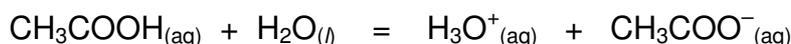
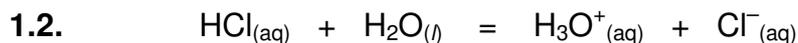


**EXERCICE I : À PROPOS DES ACIDES CHLORHYDRIQUE ET ETHANOÏQUE**

Polynésie 2008

Correction © <http://labolycee.org>**1. Mickaël s'interroge à propos des acides...**1.1. Un acide selon Brønsted est une espèce chimique capable de céder un proton  $H^+$ .**2. Mickaël réfléchit à l'interprétation de ces résultats...**

2.1.  $[H_3O^+_{(aq)}]_{\text{éq}} = 10^{-pH}$

Acide chlorhydrique :  $[H_3O^+_{(aq)}]_{\text{éq}} = 10^{-2,0} = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$

Acide éthanoïque :  $[H_3O^+_{(aq)}]_{\text{éq}} = 10^{-3,4} = 4,0 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$

## 2.2.1.

Équation de la réaction		$HA_{(aq)} +$	$H_2O_{(l)} =$	$H_3O^+_{(aq)} +$	$A^-_{(aq)}$
État	Avancement	$n(HA)$ en mol	$n(H_2O)$ en mol	$n(H_3O^+)$ en mol	$n(A^-)$ en mol
Initial	0	$c \cdot V$	Excès	0	0
En cours	$x$	$c \cdot V - x$	Excès	$x$	$x$
Final	$x_f$	$c \cdot V - x_f$	Excès	$x_f$	$x_f$
final si totale	$x_{\text{max}}$	$c \cdot V - x_{\text{max}} = 0$	Excès	$x_{\text{max}}$	$x_{\text{max}}$

2.2.2.  $\tau = \frac{x_f}{x_{\text{max}}} = \frac{n(H_3O^+)_{\text{éq}}}{x_{\text{max}}} = \frac{10^{-pH} \cdot V}{c \cdot V} = \frac{10^{-pH}}{c}$

2.3. Solution  $S_1$  :  $\tau = \frac{1,0 \cdot 10^{-2}}{1,00 \cdot 10^{-2}} = 1,0$

Solution  $S_2$  :  $\tau = \frac{10^{-3,4}}{1,00 \cdot 10^{-2}} = 4,0 \times 10^{-2}$

La réaction entre l'acide chlorhydrique et l'eau est totale ( $\tau = 1$ ), par contre celle entre l'acide éthanoïque et l'eau est très limitée ( $\tau \ll 1$ ).

**3. Mickaël veut connaître le comportement des solutions par rapport à la dilution.**3.1. Solution mère :  $C_0, V_0$ Solution fille :  $C, V = 100 \text{ mL}$ On veut diluer 10 fois la solution, soit  $C = C_0/10$ Au cours d'une dilution la quantité de matière de soluté se conserve :  $C \cdot V = C_0 \cdot V_0$ On a donc  $V_0 = V / 10 = 10,0 \text{ mL}$ 

À l'aide d'une **pipette jaugée de 10,0 mL** munie d'un pipeteur, on prélève le volume  $V_0$  de la solution mère que l'on verse dans une **fiolle jaugée de 100 mL**. On ajoute de l'eau distillée au 2/3 environ et on agite. On complète ensuite avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

3.2. Calculons la concentration des ions oxonium après dilution pour chaque solution.  
 $[H_3O^+_{(aq)}]_{\text{éq}} = 10^{-pH}$ 

Solution  $S_1$  diluée :  $[H_3O^+_{(aq)}]_{\text{éq}} = 10^{-3,0} = 1,0 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$

Solution  $S_2$  diluée :  $[H_3O^+_{(aq)}]_{\text{éq}} = 10^{-3,9} = 1,3 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$

Dans la solution  $S_1$ , après dilution, la concentration des ions oxonium a bien été divisée par 10, ce qui n'est pas le cas pour la solution  $S_2$ .

3.3. L'expression obtenue en 2.2.2. reste valable.  $\tau = \frac{10^{-pH}}{c}$

Après dilution  $\tau = \frac{10^{-3,9}}{10^{-3}} = 0,13$  ( $> 4,0 \cdot 10^{-2}$  avant dilution)

La valeur de  $\tau$  a augmenté, donc déplacement de l'équilibre dans le **sens direct**.

#### 4. Mickaël découvre une relation entre les concentrations d'espèces chimiques

4.1. D'après l'équation de la réaction  $[\text{CH}_3\text{COO}^-]_{\text{éq}} = [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}} = 10^{-pH}$

D'après la conservation de la matière :  $[\text{CH}_3\text{COOH}]_{\text{ini}} = [\text{CH}_3\text{COOH}]_{\text{éq}} + [\text{CH}_3\text{COO}^-]_{\text{éq}}$   
 $c = [\text{CH}_3\text{COOH}]_{\text{éq}} + [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}$

Ainsi  $[\text{CH}_3\text{COOH}]_{\text{éq}} = c - 10^{-pH}$

$$\frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]_{\text{éq}} \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}}{[\text{CH}_3\text{COOH}]_{\text{éq}}} = \frac{(10^{-pH})^2}{c - 10^{-pH}}$$

$$\frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]_{\text{éq}} \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}}{[\text{CH}_3\text{COOH}]_{\text{éq}}} = \frac{(10^{-3,4})^2}{1,00 \cdot 10^{-2} - 10^{-3,4}} = 1,7 \times 10^{-5}$$

4.2. Cette valeur caractéristique du couple  $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})}/\text{CH}_3\text{COO}^-_{(\text{aq})}$  est la **constante d'acidité, notée Ka**.

#### 5. Mickaël et le vinaigre

5.1.1.  $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})} + \text{HO}^-_{(\text{aq})} = \text{CH}_3\text{COO}^-_{(\text{aq})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$

5.1.2. Une réaction support de titrage doit être **rapide** et **totale**.

5.2. À l'équivalence les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques :

$n_{\text{Acide initiale}} = n_{\text{base versée}}$

$$c_1 \cdot V_1 = c_B \cdot V_{BE} \quad \text{soit} \quad c_1 = \frac{c_B \cdot V_{BE}}{V_1}$$

$$c_1 = \frac{0,100 \times 23,8}{20,0} = 0,119 \text{ mol.L}^{-1}$$

5.3.1.  $c_0 = 10 \cdot c_1$   **$c_0 = 1,19 \text{ mol.L}^{-1}$**

5.3.2.  $m_a = n_0 \cdot M = c_0 \cdot V \cdot M$

$$m_a = 1,19 \times 1,00 \times 60,0 = 71,4 \text{ g}$$

$$5.3.3. \rho_A = \frac{m_a}{V_a} \quad \text{soit} \quad V_a = \frac{m_a}{\rho_a} \quad V_a = \frac{71,4}{1,05} = 68,0 \text{ mL}$$

$$5.3.4. \frac{m_a}{\text{masse de 1 L de vinaigre}} = \frac{m_a}{\rho_v \cdot V} = \frac{71,4}{1,02 \times 1,00 \times 10^3} = 7,00 \times 10^{-2} = 7,00 \%$$

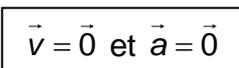
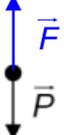
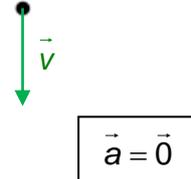
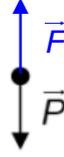
$$\frac{V_a (\text{mL})}{1000} = \frac{68,0}{1000} = 6,80 \%$$

La formule  $\frac{m_a}{\text{masse de 1 L de vinaigre}}$  semble mieux convenir, cependant l'écart entre les deux pourcentages d'acidité étant très faible, cette conclusion serait un peu hâtive.

5.4.  $\text{pH}_E = 8,4$  or la zone de virage de l'indicateur coloré doit encadrer le pH à l'équivalence, Mickaël doit utiliser la **phénolphaléine** pour son titrage colorimétrique.

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

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.

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).			2 <sup>e</sup> loi de Newton : $\Sigma \vec{F}_{ext} = m \cdot \vec{a}$ $\vec{F} + \vec{P} = m \cdot \vec{a}$ F > P ainsi $\vec{a}$ est orientée vers le haut.
Le survol (2).			1 <sup>ère</sup> loi de Newton, principe d'inertie. Comme $\vec{v} = Cte$ alors $\vec{P} + \vec{F} = \vec{0}$ .
La descente à vitesse constante entre (2) et (3).			1 <sup>ère</sup> loi de Newton, principe d'inertie. Comme $\vec{v} = Cte$ alors $\vec{P} + \vec{F} = \vec{0}$ .

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

2. À partir de  $t = 0$  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.

Le sky Crane n'est soumis qu'à la force poids  $\vec{P}$ , il est en mouvement de chute libre.

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.

$$\vec{P} = m \cdot \vec{a}$$

$$m \cdot \vec{g} = m \cdot \vec{a}$$

$$\vec{a} = \vec{g}$$

En projection selon les axes Ox et Oz du repère choisi et compte tenu du sens du vecteur  $\vec{g}$

schéma il vient : 
$$\vec{a} \begin{cases} a_x = g_x = 0 \\ a_z = g_z = -g \end{cases}$$

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} \text{ donc } a_x = \frac{dv_x(t)}{dt} \text{ et } a_z = \frac{dv_z(t)}{dt}$$

Ainsi en primitivant on obtient 
$$\vec{v} \begin{cases} v_x(t) = Cte_1 \\ v_z(t) = -g.t + Cte_2 \end{cases}$$

On détermine les constantes avec les conditions initiales.

Coordonnées du vecteur vitesse initiale  $\vec{v}_0$  : 
$$\vec{v}_0 \begin{cases} v_{0x} = v_0 \cdot \cos \alpha \\ v_{0z} = v_0 \cdot \sin \alpha \end{cases}$$

Compte tenu du vecteur vitesse initiale  $\vec{v}_0 = \vec{v}(t=0)$  on a :

$$v_0 \cdot \cos \alpha = Cte_1$$
  

$$v_0 \cdot \sin \alpha = 0 + Cte_2$$

Finalement : 
$$\vec{v} \begin{cases} v_x(t) = v_0 \cdot \cos \alpha \\ v_z(t) = -g.t + v_0 \cdot \sin \alpha \end{cases}$$

À chaque instant  $\vec{v} = \frac{d\vec{OM}}{dt}$  donc 
$$v_x = \frac{dx(t)}{dt} \text{ et } v_z = \frac{dz(t)}{dt}$$

En primitivant on obtient 
$$\vec{OM} \begin{cases} x(t) = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t + Cte_3 \\ z(t) = -\frac{1}{2}g.t^2 + v_0 \cdot \sin \alpha \cdot t + Cte_4 \end{cases}$$

Conditions initiales, à  $t = 0$  s, le SkyCrane est au point de coordonnées  $(x(0) = 0; z(0) = H)$  donc :

$$0 + Cte_3 = 0$$
  

$$0 + 0 + Cte_4 = H$$

Finalement, on obtient les équations horaires 
$$\vec{OM} \begin{cases} x(t) = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t \\ z(t) = -\frac{1}{2}g.t^2 + v_0 \cdot \sin \alpha \cdot t + H \end{cases}$$

**4. Montrer que l'équation de la trajectoire du Sky Crane s'écrit** 
$$z(x) = -\frac{1}{2}g \cdot \frac{x^2}{v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} + \tan \alpha \cdot x + H$$

$$t = \frac{x(t)}{v_0 \cdot \cos \alpha}$$

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

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

Il s'agit d'une trajectoire de type parabolique.

**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.**

Déterminons l'abscisse x du point d'ordonnée z = 0.

$$0 = -\frac{1}{2}g \cdot \frac{x^2}{v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} + \tan \alpha \cdot x + H$$

$$\frac{1}{2}g \cdot \frac{x^2}{v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} - \tan \alpha \cdot x - H = 0$$

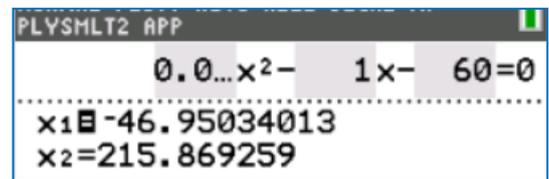
$$\frac{1}{2} \times 3,7 \times \frac{x^2}{25,0^2 \cdot \cos^2 45,0} - \tan 45,0 \times x - 60,0 = 0$$

$$5,92 \times 10^{-3} \cdot x^2 - x - 60,0 = 0$$

Tutoriel pour résoudre une équation du second degré avec une TI <http://acver.fr/ti2nddeg>

On ne retient que la solution positive, on trouve  $x = 2,2 \times 10^2 \text{ m} > 200 \text{ m}$ .

Le Sky Crane atteint bien la distance de sécurité.



PLYSMLT2 APP

$$0.0...x^2 - 1x - 60 = 0$$

---

x1 = -46.95034013  
x2 = 215.869259

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

1.1. Selon, Brönsted, un acide est une espèce chimique capable de céder un proton  $H^+$ . 0,25

1.2. Couple acide/base 0,25  
 $H_2A^+$  acide /  $HA$  base conjuguée  
 $HA$  acide /  $A^-$  base conjuguée

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

2.1.  $HA_{(aq)} + H_2O_{(l)} = A^-_{(aq)} + H_3O^+$  0,25

2.2.  $K = \frac{[A^-_{(aq)}]_{\text{éq}} \cdot [H_3O^+_{(aq)}]_{\text{éq}}}{[HA_{(aq)}]_{\text{éq}}}$  0,25

Cette constante d'équilibre est appelée **constante d'acidité** du couple  $HA_{(aq)}/A^-_{(aq)}$  et est notée  $K_A$ .

$K_A = 10^{-pK_A}$  soit ici  $K_{A2} = 10^{-pK_{A2}}$   
 **$K_{A2} = 10^{-7}$**

2.3.  $K = K_{A2} = \frac{[A^-_{(aq)}]_{\text{éq}} \cdot [H_3O^+_{(aq)}]_{\text{éq}}}{[HA_{(aq)}]_{\text{éq}}}$

donc  $\frac{[A^-_{(aq)}]_{\text{éq}}}{[HA_{(aq)}]_{\text{éq}}} = \frac{K_{A2}}{[H_3O^+]_{\text{éq}}}$

$\frac{[A^-_{(aq)}]_{\text{éq}}}{[HA_{(aq)}]_{\text{éq}}} = \frac{10^{-pK_{A2}}}{10^{-pH}}$

$\frac{[A^-_{(aq)}]_{\text{éq}}}{[HA_{(aq)}]_{\text{éq}}} = 10^{pH - pK_{A2}}$

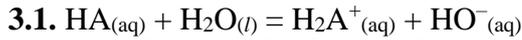
$\frac{[A^-_{(aq)}]_{\text{éq}}}{[HA_{(aq)}]_{\text{éq}}} = 10^{10-7} = 10^3$  0,25

2.4.  $[A^-_{(aq)}]_{\text{éq}} = 10^3 \cdot [HA_{(aq)}]_{\text{éq}}$

$[A^-_{(aq)}]_{\text{éq}} > [HA_{(aq)}]_{\text{éq}}$  donc  $A^-_{(aq)}$  **prédomine** par rapport à  $HA_{(aq)}$ .

La solution est colorée en **bleu**. 0,25

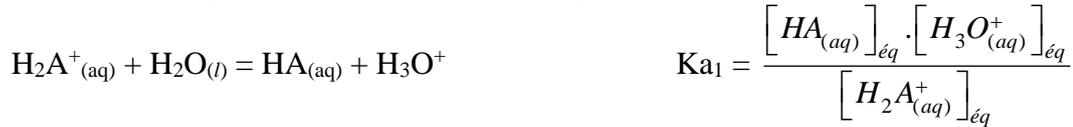
### 3. COMPORTEMENT DE HA EN TANT QUE BASE.



0,25

3.2. 
$$K' = \frac{[H_2A^+_{(aq)}]_{\acute{e}q} \cdot [HO^-_{(aq)}]_{\acute{e}q}}{[HA_{(aq)}]_{\acute{e}q}}$$

Pour écrire l'expression de  $Ka_1$ , écrivons l'équation de la réaction entre l'acide  $H_2A^+$  et la base  $H_2O$ :

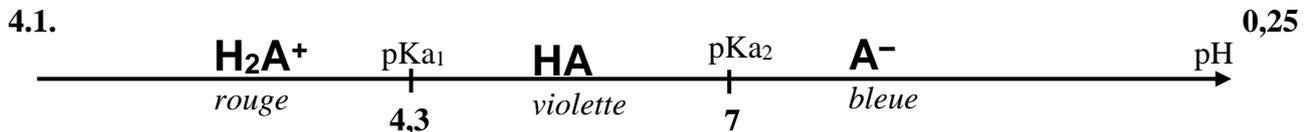


$$K' \cdot Ka_1 = \frac{[H_2A^+_{(aq)}]_{\acute{e}q} \cdot [HO^-_{(aq)}]_{\acute{e}q}}{[HA_{(aq)}]_{\acute{e}q}} \cdot \frac{[HA_{(aq)}]_{\acute{e}q} \cdot [H_3O^+]_{\acute{e}q}}{[H_2A^+_{(aq)}]_{\acute{e}q}} = [H_3O^+_{(aq)}] \cdot [HO^-_{(aq)}]$$

$K' \cdot Ka_1 = Ke$

Ainsi  $K' = \frac{Ke}{Ka_1}$  0,25

### 4. CONCLUSION : COULEUR DES HORTENSIAS.



4.2. La nature du sol impose le pH de la solution aqueuse absorbée par les plantes, elle impose donc le pH dans les pétales.

La couleur des fleurs est liée à l'espèce prédominante qui dépend du pH.

0,25

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

## 1. Détecteur optique de fumées

$$1.1. E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$$

$$\lambda = h \frac{c}{E}$$

$\lambda = 6,63 \times 10^{-34} \times \frac{3,00 \times 10^8}{1,4 \times 1,6 \times 10^{-19}} = 8,9 \times 10^{-7} \text{ m} = 8,9 \times 10^2 \text{ nm} > 800 \text{ nm}$  ce qui correspond à un rayonnement infrarouge.

1.2. Dans le cas des ondes électromagnétiques, le phénomène de **diffraction** de la lumière peut se produire lorsqu'elle rencontre des obstacles de taille allant jusqu'à  $a = 100 \cdot \lambda$ .

La longueur d'onde du rayonnement émis par la DEL vaut  $\lambda = 8,9 \times 10^2 \text{ nm} = 0,89 \text{ }\mu\text{m}$ .

Ainsi il y a diffraction pour des particules de taille allant jusqu'à  $89 \text{ }\mu\text{m}$ .

Ce qui est le cas avec les particules de fumée dont la taille est comprise entre  $0,1 \text{ }\mu\text{m}$  et  $100 \text{ }\mu\text{m}$ .

1.3. La figure 1 montre que la DEL émettrice n'est pas placée face au récepteur photosensible. De plus les parois de la cavité absorbent le rayonnement IR. Seule la présence de fumées en diffractant la lumière vers le récepteur permet de déclencher l'alarme.

## 2. Détecteur ionique de fumées

2.1. Poids de la particule  $\alpha$  :  $P = m_\alpha \cdot g$

$$P = 6,64 \times 10^{-27} \times 9,81 = 6,51 \times 10^{-26} \text{ N}$$

Force électrostatique :  $F_e = q_\alpha \cdot E = 2e \cdot \frac{U}{d}$

$$F_e = 2 \times 1,6 \times 10^{-19} \times \frac{9,0}{3,0 \times 10^{-2}} = 9,6 \times 10^{-17} \text{ N}$$

On vérifie que la force électrique est très largement supérieure à la force poids.

2.2. Dans un condensateur plan, le champ électrique  $\vec{E}$  a une direction perpendiculaire aux plaques, et un sens orienté vers la plaque chargée négativement.

Pour la force électrostatique, comme  $\vec{F}_e = 2 \cdot e \cdot \vec{E}$ , elle possède les mêmes sens et direction que  $\vec{E}$ .

