

<b>EXERCICE I : À PROPOS DES ACIDES CHLORHYDRIQUE ET ÉTHANOÏQUE (7 points)</b> <b>Polynésie 2008</b>	<a href="http://labolycee.org">http://labolycee.org</a>
---	---

Dans cet exercice, les solutions considérées sont prises à 25 °C.

*Lycéen passionné par la chimie, Mickaël se pose beaucoup de questions...*

**1. Mickaël s'interroge à propos des acides...**

**1.1.** Définir un acide selon Brønsted.

**1.2.** Écrire l'équation de la réaction du chlorure d'hydrogène avec l'eau et celle de la réaction de l'acide éthanoïque avec l'eau.

**2. Mickaël se demande si deux solutions d'acides différents, mais de même concentration, ont le même pH. Il dispose d'une solution de chlorure d'hydrogène (acide chlorhydrique)  $S_1$  et d'une solution d'acide éthanoïque  $S_2$  de même concentration en soluté apporté  $c = 1,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ . Il mesure un pH de 2,0 pour  $S_1$  et un pH de 3,4 pour  $S_2$ .**

*Mickaël réfléchit à l'interprétation de ces résultats...*

**2.1.** Déterminer la concentration des ions oxonium dans chacune des solutions.

**2.2.** On s'intéresse maintenant à la détermination du taux d'avancement.

**2.2.1.** En considérant un volume  $V = 1,00 \text{ L}$  de solution aqueuse d'un acide HA, de concentration molaire en soluté apporté  $c$ , dresser le tableau d'avancement de la réaction de l'acide HA avec l'eau en le complétant avec les valeurs littérales de la concentration  $c$ , du volume  $V$ , de l'avancement  $x$  au cours de transformation et de l'avancement final  $x_f$ .

**2.2.2.** Déterminer le taux d'avancement final de la réaction de l'acide HA avec l'eau en fonction du pH de la solution et de la concentration molaire  $c$ .

**2.3.** En déduire les valeurs numériques du taux d'avancement final de chacune des réactions associées aux transformations donnant les solutions  $S_1$  et  $S_2$ . Conclure.

**3. Mickaël veut connaître le comportement des solutions  $S_1$  et  $S_2$  par rapport à la dilution.**

**3.1.** Décrire le mode opératoire pour préparer avec précision au laboratoire 100 mL de solution fille diluée 10 fois à partir d'une solution mère.

*La mesure du pH des solutions filles obtenues donne 3,0 pour l'acide chlorhydrique et 3,9 pour la solution d'acide éthanoïque.*

**3.2.** Dans la solution obtenue après dilution, dans chaque cas, la concentration des ions oxonium a-t-elle été divisée par 10 ? Justifier.

**3.3.** Dans le cas de l'acide éthanoïque, dans quel sens s'est déplacé l'équilibre du système ? Justifier.

4. Mickaël découvre une relation remarquable entre les concentrations d'espèces chimiques en solution ...

4.1. Pour la solution d'acide éthanoïque  $S_2$  de concentration  $c = 1,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , calculer la valeur de l'expression :

$$\frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]_{\text{éq}} \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}}{[\text{CH}_3\text{COOH}]_{\text{éq}}}$$

4.2. Aux incertitudes expérimentales près, on constate que l'on obtient la même valeur pour la solution diluée 10 fois. Quel nom donne-t-on à cette valeur caractéristique du couple  $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})}/\text{CH}_3\text{COO}^-_{(\text{aq})}$  ?

5. Mickaël lit sur une bouteille de vinaigre l'indication : « 7,0% d'acidité ». Il se demande s'il s'agit d'un pourcentage massique ou volumique en acide éthanoïque.

Pour le savoir, il considère le vinaigre comme une solution aqueuse d'acide éthanoïque et procède à un titrage pH-métrique de  $V_1 = 20,0 \text{ mL}$  de vinaigre dilué 10 fois par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium (ou soude) de concentration en ions hydroxyde  $c_B = 0,100 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

Il note ses résultats expérimentaux :

- Volume de soude versé à l'équivalence :  $V_{BE} = 23,8 \text{ mL}$
- pH à l'équivalence :  $\text{pH}_E = 8,4$ .

Données :

- Masse volumique du vinaigre :  $\rho_V = 1,02 \text{ g/mL}$
- Masse volumique de l'acide éthanoïque pur :  $\rho_A = 1,05 \text{ g/mL}$
- Masse molaire de l'acide éthanoïque :  $M = 60,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

5.1. Étude de l'équation de la réaction.

5.1.1. Écrire l'équation de la réaction entre les solutions d'acide éthanoïque et d'hydroxyde de sodium.

5.1.2. On montre que cette réaction peut servir de support au titrage. Citer alors au moins une propriété de la transformation chimique.

5.2. Donner, en la justifiant, l'expression de la concentration  $c_1$  en acide éthanoïque du vinaigre dilué 10 fois en fonction de  $V_1$ ,  $c_B$  et  $V_{BE}$ . Calculer  $c_1$ .

5.3. Détermination du pourcentage d'acidité.

5.3.1. En déduire la concentration  $c_0$  du vinaigre en acide éthanoïque.

5.3.2. Montrer que la masse  $m_a$  d'acide éthanoïque dissous dans 1,00 L de vinaigre est  $m_a = 71,4 \text{ g}$ .

5.3.3. En déduire le volume  $V_a$  d'acide éthanoïque pur correspondant à cette masse  $m_a$ .

5.3.4. D'après les résultats obtenus, parmi les deux rapports ci-dessous, lequel correspond au pourcentage d'acidité ? Justifier.

$$\frac{m_a}{\text{masse de 1 L de vinaigre}} \qquad \frac{V_a (\text{mL})}{1000}$$

5.4. Les deux rapports précédents étant très proches, Mickaël décide de confirmer son étude expérimentale par un titrage colorimétrique. Il dispose de trois indicateurs colorés :

Indicateur coloré	Zone de virage
Hélianthine	3,1 – 4,4
Bleu de bromothymol	6,0 – 7,6
Phénolphtaléine	8,2 – 10,0

Quel indicateur coloré convient le mieux pour ce titrage ? Justifier.

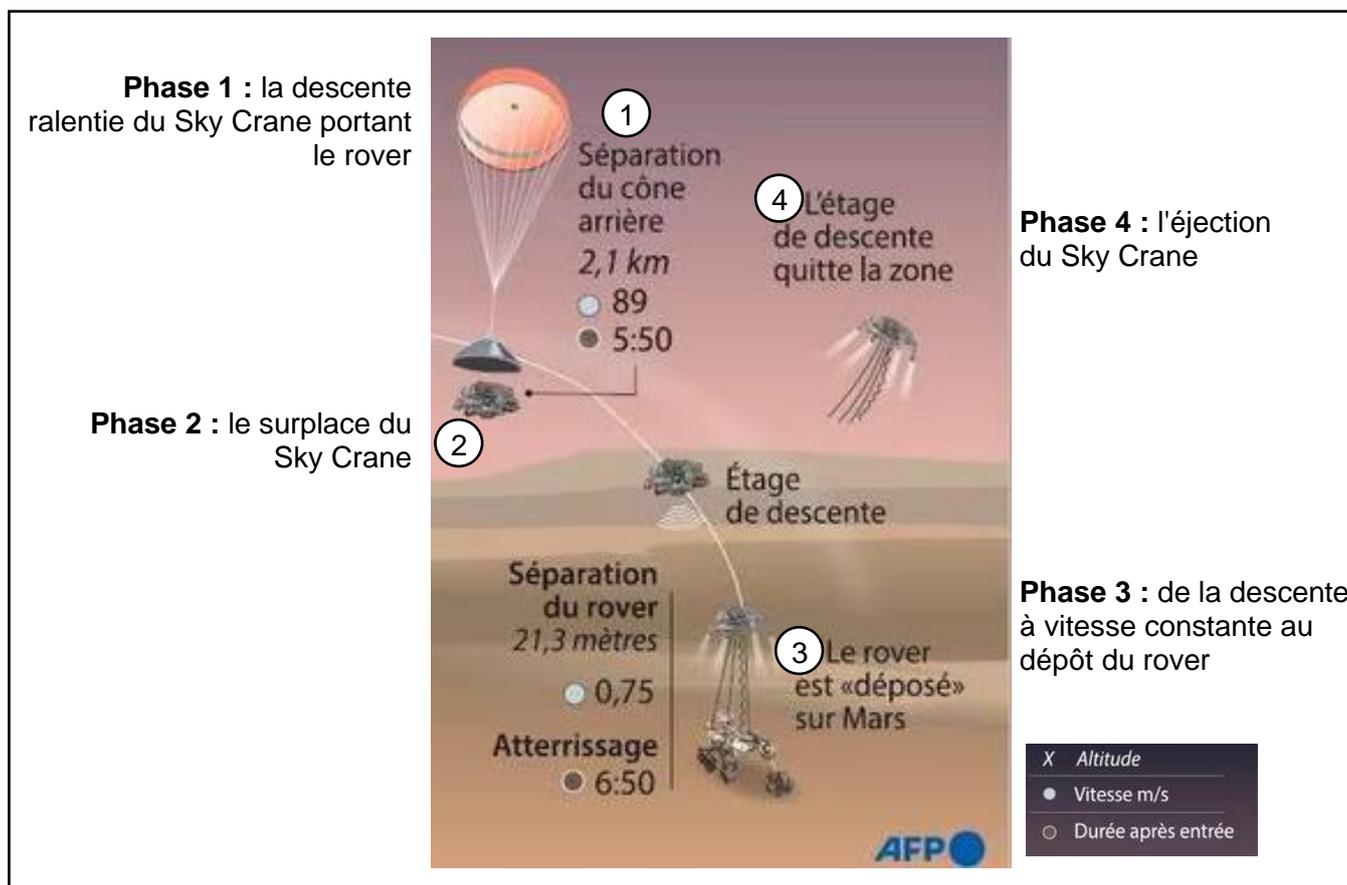
**EXERCICE III – Mission Mars 2020 : le portrait – robot de « Persévérance » (10 points)**

Le rover américain Persévérance, qui s'est posé sur la planète Mars le 18 février 2021 dans le cratère Jezero, est un véhicule de la taille d'une voiture et équipé de multiples capteurs et instruments de mesure.

Après six mois et demi de voyage environ, le rover américain, protégé dans sa capsule, a accompli un enchaînement délicat et rigoureux d'actions pour se poser. Tout s'est joué en seulement 7 minutes : « les sept minutes de terreur ».

Cet enchaînement délicat se déroule en 4 phases ; comme présenté sur la figure 1 :

- phase 1 : la descente ralentie du Sky Crane portant le rover
- phase 2 : le survol du Sky Crane
- phase 3 : la descente à vitesse constante suivie du dépôt du rover
- phase 4 : l'éjection du Sky Crane



Source : NASA

**Figure 1** - Fin de l'atterrissage de Persévérance sur Mars : « Extrait des 7 minutes de terreur »

**Donnée :**

- intensité du champ de pesanteur au voisinage de la surface de Mars :  $g = 3,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$

**Études cinématique et dynamique lors de la descente autopropulsée (phases 1 à 3)**

Dans cette première question, le système étudié est l'ensemble « Sky Crane + rover Persévérance » (assimilé à un point matériel) dans un référentiel considéré galiléen lié à Mars. Pour simplifier l'étude, on considèrera que les mouvements étudiés sont rectilignes et que les frottements sont négligeables.

1. Compléter le tableau situé en l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**. On notera  $\vec{F}$  la force de propulsion des rétrofusées du Sky Crane, qui permettent de ralentir ou d'empêcher la descente de l'ensemble. Les vecteurs (forces, vitesse ou accélération) seront représentés sans souci d'échelle. Leurs longueurs devront cependant être cohérentes avec la situation étudiée ainsi qu'avec leurs évolutions au cours du temps.

**Éjection du Sky Crane une fois le rover déposé (phase 3 à 4)**

Pour la suite de cette partie, le système étudié est limité au seul Sky Crane, assimilé à un point matériel, noté M. Dès que le rover a été déposé, le Sky Crane monte à la verticale jusqu'à une altitude  $H$  de 60,0 m au-dessus du sol martien, puis s'incline d'un angle  $\alpha = 45,0^\circ$  par rapport à l'horizontale et une force propulsive l'éjecte loin du lieu d'atterrissage du rover, avec une vitesse initiale  $v_0 = 25,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . La force propulsive cesse à  $t = 0 \text{ s}$ .

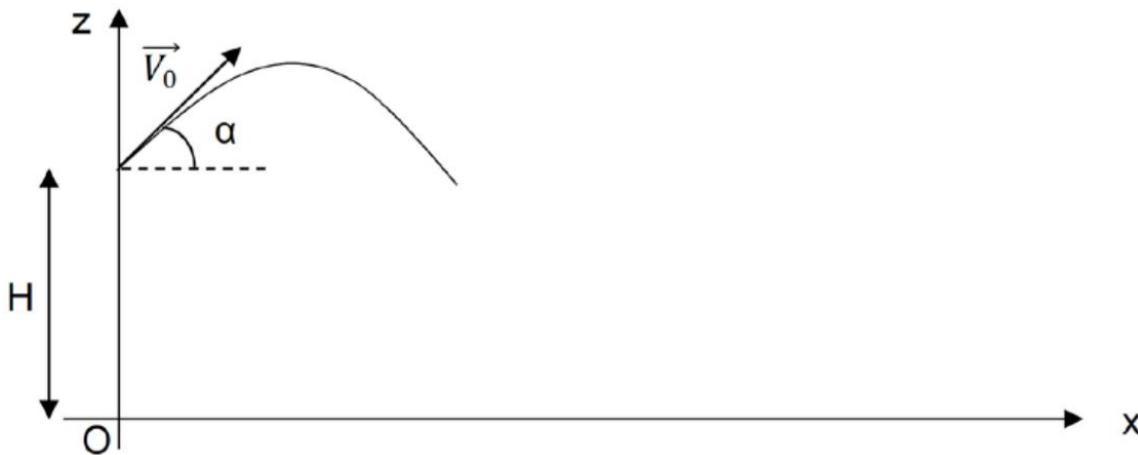


Figure 2

2. À partir de  $t = 0 \text{ s}$ , les forces de frottements sont négligées. Citer la seule force s'appliquant sur le Sky Crane et qualifier ainsi la nature de la chute ainsi obtenue.
3. Établir l'expression des composantes de l'accélération, celles de la vitesse du Sky Crane et enfin celle des coordonnées de sa position en fonction du temps.

4. Montrer que l'équation de la trajectoire du Sky Crane s'écrit :

$$z(x) = -\frac{1}{2}g \times \left(\frac{x}{v_0 \times \cos\alpha}\right)^2 + x \times \tan\alpha + H$$

Préciser le type de trajectoire auquel correspond cette équation.

5. Pour des questions de sécurité évidente et afin de ne pas endommager le rover Persévérance qui a été déposé sur le sol martien en O, le Sky Crane doit être éjecté au minimum à 200 m de distance du lieu d'atterrissage du rover. Dans ces conditions opératoires, vérifier que le Sky Crane atteint bien la distance de sécurité.

*Pour cette question, la rigueur des calculs, la rédaction du raisonnement et toute initiative prise durant la démarche, même non aboutie, seront valorisées lors de la correction.*

### ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

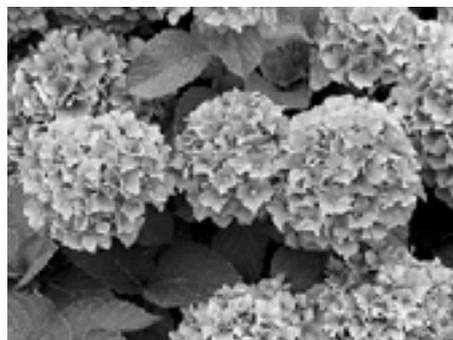
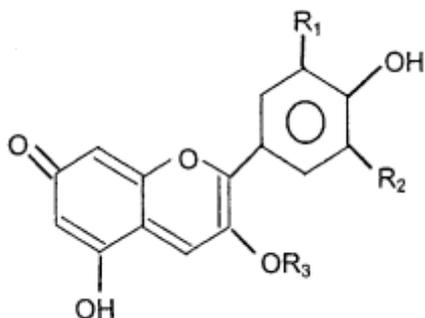
#### Document-réponse : EXERCICE III question 1

Indiquer  $\vec{v} = \vec{0}$  ou  $\vec{a} = \vec{0}$  si nécessaire. (phases 1 à 3)

Mouvement étudié	Étude cinématique (représenter $\vec{v}$ et $\vec{a}$ )	Étude dynamique (représenter $\vec{F}$ )	Justifier l'étude dynamique à partir d'une loi
La descente ralentie entre (1) et (2).	•		
Le survol (2).	•		
La descente à vitesse constante entre (2) et (3).	•		

**À QUOI EST DUE LA COULEUR DES FLEURS D'HORTENSIAS ?**

Certaines fleurs, comme celles des hortensias, possèdent des couleurs variées dues à des pigments naturels. Les couleurs rouge, mauve, violette et bleue viennent de la présence d'anthocyanines dans les pétales. La couleur violette est due à la molécule suivante que l'on notera HA dans la suite de l'exercice.

