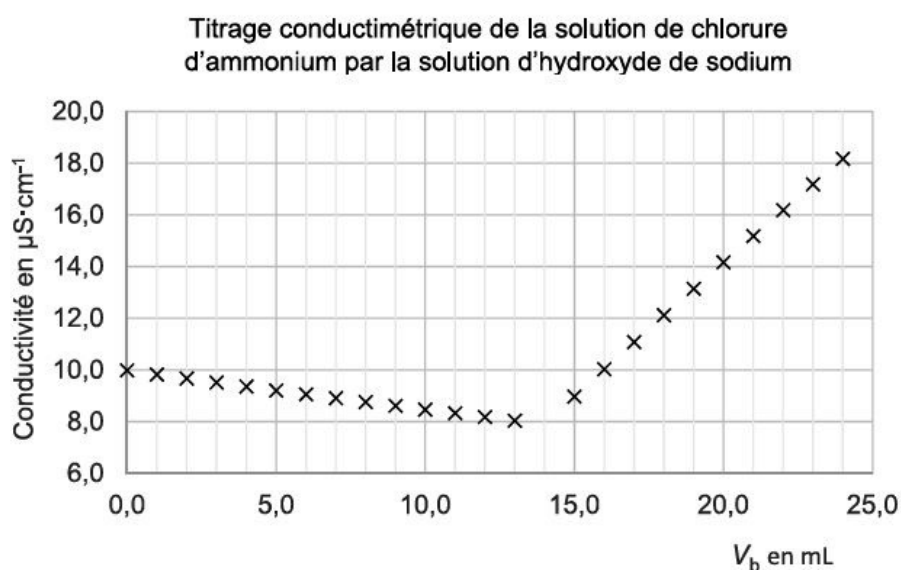
On réalise le titrage conductimétrique d'un volume $V_A = (10,00 \pm 0,02) \text{ mL}$ de la solution préparée par l'éleveur, diluée avec $V_{\text{eau}} = 200 \text{ mL}$ d'eau distillée, par une solution titrante d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq})$) de concentration apportée en quantité de matière $C_B = (0,100 \pm 0,002) \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

L'équation de la réaction modélisant la transformation chimique mise en jeu lors du titrage est la suivante : $\text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{NH}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\ell)$.

A1-Indiquer en justifiant, si la transformation chimique mise en jeu lors du titrage est une réaction acido-basique ou d'oxydo-réduction.

A2-Réaliser un schéma légendé du dispositif de titrage conductimétrique, en nommant la verrerie et les solutions.

On obtient la courbe suivante :



A3-Exprimer, en fonction des données, la concentration C_A en quantité de matière apportée de chlorure d'ammonium de la solution préparée par l'éleveur, puis calculer sa valeur.

L'incertitude type sur la valeur de la concentration obtenue satisfait à la relation :

$$u(C_A) = C_A \times \sqrt{\left(\frac{u(V_E)}{V_E}\right)^2 + \left(\frac{u(C_B)}{C_B}\right)^2 + \left(\frac{u(V_A)}{V_A}\right)^2}$$

L'incertitude type sur le volume à l'équivalence est estimée à $u(V_E) = 0,1$ mL.

A4-Proposer un encadrement de la concentration de la solution préparée par l'éleveur.

A5-Déterminer la masse de chlorure d'ammonium apportée par l'éleveur quotidiennement à l'agneau et comparer ce résultat à la valeur préconisée par le site des partenaires de la production ovine en France.

A6-Justifier l'évolution de la courbe de titrage conductimétrique avant et après l'équivalence.

Partie B : Simulation du titrage

Pour simuler l'évolution des quantités de matières de cinq espèces chimiques présentes en solution lors du titrage précédent : NH_4^+ ; HO^- ; Cl^- ; Na^+ et NH_3 , on utilise un programme en langage Python.

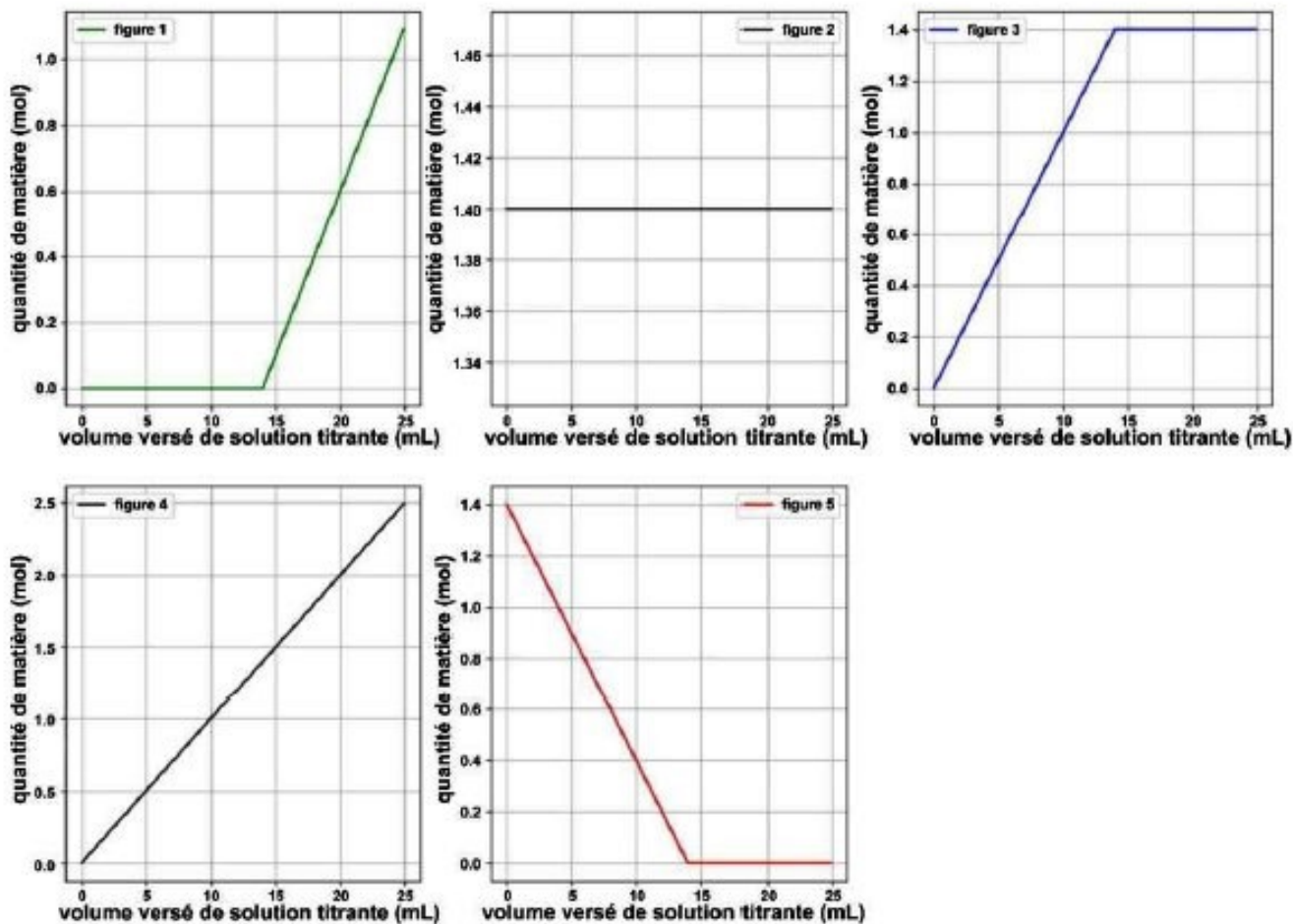
Dans ce programme, les quantités de matière sont notées nA, nB, nC, nS_A et nS_B.

```
1 # Simulation du titrage dont la réaction support est de la forme
2 # a A + b B -> c C + H2O
3 # a, b, c et d sont les coefficients stoechiométriques
4 from matplotlib import pyplot as plt
5
6 a=      # nombre stoechiométrique de l'espèce à titrer A COMPLETER
7 b=      # nombre stoechiométrique de l'espèce titrante A COMPLETER
8 c=      # nombre stoechiométrique du produit de la réaction A COMPLETER
9 Ca=0.14 # concentration de la solution à titrer (mol/L)
10 Va=10.0 # volume de la solution à titrer (mL)
11 Cb=0.10 # concentration de la solution titrante (mol/L)
12 Ve=     # Calcul du volume à l'équivalence (mL) A COMPLETER
13 pasVb=0.1
14 nA,nB,nC,nS_A,nS_B=[],[],[],[],[]
15 v=[i/10 for i in range(250)]
16 for Vb in v:
17     if Vb<Ve:
18         nA.append(Ca*Va-Cb*Vb*a/b)
19         # A COMPLETER AVEC LE CALCUL DE nB
20         nC.append(c/b*Cb*Vb)
21         nS_A.append(Ca*Va)
22         nS_B.append(Cb*Vb)
23     else:
24         nA.append(0)
25         nB.append(Cb*Vb-Cb*Ve)
26         nC.append(c/b*Cb*Ve)
27         nS_A.append(Ca*Va)
28         nS_B.append(Cb*Vb)
```

B1-Compléter le code à écrire aux lignes 6, 7 et 8.

B2-Identifier les espèces qui correspondent aux variables nS_A et nS_B.

Chacun des cinq graphiques suivants, obtenus à l'aide du programme en langage Python représente l'évolution de la quantité de matière d'une des espèces chimiques en fonction du volume versé de solution titrante.



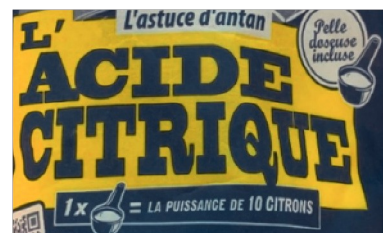
B3-En justifiant explicitement le raisonnement, indiquer pour chaque graphe l'espèce chimique correspondante.

B4-Compléter le code des lignes 12 et 19.

Acide citrique

L'acide citrique est un acide naturellement présent dans les fruits, en particulier dans le jus de citron. Ses propriétés acides en font un détartrant utilisé comme produit ménager.

Le but de cet exercice est de déterminer la quantité de matière d'acide citrique présente dans le jus extrait d'un citron puis de vérifier l'indication « 1 pelle doseuse = la puissance de 10 citrons » notée sur l'emballage d'un produit ménager (voir photo ci-contre).

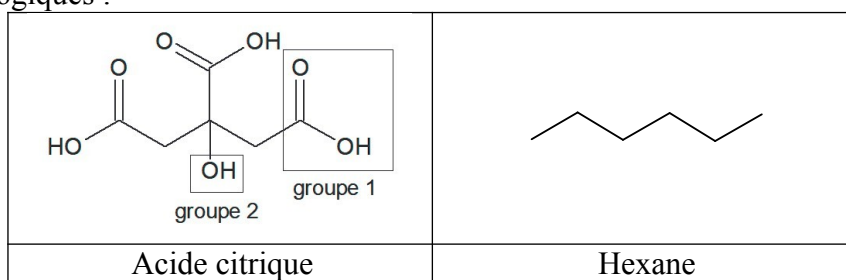


Données :

-L'acide citrique est un triacide, il est noté H_3A dans cet exercice ;

-Les autres espèces acide-base associées à l'acide citrique sont notées H_2A^- , HA^{2-} et A^{3-} ;

-Formules topologiques :



-Masse molaire de l'acide citrique : $M = 192,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;

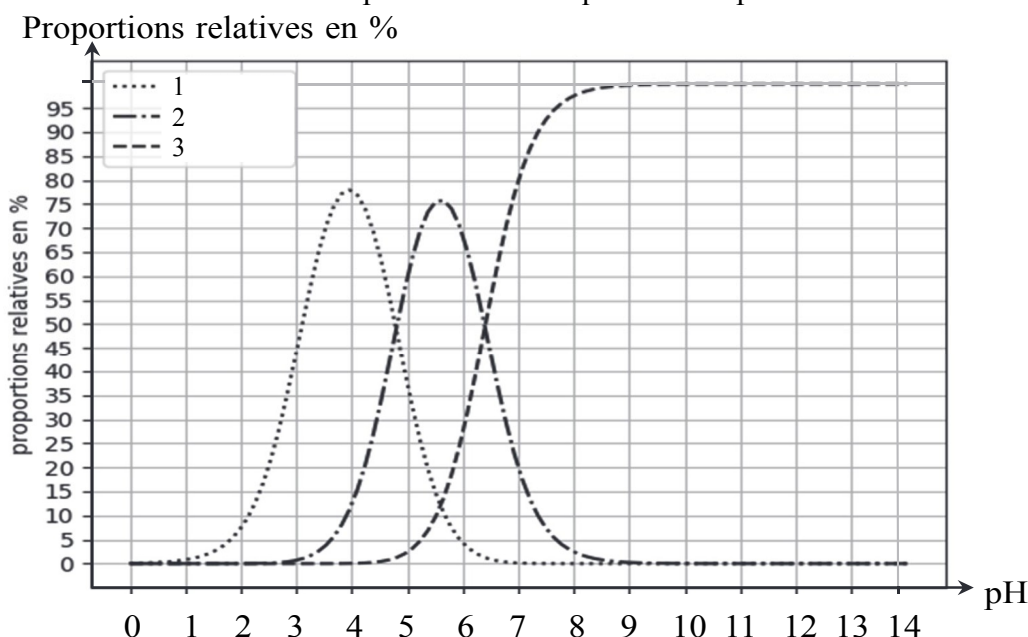
- pK_A à 25°C des couples acide/base associés à l'acide citrique : $pK_{A1} = 3,1$; $pK_{A2} = 4,8$; $pK_{A3} = 6,4$;

-Concentration standard : $c^\circ = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$;

-Données de spectroscopie infrarouge :

Liaison	O-H d'un alcool	O-H d'un acide carboxylique	C=O	C-O	C=C
Nombre d'onde (en cm^{-1})	3100 – 3500	2800 – 3400	1700 – 1800	1200 – 1300	1620 – 1680
Allure de la bande caractéristique	Forte et large	Forte et large	Forte et fine	Forte et fine	Faible et fine

-Diagramme de distribution de différentes espèces acido-basiques des couples associés à l'acide citrique :



Partie A : Étude de quelques propriétés de l'acide citrique

A1-Nommer les groupes caractéristiques 1 et 2 encadrés sur la formule topologique de l'acide citrique. Préciser celui qui est responsable des propriétés acides de la molécule dans l'eau.