*Remarque :  $\vec{E}$  et  $\vec{F}_e$  sont représentés sans soucis d'échelle, et chaque vecteur possède sa propre échelle.*

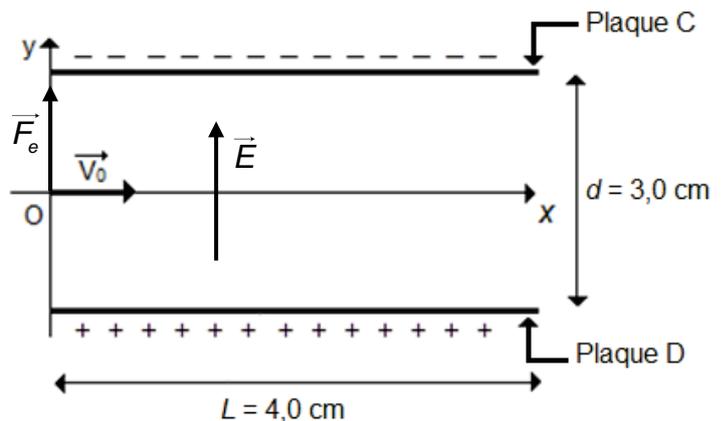
2.3. On applique la **deuxième loi de Newton** au système {particule  $\alpha$ }, dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

$$\vec{F}_e = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{dm_\alpha \cdot \vec{v}}{dt} = \frac{dm_\alpha}{dt} \cdot \vec{v} + m_\alpha \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} \text{ comme } m_\alpha = \text{Cte alors } \frac{dm_\alpha}{dt} = 0$$

$$\text{et il vient } \vec{F}_e = m_\alpha \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} = m_\alpha \cdot \vec{a}$$

$$2 \cdot e \cdot \vec{E} = m_\alpha \cdot \vec{a}$$

$$\vec{a} = \frac{2 \cdot e \cdot \vec{E}}{m_\alpha}$$



Le vecteur accélération a même sens et même direction que le vecteur champ  $\vec{E}$ .

Par projection suivant les axes du repère, on obtient  $\vec{a} \begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = \frac{2.e.E}{m_\alpha} = \frac{2.e.U}{m_\alpha.d} \end{cases}$

Comme  $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$ , en primitivant on obtient  $\vec{v} \begin{cases} v_x = 0 + C_1 \\ v_y = \frac{2.e.U}{m_\alpha.d}.t + C_2 \end{cases}$  où  $C_1$  et  $C_2$  sont des constantes

d'intégration qui dépendent des conditions initiales.

À  $t = 0$ ,  $\vec{v}_0 \begin{cases} v_{0x} = v_0 \\ v_{0y} = 0 \end{cases}$ , on en déduit que  $C_1 = v_0$  et  $C_2 = 0$ .

Donc  $\vec{v} \begin{cases} v_x = v_0 \\ v_y = \frac{2.e.U}{m_\alpha.d}.t \end{cases}$

Soit G le centre d'inertie de la particule  $\alpha$ ,  $\vec{v} = \frac{d\vec{OG}}{dt}$  donc  $\vec{OG} \begin{cases} x = v_0.t + C_3 \\ y = \frac{2.e.U}{2.m_\alpha.d}.t^2 + C_4 \end{cases}$ ,

ainsi  $\vec{OG} \begin{cases} x = v_0.t + C_3 \\ y = \frac{e.U}{m_\alpha.d}.t^2 + C_4 \end{cases}$ .

À  $t = 0$ , le point G est confondu avec l'origine du repère  $\vec{OG} \begin{cases} x = 0 \\ y = 0 \end{cases}$ , on en déduit que

$C_3 = C_4 = 0$ .

Ainsi  $\vec{OG} \begin{cases} x = v_0.t & (1) \\ y = \frac{e.U}{m_\alpha.d}.t^2 & (2) \end{cases}$

**2.4.** D'après l'équation horaire (1),  $t = \frac{x}{v_0}$ . Avec  $x = L$ , on a  $t = \frac{L}{v_0}$ .

On remplace  $t$  par cette expression dans l'équation horaire (2) :  $y_L = \frac{e.U}{m_\alpha.d} \cdot \left(\frac{L}{v_0}\right)^2$ .

$$y_L = \frac{1,6 \times 10^{-19} \times 9,00}{6,64 \times 10^{-27} \times 3,0 \times 10^{-2}} \cdot \left(\frac{4,0 \times 10^{-2}}{1,6 \times 10^7}\right)^2 = 4,5 \times 10^{-8} \text{ m}$$

La valeur de  $y_L$  est très proche de zéro, ainsi la particule n'a quasiment pas été déviée. On peut considérer que sa trajectoire est une droite et donc que le mouvement est rectiligne.

**2.5.**  $E_C = \frac{1}{2} \cdot m_\alpha \cdot v_0^2$

$E_C = \frac{1}{2} \times 6,64 \times 10^{-27} \times (1,6 \times 10^7)^2 = 8,5 \times 10^{-13} \text{ J}$ , on convertit en électron-volt en divisant par

$1,6 \times 10^{-19}$ , ainsi  $E_C = 5,3 \times 10^6 \text{ eV} = 5,3 \text{ MeV} \gg 12 \text{ eV}$ .

Cette énergie cinétique est largement supérieure à l'énergie nécessaire pour ioniser les molécules de dioxygène.

### 3. Niveau d'intensité sonore du détecteur de fumées

Il faut déterminer si le niveau d'intensité sonore est **supérieur à 75 dB** pour la personne située dans son lit.

Déterminons la distance entre le détecteur et la personne.

Le détecteur est placé au plafond en un point P.

Le dormeur est situé en O, à 0,50 m au-dessus du sol.

*Valeur choisie arbitrairement*

Le point V est à la verticale du détecteur.

On mesure, sur la figure 4, la distance VO', en tenant compte de l'échelle.

2,6 cm → 1,60 m

6,0 cm → VO' m

$$VO' = \frac{1,60 \times 6,0}{2,6} = 3,7 \text{ m}$$

On cherche la distance PO qui sépare le dormeur du détecteur :

Dans le triangle POK, rectangle en K, le théorème de Pythagore donne  $PO^2 = KO^2 + KP^2$

Soit  $PO = \sqrt{KO^2 + KP^2}$  avec  $KO = VO'$  et  $KP = PV - OO'$

$$PO = \sqrt{3,7^2 + (2,5 - 0,5)^2}$$

La hauteur sous plafond est de  $PV = 2,5 \text{ m}$ .

$$PO = 4,2 \text{ m}$$

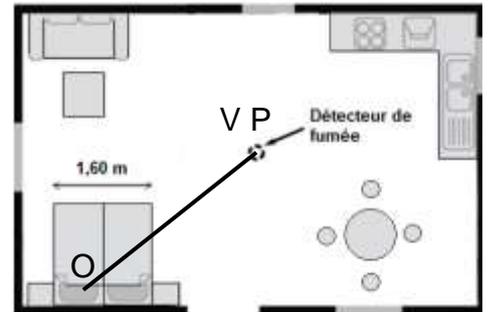
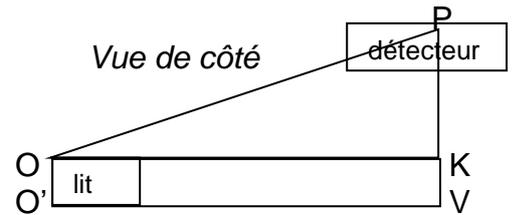
Calculons le niveau d'intensité sonore à cette distance de l'émetteur, sachant qu'à la distance  $d_1 = 3 \text{ m}$  on a  $L_1 = 85 \text{ dB}$ .

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

$$L_2 = 85 + 20 \log \left( \frac{3}{4,2} \right) = 82 \text{ dB} > 75 \text{ dB}$$

Le détecteur est bien placé.

*Remarque : on pouvait simplifier la résolution en faisant dormir la personne au niveau du sol.*

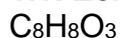


## Exercice A. ÂROME DE VANILLE (5 points ; 53 min)

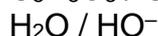
Mots-clés : couples acide/base; titrage par suivi conductimétrique; spectre UV-visible

## 1. Préparation d'une solution de référence

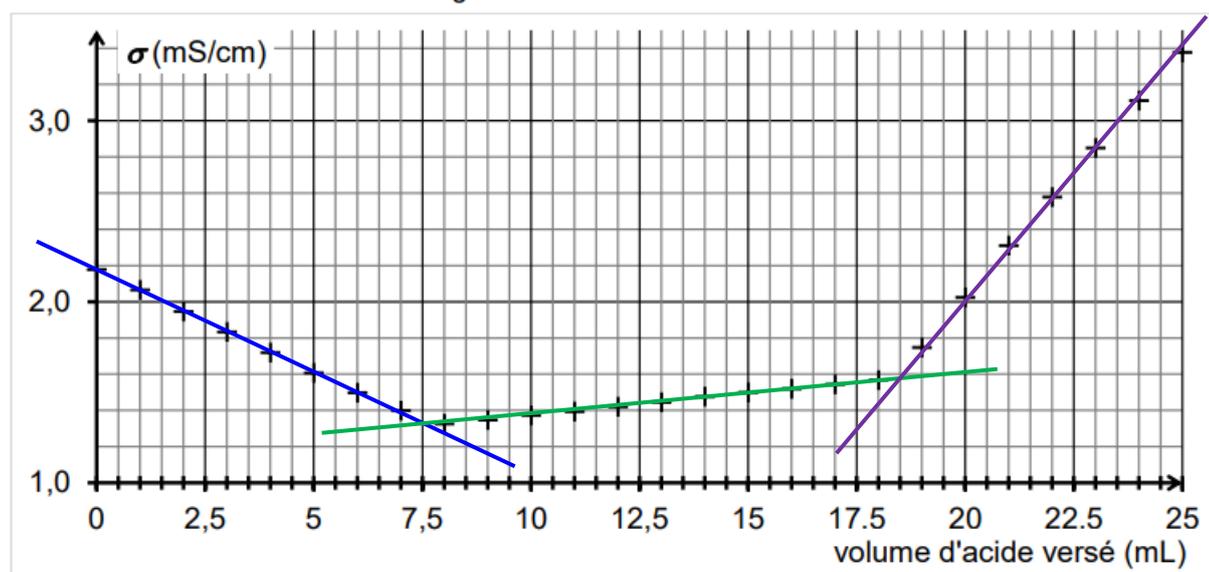
## 1.1. Écrire la formule brute de la vanilline.



## 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 obtient la courbe de suivi du titrage suivante :

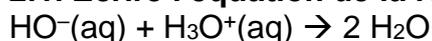


Cette courbe fait apparaître trois phases distinctes :

- 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.

On trace les segments de droite modélisant l'évolution de la conductivité.

Le volume d'acide est égal à l'abscisse du point d'intersection des deux premières demi-droites.

On lit  $V_a = 7,5 \text{ mL}$ .

## 2.3. Justifier la pente de la courbe lors de cette première phase.

La vanilline n'intervient pas.

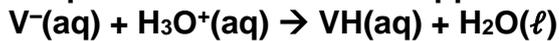
L'acide chlorhydrique a pour formule  $(\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}))$ .

Les ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  apportés sont immédiatement consommés et ils consomment les ions hydroxyde  $\text{HO}^-$ .

L'apport d'ions chlorure  $\text{Cl}^-$  de conductivité molaire ionique  $\lambda$  bien inférieure à celle des ions  $\text{HO}^-$  ne compensent pas la baisse de conductivité  $\sigma$  du milieu réactionnel.

## 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.

À chaque fois qu'un ion  $V^-$  est consommé, il apparaît un ion chlorure  $Cl^-$  apporté par l'acide chlorhydrique.

Or la conductivité  $\sigma$  augmente légèrement. Donc la conductivité molaire ionique de  $V^-$  est inférieure à celle de  $Cl^-$ .

2.5. Déterminer le volume d'acide nécessaire au seul titrage de l'ion vanillinate, en explicitant votre démarche.

On a déjà versé 7,5 mL d'acide pour consommer les ions  $HO^-$ .

La conductivité  $\sigma$  du milieu subit une rupture forte pour  $V = 18,5$  mL.

Il a fallu verser  $V_a = 18,5 - 7,5 = 11,0$  mL d'acide pour titrer les ions  $V^-$ .

2.6. En déduire la valeur de la concentration  $C_V$  en ions vanillinate dans la solution  $S_1$ .

À l'équivalence  $n_a = n_{V^-}$

$$C_a \cdot V_a = C_V \cdot V_1$$

*remarque : ne pas tenir compte des 150 mL d'eau distillée*

$$C_V = \frac{C_a \cdot V_a}{V_1}$$

$$C_V = \frac{1,0 \times 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1} \times 11,0 \text{ mL}}{20,0 \text{ mL}} = 5,5 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$$

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

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

Les solutions  $S_2$  et  $S_3$  n'absorbent pas de lumière visible (400 nm à 800 nm), ainsi elles sont incolores.

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.

Pour la solution  $S_3$ , on lit  $A_3 = 1,27$ .

Pour la solution  $S_2$ , on lit  $A_2 = 0,60$ .

D'après la loi de Beer-Lambert,  $A = k \cdot C$ .

$$\frac{A_3}{A_2} = \frac{C_{val}}{C_2} \text{ donc } C_2 = C_{val} \cdot \frac{A_2}{A_3}$$

$$C_2 = 5,3 \times 10^{-5} \times \frac{0,60}{1,27} = 2,5 \times 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$$

*Remarque : on vérifie approximativement la valeur du 2.6 car  $C_{val} = C_V / 1000$*

La solution  $S_2$  contient  $n_2 = C_2 \cdot V_2$  mole de vanilline avec  $V_2 = 250,0$  mL.

Soit une masse  $m_2 = C_2 \cdot V_2 \cdot M$

$$m_2 = 2,5 \times 10^{-5} \times 0,2500 \times 152 = 9,5 \times 10^{-4} \text{ g.}$$

Cette solution  $S_2$  a été préparée à partir de 1,0 mL d'arôme alimentaire, donc dans 1,0 L =  $1,0 \times 10^3$  mL, on aura une masse 1000 fois plus grande d'arôme.

$$m = 10^3 \times m_2$$

$$m = 10^3 \times 9,5 \times 10^{-4} = 0,95 \text{ g de vanilline}$$

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

**1. La face cachée de la Lune**

**1.1. Établir l'expression de la période de révolution  $T_L$  de la Lune autour de la Terre, puis calculer sa valeur.**

La Lune parcourt le périmètre de sa trajectoire circulaire pendant la durée  $T_L$  à la vitesse  $v$ .

$$v = \frac{2\pi \cdot d_{TL}}{T_L} \text{ donc } T_L = \frac{2\pi \cdot d_{TL}}{v}, \text{ avec } v = \sqrt{\frac{G \cdot M_T}{d_{TL}}} \text{ alors } T_L = \frac{2\pi \cdot d_{TL}}{\sqrt{\frac{G \cdot M_T}{d_{TL}}}}$$

$$T_L^2 = \frac{(2\pi \cdot d_{TL})^2}{G \cdot M_T \cdot d_{TL}}$$

$$T_L^2 = (2\pi \cdot d_{TL})^2 \cdot \frac{d_{TL}}{G \cdot M_T}$$

$$T_L^2 = (2\pi)^2 \cdot \frac{d_{TL}^3}{G \cdot M_T}$$

$$T_L = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{d_{TL}^3}{G \cdot M_T}}$$

$$T_L = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{(3,844 \times 10^5 \times 10^3)^3}{6,67 \times 10^{-11} \times 5,97 \times 10^{24}}} = 2,37 \times 10^6 \text{ s}$$

$$2 * \pi * \sqrt{\frac{(3.844E5 * 1E3)^3}{6.67E-11 * 5.97E24}} = 2.373038883E6$$

**1.2. Comparer la valeur de  $T_L$  à la période de rotation de la Lune sur elle-même  $P_L$**

La période de rotation de la Lune sur elle-même vaut 27,3 jours = 27,3x24h x 3600s = 2,36x10<sup>6</sup> s.

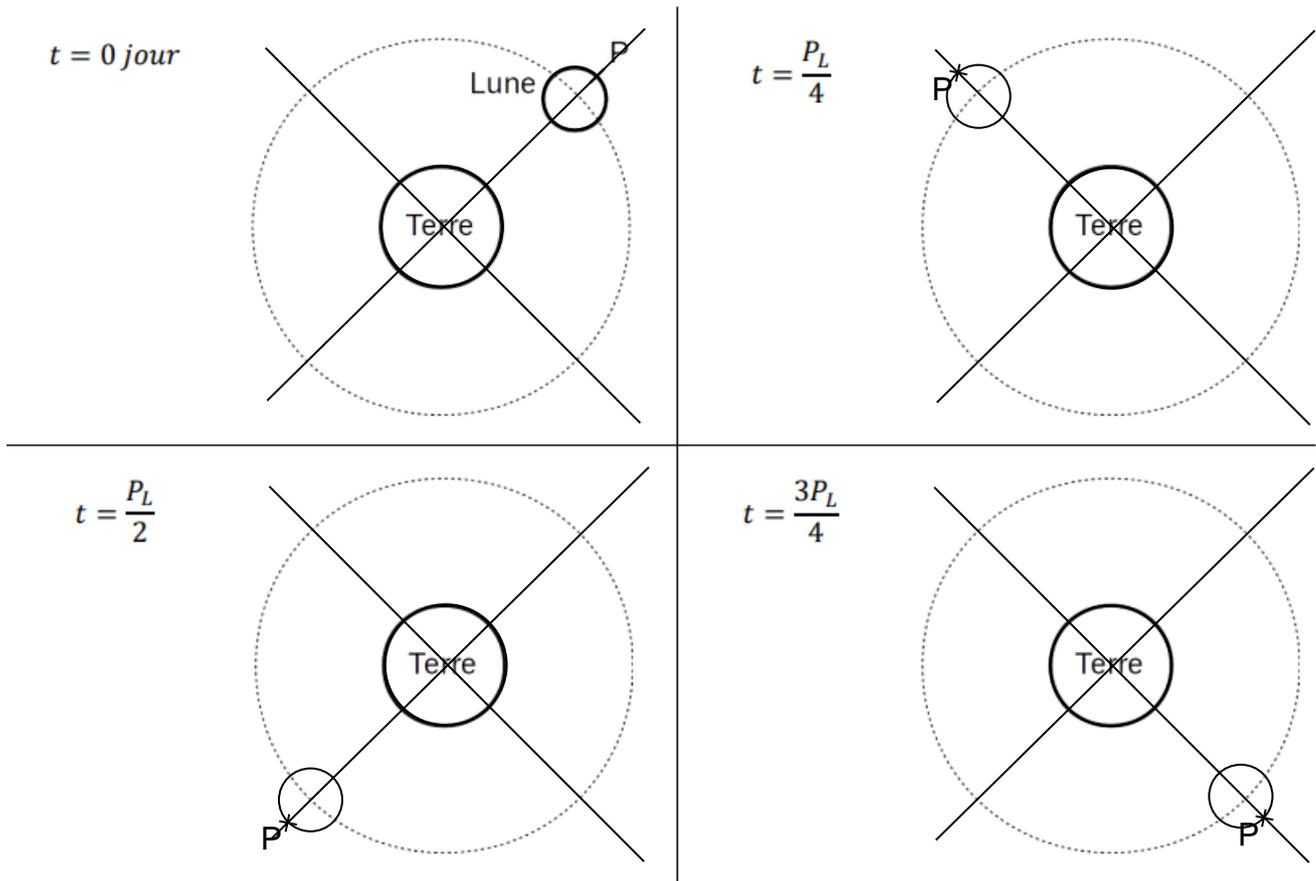
Ces deux valeurs sont très proches.

$$\text{Écart relatif} = \frac{T_L - P_L}{P_L}$$

$$\text{Écart relatif} = \frac{2,373 - 2,358}{2,358} = 0,6 \%$$

$$\frac{27.3 * 24 * 3600}{2.373038883E6 - 2.35872E6} = 6.070615842E-3$$

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 ».



En une durée  $\frac{P_L}{4} = \frac{T_L}{4}$  la Lune parcourt un quart de son orbite et elle fait un quart de tour sur elle-même.

Ainsi le point P est situé sur une face de la Lune toujours cachée.