**1. INTRODUCTION.**

HA peut appartenir à deux couples  $H_2A^+ / HA$  de  $pK_{a1} = 4,3$  et  $HA / A^-$  de  $pK_{a2} = 7$ . L'espèce  $H_2A^+$  est rouge, l'espèce HA est violette et l'espèce  $A^-$  est bleue. On rappelle que  $pK_e = 14$ .

- 1.1. Donner la définition d'un acide selon Brönsted.
- 1.2. Préciser dans chacun des 2 couples la forme acide et la forme basique.

**2. COMPORTEMENT DE HA EN TANT QU'ACIDE.**

- 2.1. Écrire l'équation de la réaction de HA en tant qu'acide avec l'eau.
- 2.2. Donner l'expression de la constante d'équilibre de cette réaction. Comment appelle-t-on cette constante ? Donner sa valeur.

Le pH d'une solution contenant HA est de 10.

- 2.3. À partir de l'expression de K, évaluer littéralement, puis calculer le rapport  $\frac{[A^-]_{eq}}{[HA]_{eq}}$
- 2.4. En déduire l'espèce prédominante. Conclure sur la couleur de la solution.

**3. COMPORTEMENT DE HA EN TANT QUE BASE.**

- 3.1. Écrire l'équation de la réaction de HA en tant que base avec l'eau.
- 3.2. Donner l'expression de la constante d'équilibre  $K'$  de cette réaction. Quelle est la relation entre  $K_{a1}$  et  $K'$  ?

**4. CONCLUSION : COULEUR DES HORTENSIAS.**

- 4.1. Placer sur un diagramme les domaines de prédominance des espèces  $H_2A^+$ , HA et  $A^-$  suivant les valeurs du pH.
- 4.2. Pourquoi les fleurs d'hortensias peuvent-elles changer de couleur suivant la nature du sol ?

**EXERCICE II – DÉTECTEUR DE FUMÉES (11 points)**

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.

**1. Détecteur optique de fumées**

Le principe de fonctionnement de ce détecteur de fumées (figure 1) 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.

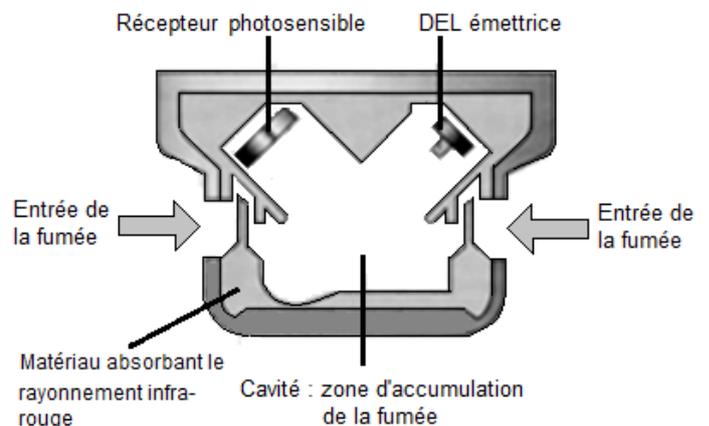


Figure 1. Schéma de principe d'un détecteur optique de fumées

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.

**1.1.** 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.

**1.2.** On admet que les particules solides présentes dans la fumée ont une taille comprise 0,1  $\mu\text{m}$  et 100  $\mu\text{m}$ . Quel phénomène physique peut contribuer à la déviation du faisceau lumineux si des fumées sont présentes ? Justifier.

**1.3.** 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.

## 2. Détecteur ionique de fumées

Le principe de ce détecteur de fumées repose sur l'ionisation de l'air par des particules  $\alpha$ . 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 (figure 2).

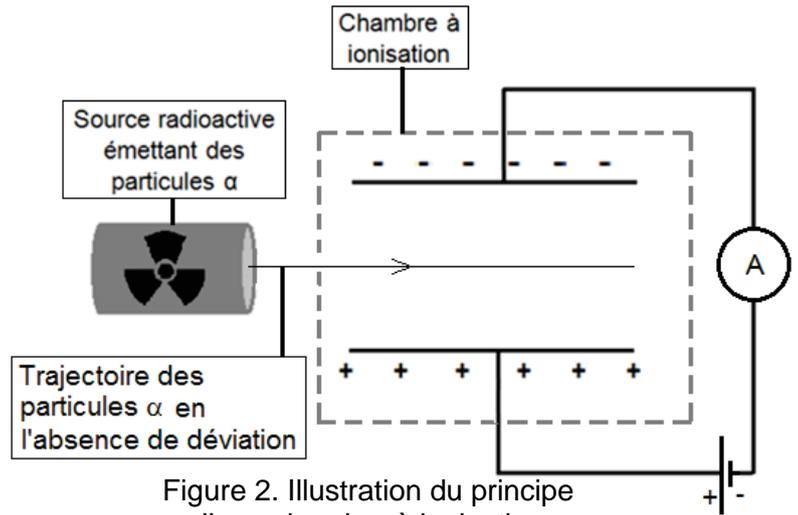


Figure 2. Illustration du principe d'une chambre à ionisation

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) =  $1,6 \times 10^{-19}$  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  $\alpha$  :  $q_\alpha = + 2 e$  ;
- masse d'une particule  $\alpha$  :  $m_\alpha = 6,64 \times 10^{-27}$  kg ;
- intensité du champ de pesanteur terrestre :  $g = 9,81$  m.s<sup>-2</sup>.

On s'intéresse au mouvement d'une particule  $\alpha$  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 3).

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

On étudie le mouvement de la particule  $\alpha$  dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

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

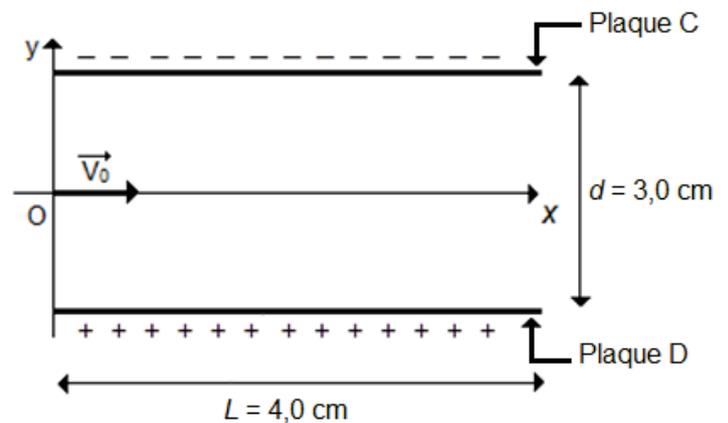


Figure 3. Schéma du condensateur plan de la chambre à ionisation

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

**2.1.** Vérifier quantitativement que l'hypothèse concernant le poids de la particule  $\alpha$  est justifiée.

**2.2.** Reproduire sur la copie le schéma de la figure 3 puis y représenter le champ électrostatique  $\vec{E}$  et la force électrostatique  $\vec{F}_e$  que subit la particule  $\alpha$  au point O. Justifier.

**2.3.** Établir que les équations horaires du mouvement de la particule  $\alpha$  sont :

$$\begin{cases} x(t) = v_0 \cdot t \\ y(t) = \left(\frac{eU}{m_\alpha \cdot d}\right) \cdot t^2 \end{cases}$$

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

2.5. Montrer que l'énergie cinétique initiale des particules  $\alpha$  est suffisante pour ioniser des molécules de dioxygène.

### 3. 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.

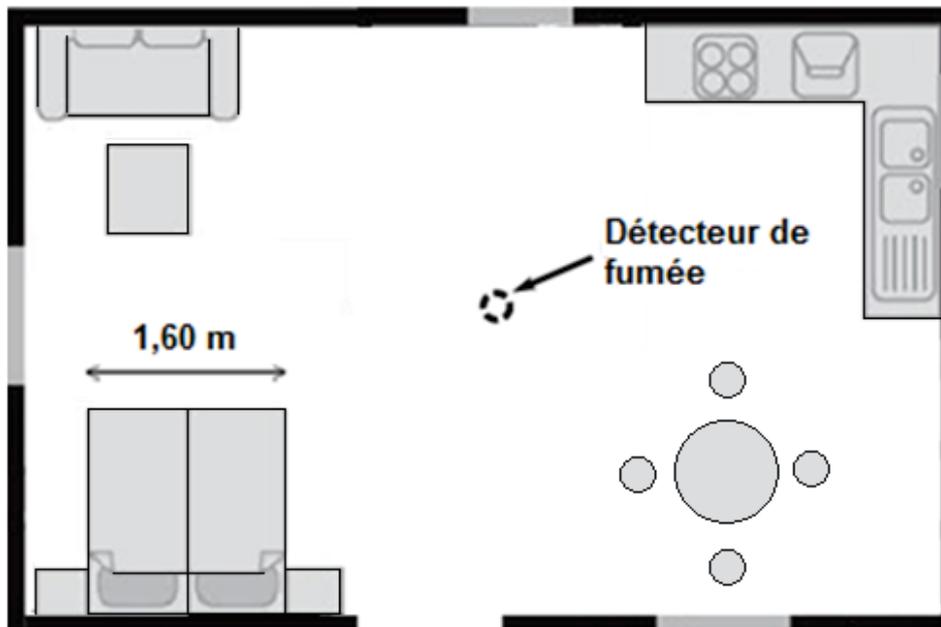
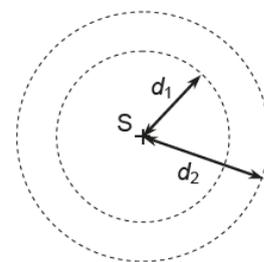


Figure 4. Plan de l'appartement à l'échelle

#### Donnée :

- au cours de la propagation d'une onde sonore et en l'absence d'atténuation, le niveau d'intensité sonore  $L$  diminue avec la distance  $d$  à la source S suivant la formule :

$$L_2 = L_1 + 20 \log \left( \frac{d_1}{d_2} \right)$$



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  $d_1$  de la source (voir schéma ci-contre).

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.

## EXERCICE A – ARÔME DE VANILLE (5 points)

La vanilline est le constituant principal de l'essence de vanille. Elle est extraite de gousses de vanille séchées et fermentées.

On se propose dans cet exercice de déterminer la masse de vanilline présente dans un arôme alimentaire de vanille Bourbon. Pour cela, on commence par préparer une solution de référence dont on détermine la concentration en vanilline par titrage suivi par conductimétrie. Cette solution de référence est ensuite utilisée pour réaliser un dosage par étalonnage utilisant la spectrophotométrie.

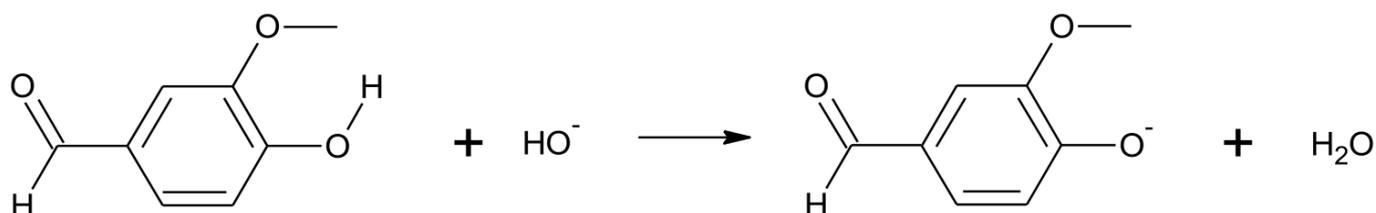
**Données :**

- masse molaire de la vanilline :  $152 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$  ;
- conductivités ioniques molaires :

Ion	$\text{H}_3\text{O}^+$	$\text{HO}^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{Na}^+$	Vanillinate ( $\text{V}^-$ )
$\lambda^0 \text{ (mS}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mol}^{-1}\text{)}$	35	20	7,6	5,0	Inconnue

**1. Préparation d'une solution de référence**

On réalise la dissolution d'une faible quantité de vanilline commerciale, dans une solution aqueuse basique d'hydroxyde de sodium. On obtient une solution, notée  $\text{S}_1$ . Dans cette solution  $\text{S}_1$ , la vanilline, notée VH, a réagi avec les ions hydroxyde pour former l'ion vanillinate, noté  $\text{V}^-$ . L'équation de la réaction modélisant cette transformation chimique est la suivante :



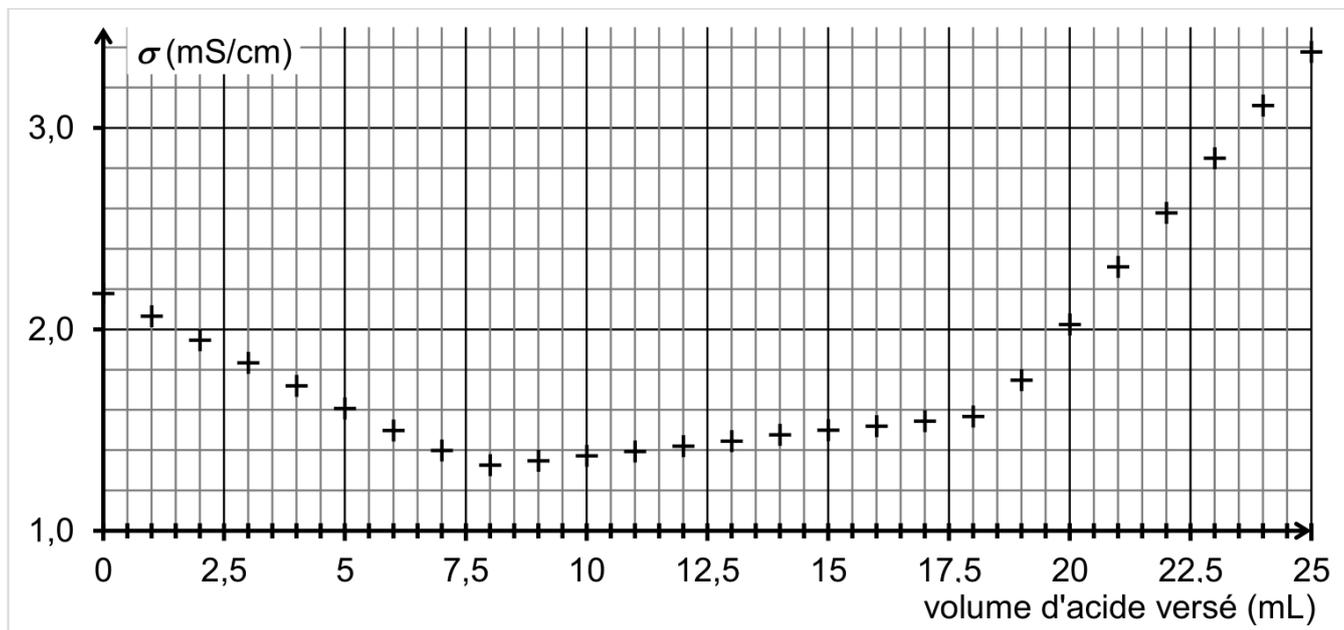
1.1. Écrire la formule brute de la vanilline.

1.2. Identifier les deux couples acide/base mis en jeu lors de cette réaction.

## 2. Titrage de la solution de référence S<sub>1</sub>

On réalise le titrage d'un volume  $V_1 = 20,0$  mL de solution S<sub>1</sub>, auquel on ajoute environ 150 mL d'eau distillée, par de l'acide chlorhydrique de concentration  $C_a = 1,0 \times 10^{-1}$  mol·L<sup>-1</sup>. Le titrage est suivi par conductimétrie.