A2-Justifier que le spectre infrarouge de la figure 1 est compatible avec la structure chimique de l'acide citrique.

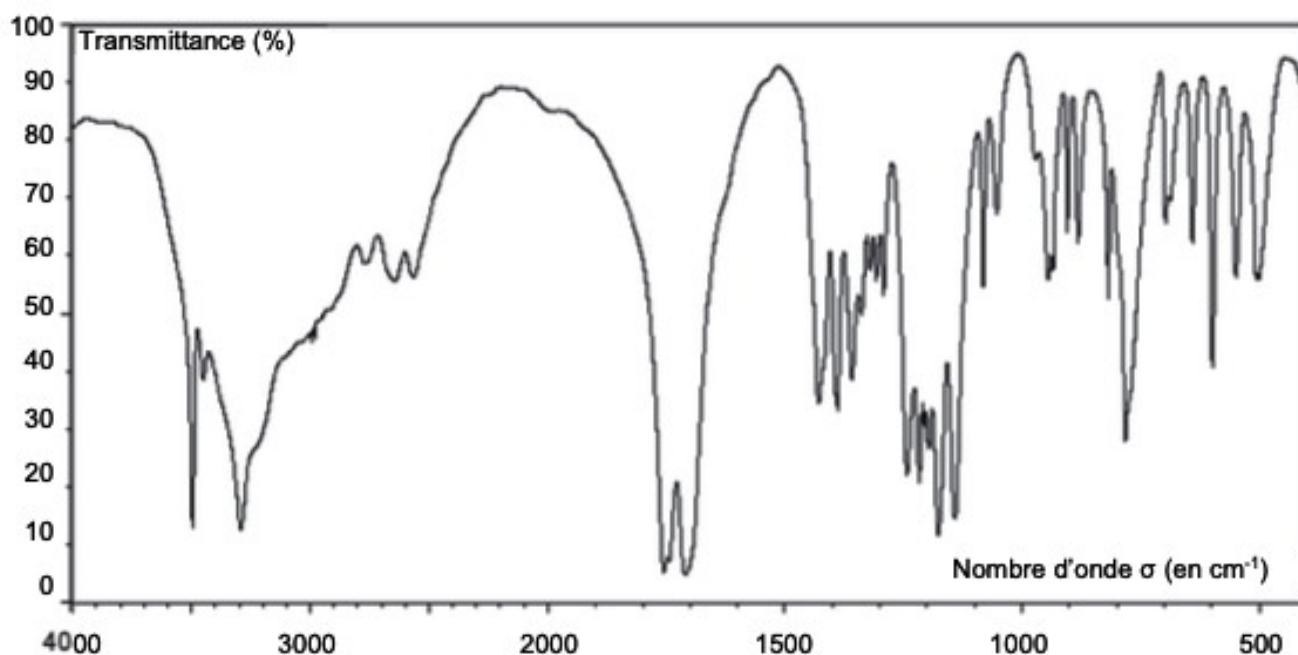


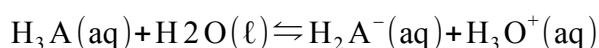
Figure 1. Spectre infrarouge de l'acide citrique

La solubilité de l'acide citrique dans l'eau à 25 °C est égale à $592 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$. La solubilité de l'hexane dans l'eau vaut $9,5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

A3-Proposer une explication de la différence entre ces deux valeurs de solubilité.

A4-Attribuer à chaque courbe numérotée du diagramme de distribution de l'acide citrique l'espèce chimique correspondante. Justifier ces attributions.

L'équation modélisant la réaction entre l'acide citrique H_3A et l'eau est :



On dispose au laboratoire d'une solution aqueuse d'acide citrique de concentration $c = 2,6 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. Son pH vaut environ 2,3.

A5-Montrer que l'acide citrique est un acide faible dans l'eau.

A6-Estimer, à l'aide du diagramme de distribution, les proportions en pourcentage de chaque espèce acidobasiques H_3A et H_2A^- de cette solution.

A7-En déduire, par le calcul, qu'à $\text{pH} = 2,3$ les concentrations des espèces chimiques H_3A et H_2A^- sont voisines de $[\text{H}_3\text{A}]_{\text{éq}} = 2,2 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ et $[\text{H}_2\text{A}^-]_{\text{éq}} = 3,9 \times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

A8-Donner l'expression de la constante d'acidité K_{A1} du couple $\text{H}_3\text{A}(\text{aq})/\text{H}_2\text{A}^-(\text{aq})$ en fonction des concentrations en quantité de matière à l'équilibre $[\text{H}_3\text{A}]_{\text{éq}}, [\text{H}_2\text{A}^-]_{\text{éq}}, [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}$ et de la concentration standard

c° . En déduire l'égalité $\frac{[\text{H}_2\text{A}^-]_{\text{éq}}}{[\text{H}_3\text{A}]_{\text{éq}}} = 10^{\text{pH} - \text{p}K_{A1}}$.

A9-Déterminer si les proportions du diagramme de distribution à $\text{pH} = 2,3$ sont cohérentes avec la valeur du rapport calculé à l'aide de la relation démontrée la question précédente.

Partie B : Titrage de l'acide citrique

Dans cette partie, on cherche à déterminer expérimentalement la masse d'acide citrique présente dans un citron.

Le protocole expérimental suivant est réalisé :

- presser un citron avec un presse-agrumes ;
- filtrer le jus obtenu. Le volume de jus mesuré vaut $V_{\text{jus}} = 46 \text{ mL}$ après filtration ;
- diluer 10 fois le jus de citron filtré ;
- prélever un volume $V_{\text{dilué}} = 25,0 \text{ mL}$ de jus de citron dilué et réaliser le titrage par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium de concentration $c_B = 2,5 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, à l'aide d'un suivi pH-métrique.

Les valeurs des trois pK_A de l'acide citrique étant proches, les trois acidités sont titrées simultanément.

L'équation de la réaction support du titrage s'écrit : $\text{H}_3\text{A}(\text{aq}) + 3\text{HO}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{A}^{3-}(\text{aq}) + 3\text{H}_2\text{O}(\ell)$

La courbe de titrage obtenue est représentée à la figure 2.

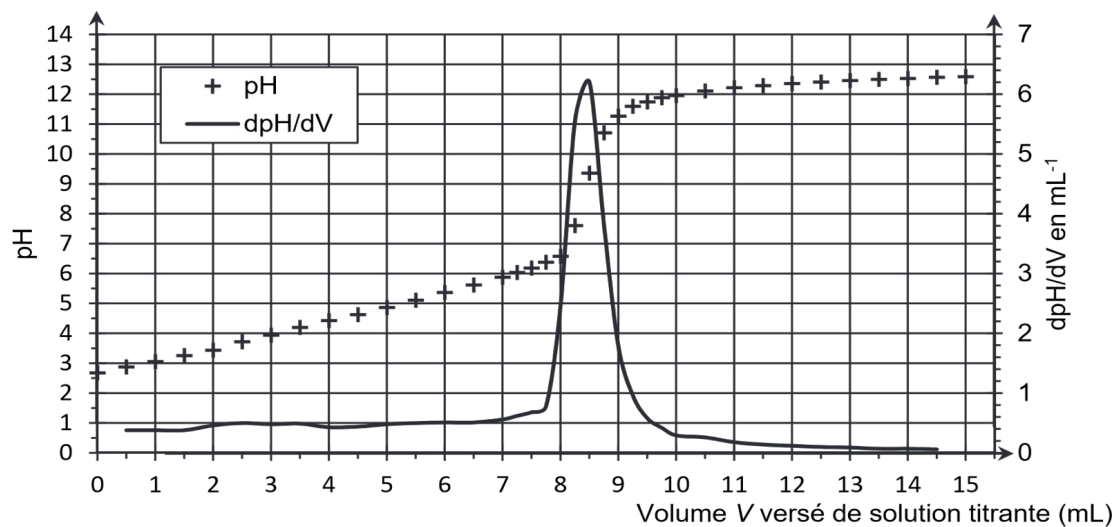


Figure 2. Courbe du titrage suivi par pH-métrie

B1-À partir de la formule topologique de l'acide citrique H_3A , représenter la formule semi-développée de l'ion A^{3-} .

B2-Proposer un protocole expérimental permettant de diluer 10 fois le jus de citron filtré. Justifier la verrerie utilisée.

B3-Réaliser un schéma légendé du dispositif de titrage, en nommant le matériel et les solutions utilisées.

B4-Choisir dans le tableau ci-dessous, en justifiant, un indicateur coloré adapté à ce titrage. Préciser, en justifiant, le changement de couleur de l'indicateur coloré à l'équivalence.

Nom de l'indicateur coloré	Zone de virage	Teinte en milieu acide	Teinte en milieu basique
hélianthine	3,1 – 4,4	rouge	jaune
rouge de méthyle	4,2 – 6,2	rouge	jaune
bleu de bromothymol	6,0 – 7,6	jaune	bleu
phénolphtaléine	8,2 – 10,0	incolore	rose

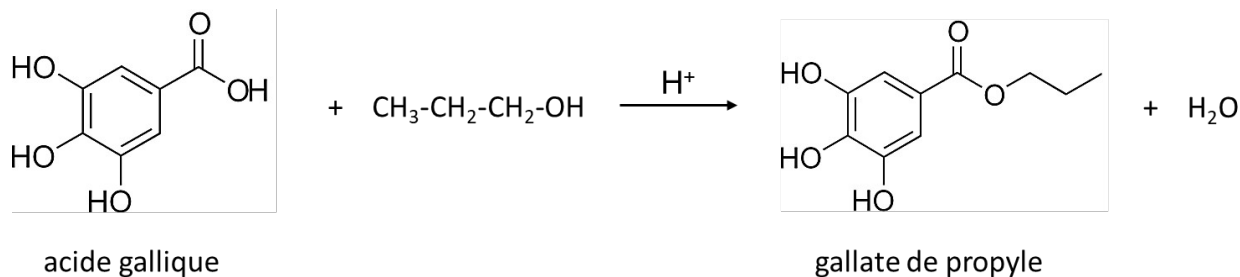
B5-En supposant que l'acide citrique est le seul acide présent dans le fruit, déterminer la masse d'acide citrique présente dans le citron.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et doit être correctement présentée.

B6-Avec un protocole similaire, on détermine que la masse d'acide citrique contenue dans une pelle-doseuse est égale à 23 g. En déduire le nombre de citrons apportant la même masse d'acide citrique. Commenter.

Le gallate de propyle (E310) est un antioxydant. Il permet de prolonger la durée de conservation des denrées alimentaires en les protégeant des altérations causées par l'oxydation, telles que le rancissement des matières grasses et les modifications de couleur. On en trouve notamment dans les chewing-gums ou les céréales du petit-déjeuner.

Le gallate de propyle (E310) peut être synthétisé à partir d'acide gallique et de propan-1-ol, en présence d'ions H^+ , selon une transformation chimique modélisée par la réaction dont l'équation est donnée ci-dessous :



D'après la réglementation NGAA (Norme Générale pour les Additifs Alimentaires), la teneur maximale autorisée de ce conservateur est de 200 mg par kilogramme d'aliment.

1-Recopier les formules de l'acide gallique et du gallate de propyle. Entourer les groupes caractéristiques modifiés lors de la transformation de l'acide gallique en gallate de propyle et nommer les familles fonctionnelles correspondantes.

Le mécanisme réactionnel de la synthèse comporte cinq étapes, dont les étapes 3 et 4 sont représentées sur le document fourni en Annexe.

2-Représenter sur l'Annexe les flèches courbes de l'acte élémentaire correspondant à l'étape 3 du mécanisme, en justifiant leur sens.

3-Représenter le schéma de Lewis de l'espèce chimique A obtenue lors de l'étape 4. Justifier le qualificatif d'intermédiaire réactionnel donné à cette entité.

4-Indiquer le rôle joué par les ions hydrogène H^+ lors de cette transformation.

Données :

-Masse molaire de l'acide gallique : $M_1 = 170,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;

-Masse molaire du gallate de propyle : $M_2 = 212,2 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;

-Masse volumique de l'huile d'olive : $\rho_{\text{huile}} = 0,91 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$.