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

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.

$$\tan(\theta) = \frac{AB}{d_{TL}} \approx \theta$$

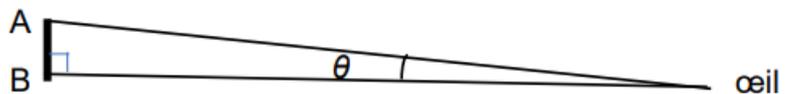
$$\theta \approx \frac{86 \text{ km}}{3,844 \times 10^5 \text{ km}} = 2,2 \times 10^{-4} \text{ rad} < \varepsilon = 2,9 \times 10^{-4} \text{ rad}$$

Ce diamètre apparent est trop petit pour que les contours du cratère Tycho soient visibles à l'œil nu.

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.

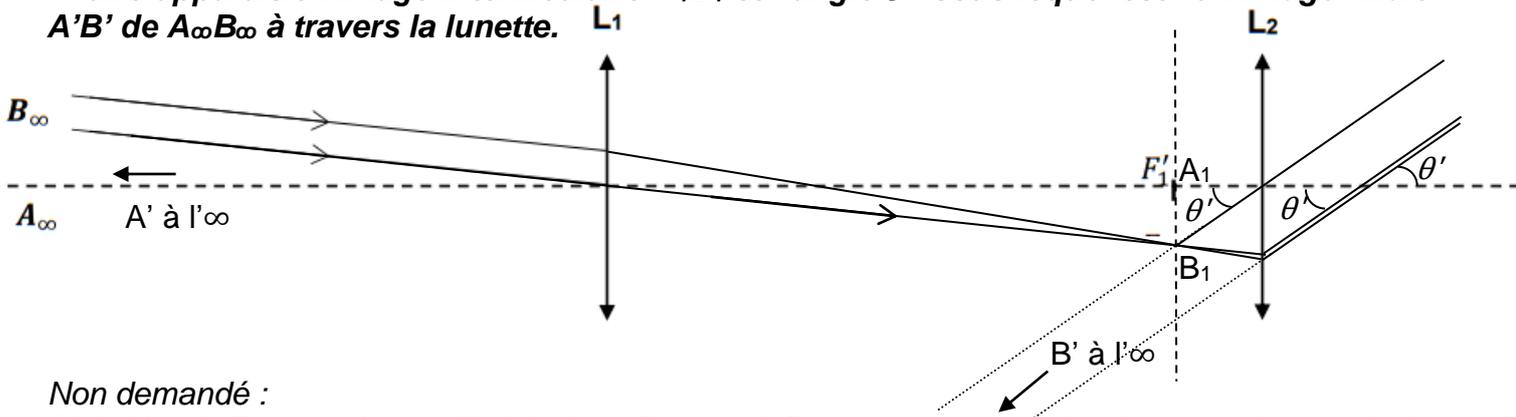
La lentille  $L_1$  est située du côté de l'objet  $A_\infty B_\infty$ , elle constitue l'objectif.

La lentille  $L_2$  est l'oculaire.



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.



Non demandé :

Si l'objet  $A_\infty B_\infty$  est situé à l'infini alors l'image  $A_1 B_1$  se forme dans le plan focal image de la lentille  $L_1$ , on a  $A_1$  confondu avec  $F'_1$ .

On crée un rayon issu de  $B_1$  passant par  $O_2$ , il émerge sans être dévié.

Tous les rayons issus de  $B_1$  émergent parallèlement entre eux.

2.4. Expliquer pourquoi cette lunette est qualifiée d'afocale et justifier l'intérêt de ce réglage.

Un instrument d'optique afocal donne une image définitive située à l'infini. Ainsi pour observer cette image définitive l'œil n'a pas besoin d'accommoder, on observe sans fatigue.

2.5. Exprimer le grossissement de la lunette en fonction de  $\theta$  et  $\theta'$ .

$$\theta' = G \cdot \theta \text{ ou encore } G = \frac{\theta'}{\theta}$$

Non demandé : À l'œil nu, on observe l'image  $A_\infty B_\infty$  sous un angle  $\theta$ .

Dans la lunette, on observe l'image définitive sous un angle  $\theta'$ .

La lunette multiplie par  $G$  le diamètre apparent  $\theta$ . Ainsi on voit davantage de détails.

On admet que le grossissement de la lunette est :  $G = \frac{f'_{obj}}{f'_{oc}}$ , où  $f'_{obj} = f'_{oc}$  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.

L'ensemble de montagnes s'étale sur une quinzaine de kilomètres.

On l'observe à l'œil nu depuis la Terre sous un angle  $\tan(\theta) = \frac{AB}{d_{TL}} \approx \theta$ ,

$$\text{ainsi } \theta = \frac{15}{3,844 \times 10^5} = 3,9 \times 10^{-5} \text{ rad}$$

Or pour les distinguer, il faut que  $\theta' > \varepsilon = 2,9 \times 10^{-4} \text{ rad}$

$$G = \frac{f'_{obj}}{f'_{oc}} = \frac{\theta'}{\theta}$$

$$f'_{oc} = f'_{obj} \cdot \frac{\theta}{\theta'}$$

$$f'_{oc} = \frac{3,9 \times 10^{-5}}{2,9 \times 10^{-4}} \times 300 \text{ mm} = 40 \text{ mm au maximum.}$$

15	
3.844E5	
.....	
	3.902185224E-5
Rep/2.9E-4*300	
.....	
	4.036743335E1

**EXERCICE B. SYNTHÈSE DU 2-MÉTHYLPROPAN-2-OL**

Mots-clés : titrage avec suivi conductimétrique ; cinétique chimique, loi de vitesse d'ordre 1.

**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.**

Au cours de cette transformation, des ions sont produits ce qui fait varier la conductivité  $\sigma$  du milieu réactionnel et permet de réaliser le suivi temporel.

Lorsque la conductivité sera constante alors la transformation sera terminée.

**2. Donner l'expression littérale reliant la conductivité  $\sigma(t)$  de la solution et les concentrations en quantité de matière des espèces chimiques concernées.**

$$\sigma = \lambda(H_3O^+) \cdot [H_3O^+] + \lambda(Cl^-) \cdot [Cl^-]$$

**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.**

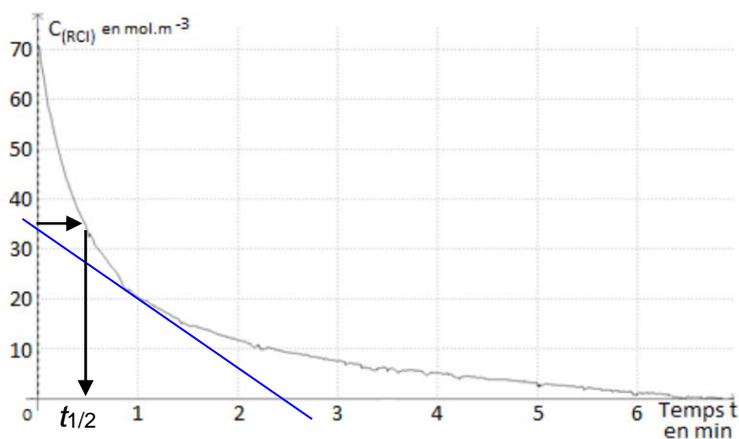
$$v = - \left( \frac{dC_{(RCl)}}{dt} \right)_{t=1 \text{ min}}$$

On trace la tangente à la courbe à la date  $t = 1$  min.

On calcule son coefficient directeur.

$$\left( \frac{dC_{(RCl)}}{dt} \right)_{t=1 \text{ min}} = \frac{34 - 0}{0 - 2,4} = -14 \text{ mol.m}^{-3}.\text{min}^{-1}$$

Donc  $v = 14 \text{ mol.m}^{-3}.\text{min}^{-1}$ .

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

Pour  $t = t_{1/2}$ , l'avancement atteint la moitié de sa valeur finale. La quantité de réactif limitant RCL (et donc sa concentration) est alors divisée par deux.

On lit l'abscisse du point d'ordonnée  $C_{(RCl)0}/2 = 35 \text{ mol.m}^{-3}$ .

Pour une température de 25°C :  $t_{1/2} = 0,5 \text{ min}$

Pour une température de 30°C :  $t_{1/2} = 0,25 \text{ min}$

On constate que lorsque la température augmente alors  $t_{1/2}$  diminue. La hausse de la température est un facteur cinétique qui réduit la durée de la transformation.

**B2. Hypothèse sur l'ordre de la réaction par rapport à l'espèce chimique RCl.****5.1. Donner la définition de la vitesse volumique  $v$  de disparition de RCl.**

$$v = - \left( \frac{dC_{(RCl)}}{dt} \right) = - \left( \frac{d[RCl](t)}{dt} \right)$$

*Remarque : il est préférable de noter  $[RCl]$  plutôt que  $C_{RCl}$ . En effet on suit la concentration effective en RCl, la concentration apportée  $C_{RCl}$  est en réalité constante et égale à  $[RCl](t=0)$ . L'axe des ordonnées en annexes est mal légendé.*

**5.2. Dédurre l'expression de l'équation différentielle du premier ordre vérifiée par  $[RCI](t)$ .**

$$v = -\left(\frac{d[RCI](t)}{dt}\right) = k \cdot [RCI](t)$$

$$\left(\frac{d[RCI](t)}{dt}\right) + k \cdot [RCI](t) = 0$$

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

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

$$[RCI](t_{1/2}) = [RCI]_0/2 = [RCI]_0 \cdot \exp(-k \cdot t_{1/2})$$

$$\frac{1}{2} = \exp(-k \cdot t_{1/2})$$

$$\ln\left(\frac{1}{2}\right) = -k \cdot t_{1/2}$$

$$\ln(1) - \ln(2) = -k \cdot t_{1/2}$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{k}$$

**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 RCI à 30 °C, déterminée sur le graphique 2, étant égale à 3,9 mol.m<sup>-3</sup>.s<sup>-1</sup>, déterminer la valeur de  $k$  dans l'hypothèse d'une loi de vitesse d'ordre 1.**

D'après l'équation différentielle dans l'hypothèse d'une loi de vitesse d'ordre 1,

$$\left(\frac{d[RCI](t)}{dt}\right) + k \cdot [RCI](t) = 0$$

$$\text{À la date } t = 0 \text{ s, } \left(\frac{d[RCI](t)}{dt}\right)_{t=0} + k \cdot [RCI]_0 = 0, \text{ soit } k = \frac{-\left(\frac{d[RCI](t)}{dt}\right)_{t=0}}{[RCI]_0} = \frac{v_{disp0}}{[RCI]_0}.$$

On lit sur le graphique 2  $[RCI]_0 = 70 \text{ mol.m}^{-3}$

$$k = \frac{3,9}{70} = 5,6 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$$

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

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{k}$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{5,6 \times 10^{-2}} = 12 \text{ s} = \frac{12}{60} \text{ min} = 0,20 \text{ min.}$$

À la question 4, on avait obtenu  $t_{1/2} = 0,25 \text{ min.}$

La différence est relativement élevée  $\frac{0,25 - 0,20}{0,20} = 0,25 = 25\%$  d'écart relatif.

On peut attribuer cette différence aux erreurs de lecture graphique de la vitesse volumique et du temps de demi-réaction.

Mais on peut aussi s'interroger sur la loi de vitesse choisie.

$$\frac{5.571428571 \times 10^{-2} \cdot \ln(2)}{1.244110324 \times 10^1}$$

**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.

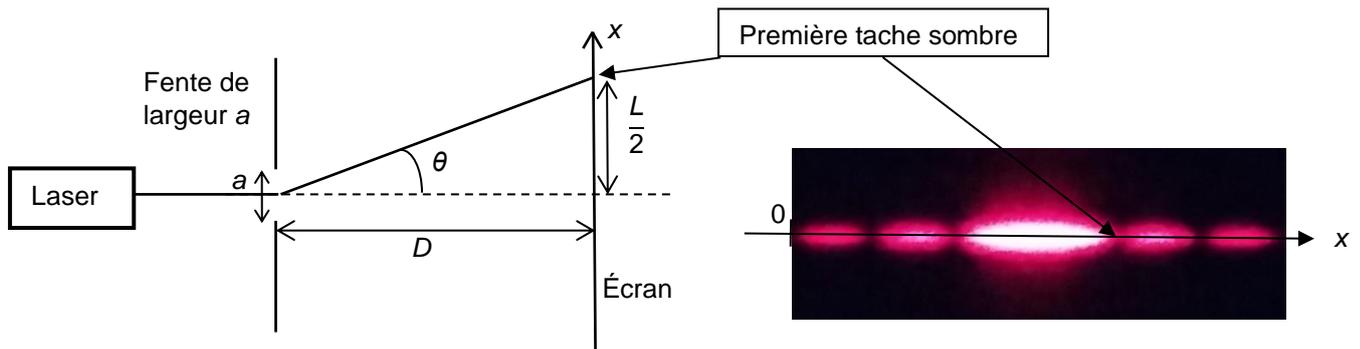


Source : <https://fr.m.wikipedia.org>

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 côté 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.

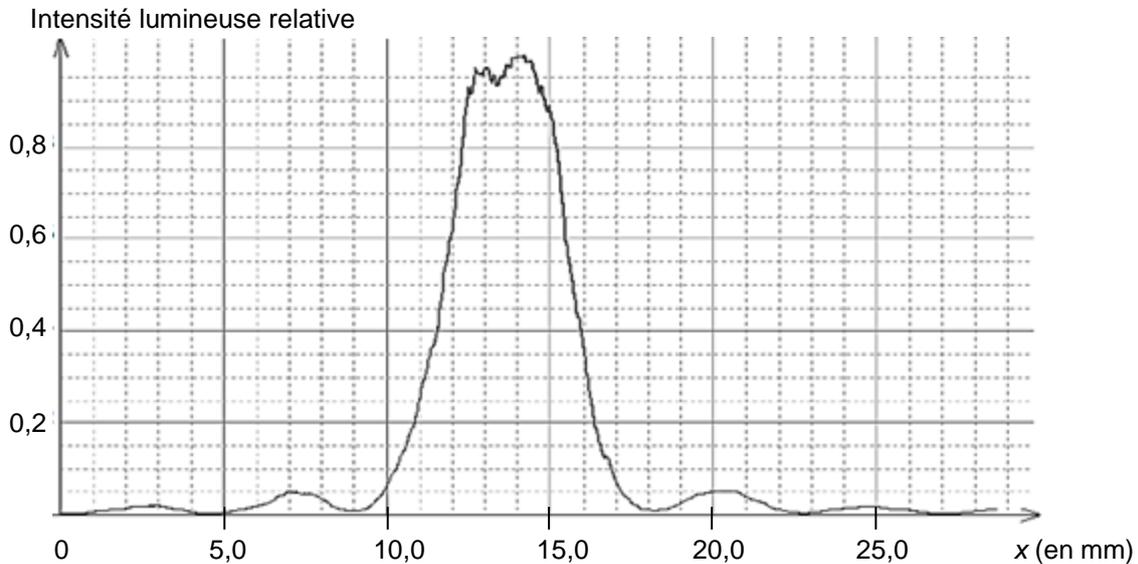


Figure 3. Intensité lumineuse relative en fonction de la position sur l'écran

(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.

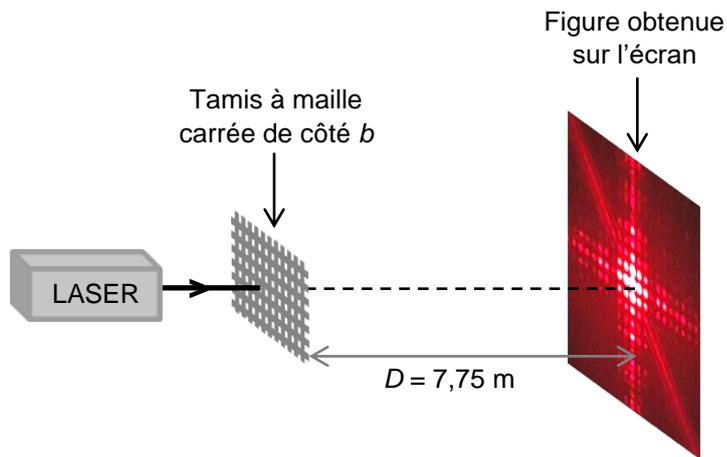


Figure 4. Montage utilisé (échelle non respectée)

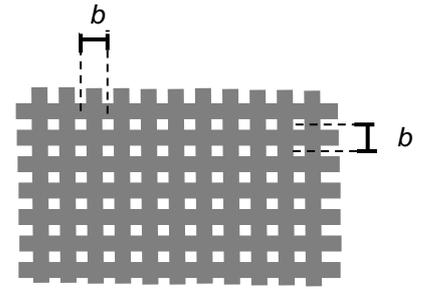


Figure 5. Schéma du maillage du tamis

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  $x$

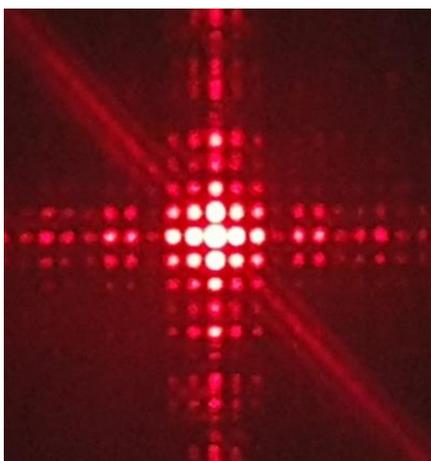


Figure 6. Figure d'interférences obtenue

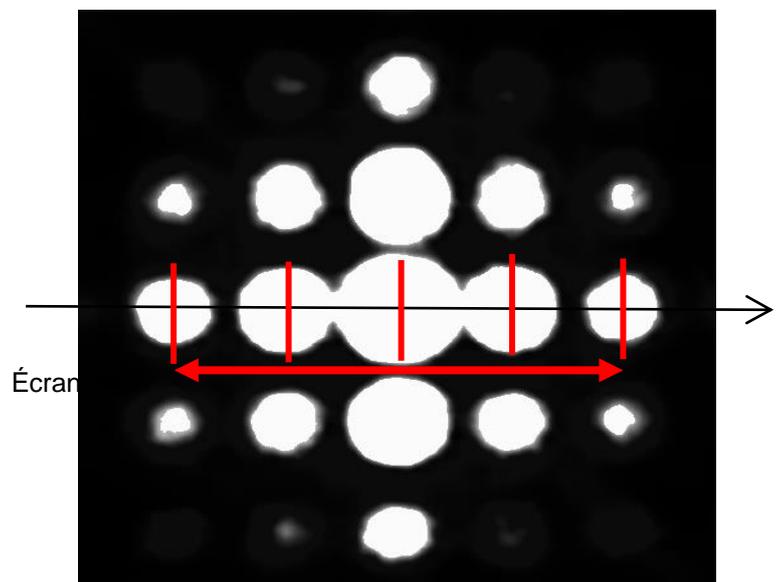


Figure 7. Tache centrale de la figure d'interférences à l'échelle 1/1

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

$$b = t + f$$

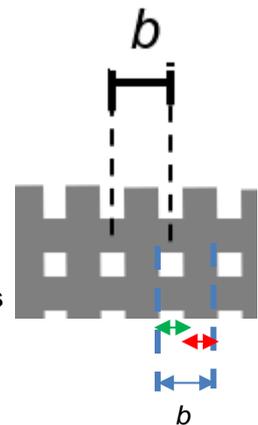
$$t = b - f$$

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

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

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

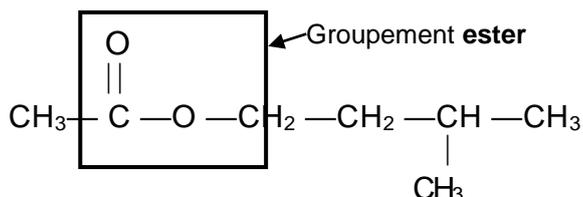
Les artémies sont plus larges que le trou, elles seront donc bien récupérées dans le tamis.



## 1.1. Réaction de synthèse.

## 1.1.1.

(0,25)



1.1.2. (0,25) Alcool B :  $\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_3$   
3-méthylbutan-1-ol

1.1.3. (0,25)  $\text{CH}_3-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-\text{CH}_2\text{OH}(\ell) + \text{CH}_3-\text{COOH}(\ell) = \text{P}(\ell) + \text{H}_2\text{O}(\ell)$

1.1.4. (0,25) La réaction d'estérification est une réaction **lente** et **limitée**.