On obtient la courbe de suivi du titrage suivante :



Cette courbe fait apparaître trois phases distinctes :

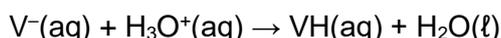
- première phase : titrage de l'excès des ions hydroxyde ;
- deuxième phase : titrage de la base conjuguée de la vanilline ;
- troisième phase : ajout d'acide en excès dans le milieu.

Première phase du titrage

- 2.1. Écrire l'équation de la réaction support du titrage qui a lieu lors de la première phase.
- 2.2. Déterminer graphiquement le volume d'acide nécessaire au titrage des ions hydroxyde.
- 2.3. Justifier la pente de la courbe lors de cette première phase.

Deuxième phase du titrage

L'équation de la réaction support du deuxième titrage peut s'écrire :



- 2.4. D'après l'allure de la courbe dans cette deuxième phase du titrage, indiquer si la conductivité ionique molaire de l'ion vanillinate ( $V^-$ ) est inférieure, supérieure ou égale à celle des ions chlorure. Justifier.
- 2.5. Déterminer le volume d'acide nécessaire au seul titrage de l'ion vanillinate, en explicitant votre démarche.
- 2.6. En déduire la valeur de la concentration  $C_V$  en ions vanillinate dans la solution S<sub>1</sub>.

### 3. Dosage de la vanilline dans l'arôme alimentaire de vanille Bourbon

#### Protocole utilisé

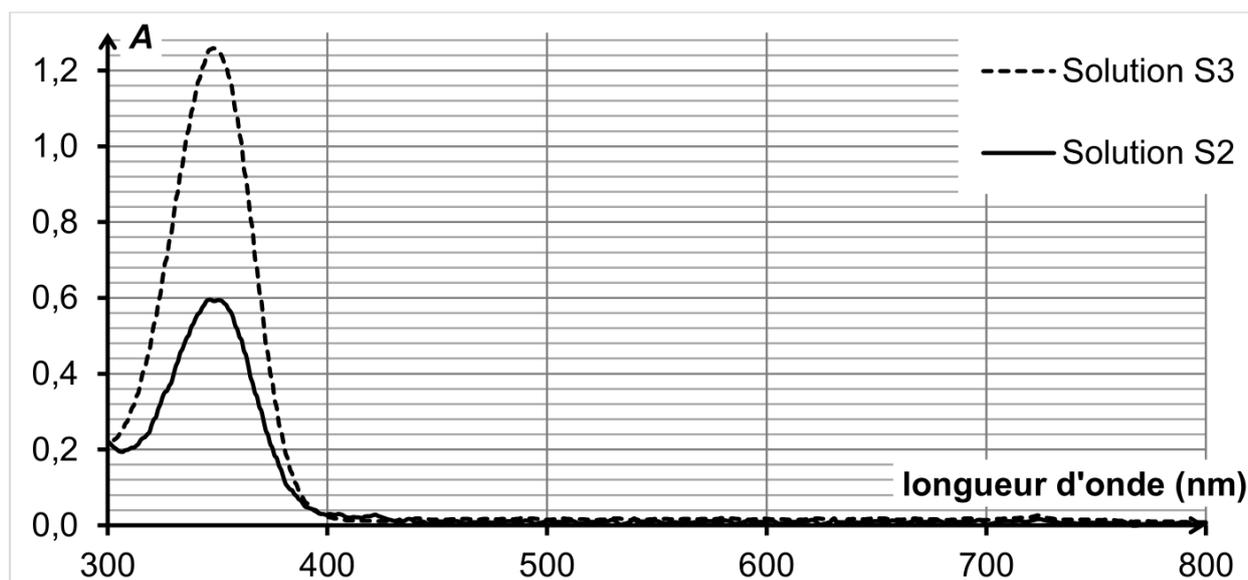
- Placer 1,0 mL d'arôme alimentaire de vanille Bourbon dans une ampoule à décanter avec un peu d'eau.
- Extraire la vanilline présente dans la phase aqueuse à l'aide d'éthanoate d'éthyle et conserver la phase organique obtenue dans l'ampoule à décanter.
- Extraire la vanilline présente dans la phase organique précédente avec une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium.
- Transvaser la phase aqueuse obtenue dans une fiole jaugée de 250,0 mL et compléter au trait de jauge avec la solution d'hydroxyde de sodium. On appelle  $S_2$  cette solution.

On réalise alors les spectres d'absorption UV-visible :

- de la solution  $S_2$  obtenue à l'aide du protocole ci-dessus ;
- d'une solution  $S_3$  obtenue en diluant 1000 fois la solution de référence  $S_1$  étudiée dans la deuxième partie.

La concentration en vanilline dans la solution  $S_3$  est  $C_{val} = 5,3 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

On obtient les spectres ci-dessous.



3.1. Les solutions  $S_2$  et  $S_3$  sont-elles colorées ? Justifier.

3.2. Estimer la masse de vanilline présente dans 1 litre d'arôme alimentaire, en supposant la loi de Beer-Lambert vérifiée par les solutions dans les conditions de l'expérience.

*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.*

## EXERCICES au choix du candidat (5 points)

Vous indiquerez sur votre copie les 2 exercices choisis :  
exercice **A** ou exercice **B** ou exercice **C**.

Bac Amérique du sud 2002

<https://labolycee.org>

### EXERCICE A. OBSERVATION DE LA LUNE DEPUIS LA TERRE

Mots-clés : orbite, période de révolution, lunette astronomique, grossissement.

Lorsqu'on observe la face visible de la Lune, on distingue de grandes étendues sombres, appelées mers lunaires, et des milliers de petites tâches correspondant à des cratères. On peut en voir plusieurs dizaines de milliers depuis la Terre, mais il en existe en réalité plusieurs millions.

#### 1. La face cachée de la Lune

L'objectif de la première partie est de comprendre l'expression « face cachée de la Lune ».

**Données :**

- on se place dans le référentiel géocentrique. Son origine correspond au centre de la Terre et ses axes pointent en direction d'étoiles lointaines. Il est supposé galiléen ;
- constante de gravitation universelle :  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$  ;
- distance moyenne Terre-Lune :  $d_{TL} = 3,844 \times 10^5 \text{ km}$  ;
- masse de la Terre :  $M_T = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$  ;
- expression de la norme du vecteur vitesse du centre de la Lune sur son orbite :

$$v_L = \sqrt{\frac{GM_T}{d_{TL}}} ;$$

- période de rotation de la Lune sur elle-même :  $P_L = 27,3 \text{ jours}$ .
- 1.1.** Établir l'expression de la période de révolution  $T_L$  de la Lune autour de la Terre, puis calculer sa valeur.
  - 1.2.** Comparer la valeur de  $T_L$  à la période de rotation de la Lune sur elle-même  $P_L$ .
  - 1.3.** Sur le schéma donné en **annexe 2 à rendre avec la copie**, ajouter la position de la Lune et du point P aux dates  $P_L/4$ ,  $P_L/2$  et  $3P_L/4$  en justifiant votre réponse. En déduire, dans le cadre de ce modèle simple, pourquoi on parle de « face cachée de la Lune ».

Le cratère Tycho, situé dans l'hémisphère sud de la face visible de la Lune, est né il y a un peu plus d'une centaine de millions d'années suite à l'impact d'un astéroïde. Son diamètre est de 86 km.

Le centre du cratère est occupé par un ensemble de montagnes dont la base s'étale sur une quinzaine de kilomètres. Le piton central s'élève à plus de 2 000 mètres d'altitude.

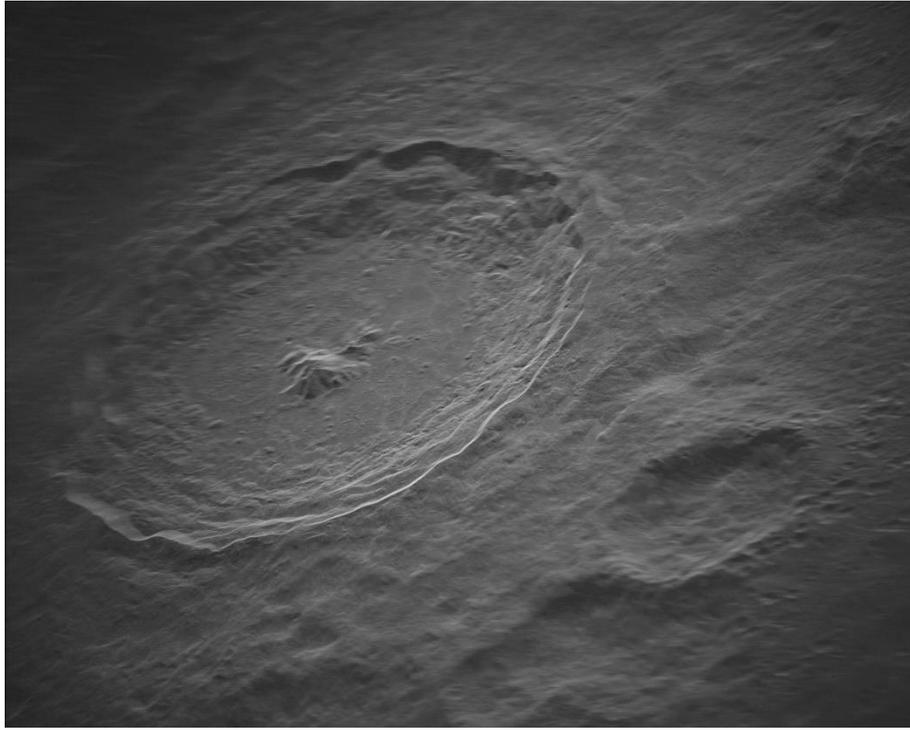


Figure 1. Le cratère Tycho. Crédit : NRAO/GBO/RAYTHEON/NSF/AUI

L'objectif de cette deuxième partie est de concevoir une lunette astronomique permettant de visualiser certains détails de la surface lunaire depuis la Terre.

## 2. Observation de la Lune depuis la Terre.

### Données :

- distance moyenne Terre-Lune :  $d_{TL} = 3,844 \times 10^5$  km ;
- le pouvoir séparateur de l'œil humain est la valeur minimale de l'angle  $\theta$ , supposé petit devant 1 rad, sous lequel l'œil peut distinguer deux points lumineux A et B :  $\varepsilon = 2,9 \times 10^{-4}$  rad. On suppose que  $\tan(\theta) \approx \theta$  avec  $\theta$  exprimé en rad.



- 2.1. Calculer l'angle  $\theta$  sous lequel est vu le cratère Tycho depuis la Terre. En déduire s'il est possible de distinguer les contours du cratère à l'œil nu.

Sur l'**annexe 3 à rendre avec la copie**, une lunette est modélisée par l'association de deux lentilles minces convergentes.

- 2.2. Parmi les deux lentilles utilisées, identifier celle qui joue le rôle de l'oculaire et celle qui joue le rôle de l'objectif.

- 2.3.** Sur le schéma donné en **annexe 3 à rendre avec la copie** :
- construire la marche du faisceau lumineux issu du point  $B_\infty$  considéré à l'infini au travers de la lunette ;
  - faire apparaître l'image intermédiaire  $A_1B_1$  et l'angle  $\theta'$  sous lequel est vu l'image finale  $A'B'$  de  $A_\infty B_\infty$  à travers la lunette.
- 2.4.** Expliquer pourquoi cette lunette est qualifiée d'afocale et justifier l'intérêt de ce réglage.
- 2.5.** Exprimer le grossissement de la lunette en fonction de  $\theta$  et  $\theta'$ .

On admet que le grossissement de la lunette est :  $G = \frac{f'_{obj}}{f'_{oc}}$ , où  $f'_{obj}$  et  $f'_{oc}$  représentent respectivement les distances focales de l'objectif et de l'oculaire.

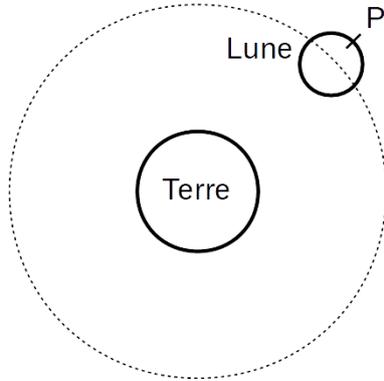
- 2.6.** Déterminer la valeur limite de la distance focale de l'oculaire qu'il faut associer à un objectif de distance focale 300 mm pour pouvoir distinguer l'ensemble de montagnes qui occupe le centre du cratère Tycho.

*Le candidat est invité à présenter sa démarche même si elle n'est pas complètement aboutie.*

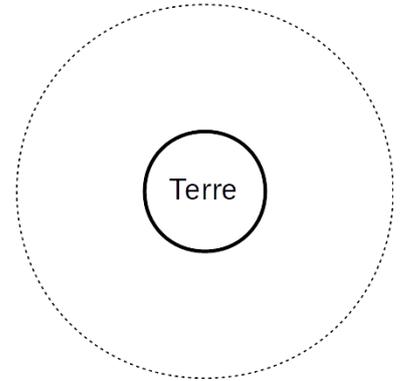
ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE

Exercice A, question 1.3. Positions de la Lune et du point P

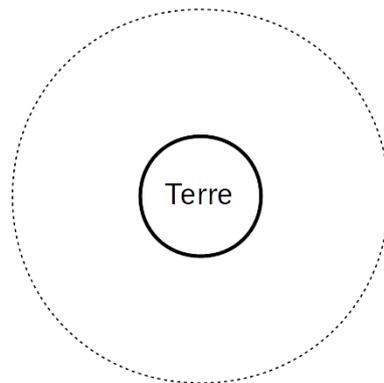
$t = 0 \text{ jour}$



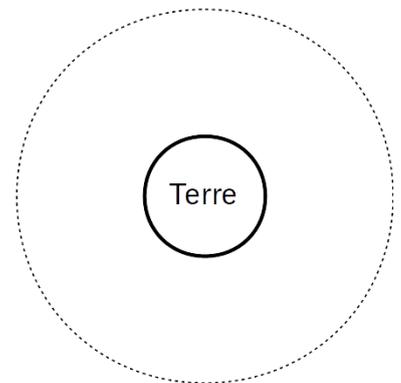
$t = \frac{P_L}{4}$



$t = \frac{P_L}{2}$

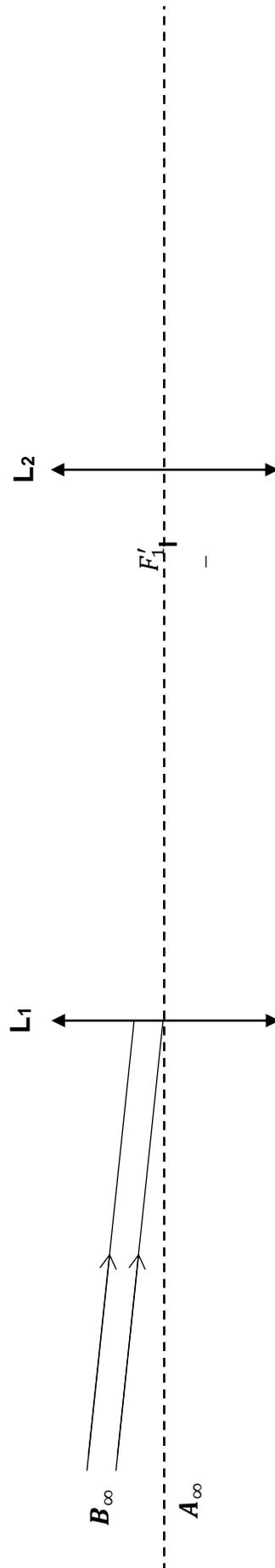


$t = \frac{3P_L}{4}$



ANNEXE 3 À RENDRE AVEC LA COPIE

Exercice A, question 2.3. Schéma d'une lunette afocale



**EXERCICE B (5 points)**  
**SYNTHÈSE DU 2-MÉTHYLPROPAN-2-OL**

Le 2-méthylpropan-2-ol est utilisé comme solvant dans les dissolvants pour peintures, dans le carburant pour augmenter l'indice d'octane et comme intermédiaire dans la synthèse d'autres produits chimiques comme les parfums.

On se propose d'étudier la synthèse du 2-méthylpropan-2-ol à partir d'un halogénoalcane : le 2-chloro-2-méthylpropane.

Le 2-chloro-2-méthylpropane (noté RCl par la suite) réagit avec l'eau et cette hydrolyse conduit à la formation de 2-méthylpropan-2-ol (noté ROH) et d'acide chlorhydrique modélisée par une réaction dont l'équation est la suivante :



La transformation chimique est supposée totale.