On utilise le gallate de propyle comme conservateur dans de l'huile d'olive alimentaire. On le synthétise en faisant réagir l'acide gallique avec un excès de propan-1-ol dans des conditions expérimentales où le rendement de la synthèse est de 60 %.

5-Indiquer l'intérêt d'introduire en excès le propan-1-ol.

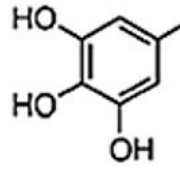
6-Déterminer la masse d'acide gallique nécessaire pour obtenir 500 litres d'huile possédant la teneur maximale en conservateur autorisée par la réglementation. Commenter le résultat.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et doit être correctement présentée.

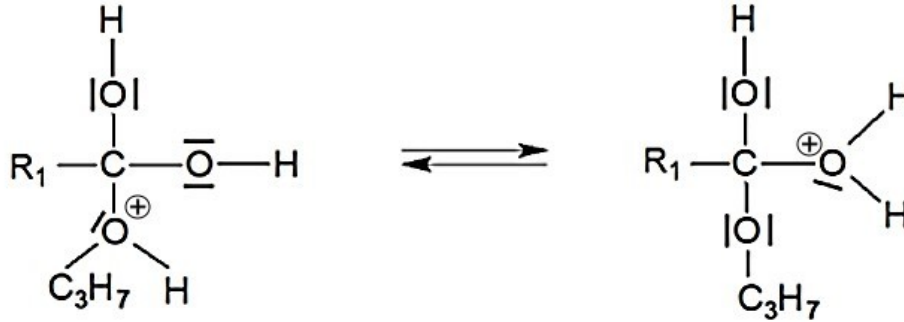
ANNEXE

Étapes 3 et 4 du mécanisme de la synthèse du gallate de propyle

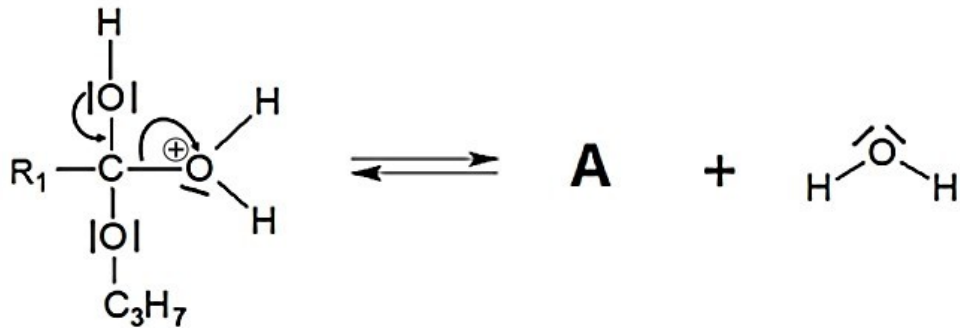
Pour simplifier l'écriture, on note R_1 le groupe suivant :



Étape 3



Étape 4



Une bouteille isotherme permet de maintenir un liquide au chaud ou au froid pendant une certaine durée. L'efficacité de la bouteille isotherme dépend des conditions d'utilisation mais aussi de sa constitution. L'objectif de cet exercice est d'évaluer la capacité thermique du vase interne d'une bouteille isotherme, schématisée en figure 1, d'en déduire la nature possible du métal qui constitue ce vase et d'étudier l'évolution de la température à l'intérieur du vase.

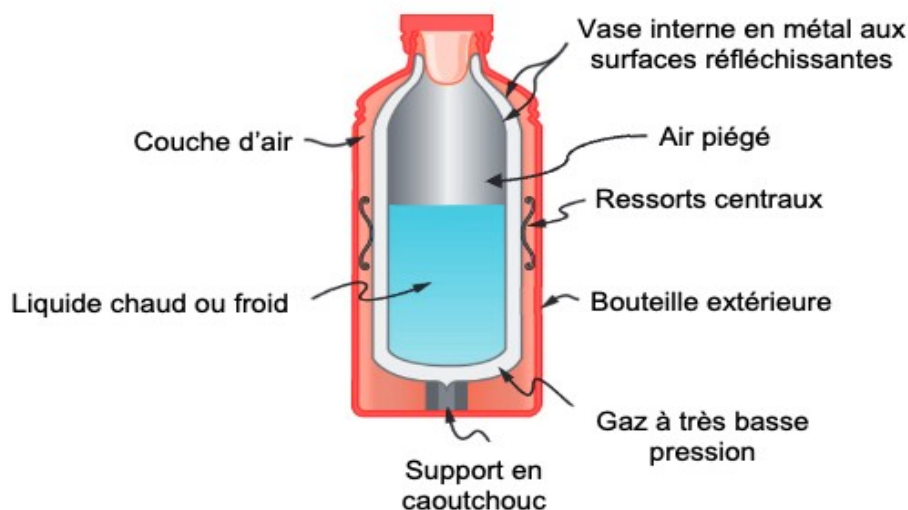


Figure 1. Schéma simplifié, en coupe, d'une bouteille isotherme

Partie A : Constitution de la bouteille isotherme et échanges thermiques

Dans les bouteilles isothermes de qualité médiocre, l'espace entre le vase interne et la bouteille extérieure est rempli d'un matériau qui joue le rôle d'isolant thermique (polystyrène par exemple).

Dans le cas de la bouteille isotherme de qualité supérieure étudiée ici et représentée sur la figure 1, le vase interne n'est pas en contact direct avec la paroi de la bouteille extérieure et est maintenu par des ressorts centraux et un support en caoutchouc.

A1-Identifier le mode de transfert thermique entre le vase interne et l'extérieur que l'usage des ressorts centraux et du support en caoutchouc vise à minimiser.

A2-Expliquer l'intérêt de rendre réfléchissantes les surfaces intérieure et extérieure du vase interne.

A3-L'espace situé entre la surface intérieure et la surface extérieure du vase interne contient un gaz à très basse pression. Expliquer l'intérêt de ce choix.

Partie B : Expérience visant à déterminer la capacité thermique du vase interne de la bouteille isotherme

On verse une masse d'eau froide $m_{EF}=300\text{ g}$ dans la bouteille isotherme. Le vase interne et l'eau froide sont à la température initiale $\theta_{EF}=15^\circ\text{C}$. On complète le contenu de la bouteille avec une masse d'eau chaude $m_{EC}=100\text{ g}$ à la température $\theta_{EC}=60^\circ\text{C}$. La bouteille isotherme pleine est rapidement fermée puis agitée légèrement. Après trois minutes, la température d'équilibre thermique est atteinte et vaut $\theta_{eq}=26^\circ\text{C}$.

Données :

-On néglige l'influence de l'air piégé après fermeture de la bouteille isotherme ;

-La température de l'air extérieur et la pression atmosphérique sont constantes pendant la durée des expériences ;

-La température de l'air extérieur vaut : $\theta_{ext}=19^\circ\text{C}$;

-Capacités thermiques massiques de plusieurs métaux à la pression atmosphérique et à la température de 25°C :

Matériau	Capacité thermique massique ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
Argent	235
Acier inoxydable	450
Titane	520
Aluminium	900

-La capacité thermique du vase interne de la bouteille isotherme est notée C_{Vase} ;

-La capacité thermique massique de l'eau est constante et vaut : $c_E = 4,18 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;

-La durée de l'expérience est : $\Delta t = 180 \text{ s}$.

On modélise la bouteille isotherme par un système {S} constitué des trois sous-systèmes :

- {Vase interne} ;
- {Eau froide introduite dans le vase} ;
- {Eau chaude introduite dans le vase}.

Pendant l'expérience, on considère que le système {S} vérifie les hypothèses suivantes :

- hypothèse 1 : les transferts thermiques avec le milieu extérieur sont négligés ;
- hypothèse 2 : les transferts d'énergie sous forme de travail sont également négligés.

Au regard du modèle retenu, la variation d'énergie interne du système {S} s'écrit :

$$\Delta U_S = \Delta U_{\text{Vase}} + \Delta U_{\text{Eau froide}} + \Delta U_{\text{Eau chaude}}$$

B1-Indiquer en quoi les deux hypothèses faites permettent d'écrire que le premier principe de la thermodynamique appliqué au système {S} donne : $\Delta U_S = 0$.

B2-Montrer que la capacité thermique C_{Vase} est donnée par la relation :

$$C_{\text{Vase}} = \frac{m_{\text{EC}} \times c_E \times (\theta_{\text{EC}} - \theta_{\text{éq}})}{\theta_{\text{éq}} - \theta_{\text{EF}}} - m_{\text{EF}} \times c_E$$

B3-Calculer la valeur de la capacité thermique C_{Vase} .

B4-Sachant que le vase interne a une masse $m_1 = 100 \text{ g}$, déterminer sa capacité thermique massique. Commenter le résultat au regard des données fournies.

En réalité, les transferts thermiques entre le système {S} et le milieu extérieur ne sont pas inexistantes. En effet, une fois l'équilibre thermique atteint, on constate que la température du système diminue au bout de quelques heures.

La résistance thermique, notée R , entre le système {S} et le milieu extérieur vaut approximativement $R = 23 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$.

B5-En considérant que le système {S} est à la température de 26 °C et que l'air extérieur est à la température 19 °C, montrer que le flux thermique orienté, noté Φ , du système {S} vers l'extérieur vaut environ 0,3 W.

B6-En déduire l'ordre de grandeur de l'énergie Q_{ext} échangée par le système {S} avec le milieu extérieur pendant la durée Δt de l'expérience.

B7-Comparer Q_{ext} à la variation d'énergie interne $\Delta U_{\text{Eau chaude}}$ de l'eau chaude introduite dans le vase au cours de l'expérience. Commenter en indiquant si l'hypothèse 1 est justifiée.

Partie C : Evolution de la température dans la bouteilles

On modélise l'évolution de la température à l'intérieur d'une bouteille isotherme en fonction du temps, sachant qu'on verse de l'eau à 92 °C dans la bouteille isotherme, puis qu'on place la bouteille dans une pièce de température constante à $\theta_{\text{ext}} = 12 \text{ °C}$. On mesure au cours du temps avec une sonde thermométrique la température de l'eau sans ouvrir la bouteille.

On suppose que l'équation différentielle suivante modélise l'évolution de la température $\theta(t)$ de l'eau à l'intérieur de la bouteille isotherme en fonction du temps :

$$\frac{d\theta(t)}{dt} = \frac{1}{\tau}(\theta_{\text{ext}} - \theta(t))$$

C1-Déterminer la dimension de la constante τ en la justifiant.

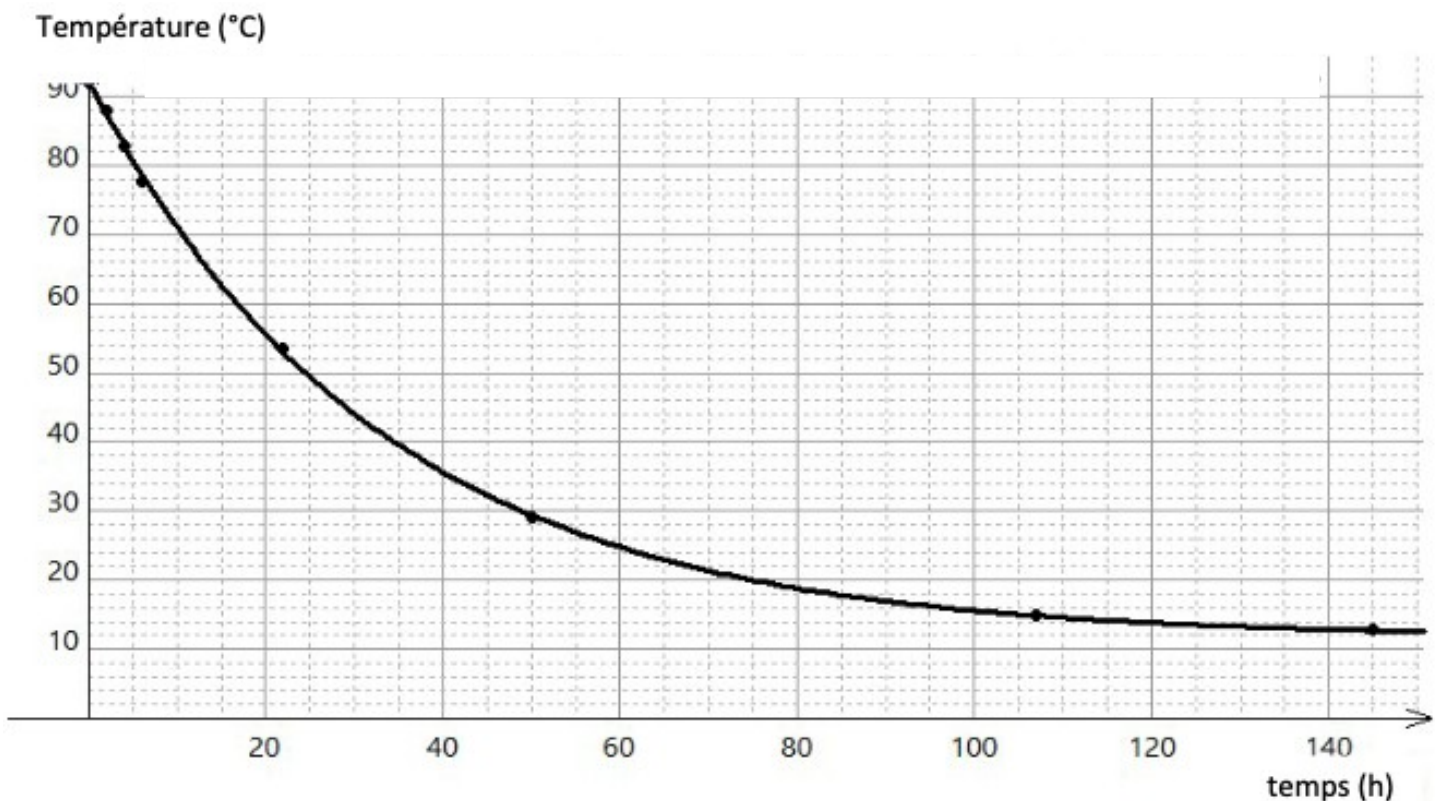
La température de l'eau en fonction du temps, solution de cette équation différentielle, est de la forme :

$$\theta(t) = A e^{-\frac{t}{\tau}} + B \text{ avec } A, B \text{ et } \tau \text{ des constantes.}$$

L'origine du temps $t = 0$ est choisie au moment où l'eau à la température $\theta_{\text{ini}} = 92^\circ\text{C}$ est versée.