## 1.2. Préparation de la phéromone P.

1.2.1. (0,25) La température est un facteur cinétique, on chauffe pour **accélérer** la réaction d'estérification.

(0,25) Le chauffage à reflux permet d'éviter les **pertes de matière** au cours du chauffage (condensation des vapeurs des produits ou réactifs les plus volatils).

1.2.2. (0,25) Le préparateur a introduit un volume de  $V_A = 14,3$  mL d'acide éthanóique à l'aide d'une **burette** de 25 mL graduée au 1/10<sup>ème</sup>.

## 1.3. Étude quantitative de la réaction.

1.3.1. (0,25)  $n_{A(o)} = \frac{m_A}{M_A} = \frac{\rho \cdot V_A}{M_A} \quad n_{A(o)} = \frac{1,05 \times 14,3}{60,0} = 0,250 \text{ mol}$

(0,25)  $n_{B(o)} = \frac{m_B}{M_B} \quad n_{B(o)} = \frac{22,0}{88,0} = 0,250 \text{ mol}$

## 1.3.2. (0,5)

Ligne 1	Équation de la réaction		CH <sub>3</sub> COOH + B	=	P + E	
Ligne 2	État du système	Avancement (mol)	Quantité de matière (mol)			
Ligne 3	initial	0	$n_{A(o)} = 0,250$	$n_{B(o)} = 0,250$	0	0
Ligne 4	intermédiaire	x	$n_{A(o)} - x = 0,250 - x$	$n_{B(o)} - x = 0,250 - x$	x	x
Ligne 5	final réel	$x_f$	$n_{A(o)} - x_f = 0,083$	$n_{B(o)} - x_f = 0,083$	$x_f = 0,167$	$x_f = 0,167$

1.3.3. (0,25) Les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques, donc  $x_M = n_{A(o)} = n_{B(o)} = 0,250 \text{ mol}$

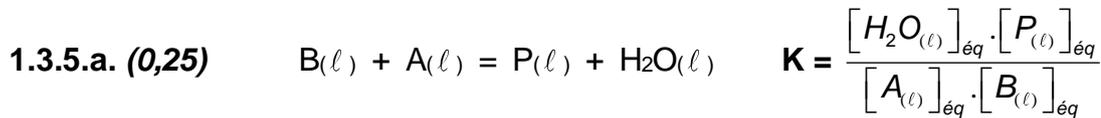
1.3.4.a. D'après le tableau d'avancement :  $n_P = x_f$

(0,25) Or  $n_P = \frac{m_P}{M_P}$

(0,25)  $n_P = \frac{21,7}{130} = 0,167 \text{ mol} = x_f$

1.3.4.b. (0,25)  $\tau = \frac{x_f}{x_M}$

$\tau = \frac{0,167}{0,250} = 66,8\%$



1.3.5.b. (0,5)  $K = \frac{\frac{x_f}{V} \cdot \frac{x_f}{V}}{\frac{n_{A(o)} - x_f}{V} \cdot \frac{n_{B(o)} - x_f}{V}} = \frac{x_f^2}{(n_{A(o)} - x_f) \cdot (n_{B(o)} - x_f)}$

1.3.5.c. (0,25)  $K = \frac{0,167^2}{0,083^2} = 4,0$

1.3.6.a. (0,25) Le quotient de réaction dans l'état final est indépendant de la composition initiale du système chimique donc  $Q_{\text{rf}} = K$

$$\frac{x_f'^2}{(n'_{A(o)} - x'_f) \cdot (n'_{B(o)} - x'_f)} = K$$

$$(n'_{A(o)} - x'_f) \cdot (n'_{B(o)} - x'_f) \cdot K = x_f'^2$$

On remplace par les valeurs numériques :  $(0,25 - x'_f) \cdot (0,50 - x'_f) \times 4,0 = x_f'^2$   
 $(1,0 - 4,0 x'_f) \cdot (0,50 - x'_f) = x_f'^2$   
 $0,50 + 4,0 x_f'^2 - 1,0 x'_f - 2,0 x'_f = x_f'^2$

soit à résoudre  $3,0 x_f'^2 - 3,0 x'_f + 0,50 = 0$  Résoudre avec sa calculatrice <http://acver.fr/ti2nddeg>

$$\Delta = 3,0^2 - 4 \times 3,0 \times 0,50 = 3,0$$

$$x'_{1f} = \frac{3,0 + \sqrt{3,0}}{2 \times 3,0} = 0,79 \text{ mol} \quad \text{ou} \quad x'_{2f} = \frac{3,0 - \sqrt{3,0}}{2 \times 3,0} = 0,21 \text{ mol}$$

(0,25)  $x'_{1f} > x_M$  ce qui est impossible, donc  $x'_f = x'_{2f} = 0,21 \text{ mol}$

1.3.6.b. (0,25)  $\tau' = \frac{x'_f}{x'_{\text{max}}}$  Or  $x'_{\text{max}} = n'_{A(o)} = 0,25 \text{ mol}$

Il vient  $\tau' = \frac{0,21}{0,25} = 84\%$ ,  $\tau' > \tau$ .

(0,25) Afin d'améliorer le rendement, il suffit d'utiliser un des réactifs en excès.

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

(0,25) **Proposition 1** : Ajouter une plus grande quantité d'acide sulfurique concentré dans le mélange réactionnel.

**Désaccord** : L'acide sulfurique est un catalyseur et donc un facteur cinétique. Il augmente la vitesse de réaction, mais ne modifie pas le rendement.

(0,25) **Proposition 2** : Éliminer l'eau par distillation au fur et à mesure de sa formation.

**Accord** : En éliminant l'eau, on fait disparaître un des produits de la réaction, ainsi  $Q_r = 0 < K$ . La réaction va évoluer continuellement dans le sens direct.

$x_f$  va augmenter, le rendement également.

(0,25) **Proposition 3** : Remplacer l'acide éthanique par de l'anhydride éthanique

**Accord** : La réaction d'estérification devient totale alors le rendement va augmenter et atteindre 100%.

**Mots-clés** : Transfert thermique – Premier principe de la thermodynamique – Flux thermique

**Q1. Citer les trois modes de transfert thermique d'énergie.**

Transfert par convection, par conduction, par rayonnement.



Voir cette magnifique vidéo qui illustre ces modes de transfert : <https://youtu.be/T-SZYZLfZ7E>

**Q2. Calculer la valeur de la résistance thermique de la couche 1 du devant du manteau.**

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda \cdot S}$$

$$R_{th1} = \frac{2,0 \times 10^{-3} \text{ m}}{0,0810 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 0,60 \text{ m}^2} = 4,1 \times 10^{-2} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$$

**Q3. En déduire la valeur de la résistance thermique de l'ensemble des quatre couches en les considérant accolées.**

Les résistances thermiques de matériaux accolés s'additionnent.

$$R_{th} = R_{th1} + R_{th2} + R_{th3} + R_{th4}$$

$$R_{th} = 0,041 + 0,102 + 0,081 + 0,054 = 0,278 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$$

**Q4. Commenter au regard de la résistance thermique du manteau complet.**

La résistance thermique calculée est inférieure à celle indiquée  $R_h = 0,399 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$ .

On peut imaginer que cela est dû à la présence d'air entre les couches de matériaux, mais il est dit qu'ils sont accolés.

L'air est un bon isolant thermique.

**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  $T_2$ .**

$$\Delta T = R_{th} \cdot \phi$$

$$\text{ou } \phi = \frac{\Delta T}{R_{th}} = \frac{T_2 - T_1}{R_{th}}$$

**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.**

La température du feu est de 1000°C, et elle diminue de 100°C par 25 cm.

Donc à 1 m du feu, la température est de 1000 – 400 = 600°C.

La peau est à la température de 30°C.

$$\phi = \frac{T_2 - T_1}{R_{th}}$$

$$\phi = \frac{600 - 30}{0,399} = 1,43 \times 10^3 \text{ W} = 1,43 \text{ kW}$$

Le flux thermique surfacique exprimé en kW.m<sup>-2</sup> a pour expression  $\phi_s = \frac{\phi}{S}$

$$\phi_s = \frac{1,43}{0,60} = 2,38 \text{ kW.m}^{-2}$$

570/0.399	1.428571429E3
Rep/0.60	2.380952381E3

**Q7. Le manteau reçoit un flux surfacique compris entre 2 et 2,5 kW.m<sup>-2</sup>.**

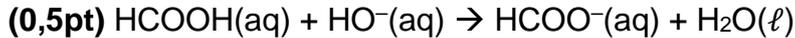
Ce qui correspond à une durée d'exposition comprise entre 100 s avec rougissement de la peau jusqu'à plusieurs minutes en bougeant.

## Exercice 1 L'ACIDE MÉTHANOÏQUE (10 points)

**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  $V = 25,0$  mL de solution S est réalisé et suivi par pH-métrie. La solution titrante est une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium de concentration  $c_B$  égale à  $0,20 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ .

**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.**

**(1pt)** À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques :

$$n_{\text{HCOOH}}^{\text{initiale}} = n_{\text{HO}^-}^{\text{versée}}$$

$$c_S \cdot V = c_B \cdot V_E$$

$$c_S = \frac{c_B \cdot V_E}{V}$$

Sur la figure 1, on détermine le volume équivalent  $V_E = 11,0$  mL en utilisant la méthode des tangentes.

<http://acver.fr/tangentes>

$$c_S = \frac{0,20 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \times 11,0 \text{ mL}}{25,0 \text{ mL}} = 8,8 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

**Q3. En déduire la valeur du titre massique d'acide méthanoïque de la bouteille utilisée. Commenter.**

**(1pt)** La solution S a été obtenue par dilution de 1,0 mL d'acide méthanoïque concentré dans une fiole jaugée de 250,0 mL.

Solution mère : acide concentré

$$C = ?$$

$$V = 1,0 \text{ mL}$$

Solution fille : solution S diluée

$$c_S = 8,8 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

$$V_S = 250,0 \text{ mL}$$

Au cours d'une dilution, la quantité de matière de soluté se conserve donc  $C \cdot V = c_S \cdot V_S$ , ainsi

$$C = \frac{c_S \cdot V_S}{V}$$

$$C = \frac{8,8 \times 10^{-2} \times 250,0}{1,0} = 22 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

Le titre massique est égal au pourcentage en masse d'acide méthanoïque dans la solution concentrée.

$$t = \frac{m_{\text{acide}}}{m_{\text{solution}}} = \frac{n_{\text{acide}} \cdot M_{\text{acide}}}{\rho_{\text{solution}} \cdot V_{\text{solution}}} = \frac{C \cdot V_{\text{solution}} \cdot M_{\text{acide}}}{d \cdot \rho_{\text{eau}} \cdot V_{\text{solution}}} = \frac{C \cdot M_{\text{acide}}}{d \cdot \rho_{\text{eau}}}$$

$$t = \frac{22 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \times 46,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}}{1,19 \times 1000 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}} = \frac{1012 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}}{1190 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}} = 0,85 = 85\% \quad \text{On retrouve la valeur indiquée sur}$$

l'étiquette du flacon concentré.

**4. 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.**

**(0,5 pt)** La constante d'acidité est égale au quotient de réaction dans l'état d'équilibre de la réaction de l'eau avec l'acide :  $\text{HCOOH}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\ell) \rightleftharpoons \text{HCOO}^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$ .

**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.**

**(1pt)**  $K_A = 10^{-pK_A}$

Pour  $pH = pK_A$ , alors  $[HCOOH(aq)] = [HCOO^-(aq)]$ .

La figure 2 montre que  $[HCOOH(aq)] = [HCOO^-(aq)]$  pour un volume versé de solution titrante égal à 5,5 mL.

À l'aide de la figure 1, on lit que pour ce volume alors  $pH = 3,6$ .

Donc  $pK_A = 3,6$  et  $K_A = 10^{-3,6} = 2,5 \times 10^{-4}$ .

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

**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.**

**(0,25pt)** Les valeurs lues graphiquement peuvent être légèrement fausses. Par exemple, si on lit  $pH = 3,5$  alors on obtient un  $pK_A = 10^{-3,5} = 3,2 \times 10^{-4}$ .

La valeur tabulée est donnée à  $25^\circ C$ , or les solutions peuvent être à une température différente.

Il est possible que le pH-mètre soit mal étalonné.

Etc.

**Q7. Montrer que le quotient de réaction, noté  $Q_r$ , associé à la réaction écrite à la question**

**Q4, s'écrit :  $Q_r = \frac{[H_3O^+]^2}{(c_A - [H_3O^+]) \cdot c^0}$  avec  $c^0$  la concentration standard.**

**(0,75 pt, l'absence de  $c^0$  n'est pas sanctionnée)**

$$Q_r = \frac{\frac{[HCOO^-(aq)]}{c^0} \cdot \frac{[H_3O^+(aq)]}{c^0}}{\frac{[HCOOH(aq)]}{c^0}} = \frac{\frac{[HCOO^-(aq)] \cdot [H_3O^+(aq)]}{(c^0)^2}}{\frac{[HCOOH(aq)]}{c^0}} = \frac{[HCOO^-(aq)] \cdot [H_3O^+(aq)]}{[HCOOH(aq)] \cdot c^0}$$

D'après l'équation de la réaction  $[HCOO^-(aq)] = [H_3O^+(aq)]$ .

$$Q_r = \frac{[H_3O^+(aq)]^2}{[HCOOH(aq)] \cdot c^0}$$

D'autre part l'acide méthanoïque apporté peut être sous forme  $HCOOH$  ou  $HCOO^-$ ,

ainsi  $c_A = [HCOO^-(aq)] + [HCOOH(aq)]$

$[HCOOH(aq)] = c_A - [HCOO^-(aq)] = c_A - [H_3O^+(aq)]$

$$Q_r = \frac{[H_3O^+]^2}{(c_A - [H_3O^+]) \cdot c^0}$$

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

**relation suivante :  $K_A = \frac{\tau_f^2 \cdot c_A}{(1 - \tau_f) \cdot c^0}$  avec  $\tau$  le taux d'avancement final.**

**(0,75pt)** Par définition,  $\tau_f = \frac{x_f}{x_{max}}$ .

L'avancement maximal correspond à la consommation totale de l'acide apporté,

ainsi  $n_{HCOOH\ ini} - x_{max} = 0$  donc  $c_A \cdot V = x_{max}$

$$\tau_f = \frac{x_f}{c_A \cdot V} \text{ donc } x_f = \tau_f \cdot c_A \cdot V$$

$$Q_{r,f} = K_A = \frac{[H_3O^+]_f^2}{(c_A - [H_3O^+]_f) \cdot c^0} = \frac{\left(\frac{x_f}{V}\right)^2}{\left(c_A - \frac{x_f}{V}\right) \cdot c^0} = \frac{\left(\frac{\tau_f \cdot c_A \cdot V}{V}\right)^2}{\left(c_A - \frac{\tau_f \cdot c_A \cdot V}{V}\right) \cdot c^0} = \frac{(\tau_f \cdot c_A)^2}{(c_A - \tau_f \cdot c_A) \cdot c^0} =$$

$$\frac{\tau_f^2 \cdot c_A^2}{c_A (1 - \tau_f) \cdot c^0}$$

$$K_A = \frac{\tau_f^2 \cdot c_A}{(1 - \tau_f) \cdot c^0}$$

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

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

Le calcul du taux d'avancement 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 constante 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.**

**(0,75)** Il faut remplacer  $A$ ,  $B$ ,  $C$  par leurs expressions.

$$K_A = \frac{\tau_f^2 \cdot c_A}{(1 - \tau_f) \cdot c^0}$$

$$K_A \cdot (1 - \tau_f) \cdot c^0 = \tau_f^2 \cdot c_A$$

$$K_A \cdot c^0 - K_A \cdot c^0 \cdot \tau_f = \tau_f^2 \cdot c_A$$

$$\tau_f^2 \cdot c_A + K_A \cdot c^0 \cdot \tau_f - K_A \cdot c^0 = 0$$

Par analogie,  $A = c_A$  ;  $B = K_A \cdot c^0$  et  $C = -K_A \cdot c^0$ .

Pour le programme, on reprend les notations données alors  $A = cA$  ;  $B = KA \cdot c0$  et  $C = -KA \cdot c0$ .

**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.**

**(0,25pt)** On ne retient pas la solution négative qui est chimiquement impossible.

$$\tau = \tau_2 = 0,044 = 4,4\%$$

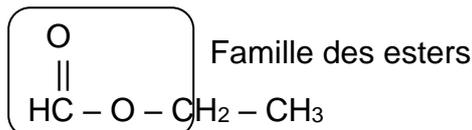
$\tau \ll 100\%$  donc l'acide méthanoïque est un acide faible.

Dans l'état final d'équilibre, seul 4,4 % des molécules HCOOH sont dissociées sous forme HCOO<sup>-</sup>.

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

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

(0,5pt)



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.

> table de données de bandes d'absorption en spectroscopie infra-rouge (IR) :

Liaison	C=O	O-H (acide carboxylique)	C-H
Nombre d'onde (cm <sup>-1</sup> )	1700 – 1800	2500 – 3200	2800 – 3000
Allure de la bande	Forte et mince	Forte et large	Forte et mince

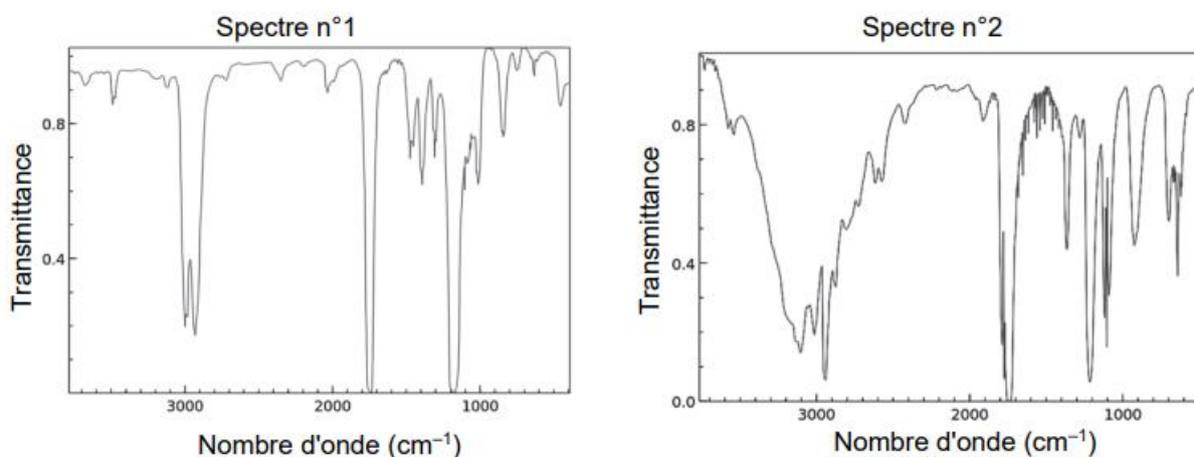


Figure 4. Spectres Infra-Rouge (IR) de deux molécules

(0,75pt) Seul le spectre n°2 montre une bande forte et large autour de 2500-3200 cm<sup>-1</sup>. Ce spectre correspond donc à l'acide méthanoïque.

Le spectre n°1 correspond au méthanoate d'éthyle.

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 durant 45 min ;
- laisser refroidir.

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

(0,25pt) Le montage à reflux permet d'augmenter la température sans perte de matière. Or la température est un facteur cinétique qui permet d'augmenter la vitesse de réaction.

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.

(1pt) Le rendement est défini comme le rapport de la quantité de matière de produit obtenu expérimentalement par la quantité de matière de produit maximale.

$$\eta = \frac{n_{exp}}{n_{max}}$$

Il faut déterminer l'avancement maximal  $x_{max}$ .

Si l'acide méthanoïque est le réactif limitant alors  $n_{\text{acide}} - x_{\text{max}} = 0$ ,  $x_{\text{max}} = n_{\text{acide}} = \frac{m_{\text{acide}}}{M_{\text{acide}}}$

$$x_{\text{max}} = \frac{11,5}{46,0} = 0,25 \text{ mol}$$

Si l'éthanol est le réactif limitant alors  $n_{\text{éthanol}} - x_{\text{max}} = 0$ ,  $x_{\text{max}} = \frac{m_{\text{éthanol}}}{M_{\text{éthanol}}}$

$$x_{\text{max}} = \frac{11,5}{46,1} = 0,25 \text{ mol}$$

Les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques.