**Donnée :**

- loi de Kohlrausch.  $\sigma = \sum_i \lambda_i [X_i]$ , avec  $\lambda_i$  la conductivité ionique molaire ( $\text{S}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mol}^{-1}$ ) et  $[X_i]$  la concentration molaire ( $\text{mol}\cdot\text{m}^{-3}$ ).

Le protocole expérimental, décrit ci-après, est mis en œuvre.

- Dans une fiole jaugée de 100,0 mL, introduire 4,0 mL de 2-chloro-2-méthylpropane et compléter avec de l'acétone jouant le rôle de solvant afin d'obtenir un volume de 100,0 mL d'une solution S.
- Dans un bécher, introduire 8,0 mL de solution S à l'aide d'une pipette graduée de 10,0 mL.
- Immerger la sonde conductimétrique dans un bécher contenant 32,0 mL d'eau distillée et la relier à une carte d'acquisition.
- Verser la solution S dans le bécher contenant l'eau et déclencher en même temps l'acquisition.
- Arrêter l'acquisition lorsque la conductivité n'augmente plus.

**B1. Suivi temporel de la transformation par conductimétrie**

1. Justifier qu'un suivi temporel de la transformation peut se faire à l'aide de mesures conductimétriques.
2. Donner l'expression littérale reliant la conductivité  $\sigma(t)$  de la solution et les concentrations en quantité de matière des espèces chimiques concernées.

À chaque instant, on calcule la concentration en 2-chloro-2-méthylpropane par la relation :

$$[\text{RCl}](t) = C_0 \times \left(1 - \frac{\sigma(t)}{\sigma_{\text{finale}}}\right)$$

$\sigma_{\text{finale}}$  est la valeur de la conductivité de la solution lorsque la transformation est achevée et  $C_0$  la concentration initiale en RCl.

Cette relation permet de tracer les graphiques donnant l'évolution à 25 °C et à 30 °C de la concentration en RCl en fonction du temps. Ces courbes sont représentées en **annexe 2 à rendre avec la copie, graphiques 1 et 2.**

3. Déterminer la valeur de la vitesse volumique de disparition du réactif RCl à la date  $t = 1$  min et à 25 °C. Justifier la réponse par un tracé graphique sur l'**annexe 2 à rendre avec la copie.**

4. Déterminer la valeur du temps de demi-réaction à 30 °C, en explicitant la démarche suivie, et la comparer à celle de l'expérience à 25 °C. Proposer une interprétation.

## B2. Hypothèse sur l'ordre de la réaction par rapport à l'espèce chimique RCl.

Si l'eau est en large excès, la vitesse volumique  $v$  de disparition de RCl s'écrit :

$v = k \times [\text{RCl}](t)$ , où  $[\text{RCl}](t)$  est la concentration en 2-chloro-2-méthylpropane à la date  $t$ ,  $k$  est la constante de vitesse à la température de l'expérience.

5.

5.1. Donner la définition de la vitesse volumique  $v$  de disparition de RCl.

5.2. Dédire l'expression de l'équation différentielle du premier ordre vérifiée par  $[\text{RCl}](t)$ .

La solution de cette équation s'écrit  $[\text{RCl}](t) = [\text{RCl}]_0 \cdot \exp(-k \cdot t)$  où  $[\text{RCl}]_0$  est la concentration du composé RCl à la date  $t = 0$ .

5.3. En déduire l'expression du temps de demi-réaction en fonction de la constante de vitesse  $k$ .

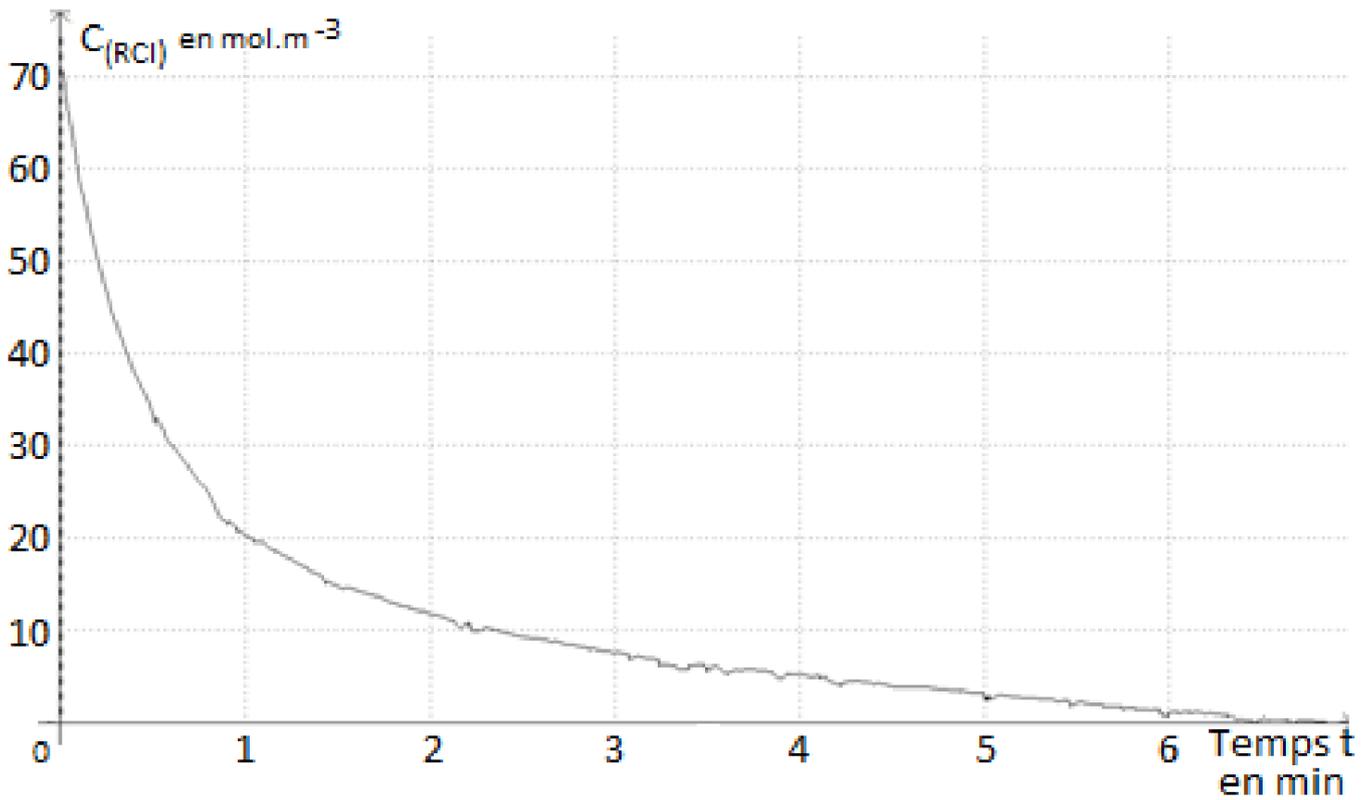
6. On souhaite comparer, à 30 °C, le temps de demi-réaction expérimental déterminé graphiquement à la question 4 et le temps de demi-réaction calculé dans le cadre du modèle de la question précédente.

6.1. La vitesse initiale de disparition de RCl à 30 °C, déterminée sur le graphique 2, étant égal à  $3,9 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ , déterminer la valeur de  $k$  dans l'hypothèse d'une loi de vitesse d'ordre 1.

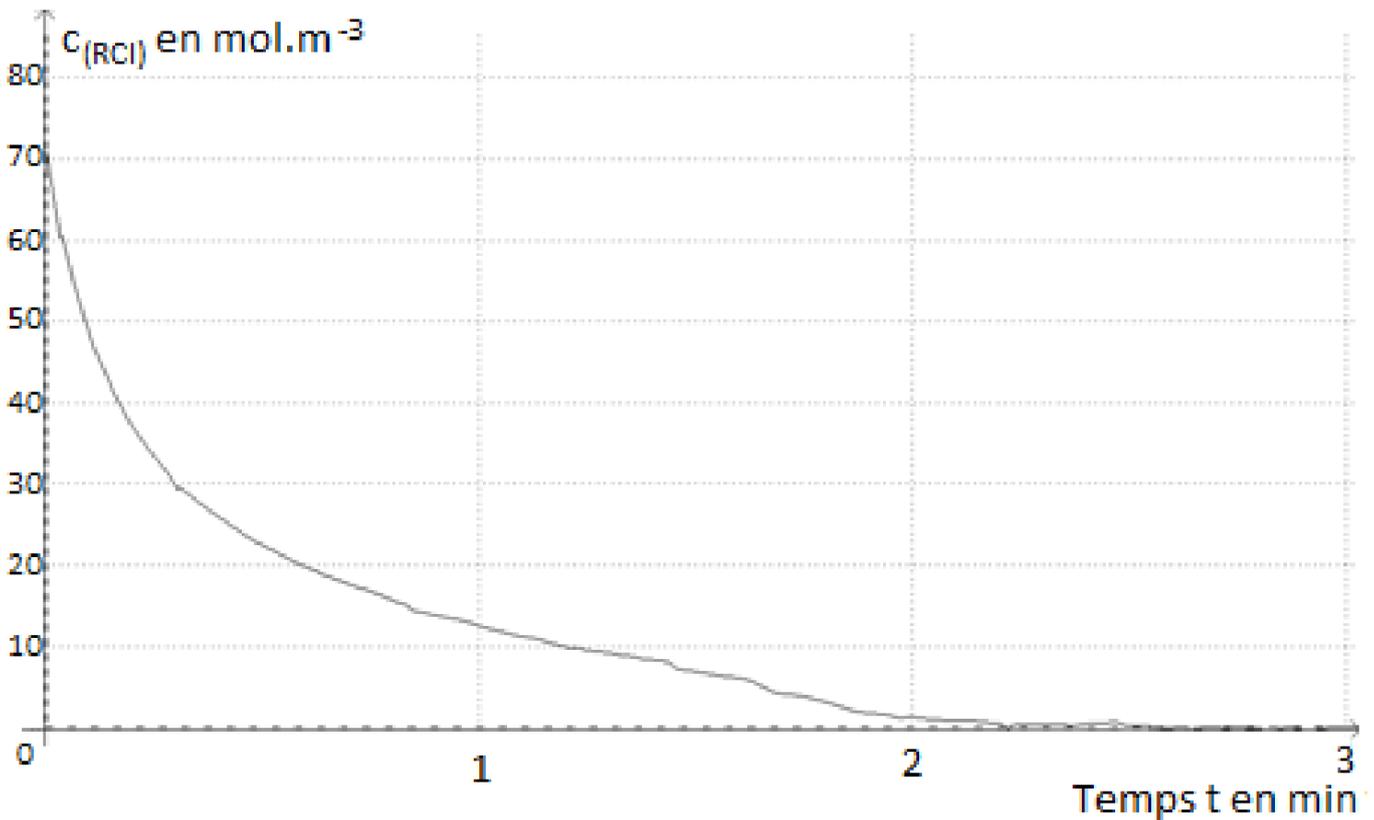
6.2. En déduire la valeur du temps de demi-réaction calculée dans le cadre du modèle de la question 5. Commenter.

## ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE

Graphique 1. Concentration en RCl en mol.m<sup>-3</sup> en fonction du temps en min à 25 °C



Graphique 2. Concentration en RCl en mol.m<sup>-3</sup> en fonction du temps en min à 30 °C



**EXERCICE C - QUELLE TAILLE POUR LES MAILLES D'UN TAMIS ? (5 points)**

Mots-clés : diffraction et interférences d'ondes lumineuses

Les artémies (voir photo ci-contre) sont des crustacés élevés pour nourrir les poissons des aquariums. Leur taille doit être adaptée à l'espèce de poisson à nourrir. On utilise des tamis calibrés pour les sélectionner.

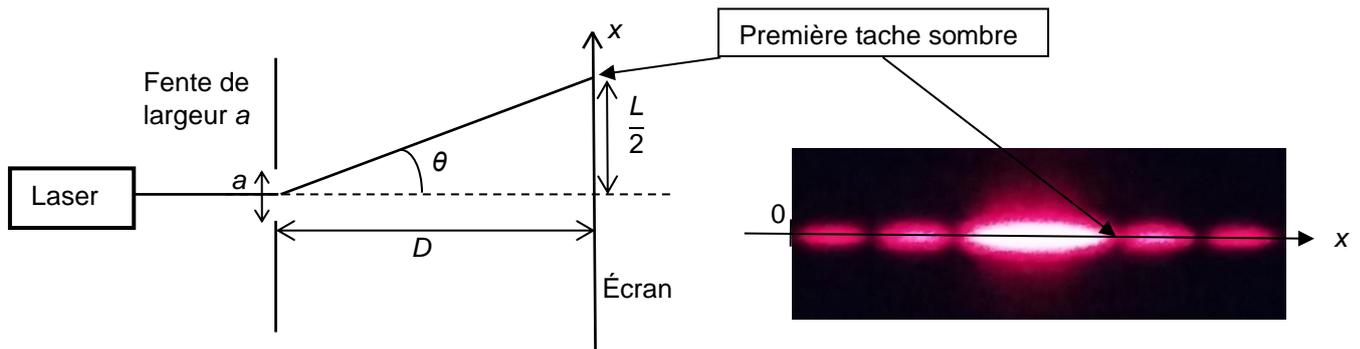


Source : <https://fr.m.wikipedia.org>

On se propose dans cet exercice de déterminer la taille des mailles d'un tamis en utilisant une diode laser de longueur d'onde  $\lambda = (650 \pm 10)$  nm.

**1. Vérification de la valeur de la longueur d'onde de la diode laser utilisée**

Pour vérifier la valeur de la longueur d'onde de la diode laser annoncée par le constructeur, on réalise une expérience dont le schéma est donné ci-dessous (figure 1).



Distance fente – écran :  $D = 56$  cm  
 Largeur de la fente calibrée :  $a = 80$   $\mu$ m

Figure 2. Figure observée sur l'écran

Figure 1. Schéma de l'expérience (échelle non respectée)

1.1. Nommer le phénomène physique responsable des taches lumineuses observées sur l'écran. Discuter qualitativement de l'influence de la largeur de la fente et de la longueur d'onde de l'onde incidente sur le phénomène observé.

**(0,5 pt) Ce phénomène se nomme la diffraction. Ce phénomène est d'autant plus marqué que la largeur de la fente  $a$  est petite face à la longueur d'onde  $\lambda$  de la lumière, ainsi l'écart angulaire  $\theta$  sera plus grand et donc la tache centrale plus large.**

**Si la longueur d'onde est fixe, et que l'on diminue la largeur  $a$  de la fente alors la largeur  $L$  de la tache centrale augmente.**

**Si la largeur  $a$  de la fente est fixe, et que l'on augmente la longueur d'onde alors la largeur  $L$  de la tache centrale augmente.**

1.2. On rappelle que l'angle  $\theta$  est donné par la relation  $\theta = \frac{\lambda}{a}$  et on considère que  $\tan \theta \approx \theta$  pour les petits angles ( $\theta \ll 1$  rad). Déterminer l'expression de l'angle  $\theta$  en fonction de la largeur  $L$  de la tache centrale et de  $D$ . En déduire l'expression de la longueur d'onde  $\lambda$  en fonction de  $L$ ,  $a$  et  $D$ .

**(0,75 pt) On a un triangle rectangle dont le côté opposé a une longueur égale à  $L/2$  et le coté adjacent a une longueur égale à  $D$ .**

$$\tan \theta \approx \theta = \frac{L}{2D} \text{ ainsi } \theta = \frac{L}{2D}$$

Et comme  $\theta = \frac{\lambda}{a}$  alors  $\frac{\lambda}{a} = \frac{L}{2D}$ , finalement  $\lambda = \frac{L \cdot a}{2D}$

Pour faire une mesure précise, on remplace l'écran par une caméra qui permet d'obtenir l'intensité lumineuse relative\* en fonction de la position  $x$ , repérée selon l'axe indiqué sur la photo de la figure 2. L'origine  $x = 0$  m est prise sur le bord du capteur de la caméra. On obtient alors la figure 3.

\* L'intensité lumineuse relative est le rapport de l'intensité lumineuse reçue par le capteur sur l'intensité maximale reçue.

1.3. Déterminer la valeur de la longueur d'onde de la diode laser utilisée en exploitant la courbe obtenue sur la figure 3. La comparer à la valeur indiquée par le constructeur.