C2-Établir les expressions de A et de B en fonction de la température initiale θ_{ini} et de la température extérieure θ_{ext} , puis calculer A et B .

La modélisation de l'évolution de la température $\theta(t)$ de l'eau en fonction du temps dans la bouteille isotherme est représentée ci-dessous :



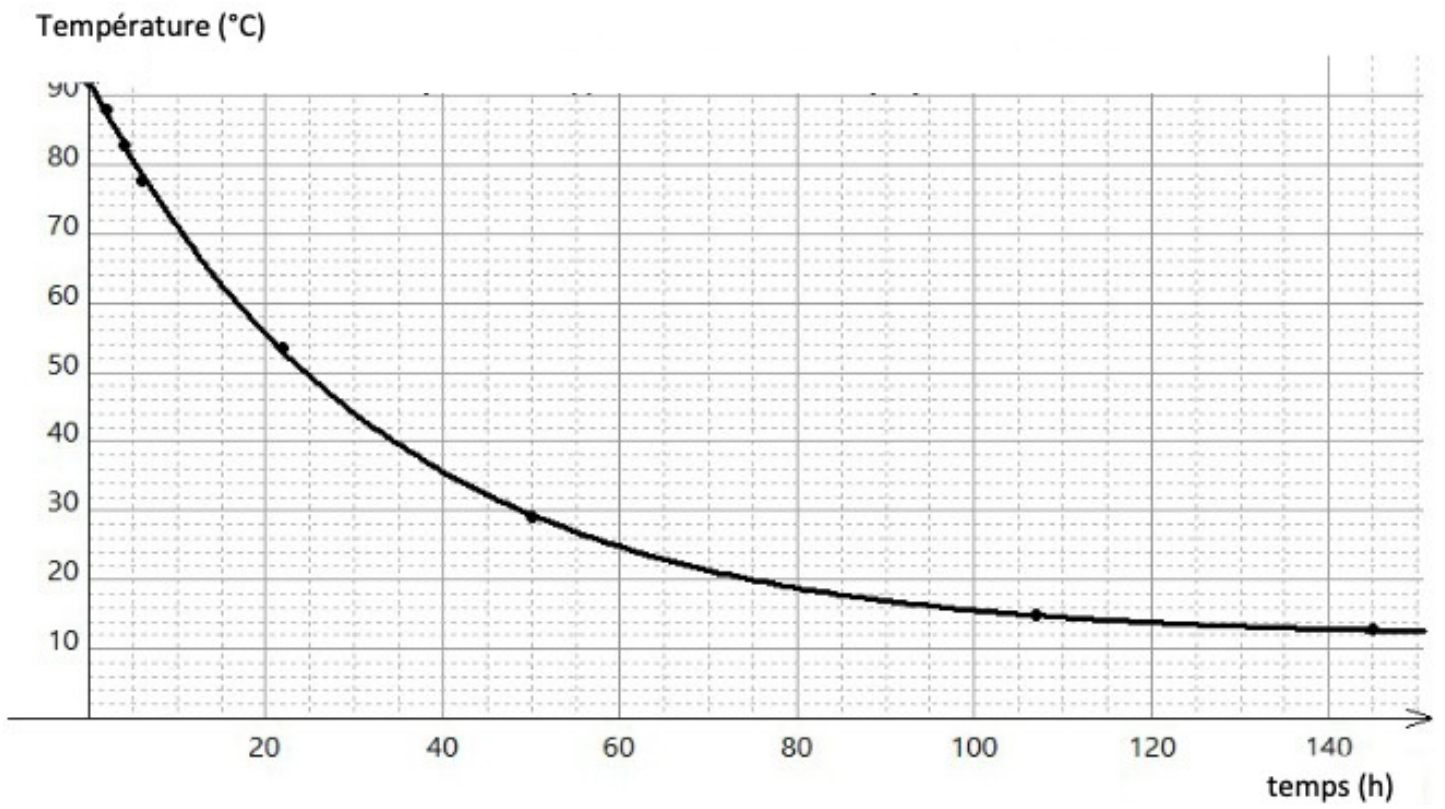
C3-Positionner θ_{ini} , θ_{ext} sur le graphique représenté en annexe.

C4-Montrer, par une méthode graphique, que la valeur de τ est d'environ 35 heures.

C5-Lors d'une randonnée en montagne, une bouteille isotherme différente est utilisée. Elle est caractérisée par une valeur de τ égale à 51,2 heures. De l'eau à haute température est versée dans la bouteille le soir à 21 h. La loi d'évolution de la température en fonction du temps $\theta(t)$ reste ici valable mais les nouvelles conditions de température donnent ici $A = 78^\circ\text{C}$ et $B = 10^\circ\text{C}$. Sachant que pour faire infuser un thé, la température de l'eau doit être supérieure à 70°C , calculer jusqu'à quelle heure le lendemain matin, il est possible de faire infuser un thé au petit déjeuner. Conclure.

Les candidats sont invités à prendre des initiatives, notamment sur les valeurs numériques éventuellement manquantes, et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti.

ANNEXE

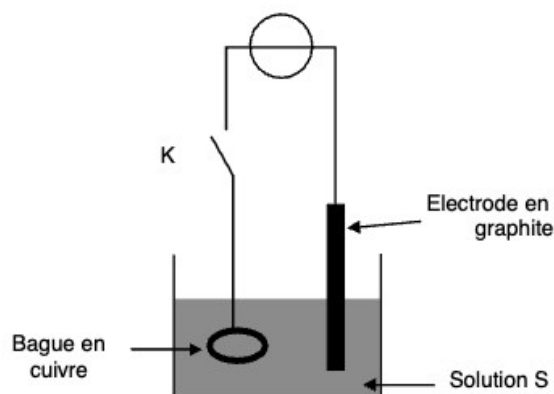


L'argenture est un procédé encore très utilisé qui consiste à déposer une fine couche d'argent sur un métal moins noble, par exemple du cuivre pour la fabrication de bagues bon marché. Le protocole consiste à réaliser une électrolyse en utilisant une solution aqueuse de nitrate d'argent ($\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{NO}_3^-(\text{aq})$) afin de déposer sur cette bague en cuivre de l'argent sous forme solide. Le volume de la solution S de nitrate d'argent introduite dans l'électrolyseur sera $V = 500 \text{ mL}$ et sa concentration en soluté apporté $C = 4,00 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. La bague en cuivre, préalablement décapée, est complètement immergée dans la solution et reliée par un fil conducteur à un générateur comme le décrit le schéma ci-dessous.

Une électrode de graphite (considéré comme inerte) plongée dans la solution, permet la circulation d'un courant électrique. L'électrolyse commence lors de la fermeture de l'interrupteur K. Le générateur délivre alors pendant une durée notée Δt un courant électrique d'intensité I constante.

Au niveau de l'électrode de graphite, on observe un dégagement gazeux et sur l'électrode constituée par la bague, seul un dépôt d'argent apparaît distinctement.

On considérera que les anions nitrate NO_3^- ne subissent aucune transformation chimique au cours de l'électrolyse. Ils contribuent seulement au passage du courant électrique dans l'électrolyseur.



Données :

-Couples oxydo-réducteurs : $\text{Ag}^+(\text{aq})/\text{Ag}(\text{s})$, $\text{H}^+(\text{aq})/\text{H}_2(\text{g})$ et $\text{O}_2(\text{g})/\text{H}_2\text{O}(\ell)$

-Constante de Faraday : $F = 96500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$;

-Masses molaires en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$: $M(\text{Ag}) = 107,9$ $M(\text{H}) = 1,0$ $M(\text{O}) = 16,0$

Partie A : Bilan de l'électrolyse

A1-La bague en cuivre constitue-t-elle l'anode ou la cathode pour cette électrolyse ? Justifier votre réponse. Doit-elle être reliée à la borne positive ou négative du générateur de tension présent dans le montage ?

A2-Quelle autre demi-équation d'oxydoréduction est susceptible de se produire à l'électrode constituée de la bague en cuivre ?

A3-Écrire la demi-équation d'oxydoréduction susceptible de se produire à l'électrode de graphite.

A4-La durée de l'électrolyse est $\Delta t = 80 \text{ min}$ et l'intensité du courant vaut $I = 24 \text{ mA}$. Déterminer la masse d'argent $m(\text{Ag})$ déposée sur la bague en cuivre.

Les candidats sont invités à prendre des initiatives, notamment sur les valeurs numériques éventuellement manquantes, et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti.

Partie B : Choix d'une réaction support pour doser les ions argent restant après l'électrolyse

Dans un tube à essais contenant un volume $V = 5,0 \text{ mL}$ de solution de nitrate d'argent ($\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{NO}_3^-(\text{aq})$) de concentration en soluté apporté $C = 4,00 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, on ajoute un volume $V_1 = 1,0 \text{ mL}$ de solution aqueuse de chlorure de sodium ($\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$) de concentration en soluté apporté $C_1 = 1,00 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. On observe la formation d'un précipité blanc de chlorure d'argent $\text{AgCl}(\text{s})$.

B1-Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation chimique ayant lieu dans le tube à essais.

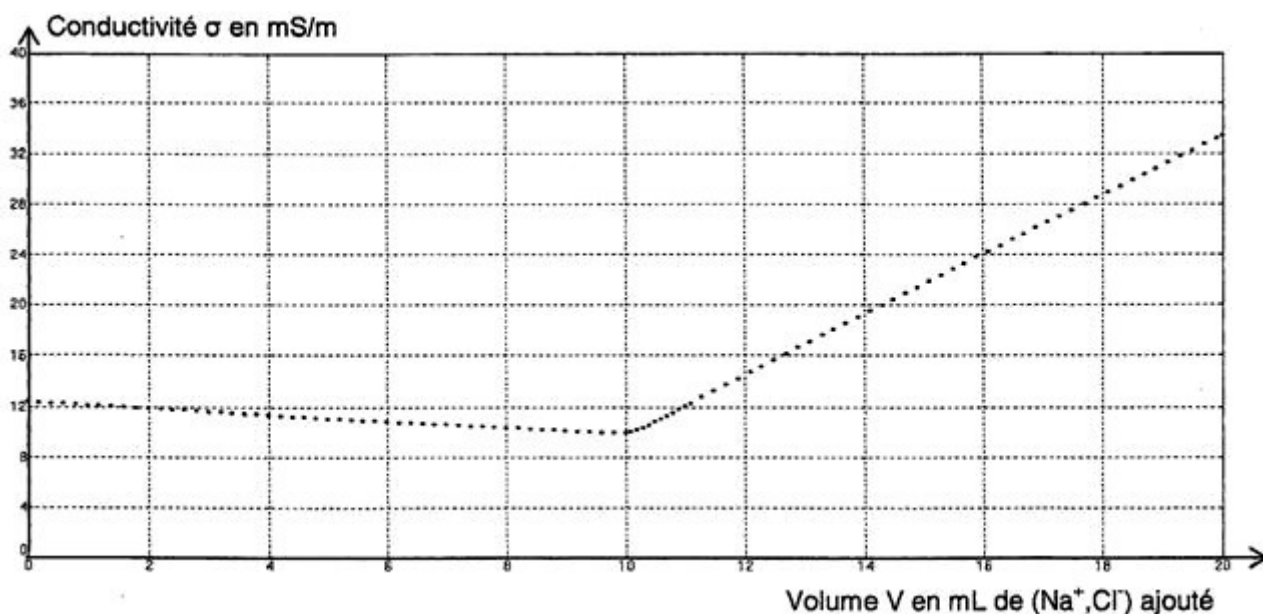
B2-Exprimer littéralement le quotient de réaction Q_r associé à la transformation chimique qui se produit dans le tube à essai.

B3-Calculer le quotient de réaction $Q_{r,i}$ dans l'état initial où les réactifs seraient mélangés sans avoir commencé à réagir.

B4-Sachant que la valeur de la constante d'équilibre à 25°C est $K=6,4 \times 10^9$, déterminer, en justifiant, le sens d'évolution du système chimique. Votre résultat est-il en accord avec l'observation faite dans le tube à essais ? Justifier votre réponse.