D'après l'équation de la réaction, on peut obtenir au mieux  $n_{\text{max}} = x_{\text{max}}$  mol d'éthanoate d'éthyle donc 0,25 mol.

Le sujet indique qu'il reste 0,13 mol d'acide méthanoïque. Donc 0,12 mol d'acide a été consommé et  $n_{\text{exp}} = 0,12$  mol d'éthanoate d'éthyle a été produite.

$$\eta = \frac{0,12}{0,25} = 0,48 = 48 \%$$

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 la 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. (0,75pt)**

Les voies n°2 et 3 permettent d'augmenter le rendement par rapport à la voie n°1.

La voie n°2 consiste à introduire un des deux réactifs en large excès.

La voie n°3 consiste à éliminer du milieu réactionnel un des produits formés (en l'occurrence le méthanoate d'éthyle qui bout à 54°C).

**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.**

D'après la figure 2, quand la teneur en eau d'un sol argileux augmente alors sa permittivité  $\epsilon$  augmente. Or  $C = \frac{\epsilon \cdot S}{d}$ , alors  $C$  augmente.

**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  $C$ .**

À la date  $t = 0$  s, appliquons la loi des mailles

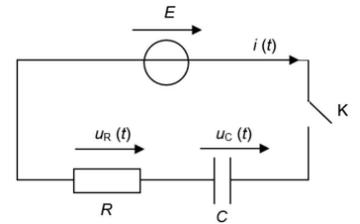
$$E = u_C + u_R \quad (1)$$

Or d'après la loi d'Ohm  $u_R = R \cdot i$

$$i = \frac{dq}{dt} \text{ et } q = C \cdot u_C \quad i = \frac{d(C \cdot u_C)}{dt} = C \cdot \frac{du_C}{dt} \text{ Car } C \text{ est une constante}$$

$$\text{En remplaçant dans (1) il vient : } E = u_C + R \cdot C \cdot \frac{du_C}{dt}$$

$$\text{Et en posant } \tau = R \cdot C \text{ alors } E = u_C + \tau \cdot \frac{du_C}{dt}$$



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

$$\begin{aligned} \text{Calculons } u_C + \tau \cdot \frac{du_C}{dt} &= E \times (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) + \tau \cdot \frac{d(E \times (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}))}{dt} \\ &= E \times (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) + \tau \cdot \left( \frac{dE}{dt} - E \times \frac{d(e^{-\frac{t}{\tau}})}{dt} \right) \\ &= E \times (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) + \tau \cdot \left( 0 - E \times \left( -\frac{1}{\tau} \right) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \\ &= E - E \times e^{-\frac{t}{\tau}} + E \times e^{-\frac{t}{\tau}} = E \end{aligned}$$

On a bien retrouvé l'égalité de l'équation différentielle, donc  $u_C(t) = E \times (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$  est bien solution de l'équation différentielle.

Par ailleurs, pour  $t = 0$  s, la solution donne  $u_C(t=0) = E \times (1 - e^{-\frac{0}{\tau}}) = E \times (1 - 1) = 0$ . Conforme à la situation puisque le condensateur est initialement déchargé.

**Q4. Montrer que la valeur de  $u_C$  à la date  $\tau$  est approximativement  $u_C(t) = 0,63 \times E$ .**

$$u_C(\tau) = E \times (1 - e^{-\frac{\tau}{\tau}}) = E \times (1 - e^{-1}) = 0,63 \times E.$$

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

Le microcontrôleur effectue 52000 mesures par seconde, soit 1 mesure tous les  $\frac{1}{52000} = 1,92 \times 10^{-5} \text{ s} = 19,2 \times 10^{-6} \text{ s} = 19,2 \mu\text{s}$ . Or il faut 10 valeurs de tension aux bornes du condensateur pour déterminer  $\tau$ , soit une durée minimale  $10 \times 19,2 = 192 \mu\text{s}$ .  
La constante  $\tau$  doit être au minimum de 200  $\mu\text{s}$ .

**Q6. À l'aide de la contrainte sur le temps caractéristique  $\tau$  du circuit RC, déterminer la teneur minimale en eau.**

$$\tau > 200 \mu\text{s}$$

$$R.C > 200 \times 10^{-6}$$

$$R \cdot \frac{\varepsilon.S}{d} > 200 \times 10^{-6}$$

$$\varepsilon > \frac{d \cdot 200 \times 10^{-6}}{R.S}$$

$$\varepsilon > \frac{1,0 \times 10^{-2} \times 200 \times 10^{-6}}{2,2 \times 10^5 \times 1,0 \times 10^{-1}} \quad \varepsilon > 9,1 \times 10^{-11} \text{ F.m}^{-1} = 0,91 \times 10^{-10} \text{ F.m}^{-1}$$

En utilisant la figure 2 on obtient une teneur en eau minimale de 15%.

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

Cet extrait de programme doit permettre de déterminer la valeur de la constante de temps  $\tau$ .

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

While tension < 0,63\*E :

Tant que la tension est inférieure à 0,63.E, on recommence la mesure de  $u_c$ .

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

$$\varepsilon = \frac{d \cdot \tau}{R.S}$$

$$\varepsilon = \frac{1,0 \times 10^{-2} \times 0,28676887987 \times 10^{-3}}{2,2 \times 10^5 \times 1,0 \times 10^{-1}}$$

$$\varepsilon = 1,3 \times 10^{-10} \text{ F.m}^{-1}$$

Par lecture graphique sur la figure 2 on obtient une teneur d'eau de 20%, ce qui est inférieur à 24%.

Un tel sol argileux ne convient pas à une croissance normale d'une plante. Il faudra déclencher l'arrosage automatique.

**Bac Métropole 2021 EXERCICE 1 L'AQUARIUM RÉCIFAL (10 points)**  
**CORRECTION © <http://labolycee.org>**

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.



Aquarium récifal MHN- F.-G. Grandin

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.

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.

**(0,5 pt) Pour faire baisser le pH, il faut introduire une espèce acide. On peut par exemple faire buller du dioxyde de carbone gazeux dans l'eau de 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.

**(0,5 pt) Une solution tampon possède un pH qui varie peu par ajout modéré d'acide ou de base, ou par dilution. Dans l'aquarium récifal, l'utilisation d'une solution tampon aurait l'intérêt de limiter les variations de pH.**

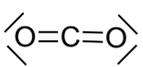
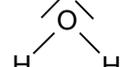
Un diffuseur permet de réguler précisément la valeur du pH de l'aquarium en injectant au besoin du dioxyde de carbone à l'état gazeux dans l'aquarium.



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

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).

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

Molécule		
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.

**(0,5 pt)  $\chi_{\text{O}} > \chi_{\text{C}}$ , ainsi les liaisons C=O sont polarisées. L'atome de carbone est porteur de charges partielles positives et les atomes d'oxygène de charges partielles négatives. Cependant au regard de la géométrie linéaire de la molécule de CO<sub>2</sub>, le centre géométrique des charges partielles positives est confondu avec le centre des charges partielles négatives, la molécule n'est pas polaire.**

**Or l'eau est un solvant polaire, en raison de sa géométrie coudée et des liaisons O-H polarisées.**

**Une molécule apolaire se dissout mal dans un solvant polaire.**

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.

**(0,5 pt) On a les couples acide/base suivants**

**(CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O)(aq)/HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>(aq) où CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O(aq) est l'acide et HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> est la base.**

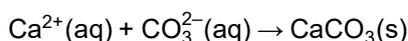
**HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>(aq)/CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>(aq) où HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>(aq) est l'acide et CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> est la base.**

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.

**(0,5 pt) Le pH de l'aquarium vaut 8,1 et est donc compris entre pK<sub>A1</sub> et pK<sub>A2</sub>.**

**Ainsi HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>(aq) est l'espèce qui prédomine dans l'aquarium.**

Le squelette et la coquille des coraux sont constitués de calcaire, c'est-à-dire de carbonate de calcium CaCO<sub>3</sub>(s), qui se forme suivant une transformation modélisée par l'équation de réaction suivante :



1.6. Expliquer pourquoi l'utilisation d'un diffuseur de CO<sub>2</sub> dans l'aquarium peut freiner la formation du squelette et de la coquille des coraux.

**(0,5 pt) L'apport de CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O(aq) conduit à la transformation CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O(aq) + H<sub>2</sub>O(l) ⇌ HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>(aq) + H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>(aq).**

**La formation de H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> acidifie l'eau de l'aquarium, or plus le pH diminue et moins les ions CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> sont présents en solution.**

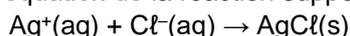
## 2. Contrôle de la salinité

Dans un aquarium, on trouve notamment des ions chlorure Cl<sup>-</sup>(aq) ainsi que des cations comme les ions sodium Na<sup>+</sup>(aq).

La salinité de l'eau d'un aquarium est assimilée à la concentration en masse en ion chlorure Cl<sup>-</sup>(aq). Celle de l'aquarium récifal doit être comprise entre 19,3 et 19,6 g·L<sup>-1</sup>.

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 (Ag<sup>+</sup>(aq) ; NO<sub>3</sub><sup>-</sup>(aq)) de concentration égale à 5,00×10<sup>-2</sup> mol·L<sup>-1</sup>.

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.

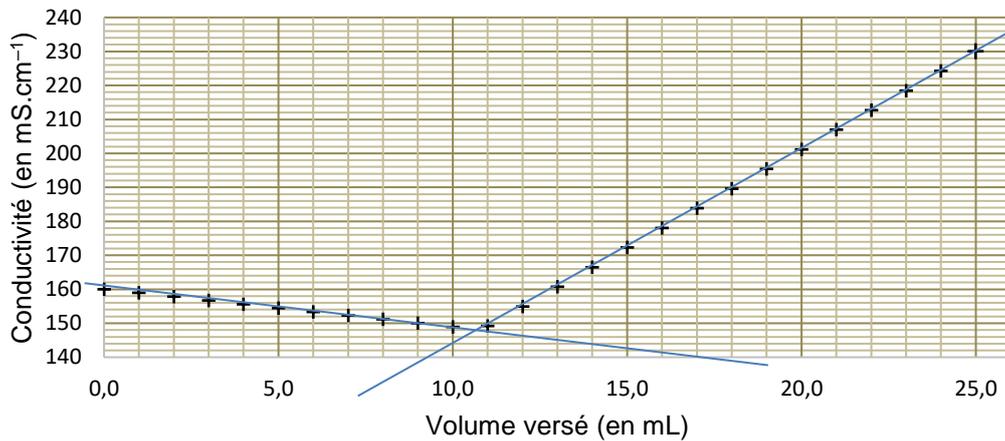


Figure 1. Conductivité de la solution en fonction du volume de solution de nitrate d'argent versé

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

(0,75 pt) Avant l'équivalence, à chaque fois qu'un ion chlorure  $\text{Cl}^-$  est consommé, alors un ion  $\text{NO}_3^-$  est apporté.

La conductivité molaire ionique des ions  $\text{NO}_3^-$  est légèrement inférieure à celle des ions  $\text{Cl}^-$  ainsi la conductivité du milieu diminue lentement.

Au-delà de l'équivalence, les ions  $\text{Ag}^+$  et  $\text{NO}_3^-$  s'accumulent en solution et contribuent à l'augmentation de la conductivité.

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.*

(1 pt) À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques

$$n_{\text{Ag}^+ \text{ versée}} = n_{\text{Cl}^- \text{ initiale}}$$

Sur la figure 1, on détermine le volume à l'équivalence  $V_{\text{éq}}$  qui correspond à l'abscisse du point d'intersection des deux demi-droites modélisant l'évolution de la conductivité.

$$V_{\text{éq}} = 10,5 \text{ mL}$$

$$c_{\text{Ag}^+} \cdot V_{\text{éq}} = C_{\text{Cl}^-} \cdot V$$

$$C_{\text{Cl}^-} = \frac{c_{\text{Ag}^+} \cdot V_{\text{éq}}}{V}$$

$$C_{\text{Cl}^-} = \frac{5,00 \times 10^{-2} \times 10,5}{10,0} = 5,25 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1} \text{ dans } 10,0 \text{ mL d'eau diluée de l'aquarium.}$$

L'eau de l'aquarium est 10 fois plus concentrée,  $C = 0,525 \text{ mol.L}^{-1}$ .

On calcule la concentration en masse correspondante.

$$C_m = C \cdot M$$

$$C_m = 0,525 \times 35,5 = 18,6 \text{ g.L}^{-1}$$

Or pour l'aquarium récifal, il faut une concentration en masse qui doit être comprise entre 19,3 et 19,6  $\text{g.L}^{-1}$ . Ainsi il est nécessaire de procéder à un traitement de l'eau de l'aquarium.

### 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  $\text{g.L}^{-1}$ .

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** ( $C_9H_9N$ ), **B**, **C** et **D** ( $C_4H_{11}O_2N$ ) en produit **E** ( $C_{21}H_{32}O_4N_2$ ) et produit **F**.

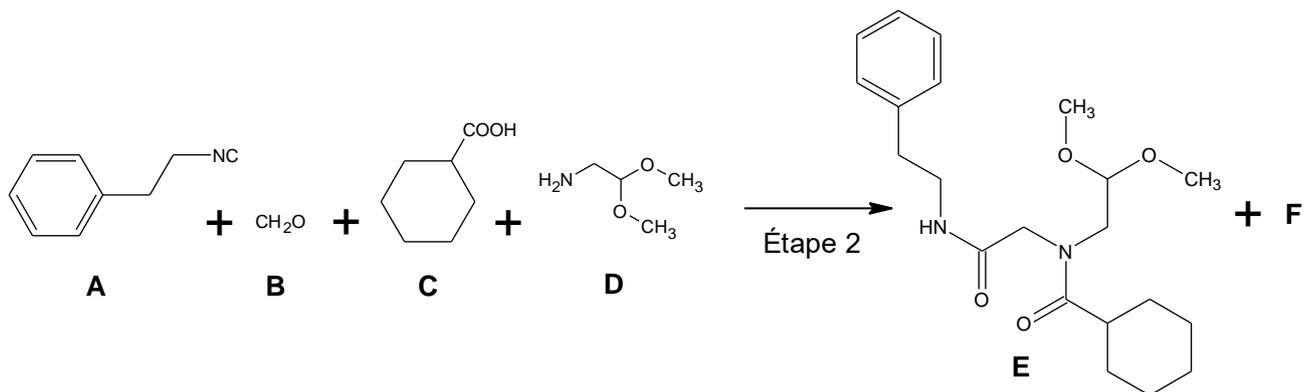
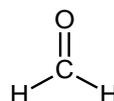


Figure 2. Équation de la réaction modélisant la transformation chimique de l'étape 2

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



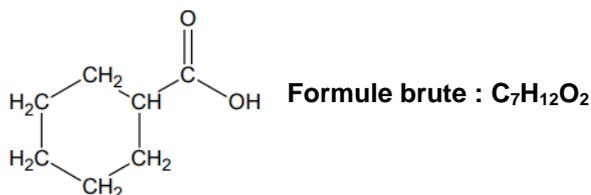
3.1.1. Justifier que la molécule **B** se nomme méthanal en nomenclature officielle.

(0,5 pt) On remarque le groupe caractéristique carbonyle  $C=O$ , donc **B** appartient à la famille des aldéhydes.

**B** ne comporte qu'un seul atome de carbone, d'où le préfixe « méth ».

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

(0,5 pt)



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.

(0,5 pt) On écrit l'équation avec des formules brutes, afin de trouver la formule brute de **F**.



Coté réactifs : 21 C, 34 H, 5 O, 2 N

La conservation des éléments, permet de trouver la formule de **F** :  $H_2O$ . Il s'agit d'eau.

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  $M(E) = 376,5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

3.1.4. Déterminer le rendement de l'étape 2.

(1 pt) Le rendement est défini par  $\eta = \frac{n_{E,exp}}{n_{E,theo}}$ .

Les réactifs sont introduits dans les proportions stœchiométriques, on obtient en théorie autant de **E** que l'on a introduit de chacun des réactifs.

$$n_{E,exp} = \frac{m_{E,exp}}{M(E)}$$

$$\eta = \frac{40,9}{\frac{376,5}{0,110}} = 0,988 = 98,8 \%$$

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.

- c. 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.
- d. Ce résidu est recristallisé dans un mélange équimolaire d'acétate d'éthyle et d'hexane. On obtient un solide blanc.

D'après Dr. Haiping Cao Dr. Haixia Liu Prof. Alexander Dömling <https://doi.org/10.1002/chem.201002046>

3.2.1. Associer à chacune des opérations a. et c. du protocole un ou plusieurs des mots suivants :

(0,5 pt) a dissolution et transformation chimique

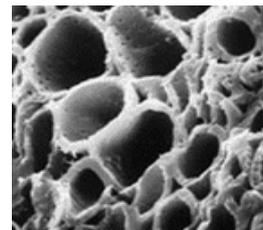
c séparation

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

(0,25 pt) De nombreuses méthodes d'identification sont possibles : par CCM, par étude du spectre IR ou du spectre UV-Visible, par mesure de masse volumique, par mesure de la température de fusion, etc.

#### 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 ( $C_{16}H_{18}N_3S$ ) 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.

(0,5 pt) Le charbon actif se présente sous la forme d'une poudre noire qui pourrait absorber une partie de la lumière et donc fausser le dosage par mesure d'absorbance.

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 :

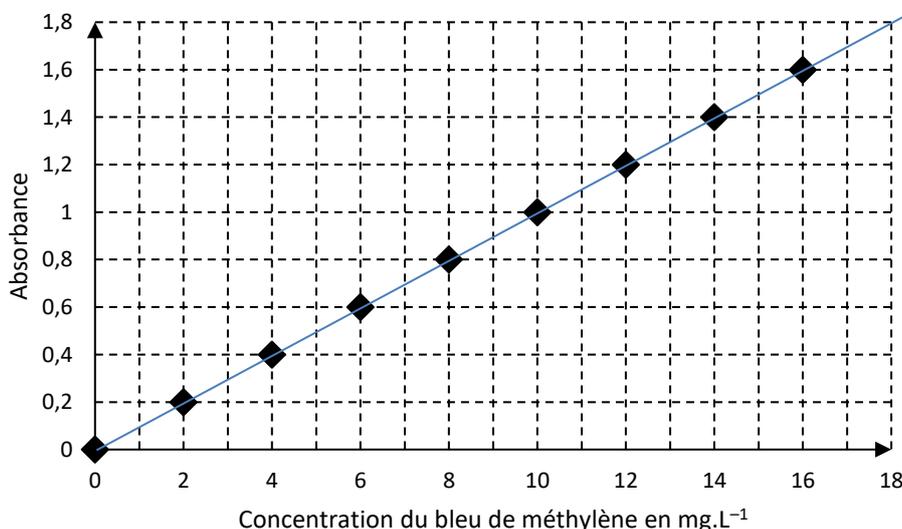


Figure 3. Absorbance en fonction de la concentration en bleu de méthylène, à  $\lambda = 650$  nm

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

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

**(1 pt)** Sur la figure 3, on trace la droite moyenne passant au plus près de tous les points.

On lit la concentration avant traitement  $15 \text{ mg.L}^{-1}$  et après traitement  $2 \text{ mg.L}^{-1}$ .

Pour  $100,0 \text{ mg} = 0,1000 \text{ g}$  de charbon actif, la concentration en masse a diminué de  $13 \text{ mg.L}^{-1}$ .

On cherche la masse de bleu de méthylène ainsi adsorbée.

$$m = c_m \cdot V$$

$$m = 13 \times 10^{-3} \times 50 \times 10^{-3} = 6,5 \times 10^{-4} \text{ g}$$

Pour un gramme de charbon actif, la masse adsorbée serait 10 fois plus grande, soit  $6,5 \times 10^{-3} \text{ g}$  ce qui correspond effectivement à environ 7 mg.

**4.3.** Sachant qu'un traitement préventif de l'aquarium, de volume  $V = 8\,000 \text{ L}$ , 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.

**(0,5 pt)** Masse maximale de bleu de méthylène à éliminer  $m = 8000 \times 2 = 16\,000 \text{ mg} = 16 \text{ g}$

1 g de charbon actif permet d'éliminer 7 mg de bleu de méthylène.