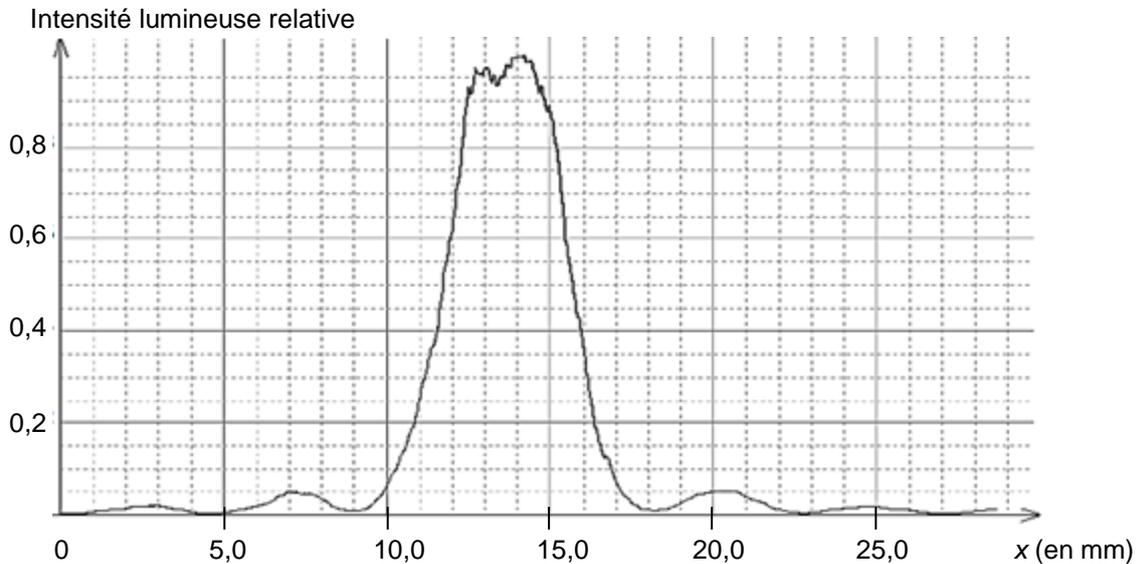


Figure 3. Intensité lumineuse relative en fonction de la position sur l'écran

(0,75 pt) Sur la figure 3, on mesure la largeur  $L$  de la tache centrale  $L = 18,0 - 9,0 = 9,0$  mm.

$$\lambda = \frac{L \cdot a}{2D}$$

$$\lambda = \frac{9,0 \times 10^{-3} \times 80 \times 10^{-6}}{2 \times 56 \times 10^{-2}} = 6,4 \times 10^{-7} \text{ m} = 643 \text{ nm.}$$

9E-3\*80E-6  
2\*56E-2

6.428571429E-7

Le fabricant indique  $\lambda = (650 \pm 10)$  nm, ainsi en tenant compte de l'incertitude de 10 nm, on constate que notre mesure est compatible avec celle du fabricant.

## 2. Calibrage du tamis de récupération

Le but de cette partie est de vérifier que le tamis disponible, dont le maillage est représenté sur la figure 5, permet de récupérer toutes les artémies d'une taille supérieure à 150  $\mu\text{m}$ . On réalise une expérience d'interférences pour évaluer les dimensions du tamis en utilisant la diode laser précédente. La largeur du fil plastique constituant le tamis est égale à 230  $\mu\text{m}$ .

L'expérience d'interférences est décrite ci-dessous :

- le montage utilisé est donné sur la figure 4 ;
- on utilise la diode laser de longueur d'onde  $\lambda = (650 \pm 10)$  nm. La distance entre le tamis et l'écran vaut  $D = (7,75 \pm 0,03)$  m ;
- on note  $b$  la distance entre les centres de deux trous consécutifs du maillage du tamis ;
- la figure d'interférences obtenue est donnée sur les figures 6 et 7.

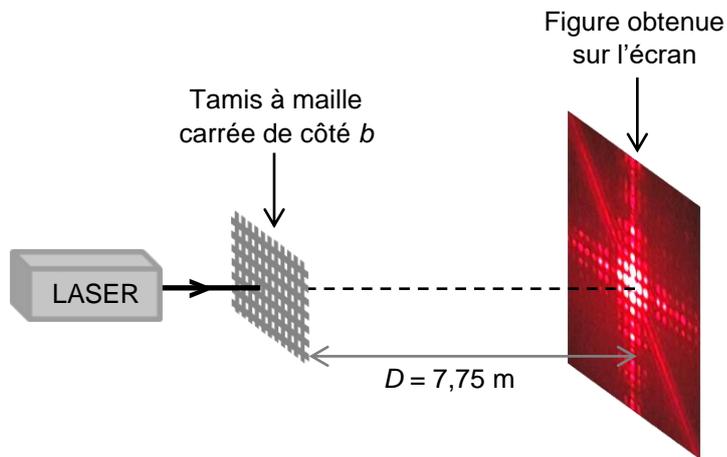


Figure 4. Montage utilisé (échelle non respectée)

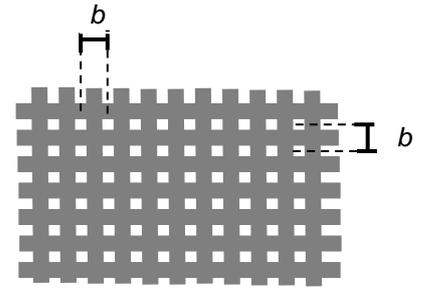


Figure 5. Schéma du maillage du tamis

2.1. Expliquer brièvement, sans calcul, l'origine de la présence de zones sombres et de zones brillantes dans une figure d'interférences lumineuses.

**(0,5 pt) Chaque maille du tamis se comporte comme une source de lumière. Toutes ces sources interfèrent entre elles. Les zones sombres sont dues à des interférences destructives : en ces points de l'écran les ondes parviennent en opposition de phase. Tandis que les zones brillantes correspondent à des interférences constructives où les ondes parviennent en phase.**

Le centre de la figure d'interférences de la figure 6 est représenté sur la figure 7 ci-dessus à l'échelle 1/1. L'interfrange, noté  $i$ , est défini comme la distance entre les centres de deux taches lumineuses successives selon l'axe identifié sur la figure 7.

L'expression de l'interfrange est donnée par la relation :  $i = \frac{\lambda \times D}{b}$ .

L'incertitude-type  $u(b)$  sur la grandeur  $b$  peut se calculer à partir de la relation :

$$\frac{u(b)}{b} = \sqrt{\left(\frac{u(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{u(i)}{i}\right)^2 + \left(\frac{u(\lambda)}{\lambda}\right)^2}$$

où  $u(x)$  désigne l'incertitude-type associée à la grandeur  $x$

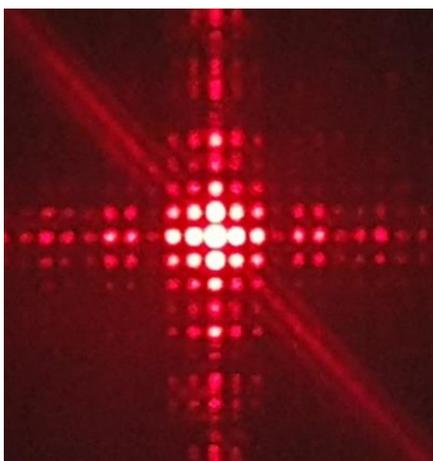


Figure 6. Figure d'interférences obtenue

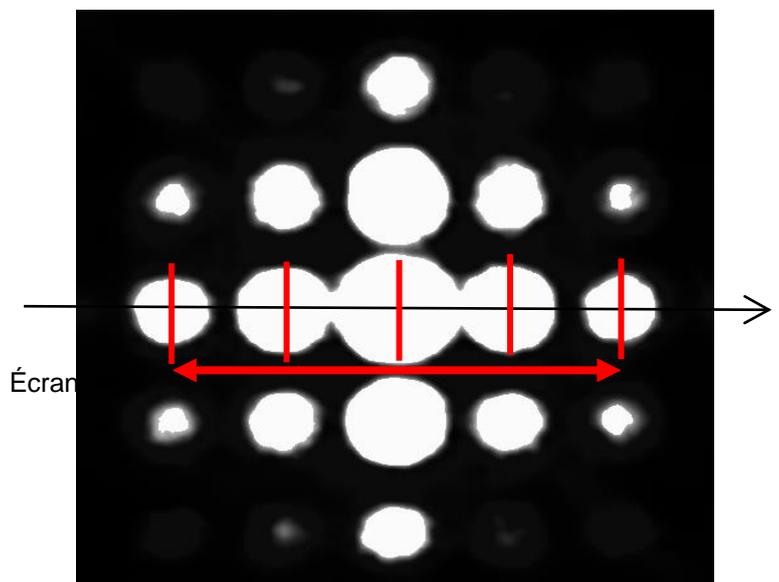


Figure 7. Tache centrale de la figure d'interférences à l'échelle 1/1

2.2. Évaluer la valeur de l'interfrange  $i$  en explicitant la méthode suivie pour obtenir la meilleure précision.  
Évaluer l'incertitude-type  $u(i)$  sur la mesure de l'interfrange  $i$ .

(0,5 pt) Voir figure 7. Pour une meilleure précision, on mesure plusieurs interfranges.

$$4i = 5,9 \text{ cm}$$

$$i = 1,5 \text{ cm}$$

Lors d'une mesure à la règle, on peut estimer l'incertitude égale à la demi-graduation donc à  $u(i) = 0,05 \text{ cm}$ .

On accepte aussi  $u(i) = 0,1 \text{ cm}$ .

2.3. Calculer  $b$  puis évaluer  $u(b)$ .

$$(1 \text{ pt}) i = \frac{\lambda \cdot D}{b} \text{ donc } b = \frac{\lambda \cdot D}{i}$$

$$b = \frac{650 \times 10^{-9} \times 7,75}{1,5 \times 10^{-2}} = 3,4 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$\frac{650\text{E-9} * 7.75}{1.5\text{E-2}} = 3.358333333\text{E-4}$$

$$\frac{u(b)}{b} = \sqrt{\left(\frac{u(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{u(i)}{i}\right)^2 + \left(\frac{u(\lambda)}{\lambda}\right)^2}$$

$$u(b) = b \cdot \sqrt{\left(\frac{u(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{u(i)}{i}\right)^2 + \left(\frac{u(\lambda)}{\lambda}\right)^2}$$

$$3.358333333\text{E-4} * \sqrt{\left(\frac{0.03}{7.75}\right)^2 + \left(\frac{0.1}{1.5}\right)^2} = 1.239758165\text{E-5}$$

$$u(b) = 3,358 \times 10^{-4} \times \sqrt{\left(\frac{0,03}{7,75}\right)^2 + \left(\frac{0,05}{1,5}\right)^2 + \left(\frac{10}{650}\right)^2} = 1,3 \times 10^{-5} \text{ m}$$

On arrondit par excès à un seul chiffre significatif  $u(b) = 2 \times 10^{-5} \text{ m} = 0,2 \times 10^{-4} \text{ m}$

$$b = (3,4 \pm 0,2) \times 10^{-4} \text{ m}$$

2.4. Indiquer si le tamis étudié permet de récupérer les artémies voulues. Justifier.

(1 pt) On veut récupérer les artémies d'une taille supérieure à  $150 \mu\text{m}$ .

La largeur du fil plastique constituant le tamis est égale à  $230 \mu\text{m}$ .

$t$  largeur du trou,  $f$  largeur du fil

$$b = t + f$$

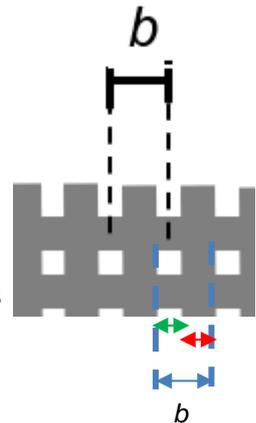
$$t = b - f$$

$$t = 3,4 \times 10^{-4} - 230 \times 10^{-6} = 3,4 \times 10^{-4} - 2,30 \times 10^{-4} = 1,1 \times 10^{-4} \text{ m} < 150 \times 10^{-6} \text{ m}$$

En considérant la valeur maximale de  $b$  :  $b = (3,4 + 0,2) \times 10^{-4} = 3,6 \times 10^{-4} \text{ m}$

$$t = 3,6 \times 10^{-4} - 230 \times 10^{-6} = 3,6 \times 10^{-4} - 2,30 \times 10^{-4} = 1,3 \times 10^{-4} \text{ m} < 150 \times 10^{-6} \text{ m}$$

Les artémies sont plus larges que le trou, elles seront donc bien récupérées dans le tamis.

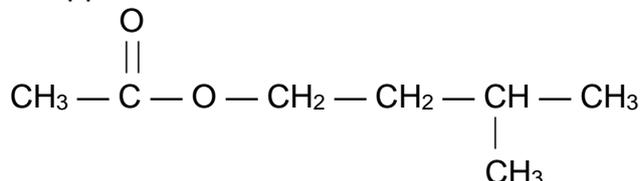


Les phéromones sont des espèces chimiques servant à la communication au sein d'espèces vivantes.

Il existe des phéromones de rassemblement, de pistage, d'attraction sexuelle, d'alarme, de défense,... De nombreuses phéromones d'insectes sont des molécules relativement simples.

Lors d'une séance de travaux pratiques, on étudie la synthèse d'une phéromone **P**, phéromone d'alarme chez les abeilles.

La formule semi-développée de la molécule **P** est



Données : **TABLEAU 1**

	Masse molaire moléculaire (g.mol <sup>-1</sup> )	Masse volumique (g.mL <sup>-1</sup> )	Température d'ébullition (°C)	Solubilité dans l'eau
<b>A : CH<sub>3</sub>COOH</b>	60,0	1,05	118	Soluble
<b>Alcool B</b>	88,0	8,10.10 <sup>-1</sup>	128	Très peu soluble
<b>Eau</b>	18,0	1,00	100	
<b>Phéromone P</b>	130	8,70.10 <sup>-1</sup>	143	Très peu soluble

**Verrerie disponible :**

- béchers : 10 mL ; 25 mL ; 100 mL
- éprouvettes graduées : 10 mL ; 25 mL ; 100 mL
- pipettes graduées : 1 mL ; 2 mL ; 5 mL ; 10 mL
- burette graduée au 1/10 ème de mL : 25 mL
- pipettes jaugées : 1,0 mL ; 5,0 mL ; 10,0 mL ; 20,0 mL

La molécule **P** peut être préparée à partir de l'acide éthanoïque **A** et d'un alcool **B**.

Au laboratoire, dans un ballon de 100 mL, le préparateur introduit un volume  $V_A = 14,3$  mL d'acide éthanoïque et une masse  $m_B = 22,0$  g d'alcool **B**. Il ajoute avec précautions 1 mL d'acide sulfurique concentré et quelques grains de pierre ponce. Il adapte un réfrigérant à boules sur le ballon et chauffe à reflux pendant 4 heures.

Après extraction, il obtient une masse  $m_P = 21,7$  g de phéromone **P**.

**Les parties 1.1 ,1.2 ,1.3 et 1.4 sont indépendantes.**

**1.1. Réaction de synthèse.**

- 1.1.1. Sur la formule semi-développée de la molécule **P**, entourer le groupement fonctionnel présent et donner le nom de ce groupement.

- 1.1.2. Donner la formule semi-développée et le nom de l'alcool **B**.
- 1.1.3. Écrire l'équation de la réaction de synthèse permettant d'obtenir la molécule de la phéromone **P**.
- 1.1.4. Préciser les deux caractéristiques principales de cette transformation.

## 1.2. Préparation de la phéromone **P**.

- 1.2.1. Pourquoi chauffe-t-on le mélange acide **A** alcool **B** ?  
Quel est l'intérêt d'un dispositif à reflux ?
- 1.2.2. Quel matériel choisi dans la verrerie disponible utiliseriez-vous pour mesurer le volume  $V_A$  d'acide éthanoïque ?