Partie C : Détermination de la masse d'argent déposée sur la bague de cuivre

On propose de vérifier la valeur de la masse d'argent déposée sur la bague électrolysée en utilisant comme réaction support de dosage celle qui a été déterminée à la question B1. On réalise alors un titrage par conductimétrie en récupérant toute la solution S de nitrate d'argent contenue dans l'électrolyseur que l'on place dans un récipient adapté. Cette solution a un volume $V = 500 \text{ mL}$ (on admet que ce volume n'a pas varié après les diverses réactions aux électrodes). On mesure la conductivité du mélange après chaque ajout de la solution titrante de chlorure de sodium de concentration en soluté apporté $C_1 = 1,00 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. On obtient la courbe ci-dessous :



Pendant le titrage, on négligera les variations de volume du mélange.

C1-Exprimer la quantité de matière des ions argent restants $n_r(\text{Ag}^+)$ dans la solution S en fonction de C_1 et V_E .

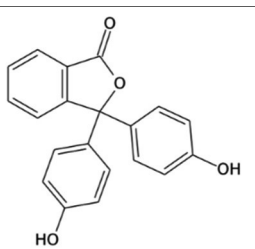
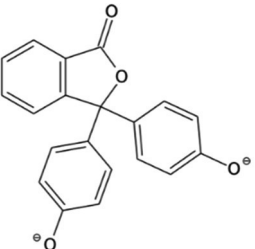
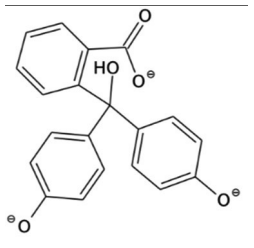
C2-Exprimer puis calculer la quantité de matière d'ions argent $n_c(\text{Ag}^+)$ consommés lors de l'électrolyse en fonction de $n_r(\text{Ag}^+)$ et $n_i(\text{Ag}^+)$.

C3-En déduire la masse d'argent $m(\text{Ag})$ déposé sur la bague en cuivre. Votre réponse est-elle cohérente avec celle donnée à la question A4 ? Proposer une explication permettant de justifier l'écart possible.

Décoloration de la phénolphthaléine

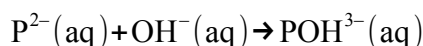
La phénolphthaléine est une substance utilisée en chimie pour ses propriétés colorantes et acido-basiques. Elle est souvent choisie comme indicateur de pH, notamment pour repérer l'équivalence de certains titrages.

Les espèces associées à la phénolphthaléine en solution aqueuse sont représentées ci-dessous :

		
Forme acide notée H ₂ P prédominante pour un pH < 9,4	Forme basique notée P ²⁻ prédominante pour un pH > 9,4	Forme basique notée POH ³⁻ prédominante en milieu très basique (pH > 12)
Solution incolore	Solution rose	Solution incolore

Les transformations mettant en jeu les espèces H₂P et P²⁻ étant instantanées, la phénolphthaléine est utilisée pour distinguer un milieu basique (rose) d'un milieu acide (incolore).

Mis en milieu très basique (pH > 12), les ions P²⁻ réagissent lentement avec les ions hydroxyde OH⁻ pour former des ions POH³⁻ selon l'équation ci-après. Cette réaction s'accompagne d'une décoloration progressive de la solution rose de phénolphthaléine, ce qui peut être potentiellement gênant lors des titrages.



L'objectif de cet exercice est d'étudier la cinétique de la réaction associée à cette décoloration en milieu très basique.

Données :

-Produit ionique de l'eau à 25°C : $K_e = 1,0 \times 10^{-14}$;

-Concentration standard : $c^{\circ} = 1,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$;

-Ci-contre, pictogramme de sécurité de la phénolphthaléine sous forme solide ou en solution de concentration supérieure à $3 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.



Protocole du suivi cinétique de la décoloration :

-Dans un bécher, introduire 30 mL d'une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium de concentration $C = 0,50 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$;

-Déclencher le chronomètre (instant $t = 0$) lorsque l'on introduit dans le bécher 0,50 mL d'une solution basique de phénolphthaléine de concentration en ions P²⁻ égale à $1,6 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$;

-Mélanger rapidement, transvaser dans une cuve spectrophotométrique. Relever l'absorbance du milieu à une longueur d'onde appropriée toutes les 10 secondes pendant quinze minutes.

Dans cette expérience, on considère que les ions hydroxyde OH⁻ apportés par la solution d'hydroxyde de sodium sont en large excès par rapport aux ions P²⁻. On considère que leur concentration reste constante pendant toute la durée de l'expérience : $[OH^{-}](t) = C = 0,50 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Partie A : Étude des conditions initiales

A1-Préciser la signification du pictogramme de sécurité associé à la phénolphthaléine. Justifier l'un des critères de choix des conditions expérimentales.

A2-Estimer la valeur du pH de la solution aqueuse d'hydroxyde de sodium utilisée dans l'expérience. Commenter.

A3-Montrer que, une fois que la solution de phénolphtaléine a été introduite dans la solution d'hydroxyde de sodium à la date $t = 0$, la concentration des ions P^{2-} est $[P^{2-}]_0 = 2,6 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Partie B : Étude cinétique de la décoloration

Les résultats expérimentaux permettent de tracer l'évolution de la vitesse de disparition de l'ion P^{2-} en fonction de sa concentration (figure 1).

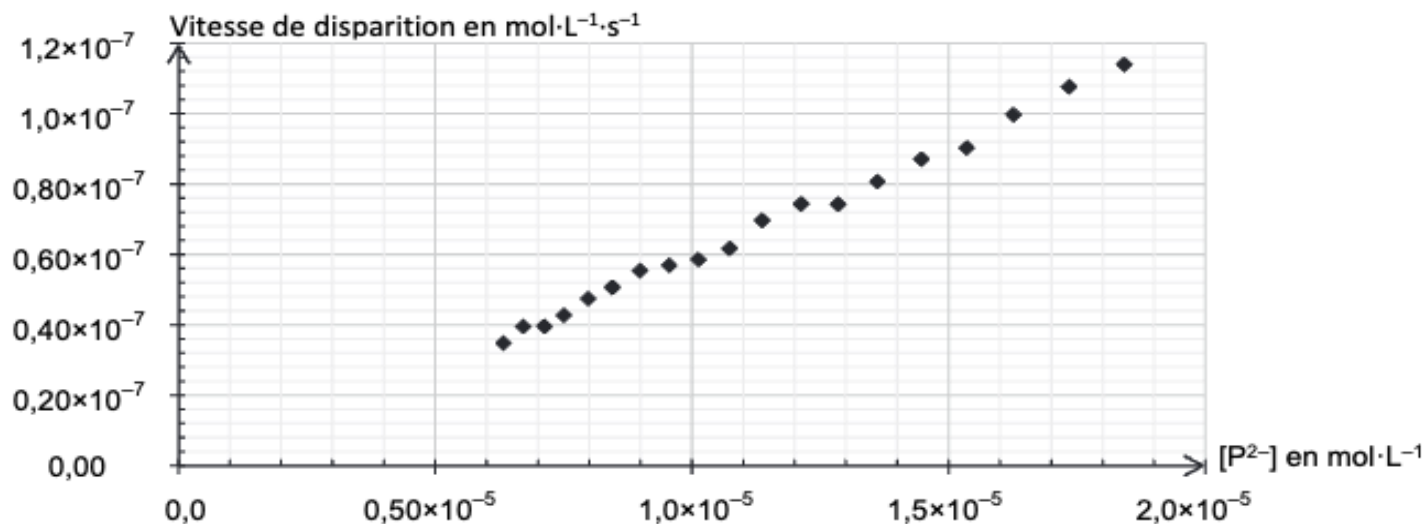


Figure 1. Évolution de la vitesse de disparition de la forme P^{2-} en fonction de la concentration en P^{2-}

On fait l'hypothèse que l'évolution de la concentration suit une loi de vitesse d'ordre 1.

B1-Expliquer en quoi les résultats expérimentaux donnés en figure 1 sont compatibles avec cette hypothèse.

Dans ce cadre, la concentration en ions P^{2-} à l'instant t , notée $[P^{2-}](t)$, est régie par l'équation différentielle :

$$\frac{d[P^{2-}](t)}{dt} = -k \cdot [P^{2-}](t)$$

B2-Déterminer le coefficient k à l'aide du graphique de la figure 1.

La figure 2 de l'annexe présente l'évolution temporelle de la concentration de la forme P^{2-} de la phénolphtaléine.

B3-Déterminer, à l'aide de la figure 2 de l'annexe, la valeur de la vitesse volumique de disparition v_{disp} de la forme P^{2-} de la phénolphtaléine à la date $t = 200$ s. On fera apparaître la construction effectuée sur le graphique.

B4-Indiquer, en justifiant la réponse, l'évolution de cette vitesse au cours du temps.

B5-Définir le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ et estimer sa valeur dans le cas de cette transformation chimique, considérée totale.

La concentration en ions P^{2-} de la phénolphtaléine suit la loi d'équation : $[P^{2-}](t) = [P^{2-}]_0 \times e^{-k \times t}$, où k correspond à la constante déterminée à la question B2.

B6-Déterminer la relation entre k et $t_{1/2}$.

B7-Comparer la valeur de $t_{1/2}$ obtenue avec cette relation avec la valeur trouvée à la question B5. Commenter.

B8-Commenter la valeur de $t_{1/2}$ obtenue au regard de l'utilisation de la phénolphtaléine comme indicateur coloré de certains titrages de solutions acides.

ANNEXE

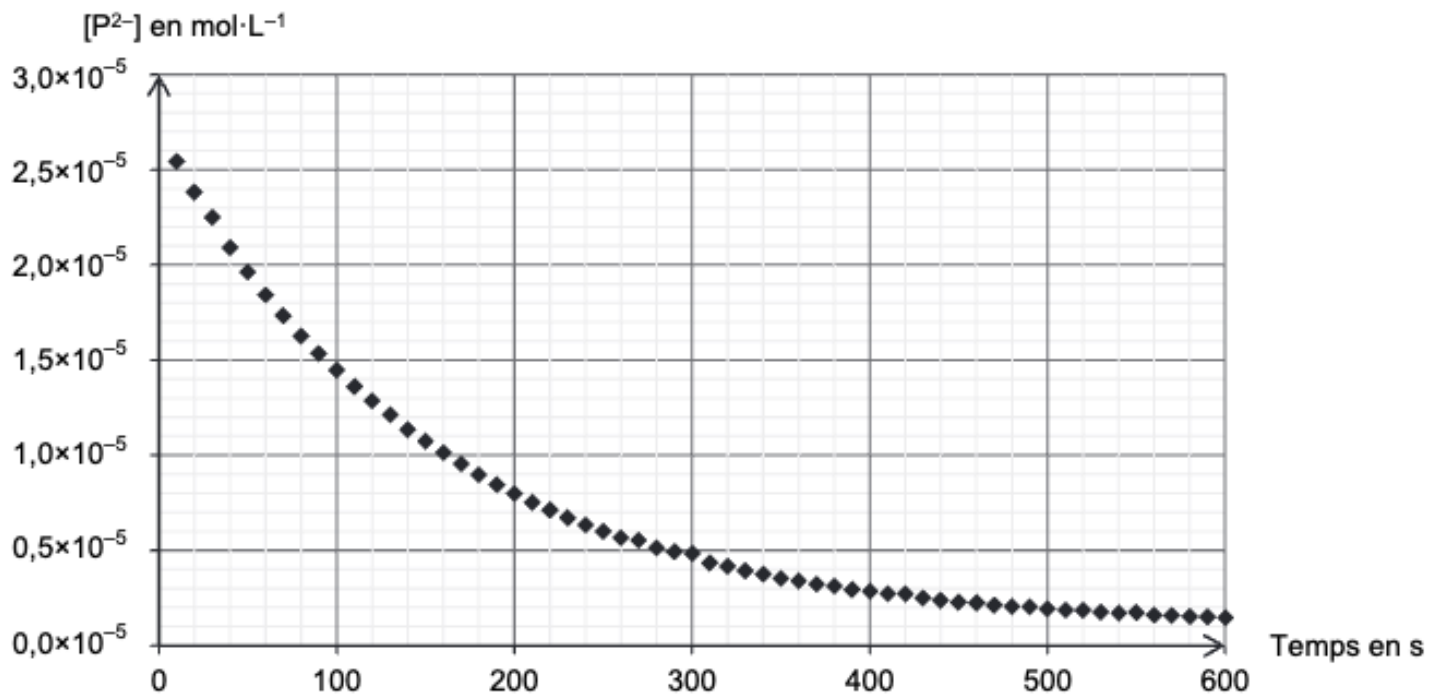


Figure 2. Évolution temporelle de la concentration de la forme P^{2-} de la phénolphtaléine

Le télescope spatial James Webb (noté JWST) est un télescope développé par la NASA avec la participation de l'Agence Spatiale Européenne et de l'Agence Spatiale Canadienne. Ce télescope JWST se trouve en permanence à une distance de 1,5 millions de kilomètres du centre de la Terre au point de Lagrange noté L2.

Pour le système Terre-Soleil, il existe 5 positions appelées points de Lagrange notés de L1 à L5 (voir figure 1). Sous l'effet de l'action du Soleil et de la Terre, un satellite placé sur l'un de ces points a un mouvement de rotation autour du Soleil de même période que celle de la Terre. Les positions relatives du satellite, du Soleil et de la Terre restent alors inchangées au cours du temps.