$m_c$  g ? est nécessaire pour éliminer 16000 mg.

$$\text{Par proportionnalité } m_c = \frac{16000}{7} = 2,3 \times 10^3 \text{ g} = 2,3 \text{ kg.}$$

Cette masse semble assez élevée, mais on peut imaginer que le charbon soit stocké dans un filtre et cette masse correspond à un aquarium de gros volume.

A. Étude du lancer

A.1. Utiliser la deuxième loi de Newton pour déterminer les coordonnées  $a_x(t)$  et  $a_y(t)$  du vecteur accélération de M.

**Le système n'est soumis qu'à la force poids.**

$$\vec{P} = m \cdot \vec{a}.$$

$$m \cdot \vec{g} = m \cdot \vec{a}$$

$$\vec{a} = \vec{g}$$

En projection selon les axes Ox et Oy du repère choisi et compte tenu du sens du vecteur  $\vec{g}$  indiqué sur le schéma il vient :

$$\vec{a} \begin{cases} a_x = g_x = 0 \\ a_y = g_y = -g \end{cases}$$

A.2. Montrer que les équations horaires du mouvement de M s'expriment sous la forme :

$$x(t) = v_0 \cdot t \cdot \cos \alpha$$

$$y(t) = -\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 + v_0 \cdot t \cdot \sin \alpha + H$$

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} \text{ donc } \quad \mathbf{a_x} = \frac{dv_x(t)}{dt} \quad \text{et} \quad \mathbf{a_y} = \frac{dv_y(t)}{dt}$$

$$\text{Ainsi en primitivant on obtient } \vec{v} \begin{cases} v_x(t) = Cte_1 \\ v_y(t) = -g \cdot t + Cte_2 \end{cases}$$

On détermine les constantes avec les conditions initiales.

$$\text{Coordonnées du vecteur vitesse initiale } \vec{v}_0 : \vec{v}_0 \begin{cases} v_{0x} = v_0 \cdot \cos \alpha \\ v_{0y} = v_0 \cdot \sin \alpha \end{cases}$$

Compte tenu du vecteur vitesse initiale  $\vec{v}_0 = \vec{v}(t=0)$  on a :

$$v_0 \cdot \cos \alpha = Cte_1$$

$$v_0 \cdot \sin \alpha = 0 + Cte_2$$

$$\text{Finalement : } \vec{v} \begin{cases} v_x(t) = v_0 \cdot \cos \alpha \\ v_y(t) = -g \cdot t + v_0 \cdot \sin \alpha \end{cases}$$

$$\text{À chaque instant } \vec{v} = \frac{d\overline{OM}}{dt} \text{ donc } \quad \mathbf{v_x} = \frac{dx(t)}{dt} \quad \text{et} \quad \mathbf{v_y} = \frac{dy(t)}{dt}$$

$$\text{En primitivant on obtient } \overline{OM} \begin{cases} x(t) = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t + Cte_3 \\ y(t) = -\frac{1}{2} g \cdot t^2 + v_0 \cdot \sin \alpha \cdot t + Cte_4 \end{cases}$$

Conditions initiales, à  $t = 0$  s, le projectile est au point de coordonnées  $(x(0) = 0; y(0) = H)$  donc :

$$0 + Cte_3 = 0$$

$$0 + 0 + Cte_4 = H$$

$$\text{Finalement, on obtient les équations horaires } \overline{OM} \begin{cases} x(t) = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t \\ y(t) = -\frac{1}{2} g \cdot t^2 + v_0 \cdot \sin \alpha \cdot t + H \end{cases}$$

A.3. En déduire l'équation de la trajectoire  $y(x)$  de M.

$$t = \frac{x(t)}{v_0 \cdot \cos \alpha}$$

$$y(x) = -\frac{1}{2} \cdot g \cdot \left( \frac{x}{v_0 \cdot \cos \alpha} \right)^2 + v_0 \cdot \sin \alpha \cdot \frac{x}{v_0 \cdot \cos \alpha} + H$$

$$y(x) = -\frac{1}{2} \cdot g \cdot \frac{x^2}{v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} + \tan \alpha \cdot x + H$$

A.4. À l'aide d'une analyse quantitative, indiquer si la gerbe de paille franchira, ou pas, la barre horizontale.

**La gerbe de paille franchit la barre si pour  $x = D = 2,0$  m on a  $y > 4,50$  m.**

$$y(2,0) = -\frac{1}{2} \times 9,8 \times \frac{2,0^2}{9,0^2 \cdot \cos^2 80} + \tan 80 \times 2,0 + 2,80$$

$$y(2,0) = 6,1 \text{ m} > 4,5$$

**La gerbe passe largement au-dessus de la barre horizontale.**

$$-\frac{1}{2} * 9.8 * \frac{2^2}{9^2 * \cos(80)^2} + \tan(80) * 2 + 2.8$$

6.11783062E0

A.5. Calculer la valeur de l'énergie cinétique et celle de l'énergie potentielle de pesanteur du système en  $M_0$ .

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2$$

$$E_c = \frac{1}{2} \times 7,257 \times 9,0^2 = 2,9 \times 10^2 \text{ J}$$

$$0.5 * 7.257 * 9^2$$

2.939085E2

$$E_{pp} = m \cdot g \cdot H$$

$$E_{pp} = 7,257 \times 9,8 \times 2,80 = 2,0 \times 10^2 \text{ J}$$

$$7.257 * 9.8 * 2.8$$

1.9913208E2

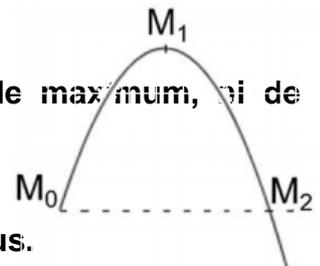
A.6. Indiquer par un raisonnement détaillé si chacune des trois propositions suivantes est vraie, ou fausse, lorsque l'on néglige l'action de l'air.

Proposition I : l'énergie mécanique est maximale en  $M_0$ .

**FAUX L'énergie mécanique est constante donc elle n'atteint pas de maximum, ni de minimum.**

Proposition II : l'énergie cinétique est nulle en  $M_1$ .

**FAUX La vitesse en  $M_1$  n'est pas nulle, donc l'énergie cinétique non plus.**



Proposition III : l'énergie cinétique en  $M_2$  est inférieure à l'énergie cinétique en  $M_0$ .

**FAUX  $M_0$  et  $M_2$  sont situés à la même altitude, donc en  $M_0$  et  $M_2$  l'énergie potentielle de pesanteur est identique.**

**Comme  $E_m = E_c + E_{pp} = \text{Cte}$  alors l'énergie cinétique en  $M_0$  est égale à celle en  $M_2$ .**

En réalité, l'action de l'air ne peut pas être négligée.

A.7. Indiquer par un raisonnement détaillé si chacune des trois propositions de la question A.6. reste vraie, ou fausse, lorsqu'on ne néglige plus l'action de l'air.

Proposition I : l'énergie mécanique est maximale en  $M_0$ .

**VRAI, les forces de frottement subies par le système sont des forces non conservatives, alors l'énergie mécanique diminue au cours du mouvement.**

Proposition II : l'énergie cinétique est nulle en  $M_1$ .

**FAUX, idem A.6.**

Proposition III : l'énergie cinétique en  $M_2$  est inférieure à l'énergie cinétique en  $M_0$ .

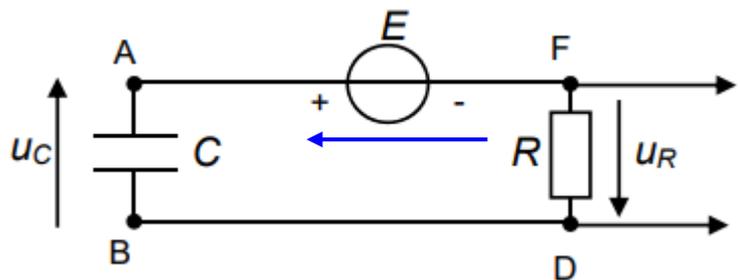
**VRAI,  $E_m(M_2) < E_m(M_0)$  or  $E_{pp}(M_2) = E_{pp}(M_0)$  donc  $E_c(M_2) < E_c(M_0)$ .**

B. Le microphone de l'animateur

B.1. Établir la relation entre la tension  $E$  aux bornes de la source de tension idéale, la tension  $u_c(t)$  aux bornes du condensateur et la tension  $u_R(t)$  aux bornes du conducteur ohmique.

D'après la loi des mailles

$$E = u_R(t) + u_c(t)$$



B.2. Montrer que l'équation différentielle vérifiée par la tension  $u_c(t)$  lors de la charge est de la forme :  $E = R.C. \frac{du_c(t)}{dt} + u_c(t)$ .

D'après la loi d'Ohm  $u_R(t) = R.i(t)$

Or  $i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$  avec  $q(t) = C.u_c(t)$  où  $C$  est supposée constante alors  $i(t) = C. \frac{du_c(t)}{dt}$ .

Finalement on obtient  $E = R.C. \frac{du_c(t)}{dt} + u_c(t)$ .

B.3. En exploitant la courbe, indiquer par un raisonnement argumenté la fonction qui modélise la charge du condensateur.

On élimine la fonction 2  $u_c(t) = E \times e^{-\frac{t}{R \times C}}$  qui pour  $t = 0$  s conduirait à  $u_c(t = 0) = E$  or  $u_c(t = 0) = 0$ .

On élimine la fonction 1  $u_c(t) = E \times \left(1 - e^{-\frac{t}{R \times C}}\right)$  qui pour  $t \rightarrow \infty$  conduirait  $u_c(t \rightarrow \infty) = -\infty$ .

On retient la fonction 3 :  $u_c(t) = E \times \left(1 - e^{-\frac{t}{R \times C}}\right)$  qui pour  $t = 0$  s conduit à  $u_c(t = 0) = 0$  et pour  $t \rightarrow \infty$  conduit  $u_c(t \rightarrow \infty) = E$ .

B.4. Vérifier que la fonction retenue est solution de l'équation différentielle établie à la question B.2.

On écrit l'équation différentielle sous la forme  $y' = a.y + b$  qui admet des solutions de la forme  $y = K.e^{a.x} - \frac{b}{a}$

$$E = R.C. \frac{du_c(t)}{dt} + u_c(t)$$

$$R.C. \frac{du_c(t)}{dt} = -u_c(t) + E$$

$$\frac{du_c(t)}{dt} = -\frac{1}{R.C} . u_c(t) + \frac{E}{R.C}$$

Par analogie,  $a = -\frac{1}{R.C}$  et  $b = \frac{E}{R.C}$

ainsi les solutions sont de la forme  $u_c(t) = K \times e^{-\frac{t}{R \times C}} - \frac{\frac{E}{R.C}}{-\frac{1}{R.C}} = K \times e^{-\frac{t}{R \times C}} + E$ .

**En tenant compte des conditions initiales, on peut trouver l'unique solution.**

$$u_c(t) = 0$$

$$K \times e^{-\frac{0}{R \times C}} + E = 0$$

$$K + E = 0 \text{ donc } K = -E$$

$$u_c(t) = -E \times e^{-\frac{t}{R \times C}} + E$$

**Finalement on retrouve la solution proposée :**  $u_c(t) = E \times \left(1 - e^{-\frac{t}{R \times C}}\right)$

**Autre méthode :** On part de la solution proposée  $u_c(t) = E \times \left(1 - e^{-\frac{t}{R \times C}}\right) = E - E \cdot e^{-\frac{t}{R \times C}}$  et on la

remplace dans l'équation différentielle  $E = R.C. \frac{du_c(t)}{dt} + u_c(t)$  pour vérifier l'égalité.

$$R.C. \cdot \frac{d\left(E - E \cdot e^{-\frac{t}{R \times C}}\right)}{dt} + E - E \cdot e^{-\frac{t}{R \times C}} = R.C. \cdot \frac{E}{R.C} \cdot e^{-\frac{t}{R \times C}} + E - E \cdot e^{-\frac{t}{R \times C}} = E \cdot e^{-\frac{t}{R \times C}} + E - E \cdot e^{-\frac{t}{R \times C}} = E$$

**Ainsi la solution convient.**

La capacité  $C$  d'un condensateur plan constitué de deux armatures métalliques de surface  $S$  en regard l'une de l'autre, séparées d'une distance  $d$ , est donnée par la relation  $C = \epsilon \cdot \frac{S}{d}$  avec  $\epsilon$  la

permittivité de l'air entre les deux armatures du condensateur. Pour le microphone étudié, le produit de la permittivité de l'air par la surface est :  $\epsilon \cdot S = 1,4 \times 10^{-15}$  F.m.

B.5. En exploitant la courbe et en explicitant le raisonnement, déterminer la valeur de la distance  $d$  séparant les deux armatures quand le microphone fonctionne mais qu'il ne capte pas de son.

**On va déterminer la valeur de la capacité  $C$ , pour cela on va d'abord déterminer graphiquement la constante de temps  $\tau = R.C$ .**

**Pour  $t = \tau$ ,  $u_c(\tau) = 0,63 \cdot E = 0,63 \times 48 = 30$  V.**

**On cherche l'abscisse  $\tau$  du point d'ordonnée 30 V, on lit  $\tau = 0,007$  s.**

$$\tau = R.C$$

$$C = \tau / R$$

$$C = \frac{0,007}{100 \times 10^6} = 7 \times 10^{-11} \text{ F}$$

$$C = \epsilon \cdot \frac{S}{d} \text{ avec } \epsilon \cdot S = 1,4 \times 10^{-15} \text{ F.m}$$

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

$$d = \frac{1,4 \times 10^{-15}}{7 \times 10^{-11}} = 2 \times 10^{-5} \text{ m soit approximativement } 20 \mu\text{m, valeur conforme avec le sujet qui}$$

**indique « Lorsque le microphone ne capte pas de son, la distance entre les deux armatures est de l'ordre de 15 à 25  $\mu\text{m}$  ».**

Sous l'effet des ondes sonores émises par l'animateur, la membrane se déplace en entraînant une modification de la distance entre les deux armatures du condensateur. La tension de sortie envoyée vers le pré-amplificateur est alors l'image des ondes sonores captées par le microphone.

B.6. Justifier par un raisonnement détaillé l'évolution de la capacité du condensateur lorsque la distance séparant les deux armatures diminue.

$$C = \epsilon \cdot \frac{S}{d} \text{ avec } \epsilon \cdot S = \text{constante, donc si } d \text{ diminue alors } C \text{ augmente.}$$

### **C. L'enceinte**

L'intensité sonore mesurée à 1,0 m devant l'enceinte vaut :  $I_1 = 3,2 \times 10^{-3} \text{ W.m}^{-2}$ .

C.1. Calculer le niveau d'intensité sonore  $L_1$  correspondant à l'intensité sonore  $I_1$ .

$$L_1 = 10 \log \left( \frac{I_1}{I_0} \right)$$

$$L_1 = 10 \times \log \left( \frac{3,2 \times 10^{-3}}{1,0 \times 10^{-12}} \right) = 95 \text{ dB}$$

La législation européenne indique les durées limites d'exposition journalière à ne pas dépasser à certains niveaux d'intensité sonore pour ne pas engendrer des traumatismes irréversibles :

L (dB)	86	92	95	101	107
Durée limite d'exposition	2 h/jour	30 min/jour	15 min/jour	4 min/jour	1 min/jour

C.2. Commenter le résultat de la question C.1. au regard de ces durées limites d'exposition journalière.

**La valeur de 95 dB montre que le niveau sonore à 1,0 m de l'enceinte est élevé, il ne faut pas rester plus de 15 minutes à cette distance sinon on risque des traumatismes irréversibles.**

C.3. Montrer que la puissance  $P$  de l'enceinte est égale à  $4,0 \times 10^{-2} \text{ W}$ .

$$I_1 = \frac{P}{4\pi \cdot d^2} \text{ donc } P = 4\pi \cdot d^2 \cdot I_1$$

$$P = 4\pi \times 1,0^2 \times 3,2 \times 10^{-3} = 4,0 \times 10^{-2} \text{ W}$$

Les organisateurs de la manifestation sportive, d'une durée de 2 h, ont fixé à  $2,0 \times 10^{-4} \text{ W.m}^{-2}$  la valeur maximale de l'intensité sonore perçue par les spectateurs.

C.4. Expliquer le choix des organisateurs de fixer à  $2,0 \times 10^{-4} \text{ W.m}^{-2}$  la valeur maximale de l'intensité sonore perçue par les spectateurs.

**Calculons le niveau  $L_2$  d'intensité sonore qui correspond à cette intensité sonore.**

$$L_2 = 10 \log \left( \frac{I_2}{I_0} \right)$$

$$L_2 = 10 \times \log \left( \frac{2,0 \times 10^{-4}}{1,0 \times 10^{-12}} \right) = 83 \text{ dB}$$

**Cette valeur est inférieure à 86 dB, il sera donc possible d'exposer les spectateurs à ce niveau d'intensité sonore sans risque de traumatismes irréversibles.**

Des barrières de sécurité entourent l'enceinte à 3,0 m de celle-ci, pour éviter que les spectateurs en soient trop proches.

C.5. Indiquer, par un raisonnement quantitatif, si la distance de sécurité entre les barrières et l'enceinte est suffisante pour respecter la valeur maximale de  $2,0 \times 10^{-4} \text{ W.m}^{-2}$  choisie par les organisateurs.

**Nommons  $I_3$  l'intensité sonore reçue à  $d_3 = 3,0 \text{ m}$  de l'enceinte :  $I_3 = \frac{P}{4\pi \cdot d_3^2}$**

$$I_3 = \frac{4,0 \times 10^{-2}}{4\pi \times 3,0^2} = 3,5 \times 10^{-4} \text{ W.m}^{-2} > 2,0 \times 10^{-4} \text{ W.m}^{-2} \text{ ainsi la distance est insuffisante pour}$$

**respecter la valeur maximale de l'intensité sonore fixée.**

**EXERCICE A. OBSERVATION D'UN SATELLITE (5 pts, 53 minutes)**

Mots-clés : deuxième loi de Newton ; période de révolution ; lunette astronomique.

**Orbite d'un satellite Starlink****1. Justifier à l'aide de la deuxième loi de Newton que le mouvement du satellite est uniforme.**Système : {Satellite Starlink} de masse  $m$       Référentiel : géocentrique considéré galiléen

Inventaire des forces :

uniquement la force d'attraction gravitationnelle exercée par la Terre

Deuxième loi de Newton :

$$\vec{F}_{T/S} = m\vec{a}$$

$$\frac{G.m.M_T}{OS^2} \cdot \vec{u}_n = m\vec{a} \quad \text{où } \vec{u}_n \text{ est un vecteur unitaire radial et centripète}$$

$$\vec{a} = \frac{G.M_T}{(R_T + h)^2} \cdot \vec{u}_n$$

Dans le repère de Frenet,  $\vec{a} = \frac{dv}{dt} \cdot \vec{u}_\tau + \frac{v^2}{R_T + h} \cdot \vec{u}_n$

Par analogie entre ces deux expressions de  $\vec{a}$ , on en déduit que  $\frac{dv}{dt} = 0$ .

Le mouvement du satellite Starlink est bien uniforme si la trajectoire est considérée circulaire.

**2. Définir puis exprimer la période de révolution  $T$  en fonction de la vitesse  $v_S$  du satellite, du rayon terrestre  $R_T$  et de l'altitude  $h$  du satellite.**

La période de révolution  $T$  est la durée nécessaire pour que la satellite parcourt son orbite circulaire de périmètre  $2\pi \cdot (R_T + h)$ .