## 1.3. Étude quantitative de la réaction.

- 1.3.1. Calculer les quantités de matière initiales,  $n_{A(o)}$  et  $n_{B(o)}$  de chacun des réactifs. On utilisera pour cela les données du **TABLEAU 1**.
- 1.3.2. Compléter le tableau d'avancement (**TABLEAU 2** : lignes 3 et 4 de l'annexe à rendre avec la copie).
- 1.3.3. Calculer l'avancement maximal  $x_M$ .
- 1.3.4.a Donner la relation liant la quantité  $n_P$  de phéromone formée dans l'état final et l'avancement final  $x_f$ .  
En déduire la valeur de  $x_f$  et compléter le tableau d'avancement, ligne 5, en donnant les valeurs numériques.
- 1.3.4.b Exprimer et calculer le taux d'avancement  $\tau$  (ou rendement) de cette réaction.
- 1.3.5.a Définir la constante d'équilibre  $K$  associée à cette réaction de synthèse.
- 1.3.5.b L'exprimer en fonction de  $x_f$ ,  $n_{A(o)}$  et  $n_{B(o)}$ .
- 1.3.5.c Montrer que  $K = 4,0$ .
- 1.3.6.a Dans les mêmes conditions, on mélange  $n'_{A(o)} = 2,5 \cdot 10^{-1}$  mol du même acide éthanoïque **A** et  $n'_{B(o)} = 5,0 \cdot 10^{-1}$  mol d'alcool **B** puis on chauffe à reflux.  
Que pouvez-vous dire du quotient de réaction  $Q_{rf}$  dans l'état final?  
Calculer l'avancement final  $x'_f$  de cette transformation, en utilisant la question **1.3.5.b**.
- 1.3.6.b Calculer le taux d'avancement final  $\tau'$  (rendement) de la réaction précédente et le comparer à  $\tau$ . En déduire une façon assez générale d'améliorer le rendement de la réaction.

#### 1.4. Augmentation du rendement de la réaction.

Des élèves font des propositions pour augmenter le rendement de cette réaction :

- \* Ajouter une plus grande quantité d'acide sulfurique concentré dans le mélange réactionnel.
- \*\* Éliminer l'eau par distillation au fur et à mesure de sa formation.
- \*\*\* Remplacer l'acide éthanoïque par de l'anhydride éthanoïque.

Pour chaque proposition, précisez si vous êtes en accord ou en désaccord avec ces élèves et pour quelle raison.

---

#### ANNEXE : TABLEAU 2 : *tableau d'avancement*

Ligne 1	<b>Équation de la réaction</b>	<b>CH<sub>3</sub>COOH + B = P + E</b>				
Ligne 2	<b>État du système</b>	Avancement (mol)	Quantité de matière (mol)			
Ligne 3	initial	0	n <sub>A(o)</sub> =	n <sub>B(o)</sub> =		
Ligne 4	intermédiaire	x				
Ligne 5	final réel	x <sub>f</sub>				

# Bac 2022 Métropole Septembre SI

## EXERCICE C : Protection des pompiers par leur manteau (10 points)

**Mots-clés** : transfert thermique – premier principe de la thermodynamique – flux thermique

Afin de se protéger des brûlures lors de leurs interventions, les pompiers disposent d'équipements de protection individuels de protection (EPI), dont leurs manteaux.

Ces manteaux sont constitués de plusieurs couches de tissus spécifiques, qui varient d'un fournisseur à l'autre, et qui ont vocation à limiter le transfert thermique entre le milieu extérieur et la peau du pompier.

Cet exercice s'intéresse à la durée dont dispose un pompier dans un incendie avant de risquer une brûlure.

### Document : Veste de pompier et couches constitutives



Figure 1. Veste de pompier



Figure 2. Couches constitutives du manteau

Matériau	Conductivité thermique	Épaisseur	Résistance thermique
Devant du manteau avec les 4 couches	$0,0380 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	/	$0,399 \text{ K}\cdot\text{W}^{-1}$
Couche 1	$0,0810 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	2,00 mm	/
Couche 2	$0,0410 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	2,50 mm	$0,102 \text{ K}\cdot\text{W}^{-1}$
Couche 3	$0,0455 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	2,20 mm	$0,081 \text{ K}\cdot\text{W}^{-1}$
Couche 4	$0,0736 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	2,40 mm	$0,054 \text{ K}\cdot\text{W}^{-1}$

Figure 3. Propriétés thermiques du manteau et des différentes couches

### Données :

On s'intéresse au devant du manteau de surface  $S = 0,60 \text{ m}^2$  :

- les 4 couches de matériaux présentent la même surface  $S = 0,60 \text{ m}^2$  ;
- la résistance thermique  $R_{\text{th}}$  d'une paroi en fonction de sa conductivité  $\lambda$ , de sa surface  $S$ , et de son épaisseur  $e$  est donnée par l'expression :  $R_{\text{th}} = \frac{e}{\lambda S}$  ;
- la température de surface de la peau est en moyenne de  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  ;
- les incendies dans les habitations atteignent des températures de  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  environ ;
- les résistances thermiques de matériaux accolés s'additionnent.

On se place ici dans le cas d'un feu pour lequel la température décroît linéairement avec la distance par rapport à la source à raison de  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  par 25 cm.

- Q1.** Citer les trois modes de transfert thermique d'énergie.
- Q2.** Calculer la valeur de la résistance thermique de la couche 1 du devant du manteau.
- Q3.** En déduire la valeur de la résistance thermique de l'ensemble des quatre couches en les considérant accolées.
- Q4.** Commenter au regard de la résistance thermique du manteau complet.

On modélise ci-dessous le flux thermique au travers du manteau :

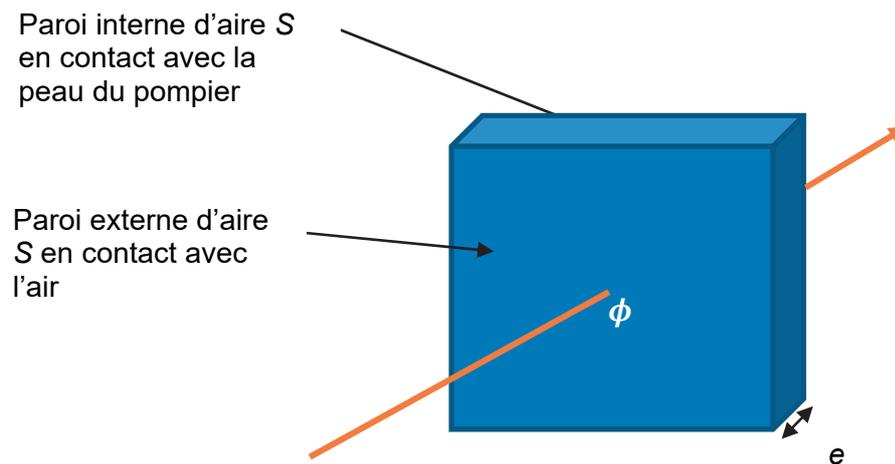


Figure 4. Flux thermique au travers du manteau

- Q5.** Rappeler la formule reliant le flux thermique  $\phi$  au travers d'une paroi de résistance thermique  $R_{th}$  dont les parois intérieure et extérieure sont respectivement à des températures  $T_1$  et  $T_2$ .

Flux surfacique reçu ( $\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$ )	Effets
0,7	Coup de soleil pour une exposition de très longue durée sans protection ni préparation.
1,5	Seuil maximum en continu pour des personnes non protégées.
2	Douleur en 1 minute. Exposition de 40 à 140 secondes avec un temps moyen de 100 secondes, rougissement de la peau.
2,5	Les personnes normalement habillées, sans fragilités particulières, peuvent s'exposer plusieurs minutes en bougeant.
3	Exposition de 1 minute, début d'apparition de cloques sur les peaux très sensibles.
5	Cloques possibles pour des expositions de 20 à 90 secondes.

Figure 5. Effets du rayonnement thermique sur les individus. D'après CNPP (Centre National de Prévention et de Protection).

- Q6.** Calculer le flux thermique au travers du devant du manteau lorsque le pompier se trouve à 1,0 m d'un feu. En déduire la valeur du flux thermique surfacique associé.
- Q7.** Commenter le résultat, en utilisant la figure 5.

**EXERCICE 1 L'ACIDE MÉTHANOÏQUE (10 points)**

L'acide méthanoïque, ou acide formique, est produit par des fourmis rouges qui l'utilisent pour se défendre. Il est synthétisé dans l'industrie pour être utilisé dans de nombreux domaines comme le textile, l'agroalimentaire, ou encore la fabrication de solvants.

Les objectifs de cet exercice sont d'étudier les propriétés acido-basiques de l'acide méthanoïque puis son utilisation dans la synthèse du méthanoate d'éthyle qui est un solvant organique.

**Données :**

- couple acide-base acide méthanoïque / ion méthanoate :  $\text{HCOOH}(\text{aq}) / \text{HCOO}^-(\text{aq})$
- table de données de bandes d'absorption en spectroscopie infra-rouge (IR) :

Liaison	C=O	O-H (acide carboxylique)	C-H
Nombre d'onde ( $\text{cm}^{-1}$ )	1700 – 1800	2500 – 3200	2800 – 3000
Allure de la bande	Forte et mince	Forte et large	Forte et mince

- propriétés physico-chimiques de différentes espèces chimiques :

Espèce	Acide méthanoïque	Éthanol	Méthanoate d'éthyle	Eau
Formule brute	$\text{CH}_2\text{O}_2$	$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$	$\text{H}_2\text{O}$
Masse molaire moléculaire	$46,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$	$46,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$	$74,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$	$18,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
Température d'ébullition	$101 \text{ }^\circ\text{C}$	$79 \text{ }^\circ\text{C}$	$54 \text{ }^\circ\text{C}$	$100 \text{ }^\circ\text{C}$

- sur l'étiquette du flacon de l'acide méthanoïque concentré commercial utilisé, on lit que le titre massique minimum est de 85 %. La densité mesurée de ce produit est mesurée, elle vaut 1,19.

**1. Propriétés acido-basiques de l'acide méthanoïque**

Pour étudier les propriétés acido-basiques de l'acide méthanoïque, une solution aqueuse d'acide méthanoïque, notée S, est préparée à partir de 1,0 mL d'acide méthanoïque concentré commercial dilué dans une fiole jaugée de 250 mL.

Le titrage d'un volume  $V = 25,0 \text{ mL}$  de solution S est réalisé et suivi par pH-métrie. La solution titrante est une solution d'hydroxyde de sodium de concentration  $c_B$  égale à  $0,20 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ . La courbe de suivi pH-métrique est donnée en figure 1.

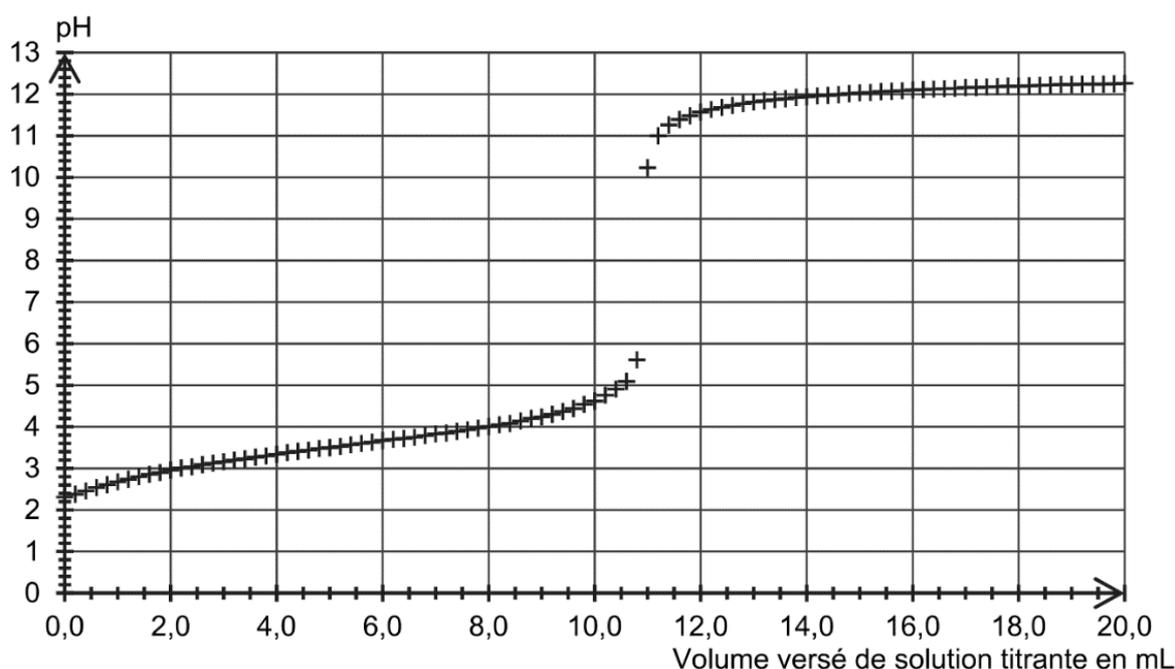


Figure 1. Courbe expérimentale du titrage par suivi pH-métrique

- Q1.** Écrire l'équation de la réaction support du titrage.
- Q2.** Déterminer la valeur de la concentration en quantité de matière d'acide méthanoïque présent dans la solution S.
- Q3.** Déterminer la valeur du titre massique d'acide méthanoïque de la bouteille utilisée. Commenter.

On utilise les valeurs de pH mesurées au cours de ce titrage pour déterminer si l'acide méthanoïque peut être considéré comme un acide fort ou un acide faible. L'exploitation des mesures de pH permet d'obtenir la figure 2.

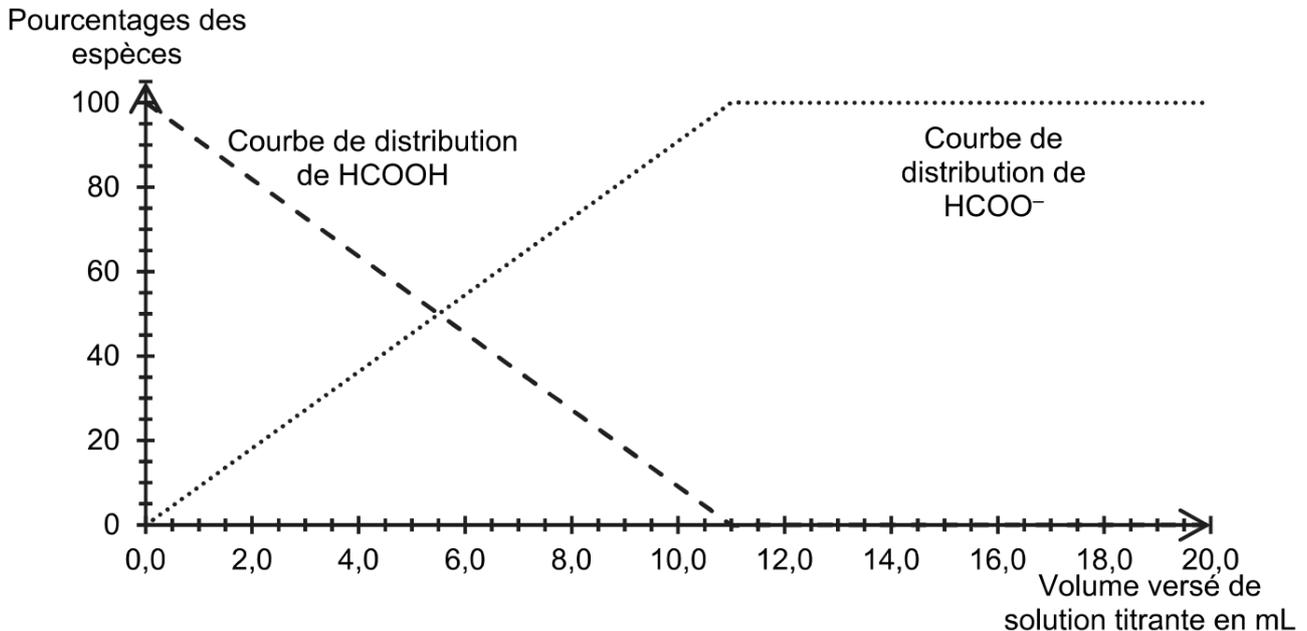


Figure 2. Courbes de distribution obtenues à partir des mesures de pH effectuées lors du titrage

- Q4.** Écrire l'équation de la réaction dont la constante thermodynamique d'équilibre correspond à la constante d'acidité  $K_A$  du couple acide méthanoïque / ion méthanoate.
- Q5.** Estimer, en expliquant la démarche, à l'aide des figures 1 et 2, la valeur de la constante d'acidité  $K_A$  du couple acide méthanoïque / ion méthanoate à la température du titrage.

La valeur tabulée de la constante d'acidité associée à ce couple est égale à  $1,75 \times 10^{-4}$  à  $25^\circ\text{C}$ .