Cette position assure au télescope JWST de demeurer pendant toute l'année dans l'ombre portée de la Terre et donc à l'abri du rayonnement thermique du Soleil.

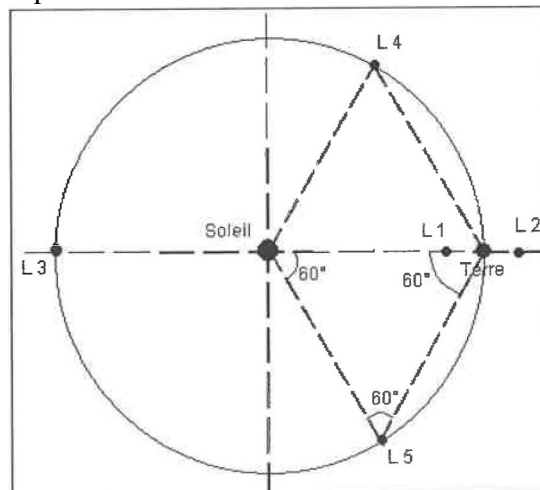


Figure 1. Les points de Lagrange.

Les objectifs de cet exercice sont de déterminer la période de révolution du télescope JWST et d'analyser une méthode de détermination de la distance à laquelle se trouve une galaxie.

Données :

- Distance Terre-Soleil : $D_{T-S} = 149,6 \times 10^6$ km
- Distance Terre-JWST : $D_{T-J} = 1,511 \times 10^6$ km
- Masse de JWST : $m_J = 6,17 \times 10^3$ kg
- Masse de la Terre : $M_T = 5,97 \times 10^{24}$ kg
- Masse du Soleil : $M_S = 1,99 \times 10^{30}$ kg
- Constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \times 10^{-11}$ N . m² . kg⁻²

Partie A : Mouvement orbital du télescope JWST

A1-Indiquer les raisons pour lesquelles il n'aurait pas été judicieux de placer le télescope JWST au point de Lagrange L1 (voir figure 1).

A2-Représenter, sans souci d'échelle, l'alignement du Soleil, de la Terre et du télescope JWST situé en L2. Ces trois corps seront représentés par des points notés S, T et J. Faire apparaître sur la figure la distance Terre-Soleil notée D_{T-S} et la distance Terre-JWST notée D_{T-J} . Calculer la distance D_{S-J} du Soleil au télescope JWST.

A3-Exprimer la force d'attraction gravitationnelle, notée F_{T-J} qu'exerce la Terre sur le télescope JWST en fonction de G , m_J , M_T et D_{T-J} puis la calculer.

La force d'attraction gravitationnelle, notée \vec{F}_{S-J} , qu'exerce le Soleil sur le télescope JWST a pour valeur $F_{S-J} = 35,9$ N.

A4-Représenter, sur le schéma réalisé à la question A2 et sans souci d'échelle, le vecteur \vec{F}_{T-J} représentant la force exercée par la Terre sur le télescope JWST et le vecteur \vec{F}_{S-J} représentant la force exercée par le Soleil sur le télescope JWST.

On note \vec{F} la force correspondant à la résultante des forces \vec{F}_{T-J} et \vec{F}_{S-J} agissant sur le télescope JWST ; on a donc $\vec{F} = \vec{F}_{T-J} + \vec{F}_{S-J}$.

A5-Vérifier que la valeur de la force \vec{F} vaut approximativement $F = 37,0 \text{ N}$.

On admet que le centre de masse du télescope JWST a une trajectoire circulaire de rayon $D_{S-J} = 151,1 \times 10^6 \text{ km}$ centrée sur le Soleil. La Terre, le Soleil et le télescope JWST restent alignés en permanence.

La force de gravitation totale exercée sur le télescope JWST peut s'exprimer à l'aide de la relation :

$$F = G \times m_J \times \left(\frac{M_S}{D_{S-J}^2} + \frac{M_T}{D_{T-J}^2} \right)$$

Pour simplifier les calculs, on introduit la distance effective D_{eff} entre le Soleil et le télescope JWST, définie par la relation :

$$F = G \times m_J \times \left(\frac{M_S}{D_{\text{eff}}^2} \right)$$

A6-Exprimer la distance effective D_{eff} en fonction de M_S , M_T , D_{S-J} et D_{T-J} et vérifier que cette distance effective a pour valeur $D_{\text{eff}} = 1,49 \times 10^{11} \text{ m}$.

A7-Sur un schéma représentant la trajectoire circulaire du télescope JSWT, représenter, sans souci d'échelle, vecteurs \vec{u}_n et \vec{u}_t du repère de Frenet, respectivement normal et tangent à la trajectoire, au niveau du télescope JWST. Représenter également la force \vec{F} .

L'accélération du télescope JWST s'écrit $\vec{a} = a_n \vec{u}_n + a_t \vec{u}_t$.

A8-Donner l'expression de l'accélération normale a_n du télescope JWST en fonction de la vitesse v et du rayon de la trajectoire D_{S-J} .

Dans la situation particulière étudiée, la force d'attraction gravitationnelle \vec{F} qu'exercent le Soleil et la Terre sur le télescope JWST peut s'écrire :

$$\vec{F} = G \times \frac{m_J \times M_S}{D_{\text{eff}}^2} \times \vec{u}_n$$

A9-En appliquant la deuxième loi de Newton dans le référentiel d'étude, supposé galiléen, déterminer l'expression du vecteur accélération \vec{a} du centre de masse du télescope JWST en fonction de G , M_S , D_{eff} et \vec{u}_n .

A10-Montrer que la vitesse v du télescope JWST s'écrit :

$$v = \sqrt{\frac{G \times M_S \times D_{S-J}}{D_{\text{eff}}^2}}$$

A11-En déduire que la période de révolution T du télescope JWST est donnée par la relation

$$T = 2\pi \times \sqrt{\frac{D_{S-J} \times D_{\text{eff}}^2}{G \times M_S}}$$

Calculer sa valeur en jours et vérifier la cohérence avec la valeur attendue.

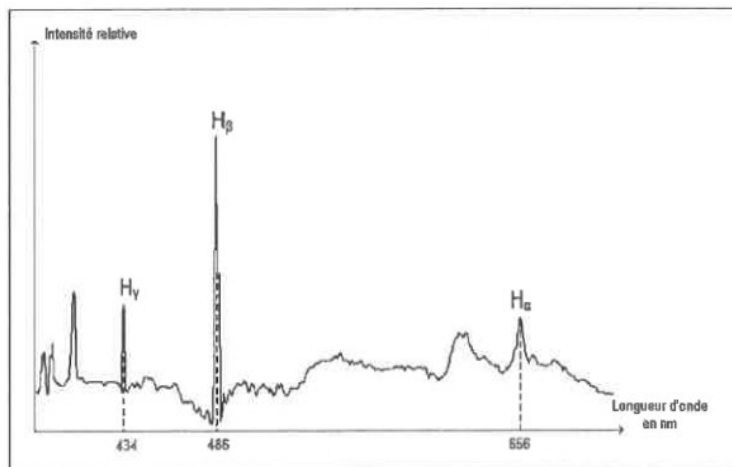
Partie B : Vitesse d'éloignement de la galaxie TGS153Z170

La mesure du déplacement vers le rouge, par effet Doppler, de raies caractéristiques des spectres émis par des sources lointaines (galaxies, quasars, etc.) est la preuve d'un univers en expansion, aussi bien que le moyen de

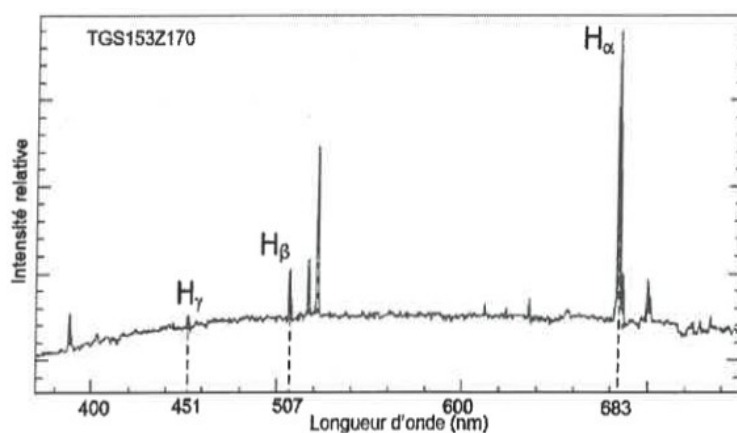
mesurer la vitesse d'éloignement de ces objets lointains. En faisant appel à des modèles cosmologiques, on peut tirer des informations sur la distance de ces sources à la Terre.

D'après Boratav & R. Kerner, Relativité, Ellipse, 1991

Spectre d'émission de l'hydrogène acquis sur Terre à l'aide d'une source immobile présente au laboratoire.



Spectre de la galaxie TGS153Z170 avec indexage des raies H_{α} , H_{β} et H_{γ} de l'hydrogène.



Source M. Colless et al. The 2dF Galaxy Redshift Survey)

Le télescope JWST est sensible aux longueurs d'onde comprises entre $0,6 \mu\text{m}$ et $28 \mu\text{m}$.

B1-Indiquer, en justifiant, la raison pour laquelle seule la raie H_{α} de l'atome d'hydrogène émise par la galaxie TGS153Z170 peut être observée par le télescope JWST.

La longueur d'onde de la raie H_{α} dans le cas d'une source présente au laboratoire est notée λ_H et sa fréquence associée f_H . Dans le cas d'une source présente dans la galaxie TGS153Z170 la longueur d'onde apparente de la raie H_{α} est notée λ_H' et sa fréquence f_H' .

B2-Préciser si la valeur de f_H' est plus grande ou plus petite que la valeur de f_H et indiquer si la galaxie TGS153Z170 s'éloigne ou se rapproche de la Terre.

On souhaite déterminer la vitesse de déplacement v_{Gal} de la galaxie TGS153Z170 par rapport à la Terre. Dans ce cas particulier, la relation entre les longueurs d'onde λ_H et λ_H' est donnée par la formule (1) ci-dessous.

$$\lambda_H' = \lambda_H \times \left(1 + \frac{v_{\text{Gal}}}{c} \right)$$

avec v_{Gal} la vitesse de déplacement de la galaxie TGS153Z170 par rapport à la Terre et c la célérité de la lumière dans le vide.

Donnée : célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

B3-À l'aide de la formule (1) ci-dessus, exprimer puis calculer la vitesse de déplacement v_{Gal} de la galaxie TGS153Z170 par rapport à la Terre.

En astrophysique, la loi de Hubble-Lemaître énonce que les galaxies s'éloignent les unes des autres à une vitesse approximativement proportionnelle à leur distance. Autrement dit, plus une galaxie est loin de nous, plus semble s'éloigner rapidement.

La loi de Hubble-Lemaître a pour expression : $v_{\text{Gal}} = H_0 \times D$, où :

- v_{Gal} est la vitesse d'éloignement de la galaxie en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ par rapport à la Terre ;

- H_0 est la constante de Hubble avec $H_0 = 70 \times 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$

- D est la distance entre la Terre et la galaxie en Mpc (Mégaparsec).

Donnée : unité de distance le Mégaparsec : $1 \text{ Mpc} = 3,1 \times 10^{22} \text{ m}$.

B4-Calculer, en Mégaparsec puis en mètres, la distance D à laquelle la galaxie TGS153Z170 se trouve de la Terre.

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 :

${}^3\text{Li}$ lithium	${}^4\text{Be}$ béryllium	${}^5\text{B}$ bore	${}^6\text{C}$ carbone	${}^7\text{N}$ azote	${}^8\text{O}$ oxygène	${}^9\text{F}$ fluor
${}^{92}\text{U}$ uranium	${}^{93}\text{Np}$ neptunium	${}^{94}\text{Pu}$ plutonium	${}^{95}\text{Am}$ américium	${}^{96}\text{Cm}$ curium	${}^{97}\text{Bk}$ berkélium	${}^{98}\text{Cf}$ 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 : $N_A = 6,0 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

Partie A : Obtention de l'américium 241

A1-Énoncer les règles de conservation qui permettent d'écrire l'équation d'une réaction nucléaire.

A2-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.

A3-L'américium 241 et le plutonium 241 sont-ils des isotopes ? Justifier.

Partie B : Désintégration de l'américium 241

B1-a) 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 ?

B1-b) Le noyau de neptunium est obtenu dans un état excité. Quelle est la nature du rayonnement alors émis ?

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

B2-a) Que représentent les grandeurs N_0 et λ ? Préciser l'unité de ces grandeurs dans le système international.

B2-b) Citer les trois paramètres dont dépend le nombre de désintégrations $-\Delta N$ dans un échantillon.

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

B3-a) En déduire la loi de décroissance de l'activité $A(t)$.

B3-b) Que représente une activité d'un becquerel ?

B3-c) 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.

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

B4-a) Définir le temps de demi-vie radioactive $t_{1/2}$ d'un échantillon.

B4-b) Montrer que la relation entre la constante de désintégration λ et le temps de demi-vie $t_{1/2}$ est : $\lambda = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}}$

B4-c) 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.

Partie C : Utilisations industrielles de l'américium 241

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_ZX et un neutron.