Ainsi  $v_S = \frac{2\pi \cdot (R_T + h)}{T}$ , soit  $T = \frac{2\pi \cdot (R_T + h)}{v_S}$

**3. À l'aide de la deuxième loi de Newton, exprimer  $R_T + h$  en fonction de  $G$ ,  $M_T$  et  $v_S$ .**

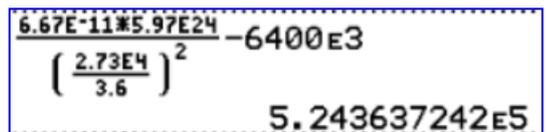
Par analogie entre les deux expressions de  $\vec{a}$ , on déduit aussi que  $\frac{v_S^2}{R_T + h} = \frac{G.M_T}{(R_T + h)^2}$

$$v_S^2 = \frac{G.M_T}{(R_T + h)} \quad \text{donc } (R_T + h) = \frac{G.M_T}{v_S^2}$$

**4. Calculer l'altitude  $h$  du satellite. Commenter.**

$$h = \frac{G.M_T}{v_S^2} - R_T$$

$$h = \frac{6,67 \times 10^{-11} \times 5,97 \times 10^{24}}{\left(\frac{2,73 \times 10^4}{3,6}\right)^2} - 6400 \times 10^3 = 5,24 \times 10^5 \text{ m} = 524 \text{ km.}$$



Handwritten calculation showing the final result:  $5.243637242E5$

Ce résultat est en accord avec les données qui donnaient  $h$  comprise entre 340 et 1 200 km.

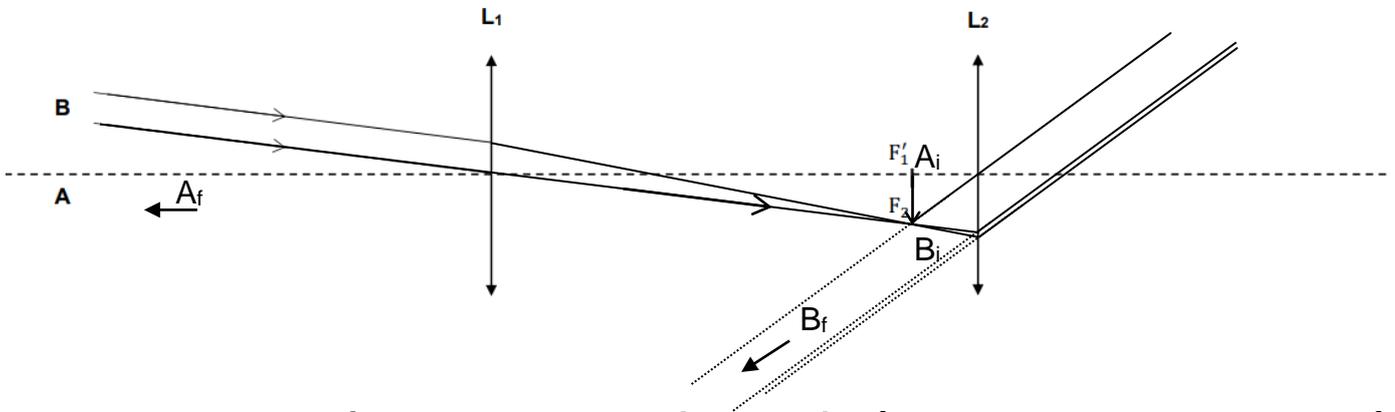
## Observation du satellite

### 5. Donner la signification du terme afocal.

Un instrument d'optique afocal donne d'un objet à l'infini une image à l'infini.

Pour cela, il faut que le foyer image  $F_1'$  de l'objectif soit confondu avec le foyer objet  $F_2$  de l'oculaire.

6. Le satellite est schématisé comme un objet  $AB$  perpendiculaire à l'axe optique, situé très loin de l'objectif (à « l'infini »). Sur l'annexe à rendre avec la copie, construire l'image intermédiaire,  $A_iB_i$ , de  $AB$ , donnée par l'objectif, puis construire l'image finale,  $A_fB_f$ , de l'objet  $AB$  par la lunette astronomique.

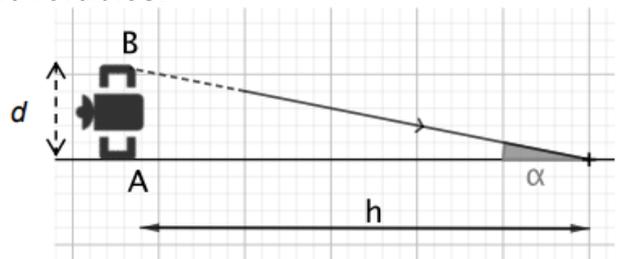


7. Avec l'aide du schéma ci-dessous, exprimer le diamètre apparent  $\alpha$  correspondant à l'angle sous lequel les deux extrémités A et B du satellite sont observées depuis la surface de la Terre dans les conditions les plus favorables.

$$\tan \alpha = \frac{d}{h}$$

Pour de petits angles exprimés en radians, alors  $\tan \alpha \approx \alpha$

$$\text{donc } \alpha = \frac{d}{h}$$



8. Indiquer si les points A et B d'un satellite Starlink peuvent être distingués à l'œil nu. On suppose que  $h = 520 \text{ km}$ .

La taille d'un satellite est d'environ  $d = 1,0 \text{ m}$ .

$$\alpha = \frac{d}{h}$$

$$\alpha = \frac{1,0}{520 \times 10^3} = 1,9 \times 10^{-6} \text{ rad} < \alpha_{\min} = 2,9 \times 10^{-4} \text{ rad}$$

À l'œil nu, il n'est pas possible de distinguer les points A et B d'un satellite.

9. Montrer que la lunette utilisée dans cet exercice ne permet pas d'observer les détails d'un satellite Starlink.

À l'aide de la lunette, on observe le satellite sous un angle  $\alpha'$ .

$$\frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{f_1'}{f_2'} \text{ donc } \alpha' = \frac{f_1'}{f_2'} \cdot \alpha$$

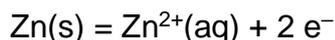
$$\alpha' = \frac{600 \text{ mm}}{32 \text{ mm}} \times 1,9 \times 10^{-6} = 3,6 \times 10^{-5} \text{ rad} < \alpha_{\min}$$

Donc on ne peut pas observer les détails d'un satellite.

$\frac{1}{520E3}$	
	$1.923076923E-6$
	$1.923076923E-6 \times \frac{600}{32}$
	$3.605769231E-5$

### 1. Étude de la pile Volta

**Q1.** Oxydation du zinc



Réduction des ions hydrogène  $2\text{H}^{+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^{-} = \text{H}_2(\text{g})$

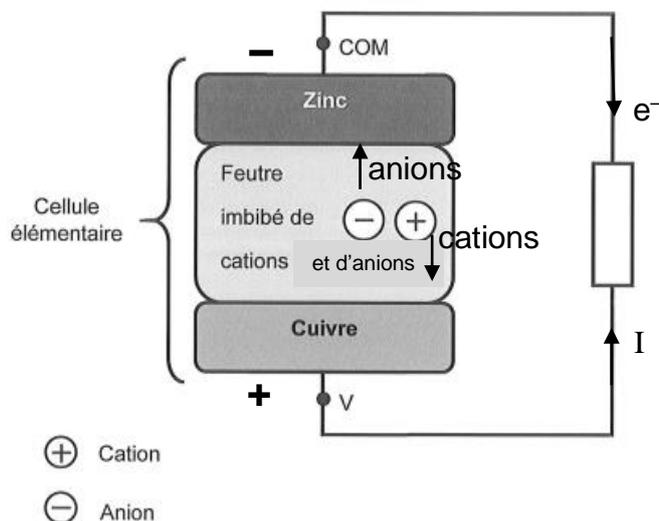
En additionnant les deux demi-équations, on retrouve l'équation proposée.



**Q2.** À la cathode, il se produit une réduction. Celle des ions  $\text{H}^{+}$ , l'électrode de cuivre inerte se contente d'y apporter les électrons fournis par l'oxydation des atomes Zn de l'anode.

L'électrode de cuivre joue le rôle de cathode.

**Q3.**



Justifications non demandées :

Pôles : Le zinc libère des électrons, c'est le pôle négatif de la cellule.

Au niveau du cuivre, des électrons sont consommés, c'est le pôle positif de la cellule.

Mouvement des électrons : du pôle - vers le pôle +.

Sens du courant : opposé au mouvement des électrons.

Mouvement des cations : Pour maintenir l'électroneutralité de la lame de cuivre des cations y arrivent et compensent ainsi la disparition des charges + des ions  $\text{H}^{+}$ .

Mouvement des anions : Pour maintenir l'électroneutralité de la lame de zinc des anions y arrivent et compensent ainsi l'apparition des charges + due aux  $\text{Zn}^{2+}$ .

**Q4.** Le voltmètre ainsi connecté mesure la tension  $U_{\text{CuZn}} = V_{\text{Cu}} - V_{\text{Zn}} > 0$  donc  $V_{\text{Cu}} > V_{\text{Zn}}$ . Ce qui confirme que la laque de cuivre est le pôle +.

**Q5.** Les points expérimentaux semblent alignés sur une droite passant par l'origine. Ainsi la tension électrique est proportionnelle au nombre  $N$  de cellules. On a  $U = k.N$  où  $k$  est le coefficient directeur de cette droite.

À l'aide du point A ( $N=14$  ;  $U_A = 12 \text{ V}$ ), on trouve  $k = \frac{U_A}{N} = \frac{12}{14} = 0,86 \text{ V/cellule}$

Alors  $U = 0,86.N$

**Q6.** Pour atteindre  $U = 10^2 \text{ V}$ , il faut  $N = \frac{U}{0,86} = \frac{100}{0,86} = 1,2 \times 10^2$  cellules, soit un ordre de grandeur de  $10^2$  cellules.

## 2. La pile Daniell

**Q7.** On calcule les quantités de matière de réactifs.

$$n_{\text{Zn}} = \frac{m_{\text{Zn}}}{M_{\text{Zn}}}$$

$$n_{\text{Zn}} = \frac{100}{65,4} = 1,53 \text{ mol de Zn}$$

$$n_{\text{Cu}^{2+}} = C.V$$

$$n_{\text{Cu}^{2+}} = 0,100 \times 100 \times 10^{-3} = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

D'après l'équation de la réaction, il faut  $\frac{n_{\text{Cu}^{2+}}}{1} = \frac{n_{\text{Zn}}}{1}$  pour respecter les proportions stœchiométriques.

Ici  $\frac{n_{\text{Cu}^{2+}}}{1} < \frac{n_{\text{Zn}}}{1}$ , donc effectivement les cations  $\text{Cu}^{2+}$  constituent le réactif limitant.

**Q8.**  $Q = n_{e^-} \cdot F$  où  $F$  est la charge d'une mole d'électrons =  $9,65 \times 10^4 \text{ C}$ .

Au niveau microscopique chaque fois qu'un ion  $\text{Cu}^{2+}$  est consommé alors 2 électrons circulent dans le circuit.

Au niveau macroscopique,  $n_{\text{Cu}^{2+}} = \frac{n_{e^-}}{2}$ , soit  $n_{e^-} = 2 \cdot n_{\text{Cu}^{2+}}$

$$Q = 2 \cdot n_{\text{Cu}^{2+}} \cdot F$$

Par ailleurs,  $Q = I \cdot \Delta t$  donc  $I \cdot \Delta t = 2 \cdot n_{\text{Cu}^{2+}} \cdot F$

$$\Delta t = \frac{2n_{\text{Cu}^{2+}} \cdot F}{I}$$

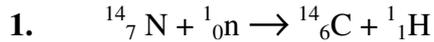
$$\Delta t = \frac{2 \times 1,00 \times 10^{-2} \times 9,65 \times 10^4}{20 \times 10^{-3}} = 9,65 \times 10^4 \text{ s} = 26,8 \text{ h}$$

$2 \times 0,01 \times 9,65 \times 10^4$	
$20 \times 10^{-3}$	
Rep/3600	$9,65 \times 10^4$
	$2,680555556 \times 10^5$

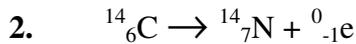
Si vous avez trouvé une erreur, merci de nous la signaler par email : [labolycee@labolycee.org](mailto:labolycee@labolycee.org)

## Liban 2004 Exercice 2 Enquête sur un homicide (5,5 points) Calculatrice autorisée

## I. Étude du carbone 14 :

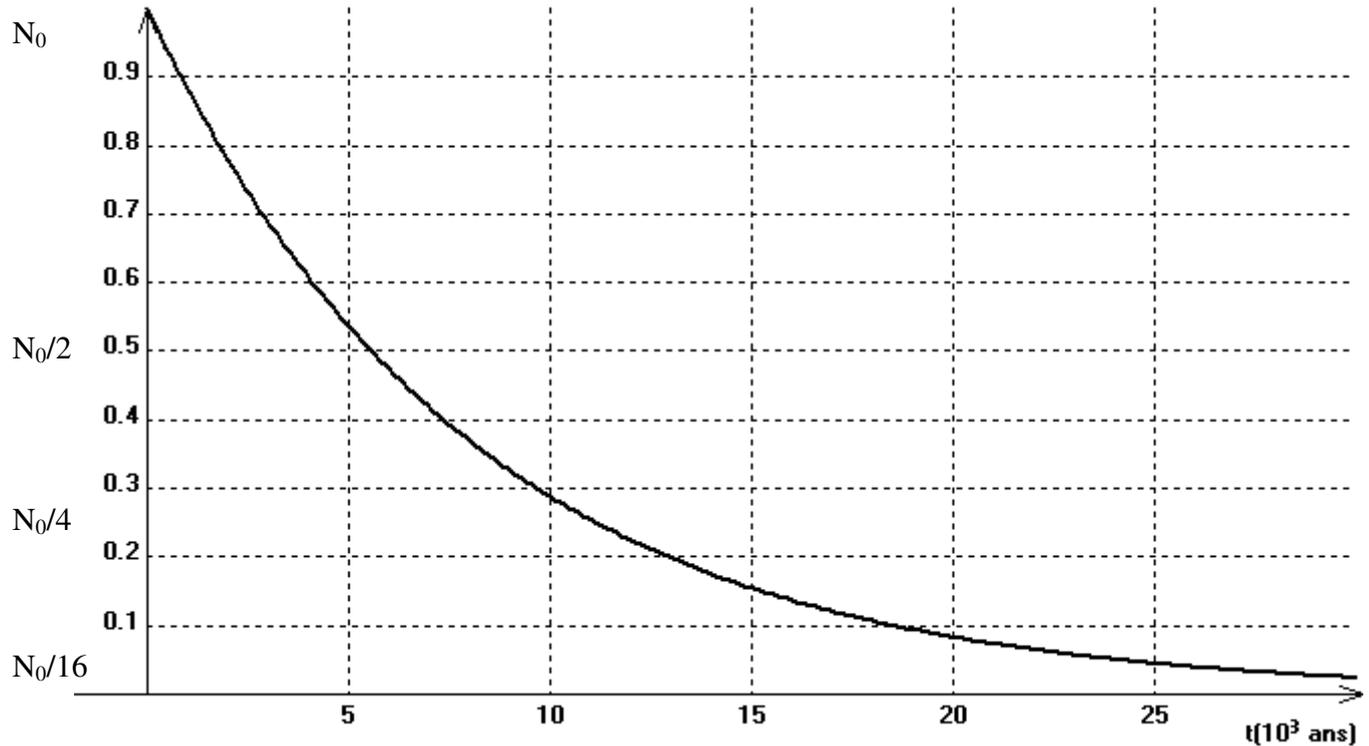
Correction © <http://labolycee.org>La particule émise est un **proton**

D'après les lois de conservations de Soddy, cette particule est formée de 1 nucléon qui porte une charge positive.



3. Temps de demi-vie : durée au bout de laquelle la moitié des noyaux radioactifs initialement présents se sont désintégrés.

4.a.  $N(t_{1/2}) = N_0/2$      $N(2t_{1/2}) = N_0/4$      $N(3t_{1/2}) = N_0/8$      $N(4t_{1/2}) = N_0/16$      $N(5t_{1/2}) = N_0/32$

4.b. **N**

5.a.  $N(t_{1/2}) = N_0/2 = N_0 e^{-\lambda \cdot t_{1/2}}$

soit  $1/2 = e^{-\lambda \cdot t_{1/2}}$

$\ln(1/2) = \ln(e^{-\lambda \cdot t_{1/2}})$

$\ln 1 - \ln 2 = -\lambda \cdot t_{1/2}$

$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$
-----------------------------------

5.b.  $\lambda = \ln 2 / t_{1/2} = \frac{\ln 2}{(5570 \times 3600 \times 24 \times 365,25)} = 3,943 \cdot 10^{-12} \text{ s}^{-1}$

ou  $\lambda = \frac{\ln 2}{5570} = 1,244 \cdot 10^{-4} \text{ an}^{-1}$

## II. Application à la datation :

**1.a.**  $A(t) = -\frac{dN(t)}{dt} = \lambda \cdot N(t)$       soit       $\frac{dN(t)}{dt} + \lambda \cdot N(t) = 0$

**1.b.**  $dN(t)/dt + \lambda \cdot N(t) = -\lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} + \lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} = 0$ , l'expression de  $N(t)$  donnée par l'équation (1) est bien solution de l'équation différentielle.

**2. a.**  $N / N_0 = e^{-\lambda \cdot t}$        $\ln(N/N_0) = -\lambda \cdot t$        $t = -\ln(N/N_0) / \lambda$

Pour ANDER  $t = -\frac{\ln \frac{N}{N_0}}{\frac{\ln 2}{t_{1/2}}} = -\left(\ln \frac{N}{N_0}\right) \times \frac{t_{1/2}}{\ln 2} = -(\ln 1,64 \times 10^{-2}) \times \frac{5570}{\ln 2} = 33,0 \cdot 10^3$  ans

**2.b.** L'agence de presse nous donne un intervalle compris entre  $-60000$  ans et  $-30000$  ans, le résultat obtenu est bien en accord avec l'article.

**2.c.** Pour SAPIAND on obtient, par un calcul analogue au 2.a., un âge  $t = 32,0 \cdot 10^3$  ans SAPIAND n'a donc pas pu massacrer ANDER (il y a 1000 ans d'écart)

**3. a.** Dans 200 g d'os, il se produit une quinzaine de désintégrations par minute,

soit  $\frac{15}{60} = 0,25$  désintégration par seconde ou **0,25 Bq**

**3.b.**  $N(t) = A(t) / \lambda$

*Attention activité en becquerels donc il faut utiliser la seconde comme unité de temps.*

$N(t) = 0,25 / 3,943 \cdot 10^{-12} = 6,34 \cdot 10^{10}$  noyaux

**3.c.** L'échantillon de 200 g d'os contient 1 g de carbone, soit  $N(^{12}\text{C}) = N_A \times \frac{m}{M_C}$ ,

de plus il contient  $N(t) = N(^{14}\text{C})$  noyaux radioactifs.

$N(^{14}\text{C}) / N(^{12}\text{C}) = N(t) / (N_A/12) = 1,26 \cdot 10^{-12}$

**Antilles 09/2009 EXERCICE I : UN BIJOU PEU COUTEUX (6,5 points)**  
**CORRECTION © <http://labolycee.org>**

**1- Bilan de l'électrolyse**

**1.1.** On veut déposer de l'argent solide sur la bague en cuivre ; la demi-équation ayant lieu sera :  $\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{e}^- = \text{Ag}(\text{s})$  **(1)**

Il s'agit d'une réduction qui a lieu à la **cathode**.

Le générateur fournit les électrons nécessaires à la réduction, la bague doit être reliée à la borne **négative** du générateur de tension.