- Q6.** Identifier une des causes expliquant l'écart entre la valeur tabulée et la valeur calculée à la question **Q5** de la constante d'acidité  $K_A$  du couple acide méthanoïque / ion méthanoate.

On étudie une solution aqueuse d'acide méthanoïque de concentration initiale en soluté apportée  $c_A$ .

- Q7.** Montrer que le quotient de réaction, noté  $Q_r$ , associé à la réaction écrite à la question **Q4**, s'écrit :

$$Q_r = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2}{(c_A - [\text{H}_3\text{O}^+]) \cdot c^\circ}$$

avec  $c^\circ$  la concentration standard.

- Q8.** Montrer que l'on peut estimer la valeur de  $K_A$  à une température donnée avec la relation suivante :

$$K_A = \frac{\tau_f^2 \cdot c_A}{(1 - \tau_f) \cdot c^\circ}$$

avec  $\tau_f$  le taux d'avancement final.

Le taux d'avancement final  $\tau_f$  vérifie une équation du 2<sup>nd</sup> degré de la forme :

$$A \cdot \tau_f^2 + B \cdot \tau_f + C = 0 \quad \text{avec } A, B \text{ et } C \text{ des constantes.}$$

Le calcul du taux d'avancement final est effectué à l'aide d'un programme écrit en langage Python dont un extrait est donné en figure 3.

```
4 # Demandes des valeurs utiles
5 cA=float(input("Indiquer la concentration apportée cA (en mol/L) de l'acide :"))
6 KA=float(input(("Indiquer la valeur de la constate d'acidité KA :")))
7 C0 = 1.0 # valeur de la concentration standard en mol/L
8
9 # Equation du 2nd degré vérifiée par le taux d'avancement
10 # équation du type : A*tau^2 + B*tau + C = 0
11 A = ? # expression de A
12 B = ? # expression de B
13 C = ? # expression de C
```

Figure 3. Extrait du programme écrit en langage Python

**Q9.** Compléter les lignes 11, 12 et 13 permettant au programme d'être exécuté. Détailler la démarche.

Pour une solution aqueuse d'acide méthanoïque de concentration apportée égale à  $8,8 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , le résultat obtenu par le programme est donné ci-dessous :

```
Indiquer la concentration apportée cA (en mol/L) de l'acide :0.088
Indiquer la valeur de la constante d'acidité KA :1.75e-4
Il y a 2 solutions possibles pour le taux d'avancement final :
tau1 = -0.046
tau2 = 0.044
```

**Q10.** À partir des résultats ci-dessus du programme, déterminer en justifiant si l'acide méthanoïque peut être considéré comme un acide fort ou un acide faible dans l'eau dans les conditions de l'expérience.

## 2. Synthèse du méthanoate d'éthyle à partir d'acide méthanoïque

Le méthanoate d'éthyle peut être utilisé, par exemple, comme solvant organique, mais également pour donner une odeur de rhum à un aliment.

La synthèse du méthanoate d'éthyle se fait à partir d'acide méthanoïque et d'éthanol. L'équation de la réaction modélisant cette transformation chimique peut s'écrire :



**Q11.** Écrire sur votre copie la formule semi-développée du méthanoate d'éthyle, entourer le groupe caractéristique et nommer la famille fonctionnelle associée.

**Q12.** Les spectres IR de l'acide méthanoïque et du méthanoate d'éthyle sont donnés en figure 4. Attribuer, en justifiant, chaque spectre à l'espèce chimique correspondante.

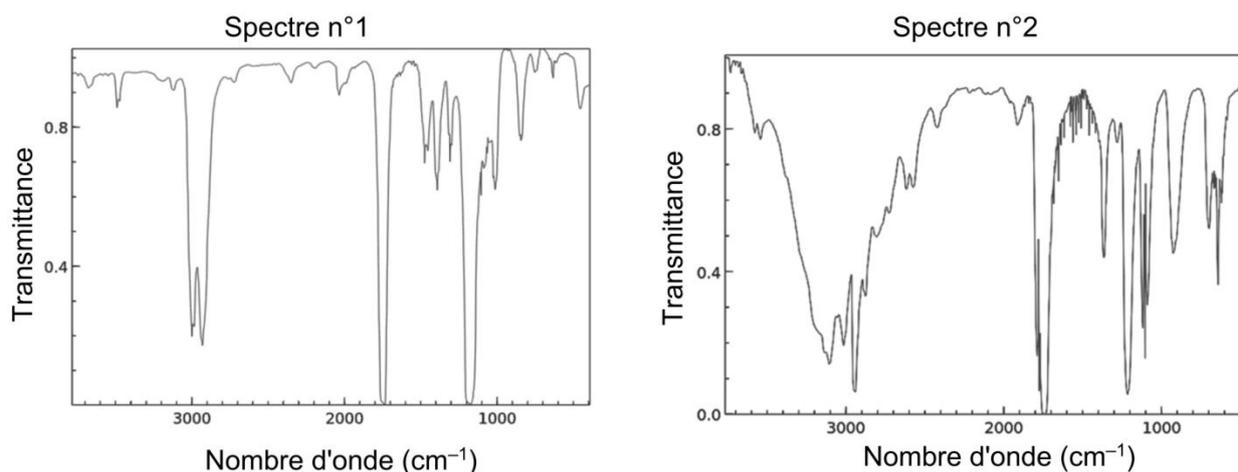


Figure 4. Spectres Infra-Rouge (IR) de deux molécules

On réalise la synthèse du méthanoate d'éthyle selon le protocole suivant :

- introduire dans un ballon 11,5 g d'éthanol, 11,5 g d'acide méthanoïque, 5 gouttes d'acide sulfurique concentré et quelques grains de pierre ponce ;
- chauffer à reflux pendant 45 min. ;
- laisser refroidir.

**Q13.** Citer un intérêt à l'utilisation d'un montage à reflux.

Pour déterminer le rendement de la synthèse, on réalise un titrage de l'acide méthanoïque restant dans le milieu réactionnel à la fin de la synthèse. On en déduit que la valeur de la quantité de matière d'acide méthanoïque restante est égale à 0,13 mol.

**Q14.** Calculer le rendement de cette synthèse.

Pour optimiser le rendement de la synthèse, on modifie certaines conditions expérimentales. Les différentes modifications sont présentées dans le tableau de la figure 5.

Voie n°	Protocole	Rendement
1	À l'aide d'un montage à reflux, on fait réagir durant 45 minutes 0,50 mol d'éthanol, 0,25 mol d'acide méthanoïque, 5 gouttes d'acide sulfurique concentré et quelques grains de pierre ponce	67 %
2	À l'aide d'un montage à reflux, on fait réagir durant 45 minutes 1,0 mol d'éthanol, 0,25 mol d'acide méthanoïque, 5 gouttes d'acide sulfurique concentré et quelques grains de pierre ponce	76 %
3	À l'aide d'un montage de distillation fractionnée, on fait réagir durant 45 minutes 0,50 mol d'éthanol, 0,25 mol d'acide méthanoïque, 5 gouttes d'acide sulfurique concentré et quelques grains de pierre ponce	93 %

Figure 5. Différentes conditions de synthèse du méthanoate d'éthyle

Lors de la synthèse utilisant le voie n°3, le thermomètre au sommet de la colonne de distillation (colonne de Vigreux) indique une température de 54 °C.

**Q15.** À l'aide du tableau de la figure 5, identifier les conditions expérimentales mises en œuvre dans les protocoles qui permettent d'optimiser le rendement de la synthèse.

**EXERCICE 3 - MODÉLISATION D'UN DÉTECTEUR CAPACITIF D'HUMIDITÉ (6 points)**

Correctement calibré, un système d'arrosage automatique de végétaux permet un arrosage homogène, à un moment opportun et sans gaspillage d'eau. À cet effet, il peut être déclenché grâce à l'utilisation d'un détecteur capacitif d'humidité du sol.

L'objectif de cet exercice est d'étudier une modélisation simple d'un détecteur capacitif d'humidité puis de l'utiliser pour illustrer le principe d'une mesure de la teneur en eau d'un sol.

**Données :**

- dans cet exercice, le détecteur capacitif d'humidité est modélisé par un condensateur plan dont la capacité  $C$  varie en fonction de l'humidité du sol ;
- le condensateur est constitué de deux plaques (ou armatures) métalliques de surface  $S$  séparées d'une distance  $d$  plantées dans un sol de permittivité  $\epsilon$  :

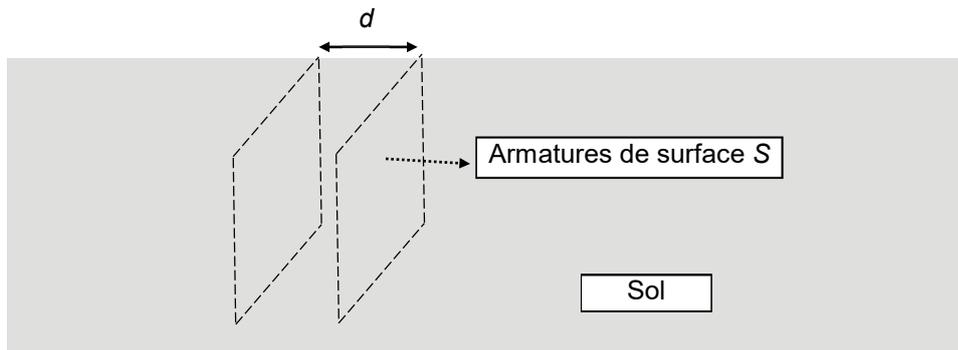
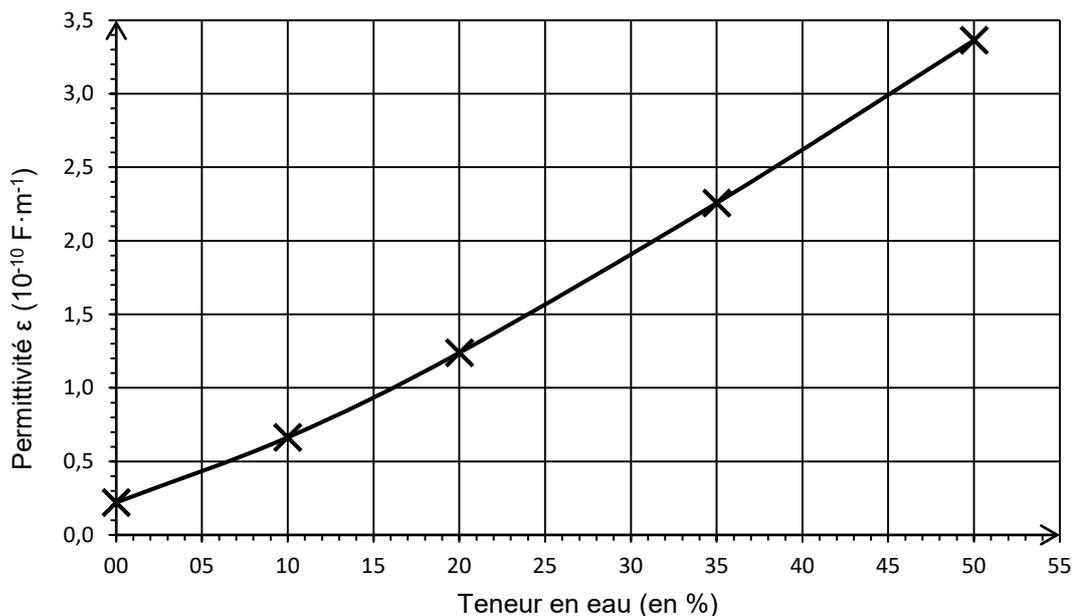


Figure 1. Schéma simplifié du condensateur d'un détecteur d'humidité

- la capacité  $C$  (en farad F) du condensateur s'exprime en fonction de la surface  $S$  (en  $m^2$ ) de ses armatures, de la distance  $d$  (en m) qui les sépare et d'un paramètre caractéristique du sol appelé permittivité  $\epsilon$  (en  $F \cdot m^{-1}$ ) du sol par la relation :

$$C = \frac{\epsilon \cdot S}{d}$$

- on appelle « teneur en eau » le pourcentage volumique d'eau dans le sol ;
- on présente la courbe de la permittivité  $\epsilon$  d'un sol argileux en fonction de sa teneur en eau :



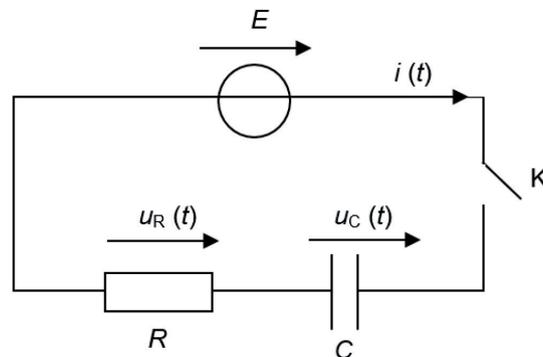
*D'après www.hal.laas.fr*

Figure 2. Permittivité du sol en fonction de la teneur en eau du sol

## 1. Modélisation de la charge du condensateur

**Q1.** Prévoir qualitativement le sens de variation de la capacité  $C$  du détecteur capacitif d'humidité quand la teneur en eau d'un sol argileux augmente.

Le condensateur de capacité  $C$ , modélisant le détecteur, est branché en série avec un générateur délivrant une tension constante  $E$ , un interrupteur  $K$  et un conducteur ohmique de résistance  $R$ . Le circuit ainsi constitué est modélisé par un circuit de type RC représenté ci-dessous :



À la date  $t = 0$  s, le condensateur est déchargé et on ferme l'interrupteur. On souhaite établir l'expression de la tension  $u_C(t)$  aux bornes du condensateur.

**Q2.** Montrer que la tension aux bornes du condensateur obéit à l'équation différentielle ci-dessous. Exprimer littéralement le temps caractéristique  $\tau$  du circuit en fonction de  $R$  et de  $C$ .

$$\tau \times \frac{du_C}{dt} + u_C = E$$

**Q3.** Vérifier que la fonction  $u_C(t) = E \times \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$  est solution de cette équation différentielle et qu'elle satisfait à la condition imposée à la date  $t = 0$  s.

**Q4.** Montrer que la valeur de  $u_C$  à l'instant  $\tau$  est approximativement :  $u_C(\tau) = 0,63 \times E$ .

## 2. Modélisation de la mesure de la teneur en eau d'un sol argileux

La mesure du temps caractéristique du circuit RC permet d'accéder à la valeur de la teneur en eau du sol. Cette mesure est réalisée à l'aide d'un microcontrôleur connecté au circuit RC décrit ci-dessus. Il permet entre autres :

- de commander des alternances charge – décharge du condensateur ;
- de mesurer la tension aux bornes du condensateur ;
- d'afficher, après calcul, la valeur de la teneur en eau.

Pour déterminer le temps caractéristique du circuit RC, on enregistre l'évolution temporelle de la tension aux bornes du condensateur à l'aide du microcontrôleur ; celui-ci relève 52 000 valeurs de la tension par seconde.

Pour que la mesure soit suffisamment précise, on doit disposer d'au moins 10 valeurs de tension aux bornes du condensateur avant d'atteindre le temps caractéristique du circuit RC.

**Q5.** Montrer que le temps caractéristique  $\tau$  du circuit RC doit être au minimum de l'ordre de 200  $\mu$ s.

Le condensateur possède les caractéristiques géométriques suivantes :  $S = 1,0 \times 10^{-1} \text{ m}^2$  et  $d = 1,0 \times 10^{-2} \text{ m}$ . La valeur de la résistance  $R$  du circuit est  $R = 2,2 \times 10^5 \Omega$ .

**Q6.** À l'aide de la contrainte sur le temps caractéristique  $\tau$  du circuit RC, déterminer la teneur minimale en eau d'un sol argileux qu'il est possible de mesurer avec ce dispositif.

*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.*

Le microcontrôleur réalise un traitement automatique des données s'appuyant sur un programme, écrit en langage Python, dont une partie est donnée ci-dessous :

```
1 # Arrosage automatique pour un sol argileux
2 E = 5.0
3 tension = 0                                # définition de la tension aux bornes du condensateur
4 t_i = time.time()                          # définition de l'instant initial

5 while tension <            # boucle et condition
6 float tension = analogRead(A0) * (5.0 / 1023.0) # transforme la mesure du microcontrôleur en tension

7 t_f = time.time()                          # mesure de l'instant final
8 tau = t_f - t_i
9 print("valeur de tau en ms :", tau)        # affichage d'une valeur sur l'écran
```

La commande « while » associée à une condition permet de créer une boucle qui répète la liste d'instructions qui suit, tant que la condition est satisfaite.