C1-a) À l'aide du tableau dans les données, écrire l'équation de cette réaction et déterminer la nature du noyau A_ZX .

Les réacteurs nucléaires exploitent l'énergie dégagée par les nombreuses réactions de fission possibles comme par exemple : ${}^1_0n + {}^{235}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{91}_{36}\text{Kr} + {}^{142}_{56}\text{Ba} + 3{}^1_0n$

C1-b) En s'appuyant sur l'exemple, définir une réaction de fission nucléaire.

C1-c) Expliquer pourquoi la source d'américium n'est utile qu'au démarrage de la réaction nucléaire.

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.

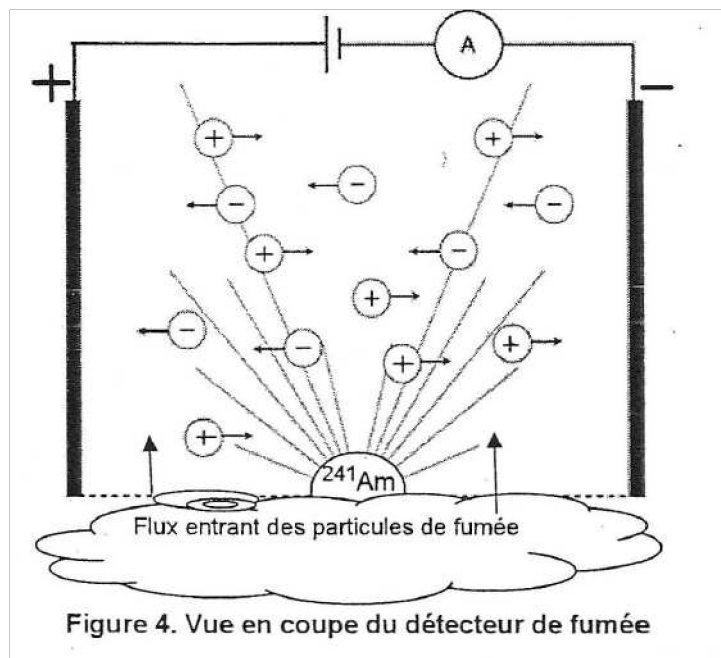


Figure 4. Vue en coupe du détecteur de fumée

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.

C2-Déterminer la masse m_0 d'américium 241 de l'échantillon en grammes.

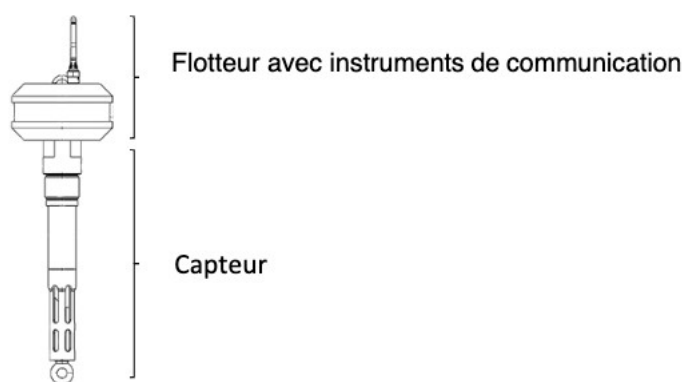
Les candidats sont invités à prendre des initiatives, notamment sur les valeurs numériques éventuellement manquantes, et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti.

En France, les eaux pluviales excédentaires produites par les orages sont parfois stockées dans des bassins de rétention. Mais, sous l'effet de la chaleur, ces eaux de bassin voient leur taux de dioxygène diminuer. Pour assurer le rejet des eaux de bassin en milieu naturel, le taux de dioxygène est surveillé. Cette fonction peut être assurée par des capteurs installés sur une bouée autonome. Quant à l'oxygénation, elle peut être assurée par un aérateur à jet.

L'objectif de cet exercice est d'étudier la flottabilité d'une telle bouée, puis d'évaluer le temps nécessaire à l'amélioration de la qualité de l'eau par un aérateur à jet.

Partie A : Surveillance de la qualité de l'eau

Une bouée autonome instrumentée est constituée de deux parties principales : le flotteur qui contient les instruments de communication et le capteur qui mesure la qualité de l'eau.



Source : d'après
ijinus.com

Figure 1. Bouée autonome instrumentée

Données :

- Volume de la bouée $V_{\text{bouée}} = 6,7 \times 10^{-3} \text{ m}^3$;
- Masse totale de la bouée $m = 1,0 \text{ kg}$;
- Masse volumique de l'eau $\rho_{\text{eau}} = 1,00 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$;
- Intensité de la pesanteur terrestre $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$;
- Expression de la poussée d'Archimède : $A = \rho_f \times V_f \times g$ avec V_f le volume de fluide déplacé et ρ_f la masse volumique du fluide déplacé.

A1-Nommer les deux forces exercées sur la bouée supposée à l'équilibre puis les représenter sans souci d'échelle sur un schéma annoté.

A2-Déterminer la valeur de V_{imm} , le volume immergé de la bouée à l'équilibre.

A3-En déduire la proportion du volume immergé par rapport au volume total de la bouée. Commenter.

Partie B : Traitement de l'eau

La bouée autonome mesure le taux de dioxygène dissous dans l'eau dans l'eau du bassin d'orage. La norme impose que le taux en dioxygène soit compris entre 6 et 8 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$. Sous l'effet de la chaleur, ce taux diminue et atteint 4 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$: il faut l'augmenter. Pour cela, un aérateur à jet immergé est utilisé pour injecter de l'air (et donc du dioxygène) dans l'eau. L'aérateur aspire de l'eau et la fait circuler dans une conduite horizontale présentant un rétrécissement d'une section circulaire de diamètre d_A vers une section de diamètre d_B . C'est au niveau de cette partie rétrécie que l'eau et l'air (aspiré depuis l'entrée d'air) se mélangent.

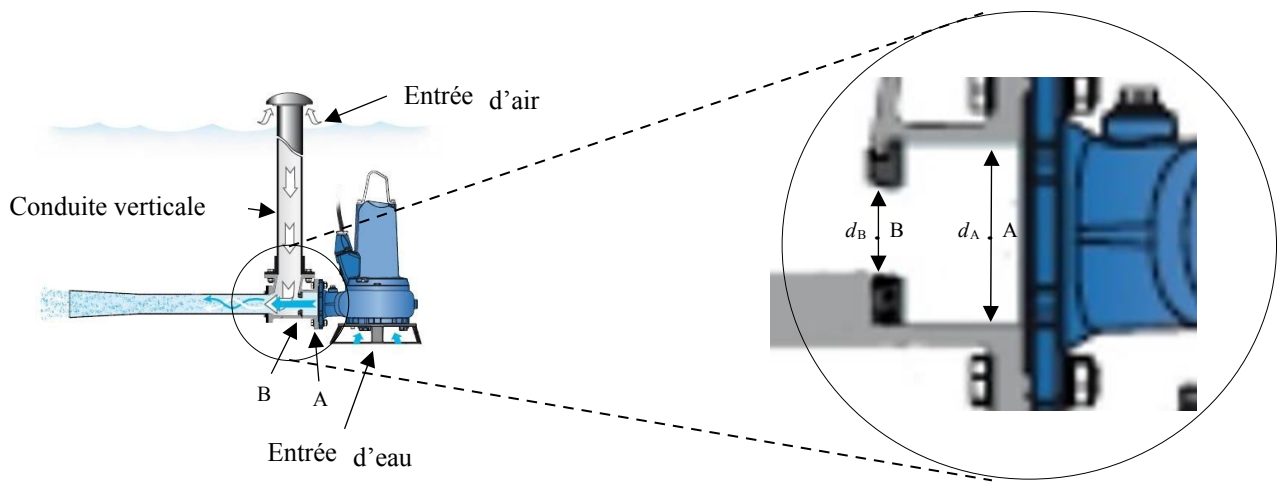


Figure 2. Plan de l'aérateur à jet immergé et zoom sur le rétrécissement (Source : sulzer.com)

Données :

-Diamètre de la canalisation en A, $d_A = 55 \text{ mm}$;

-Diamètre de la canalisation en B, $d_B = 33 \text{ mm}$;

-Vitesse de l'eau en A, $v_A = 5,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;

-Volume d'eau dans le bassin d'orage, $V_{\text{eau}} = 172 \text{ m}^3$;

-Masse volumique de l'eau dans le bassin d'orage $\rho_{\text{eau}} = 1,00 \times 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$;

-Relation de Bernoulli dans la conduite horizontale : $P + \frac{1}{2} \times \rho \times v^2 + \rho \times g \times z = \text{constante}$ avec P : pression ; ρ : masse volumique du fluide ; g : intensité de la pesanteur ; z : coordonnée verticale de la position ; v : valeur de la vitesse du fluide.

On considère que l'eau est un fluide incompressible et que le régime est permanent.

Le débit volumique D_V d'un fluide dans une canalisation dépend de la vitesse v de déplacement du fluide et de la section S de la canalisation.

B1-Recopier la formule permettant de calculer le débit volumique D_V , en justifiant la réponse par une analyse dimensionnelle ou une analyse des unités.

$$D_V = \frac{V}{S} \quad ; \quad D_V = S \times v \quad ; \quad D_V = v^2 \times S$$

B2-Montrer, par un calcul, que la valeur du débit volumique de l'eau dans la canalisation est $D_V = 1,3 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

B3-Exploiter la conservation du débit volumique pour montrer que la valeur de la vitesse de l'eau au point B vaut environ $16 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

B4-Nommer le phénomène physique observé au point B responsable de l'aspiration de l'air.

B5-Montrer que l'expression de la variation de la pression entre les points A et B $\Delta P = P_B - P_A$ peut s'exprimer : $\Delta P = \frac{1}{2} \times \rho \times (v_A^2 - v_B^2)$.

B6-Calculer la valeur numérique de ΔP . Commenter.

L'eau contenue dans ce bassin d'orage, dont le taux en dioxygène est de $4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, doit être évacuée, en moins de deux heures, dans une rivière voisine. Elle doit être traitée avant son évacuation. L'aérateur est mis en

marche. On considère que l'oxygénation est constante tout au long du processus et que le bassin est un système fermé (pas d'échanges avec l'extérieur).

B7-Montrer qu'il faut ajouter 344 g de dioxygène à l'eau du bassin pour atteindre un taux de dioxygène de $6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

L'aérateur permet l'assimilation de 6 mg de dioxygène par litre d'eau brassé.

B8-Calculer le volume d'eau qui doit être brassé par l'aérateur pour assimiler la masse de dioxygène nécessaire.

B9-Déterminer si l'oxygénation de l'eau peut être faite en moins de deux heures dans ces conditions.

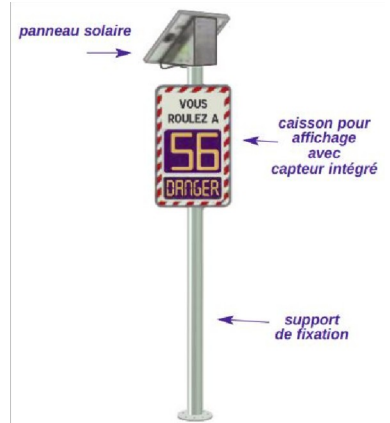
Etude d'un radar pédagogique

Le radar pédagogique est un équipement implanté en bordure de chaussée pour indiquer à l'utilisateur :

- la vitesse à laquelle il circule,
- un message d'alerte si sa vitesse est supérieure à celle qui est autorisée.

Un radar pédagogique (figure 1 ci-contre) est composé de plusieurs éléments :

- un support de fixation rigide ;
- un caisson comportant un écran pour l'affichage ;
- un capteur permettant de détecter les véhicules en circulation ;
- un panneau solaire photovoltaïque.



Données :

-Panneau solaire photovoltaïque :

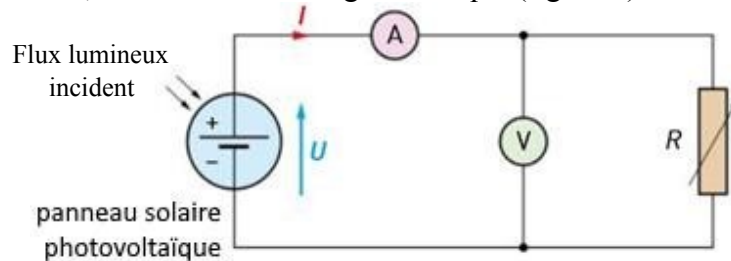
- dimensions : 850 mm x 950 mm ;
- puissance lumineuse reçue : $P_{lum} = E \times S$ avec E l'éclairement en $W \cdot m^{-2}$ et S la surface du panneau en m^2 ;
- rendement annoncé : 20 % ;

-Éclairement moyen dans la commune où est placé le radar : $E = 600 W \cdot m^{-2}$.