**1.2.** L'oxydant  $\text{H}^+$  est présent dans la solution, il peut subir une réduction selon la demi-équation de réduction :

$$2\text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e}^- = \text{H}_2(\text{g})$$

**1.3.** À l'électrode en graphite (anode), il se produit une oxydation à l'origine d'un dégagement gazeux. Le seul réducteur présent est l'eau, on a  $2\text{H}_2\text{O}(\ell) = \text{O}_2(\text{g}) + 4\text{H}^+(\text{aq}) + 4\text{e}^-$  **(2)**

**1.4.**

$$\begin{array}{l} \text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{e}^- = \text{Ag}(\text{s}) \quad \mathbf{(1)} \\ 2\text{H}_2\text{O}(\ell) = \text{O}_2(\text{g}) + 4\text{H}^+(\text{aq}) + 4\text{e}^- \quad \mathbf{(2)} \end{array} \quad \begin{array}{l} \times 4 \text{ Autant d'électrons consommés} \\ \text{que d'électrons formés} \end{array}$$


**1.5.1.**  $Q = I \cdot \Delta t$  et  $Q = n(\text{e}^-) \cdot F$

$$I \cdot \Delta t = n(\text{e}^-) \cdot F$$

$$n(\text{e}^-) = \frac{I \cdot \Delta t}{F} \text{ avec } \Delta t \text{ en s}$$

$$n(\text{e}^-) = \frac{24 \times 10^{-3} \times 80 \times 60}{96500} = 1,2 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

**1.5.2.**  $n_i(\text{Ag}^+) = C \cdot V$

$$n_i(\text{Ag}^+) = 4,00 \times 10^{-3} \times 0,500 = 2,00 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

Équation de la transformation chimique		$4\text{Ag}^+(\text{aq}) + 2\text{H}_2\text{O}(\ell) = 4\text{Ag}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) + 4\text{H}^+(\text{aq})$					
État du système	Avancement en mol	$n(\text{Ag}^+)$ en mol	$n(\text{H}_2\text{O})$ en mol	$n(\text{Ag})$ en mol	$n(\text{O}_2)$ en mol	$n(\text{H}^+)$ en mol	$n(\text{e}^-)$ échangés
État initial	$x = 0$	$n_i(\text{Ag}^+)$	Excès	<b>0</b>	<b>0</b>	Excès	<b>0</b>
État intermédiaire	$x$	$n_i(\text{Ag}^+) - 4x$	Excès	<b>4x</b>	<b>x</b>	Excès	<b>4x</b>

**1.5.3.** D'après le tableau d'avancement  $4x = n(\text{e}^-)$ , soit  $x = n(\text{e}^-)/4$

$$x = 1,2 \times 10^{-3} / 4 = 3,0 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

**1.5.4.** D'après le tableau d'avancement  $n(\text{Ag}) = 4x$  or  $n(\text{Ag}) = \frac{m(\text{Ag})}{M(\text{Ag})}$

donc  $m(\text{Ag}) = 4x \cdot M(\text{Ag})$

$$m(\text{Ag}) = 4 \times 3,0 \times 10^{-4} \times 107,9 = 0,13 \text{ g}$$

**2- Choix d'une réaction support pour doser les ions argent restant après l'électrolyse.**

**2.1.**  $\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) = \text{AgCl}(\text{s})$

**2.2.**  $Q_r = \frac{1}{[\text{Ag}^+_{(\text{aq})}] \cdot [\text{Cl}^-_{(\text{aq})}]}$

$$2.3. Q_{r,i} = \frac{1}{[\text{Ag}^+_{(\text{aq})}]_i \cdot [\text{Cl}^-_{(\text{aq})}]_i} = \frac{1}{\frac{C \cdot V}{V + V_1} \cdot \frac{C_1 \cdot V_1}{V + V_1}} = \frac{(V + V_1)^2}{C \cdot V \cdot C_1 \cdot V_1}$$

$$Q_{r,i} = \frac{(5,0 \times 10^{-3} + 1,0 \times 10^{-3})^2}{4,00 \times 10^{-3} \times 5,0 \times 10^{-3} \times 1,00 \times 10^{-1} \times 1,0 \times 10^{-3}} = 1,8 \times 10^4$$

2.4.  $Q_{r,i} < K$ , le système chimique va évoluer dans le sens direct.

Il va se former du chlorure d'argent solide, ce qui est en accord avec le précipité blanc observé.

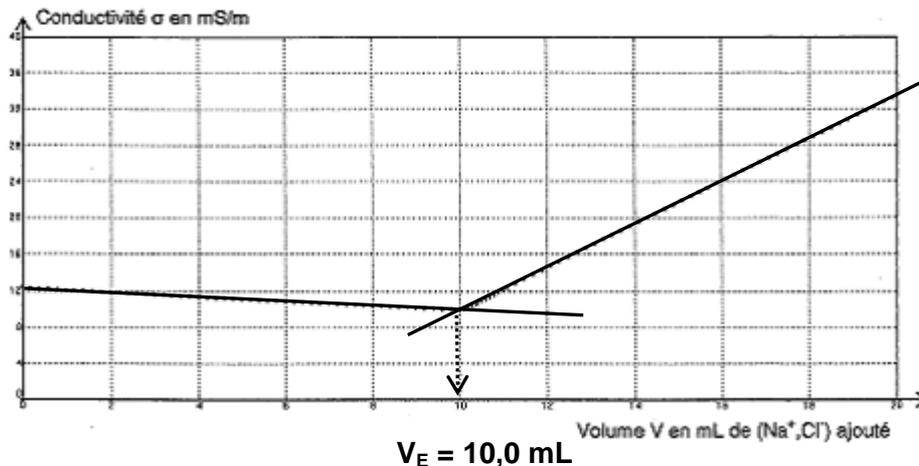
### 3- Détermination de la masse d'argent déposée sur la bague de cuivre

3.1. Matériel proposé	Matériel nécessaire pour le dosage
Burette de 25,0 mL	<b>X</b> contient la solution titrante
Bécher de 1,0 L	<b>X</b> contient la solution titrée
Bécher de 50 mL	X pour verser la solution titrante dans la burette
Conductimètre avec sonde	<b>x</b>
Agitateur magnétique	<b>x</b>
Barreau aimanté	<b>x</b>

3.2. À l'équivalence, les réactifs sont introduits dans les proportions stœchiométriques.

D'après l'équation de la réaction support du titrage :  $n_{\text{Cl}^-}$  versé =  $n_{\text{Ag}^+}$  restant dans la solution S après électrolyse.

3.3.



3.4. D'après 3.2., on a  $n_r(\text{Ag}^+) = C_1 \cdot V_E$

3.5.  $n_i(\text{Ag}^+) = n_c(\text{Ag}^+) + n_r(\text{Ag}^+)$

$n_c(\text{Ag}^+) = n_i(\text{Ag}^+) - C_1 \cdot V_E$

$n_c(\text{Ag}^+) = 2,00 \times 10^{-3} - 1,00 \times 10^{-1} \times 10,0 \times 10^{-3} = 1,00 \times 10^{-3} \text{ mol}$

3.6.  $m(\text{Ag}) = n_c(\text{Ag}^+) \cdot M(\text{Ag})$

$m(\text{Ag}) = 1,00 \times 10^{-3} \times 107,9 = 0,108 \text{ g}$

3.7. La valeur obtenue est inférieure à celle trouvée à la question 1.5.4. (0,13 g). Il est possible que la réaction  $2\text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e}^- = \text{H}_2(\text{g})$  ait lieu en même temps au niveau de la bague, ce qui entraînerait une consommation d'électrons.

Or pour calculer la masse d'argent déposée, on considère que tous les électrons étaient consommés par la seule réduction de  $\text{Ag}^+$ . Ce qui explique que la masse d'argent trouvée par dosage est inférieure à celle calculée à l'issue de l'électrolyse.

Approfondissement dans une video du Palais de la découverte (10 min) : <http://acver.fr/4yi>



### 1. Le LiDAR topographique embarqué.

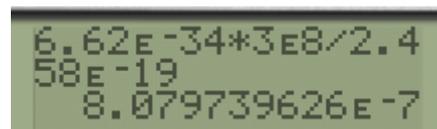
1.1. (0,5) Les principales propriétés du rayonnement émis par un laser sont : monochromaticité, directivité, concentration spatiale et temporelle de l'énergie (*seules 2 étaient attendues*).

1.2. (0,25) Les lampes flash apportent l'énergie qui excite les atomes en les amenant du niveau d'énergie  $E_0$  au niveau  $E_3$ .

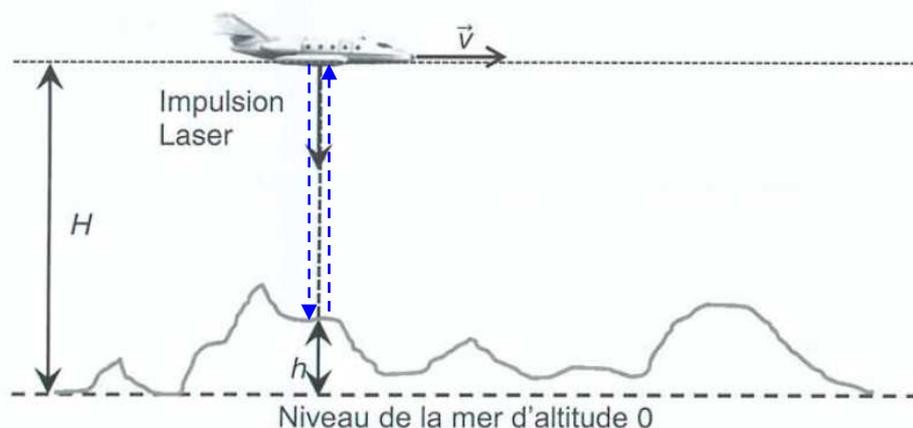
1.3. (1) En utilisant la relation de Planck :  $\Delta E = E_3 - E_0 = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}$ , on obtient la relation :

$$\lambda = h \cdot \frac{c}{E_3 - E_0}$$

$$\lambda = 6,62 \times 10^{-34} \times \frac{3,00 \times 10^8}{2,458 \times 10^{-19} - 0} = 8,08 \times 10^{-7} \text{ m} = \mathbf{808 \text{ nm.}}$$



1.4. (0,5) L'impulsion Laser effectue un aller-retour à la vitesse de la lumière  $c$  entre l'avion et le sol soit une distance  $2 \times (H - h)$  en utilisant le schéma.



On peut écrire  $c = \frac{d}{\Delta t} = \frac{2 \times (H - h)}{\Delta t}$  donc  $\Delta t = \frac{2 \times (H - h)}{c}$

1.5. (0,75) Au début du parcours, la durée  $\Delta t$  doit être plus longue car la distance à parcourir par l'impulsion est plus élevée que par la suite. Le **graphique a** correspond à cette situation.

1.6.  $\Delta t = \frac{2 \times (H - h)}{c}$

$$\frac{c \cdot \Delta t}{2} = H - h$$

(0,25)  $h = H - \frac{c \cdot \Delta t}{2}$

(0,25)  $h = 3,50 \times 10^3 - \frac{3,00 \times 10^8 \times 13,6 \times 10^{-6}}{2} = 1,46 \times 10^3 \text{ m}$

1.7. (0,5) Pendant la durée  $\Delta t = 13,6 \mu\text{s}$  (durée de l'impulsion), l'avion vole à la vitesse  $v = 450 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  La distance parcourue est  $d = v \cdot \Delta t$ .

$$d = \frac{450}{3,600} \times 13,6 \times 10^{-6} = 1,70 \times 10^{-3} \text{ m} = 1,70 \text{ mm.}$$

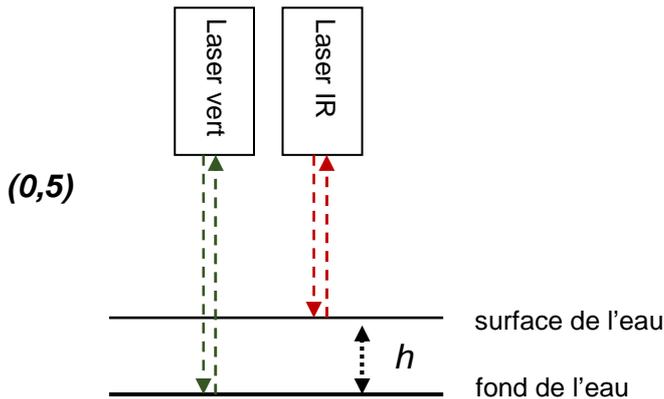
Cette distance est effectivement négligeable par rapport à  $H = 3,50 \text{ km}$  : on peut valider l'hypothèse de la question 1.4.

## 2. Le LiDAR bathymétrique.

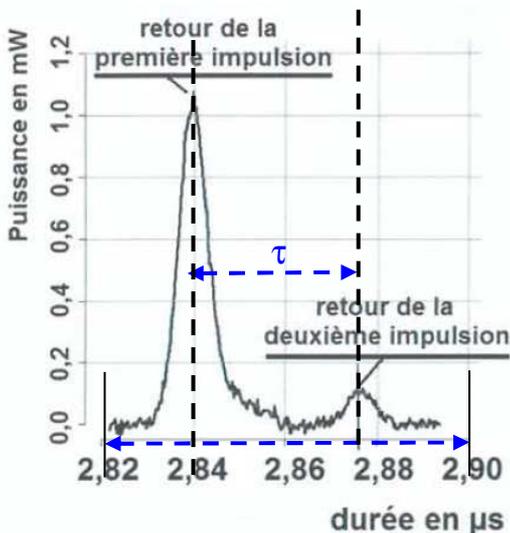
2.1. (0,5) Le laser vert a une longueur d'onde de 532 nm (car  $400 \text{ nm} \leq \lambda_{\text{visible}} \leq 800 \text{ nm}$ ) tandis que le laser infrarouge a une longueur d'onde de 1064 nm ( $\lambda_{\text{IR}} \geq 800 \text{ nm}$ ).

2.2. (0,5) Comme le montre le spectre d'absorption de l'eau, le rayonnement IR utilisé est fortement absorbé contrairement au rayonnement vert utilisé : il est donc plus judicieux d'utiliser le laser vert pour détecter le fond de l'eau car celui-ci peut facilement effectuer l'aller-retour dans l'eau.

2.3. D'après le texte, le laser infrarouge sert à repérer la surface de l'eau tandis que le laser vert sert à repérer le fond de l'eau d'où le schéma de principe suivant :



**Démarche :** On peut déterminer (grâce au doc 2) le retard entre le retour de la 1<sup>ère</sup> impulsion et le retour de la 2<sup>ème</sup> impulsion :  $\tau = \Delta t_V - \Delta t_{IR}$ .



$$\tau \longrightarrow 2,2 \text{ cm}$$

$$2,90 - 2,82 = 0,08 \mu\text{s} \longrightarrow 5,0 \text{ cm}$$

$$\tau = \frac{0,08 \times 2,2}{5,0} = 0,0352 \mu\text{s} \approx 0,035 \mu\text{s}$$

(0,75) Ce retard  $\tau$  correspond à la distance  $2h$  (à cause de l'aller-retour) parcourue par la lumière verte à la célérité de la lumière dans l'eau :  $v = \frac{2h}{\tau}$  donc  $h = \frac{\tau \cdot v}{2}$

$$h = \frac{0,0352 \times 10^{-6} \times 2,26 \times 10^8}{2} = 3,9976 \text{ m}, \text{ soit avec 2 chiffres significatifs } h = 4,0 \text{ m.}$$

## 3. Le LiDAR à effet Doppler

3.1. (0,25) - Les ondes ultrasonores sont des ondes mécaniques qui nécessitent donc un milieu matériel pour se propager contrairement aux ondes électromagnétiques.

- Les fréquences des deux ondes sont différentes.
- Leurs célérités sont différentes.

**3.2.** Calcul de la vitesse du chariot :  $v_{\text{exp1}} = \frac{d}{\tau}$  avec  $\bar{\tau} = 2,078$  s (moyenne de  $\tau$  sur  $n = 10$  mesures, non arrondie car résultat intermédiaire). **(Moyenne 0,5)**

```

1-Var Stats
X=2.078
Σx=20.78
Σx²=43.1858
Sx=.0234757558
σx=.0222710575
↓n=10
    
```

$$v_{\text{exp1}} = \frac{30,0 \times 10^{-2}}{2,078} = 0,144 \text{ m.s}^{-1}$$

**(0,25)** Calcul de l'incertitude  $U(\tau) = \frac{2,26 \times \sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$  avec  $n = 10$  et  $\sigma_{n-1} = 2,35 \times 10^{-2}$  s (*donné ici mais à savoir calculer voir <https://fr.slideshare.net/Labolycee/ts-tpc2calculatricemoy-ecart>*)

$$U(\tau) = \frac{2,26 \times 2,35 \times 10^{-2}}{\sqrt{10}} = 1,7 \times 10^{-2} \text{ s} = \mathbf{2 \times 10^{-2} \text{ s}}$$

**(0,5)** Calcul de l'incertitude  $U(v_{\text{exp1}}) = v_{\text{exp1}} \sqrt{\left(\frac{U(\tau)}{\tau}\right)^2 + \left(\frac{U(d)}{d}\right)^2}$

$$U(v_{\text{exp1}}) = 0,144 \times \sqrt{\left(\frac{2 \times 10^{-2}}{2,078}\right)^2 + \left(\frac{0,5}{30,0}\right)^2} = 0,00278 \approx 0,003 \text{ m.s}^{-1}$$

**(0,25)** Ainsi  $v_{\text{exp1}} = (0,144 \pm 0,003) \text{ m.s}^{-1}$  ou  $0,141 \text{ m.s}^{-1} \leq v_{\text{exp1}} \leq 0,147 \text{ m.s}^{-1}$ .

**3.3. (0,5)**  $f_2 < f_1$  : On constate que la fréquence perçue par le récepteur lorsque le chariot est en mouvement est inférieure à celle émise par le chariot donc celui-ci s'éloigne du récepteur (tout comme la sirène de l'ambulance qui paraît plus grave lorsqu'elle s'éloigne).

**3.4.** Pour répondre, il faut d'abord déterminer la valeur de  $v_{\text{exp2}}$  et son encadrement.

$$|\Delta f| = \frac{2 \times v \times f_{\text{em}}}{c} \text{ donc } v = \frac{|\Delta f| \times c}{2 \times f_{\text{em}}}$$

*(Attention : la notation  $c$  est trompeuse : il s'agit de la célérité de l'onde utilisée et pas la vitesse de la lumière ici)*

Avec les notations de l'énoncé :  $f_{\text{em}} = f_1$  et  $\Delta f = f_2 - f_1$  donc  $v_{\text{exp2}} = \frac{|f_2 - f_1| \times v_{\text{son}}}{2 \times f_1}$  **(0,25)**

$$v_{\text{exp2}} = \frac{|42134 - 42170| \times 3,40 \times 10^2}{2 \times 42170} = \frac{36 \times 340}{2 \times 42170} = 0,145 \text{ m.s}^{-1} \quad \mathbf{(0,25)}$$

D'après l'énoncé,  $\frac{U(v_{\text{exp2}})}{v_{\text{exp2}}} = 5\%$  donc  $U(v_{\text{exp2}}) = 0,05 \times 0,145 = 0,00726 = 0,008 \text{ m.s}^{-1}$  **(0,25)**

**(0,25)**  $v_{\text{exp2}} = (0,145 \pm 0,008) \text{ m.s}^{-1}$  que l'on peut aussi écrire  $0,137 \text{ m.s}^{-1} \leq v_{\text{exp2}} \leq 0,153 \text{ m.s}^{-1}$ .

**(0,5)** Et on a obtenu pour l'expérience 1 :  $0,141 \text{ m.s}^{-1} \leq v_{\text{exp1}} \leq 0,147 \text{ m.s}^{-1}$ .

Les résultats des deux expériences sont compatibles car les intervalles de confiance se chevauchent.

## Compétences exigibles ou attendues :

**En noir : officiel (Au B.O.)**

***En italique : officieux (au vu des sujets de Bac depuis 2013)***

- Connaître les principales propriétés du laser (directivité, monochromaticité, concentration spatiale et temporelle de l'énergie).
- Notion de quantum d'énergie : connaître et savoir utiliser la relation  $\Delta E = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}$  et l'utiliser pour exploiter un diagramme de niveaux d'énergie (1<sup>ère</sup> S).
- Connaître et exploiter la relation entre retard, distance et vitesse de propagation (célérité).
- Connaître les limites du spectre visible et placer les UV et les IR (1<sup>ère</sup> S).
- Exploiter un spectre UV-visible-IR.
- Définir une onde *mécanique* (progressive).
- Évaluer l'incertitude de répétabilité à l'aide d'une formule d'évaluation fournie.
- Exprimer le résultat d'une opération de mesure par une valeur issue éventuellement d'une moyenne et une incertitude de mesure associée à un intervalle de confiance.
- Évaluer, à l'aide d'une formule fournie, l'incertitude d'une mesure obtenue lors de la réalisation d'un protocole dans lequel interviennent plusieurs sources d'erreurs.
- Maîtriser l'usage des chiffres significatifs et l'écriture scientifique.
- Commenter le résultat d'une opération de mesure en le comparant à une valeur de référence.
- *Effet Doppler : savoir comment évoluent la longueur d'onde, la période et la fréquence perçues par le récepteur quand la distance émetteur-récepteur varie.*