**Q7.** Indiquer l'objectif final de cet extrait de programme.

**Q8.** Recopier la ligne 5 du programme sur la copie et compléter la condition sur la valeur de la tension aux bornes du condensateur.

Le détecteur est inséré dans un sol argileux. Dans ce type de sol, la teneur en eau doit être comprise entre 24 % et 38 % pour qu'une plante puisse y avoir une croissance normale.

Le programme renvoie le résultat suivant :

```
valeur de tau en ms : 0,28676887987
```

**Q9.** Déterminer si la teneur en eau mesurée dans ce sol argileux est suffisante pour y assurer une croissance normale d'une plante.

Depuis décembre 2019, le Parc Zoologique de Paris accueille un requin bambou. Il vit dans un aquarium qui cherche à reproduire l'environnement naturel de cette espèce.

Cet aquarium, dit récifal, est un bac marin destiné à héberger un écosystème très riche : coraux, crustacés et nombreux poissons tous originaires des eaux peu profondes des côtes de Madagascar. Cet écosystème est complexe et fragile. Plusieurs paramètres sont à contrôler pour maintenir l'équilibre du milieu et assurer le bien-être des différentes espèces vivantes qui y cohabitent.



Aquarium récifal MHN- F.-G. Grandin

Le but de cet exercice est d'étudier l'influence de certains de ces paramètres, pH et salinité, ainsi que des méthodes de traitement de l'eau.

### Données à 25 °C :

- couples acide/base associés au dioxyde de carbone dissous (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O)(aq) :  
 (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O)(aq)/HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>(aq) : pK<sub>A1</sub> = 6,4 ;  
 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>(aq)/CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>(aq) : pK<sub>A2</sub> = 10,3 ;
- masse molaire atomique de l'ion chlorure : M(Cl<sup>-</sup>) = 35,5 g·mol<sup>-1</sup> ;

- conductivités molaires ioniques :

Ion	Ag <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>
λ (mS·m <sup>2</sup> ·mol <sup>-1</sup> )	6,19	7,14	5,01	7,63

- numéros atomiques et électronégativités :

	Hydrogène	Carbone	Oxygène
Z (numéro atomique)	1	6	8
χ (électronégativité)	2,20	2,55	3,44

## 1. Régulation de l'acidité

Dans un aquarium, le pH de l'eau est une grandeur à surveiller. Sa valeur doit rester proche d'une valeur optimale qui dépend des espèces vivantes présentes. Pour l'aquarium récifal, le pH optimal vaut 8,1. En journée, la photosynthèse végétale augmente naturellement le pH, qui diminue ensuite pendant la nuit. Les différentes espèces vivantes de l'aquarium peuvent s'acclimater à des variations de la valeur du pH si elles restent faibles.

1.1. Indiquer ce qui peut être mis en œuvre si la valeur du pH devient trop élevée dans l'aquarium.

On peut considérer que l'eau de l'aquarium se comporte comme une solution tampon.

1.2. Citer les propriétés d'une solution tampon. Justifier l'utilisation d'une telle solution dans l'aquarium récifal.

Un diffuseur permet de réguler précisément la valeur du pH de l'aquarium en injectant au besoin du dioxyde de carbone à l'état gazeux dans l'aquarium.

Le dioxyde de carbone, CO<sub>2</sub>(g), se dissout faiblement dans l'eau de l'aquarium. Il devient du dioxyde de carbone dissous (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O)(aq) qui peut se dissocier partiellement en ions hydrogénocarbonate HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>(aq) et en ions carbonate CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>(aq).



Diffuseur de CO<sub>2</sub>  
 (<http://www.aquarium-aquariophilie.com>)

Le schéma de Lewis de la molécule de dioxyde de carbone et celui de la molécule d'eau sont donnés ci-dessous.

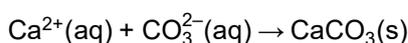
Molécule	$\text{O}=\text{C}=\text{O}$	$\text{H}-\text{O}-\text{H}$
Structure spatiale	linéaire	coudée

1.3. En s'appuyant notamment sur les électronégativités des atomes, justifier la faible solubilité du dioxyde de carbone dans l'eau.

1.4. Indiquer, parmi les espèces acido-basiques associées au dioxyde de carbone dissous, celles qui sont des acides de Brönsted et celles qui sont des bases de Brönsted.

1.5. En précisant la démarche suivie, indiquer, parmi les espèces acido-basiques associées au dioxyde de carbone dissous, celle(s) qui prédomine(nt) dans l'aquarium récifal.

Le squelette et la coquille des coraux sont constitués de calcaire, c'est-à-dire de carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3(\text{s})$ , qui se forme suivant une transformation modélisée par l'équation de réaction suivante :



1.6. Expliquer pourquoi l'utilisation d'un diffuseur de  $\text{CO}_2$  dans l'aquarium peut freiner la formation du squelette et de la coquille des coraux.

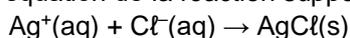
## 2. Contrôle de la salinité

Dans un aquarium, on trouve notamment des ions chlorure  $\text{Cl}^-(\text{aq})$  ainsi que des cations comme les ions sodium  $\text{Na}^+(\text{aq})$ .

La salinité de l'eau d'un aquarium est assimilée à la concentration en masse en ion chlorure  $\text{Cl}^-(\text{aq})$ . Celle de l'aquarium récifal doit être comprise entre 19,3 et 19,6  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ .

Pour contrôler la salinité de l'eau de l'aquarium étudié, on se propose de réaliser le titrage des ions chlorure. Pour cela, on prélève de l'eau de l'aquarium que l'on dilue d'un facteur 10, puis on titre 10,0 mL de cette solution à laquelle on a ajouté 200 mL d'eau distillée, par une solution de nitrate d'argent ( $\text{Ag}^+(\text{aq}) ; \text{NO}_3^-(\text{aq})$ ) de concentration égale à  $5,00 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ .

Le titrage est suivi par conductimétrie. L'équation de la réaction support du titrage est :



On obtient la courbe de suivi du titrage de la figure 1.

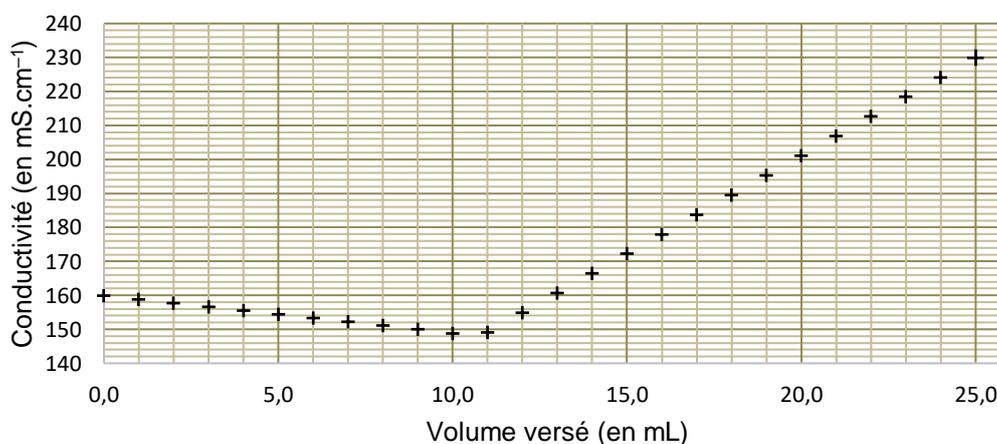


Figure 1. Conductivité de la solution en fonction du volume de solution de nitrate d'argent versé

2.1. Justifier qualitativement l'évolution de la pente de la courbe lors du titrage.

2.2. Indiquer si un traitement de l'eau est nécessaire à l'issue du contrôle de la salinité.

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.

### 3. Traitement des poissons contre les vers

L'aquarium récifal peut être infesté par différents types de vers qui parasitent les intestins, les branchies ou la peau des poissons. Pour assurer une élimination chimique de ces vers, les poissons doivent être momentanément placés dans un bassin de quarantaine dans lequel est ajouté un vermifuge.

Le praziquantel est une espèce chimique qui entre dans la composition d'un vermifuge utilisé en aquariophilie, vendu en animalerie en solution liquide, de concentration en masse de  $10,0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ .

En 2010, un procédé de synthèse du praziquantel impliquant trois étapes a été proposé, ce qui le rend plus éco-responsable et moins onéreux. L'étape 1 conduisant à l'obtention de la molécule **A** n'est pas présentée ici.

3.1. L'étape 2, représentée ci-dessous, permet de transformer les réactifs **A** ( $\text{C}_9\text{H}_9\text{N}$ ), **B**, **C** et **D** ( $\text{C}_4\text{H}_{11}\text{O}_2\text{N}$ ) en produit **E** ( $\text{C}_{21}\text{H}_{32}\text{O}_4\text{N}_2$ ) et produit **F**.

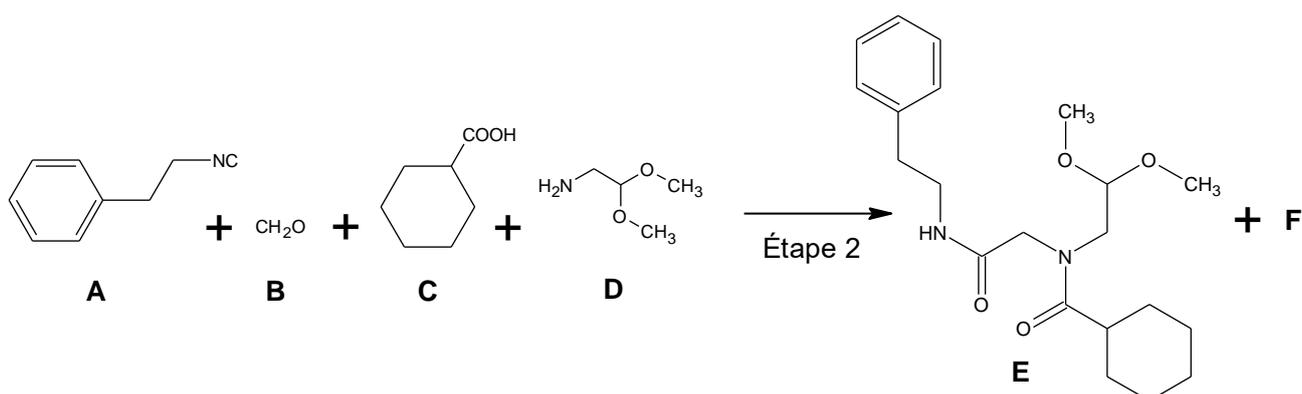
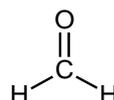


Figure 2. Équation de la réaction modélisant la transformation chimique de l'étape 2

La formule développée du réactif **B** est représentée ci-contre :



3.1.1. Justifier que la molécule **B** se nomme méthanal en nomenclature officielle.

3.1.2. Donner la formule semi-développée, puis brute du réactif **C**.

3.1.3. Déterminer le produit **F** formé à l'issue de l'étape 2 en s'appuyant sur les formules brutes des espèces chimiques mises en jeu.

La synthèse de 40,9 g de la molécule **E** nécessite 0,110 mol de chacun des réactifs **A**, **B**, **C** et **D**. La masse molaire moléculaire de **E** est  $M(\text{E}) = 376,5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

3.1.4. Déterminer le rendement de l'étape 2.

3.2. L'étape 3 permettant de synthétiser le praziquantel nécessite l'utilisation de l'acide méthylsulfonique, noté AMS. Cette étape comporte quatre opérations décrites ci-dessous.

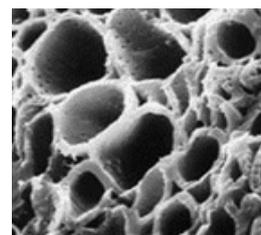
- 30,0 g de **E** sont ajoutés à 104,0 mL d'AMS puis l'ensemble est chauffé pendant 6 heures à  $70^\circ\text{C}$ . La solution obtenue est versée dans de l'eau glacée ajustée à un pH égal à 8 avec une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium.
- La solution est extraite quatre fois avec de l'éther diéthylique.
- La phase organique est lavée par 100 mL d'une solution aqueuse salée saturée. La phase organique est ensuite séchée. Après évaporation de l'éther diéthylique, on obtient un solide jaune.
- Ce résidu est recristallisé dans un mélange équimolaire d'acétate d'éthyle et d'hexane. On obtient un solide blanc.

**3.2.1.** Associer à chacune des opérations **a.** et **c.** du protocole un ou plusieurs des mots suivants :  
dissolution – séparation – purification – transformation chimique

**3.2.2.** Nommer une méthode d'identification possible pour le solide obtenu.

#### 4. Prévention des infections

Un aquariophile traite de manière préventive son aquarium contre les infections. Pour cela, il utilise une solution aqueuse antiseptique de bleu de méthylène. Le bleu de méthylène ( $C_{16}H_{18}CN_3S$ ) est un colorant faiblement biodégradable, de couleur bleue foncée. L'excès de bleu de méthylène est éliminé par des « filtres » à charbon actif.



Vue au microscope électronique des pores d'un grain de charbon actif

Le charbon actif est une poudre noire dont les pores, observables au microscope électronique, permettent notamment de fixer et retenir des molécules organiques. C'est le phénomène d'adsorption.

La capacité d'adsorption du charbon actif peut être évaluée à l'aide d'un dosage par étalonnage en suivant le protocole expérimental suivant :

- tracer la courbe d'étalonnage de l'absorbance, à  $\lambda = 650$  nm, pour des solutions étalon de bleu de méthylène ;
- mesurer l'absorbance d'un échantillon d'eau polluée en bleu de méthylène ;
- prélever un volume  $V$  de 50,0 mL d'eau polluée et y ajouter 100,0 mg de charbon actif ;
- agiter le mélange puis filtrer ;
- mesurer l'absorbance de la solution filtrée après traitement au charbon actif.

**4.1.** Justifier l'intérêt de l'étape de filtration.

*Pour les questions suivantes, 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.*

On applique le protocole précédent et on obtient les résultats suivants :

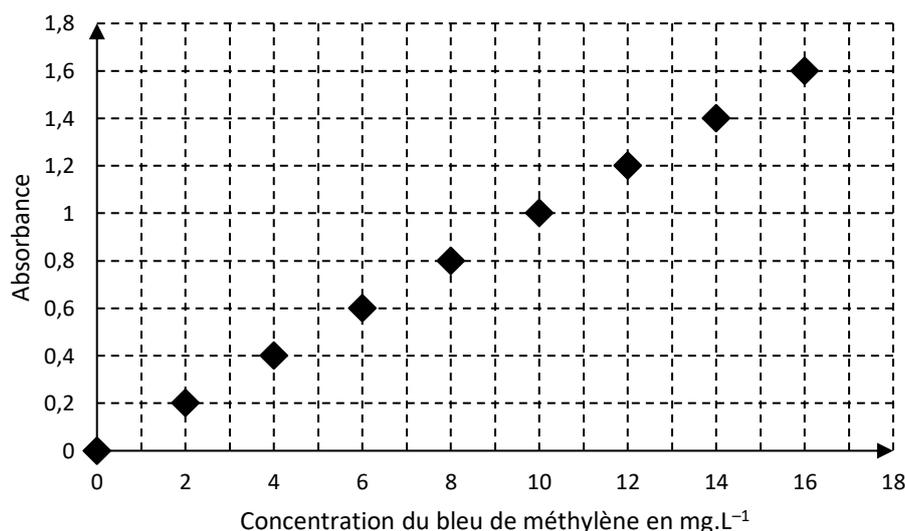


Figure 3. Absorbance en fonction de la concentration en bleu de méthylène, à  $\lambda = 650$  nm

Les valeurs d'absorbance obtenues avant et après traitement de l'eau de l'aquarium pour éliminer l'excès de bleu de méthylène sont  $A_{polluée} = 1,5$  et  $A_{traitée} = 0,2$ .

**4.2.** Montrer que la masse  $m_a$  de colorant adsorbée par gramme de charbon actif est voisine de 7 mg.

**4.3.** Sachant qu'un traitement préventif de l'aquarium, de volume  $V = 8\,000$  L, nécessite 1 à 2 mg de bleu de méthylène par litre d'eau, calculer la masse de charbon actif nécessaire afin de réaliser le traitement pour cet aquarium récifal. Commenter.