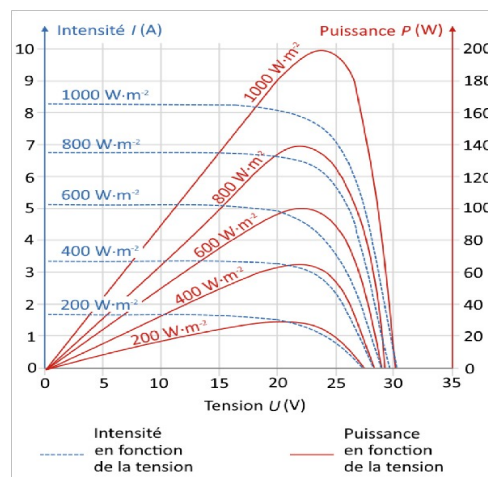
Dans un premier temps, cet exercice s'intéresse au panneau solaire photovoltaïque qui assure l'alimentation électrique du radar pédagogique puis, dans un second temps, au fonctionnement du radar pour mesurer la vitesse d'un véhicule.

Partie A : Alimentation électrique du radar : le panneau solaire photovoltaïque

Associé à une batterie, le radar est alimenté électriquement grâce à un panneau solaire photovoltaïque. Afin de vérifier le rendement du panneau, on réalise le montage électrique (figure 2) suivant :



L'intensité I du courant électrique ainsi que la tension électrique U aux bornes du panneau sont mesurées. Les graphiques de la figure 3 ci-dessous représentent, pour différents éclaircissements, l'évolution de l'intensité I et de la puissance électrique P fournis par le panneau en fonction de la tension U aux bornes du panneau :



A1-Justifier, en utilisant les graphiques de la figure précédente, le fait que dans les conditions d'éclairage du radar, la puissance électrique maximale fournie est $P_m = 100 \text{ W}$.

A2-Calculer la valeur du rendement η du panneau photovoltaïque. Conclure.

Partie B : Fonctionnement du radar

Un capteur radar est constitué d'un émetteur et d'une antenne réceptrice.

L'émetteur lance de très brefs signaux électromagnétiques dans le domaine des micro-ondes à la fréquence f_E .



Figure 4. Schéma de principe de fonctionnement d'un radar

Les véhicules situés dans le champ de l'émetteur réfléchissent les signaux reçus, qui sont ensuite captés par l'antenne. Celle-ci détermine la fréquence f_R du signal reçu.

B1-Décrire qualitativement l'effet Doppler.

Dans le cadre d'une étude expérimentale réalisable en classe, le capteur radar est modélisé par un émetteur E et un récepteur R d'ondes ultrasonores, fixes et placés l'un à côté de l'autre sur un banc. Une plaque modélisant le véhicule en déplacement est fixée sur un chariot mobile.

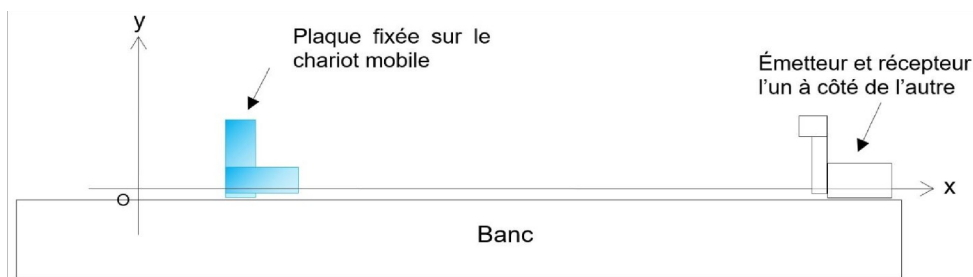


Figure 5. Dispositif expérimental

Le chariot mobile se déplace horizontalement le long du banc, dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

Données :

-Température de l'air à l'intérieur de la pièce : $\theta = 21,0^\circ\text{C}$

-Dans tout l'exercice :

- les forces de frottements exercées par l'air et le banc sur le chariot sont négligées ;
- la vitesse de déplacement du chariot v_{chariot} est supposée constante.

-Vitesse de propagation v des ondes sonores dans l'air en fonction de la température :

θ ($^\circ\text{C}$)	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0	21,0	22,0
v ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	340,61	341,21	341,82	342,43	343,03	343,64	344,25	344,85

-Expression du décalage Doppler pour le capteur radar : $\Delta f = 2 \times f_E \times \frac{v_{\text{chariot}}}{v}$ avec f_E et Δf en Hz, v_{chariot} et v en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Mesure de la vitesse du chariot grâce à un pointage

Le pointage à intervalles de temps réguliers d'un point du chariot, matérialisé par le « + » (figure 6), est réalisé afin d'obtenir la trajectoire du chariot (figure 7)

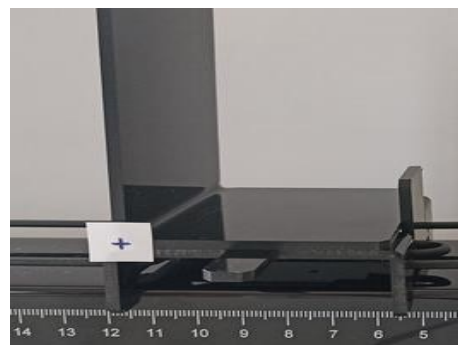


Figure 6. Chariot

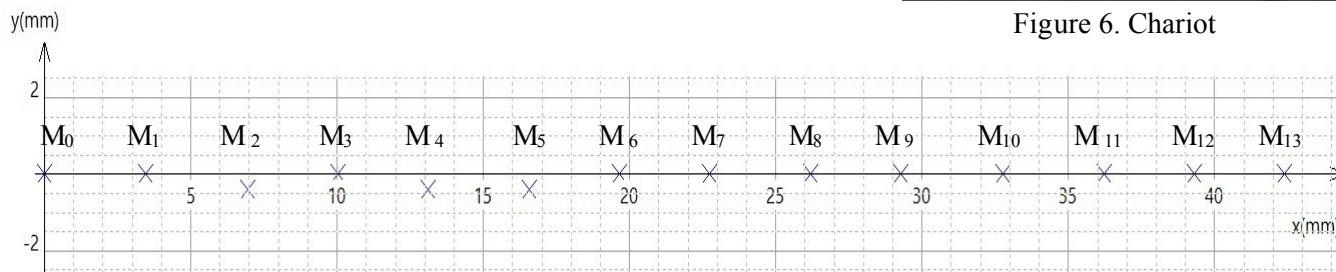


Figure 7. Extrait de l'enregistrement obtenu entre les dates $t_0=0$ s et $t_{13}=0,429$ s

B2-Calculer les valeurs des vitesses v_7 et v_{11} du chariot respectivement aux dates t_7 et t_{11} .

Le traitement des données acquises permet de tracer l'évolution temporelle de deux grandeurs ; la position x (en m) et la vitesse horizontale v_x (en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) du chariot : $x=f(t)$ et $v_x=g(t)$ (figures 8a et 8b).

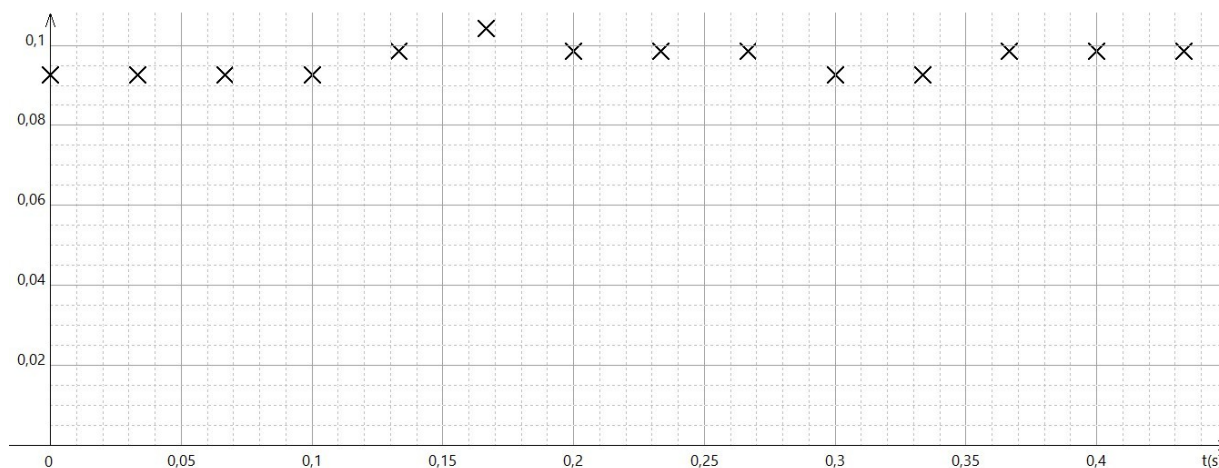


Figure 8a. Courbe A

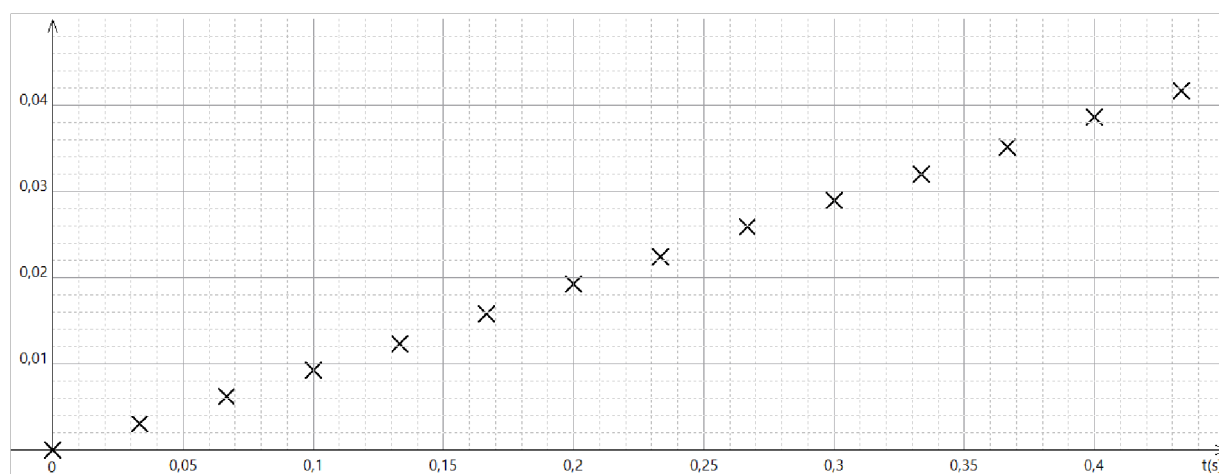


Figure 8b. Courbe B

B3-Associé, en justifiant, chaque courbe A et B des figures 8a et 8b à la grandeur correspondante.

B4-Estimer, à partir d'une des figures 8a ou 8b, la valeur de la vitesse moyenne du chariot.

Mesure de la vitesse du chariot grâce à l'effet Doppler

Le signal reçu par le récepteur d'ondes ultrasonores lorsque le chariot reste immobile est enregistré. La courbe obtenue de la tension aux bornes du récepteur en fonction du temps est représentée ci-dessous (figure 9).

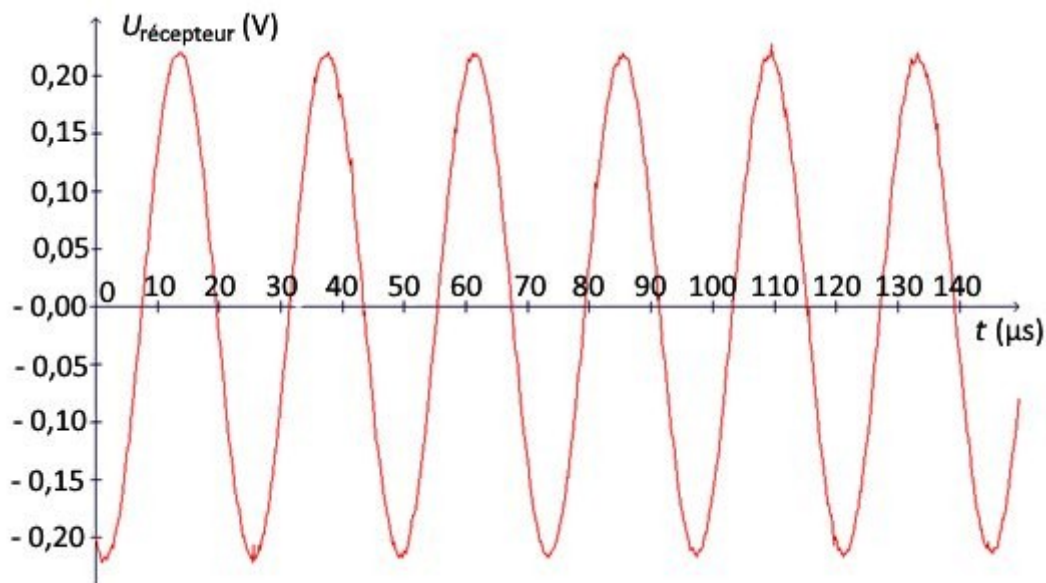


Figure 9. Enregistrement du signal reçu (le chariot étant immobile)

B5-Déterminer la valeur de la période T_R du signal obtenu. En déduire que la valeur de la fréquence f_E du signal émis par l'émetteur vaut 42 kHz.

Une nouvelle acquisition du signal émis et du signal reçu est réalisée lorsque le chariot se déplace, en se rapprochant de l'émetteur et du récepteur. Le décalage Doppler mesuré est $\Delta f = 22,7 \text{ Hz}$.

B6-Calculer la valeur de v_{chariot} , la vitesse du chariot obtenue par effet Doppler. Comparer le résultat obtenu à ceux des questions B2 et B4.