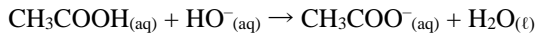


## EXERCICE A : LA CHIMIE DANS DIFFÉRENTS DOMAINES (10 POINTS)

### PARTIE 1 : Une astuce culinaire

#### 1. DOSAGE DU VINAIGRE EN CUISINE

1.1. L'énoncé indique "titrage de la solution S<sub>1</sub> d'acide éthanóïque CH<sub>3</sub>COOH par une solution d'hydroxyde de sodium (Na<sup>+</sup> + HO<sup>-</sup>)" :



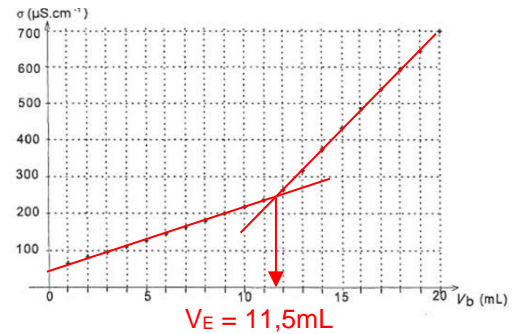
1.2. V<sub>E</sub> = 11,5mL (abscisse de l'intersection des deux droites)

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

$$\frac{n(\text{CH}_3\text{COOH})_{\text{dosée}}}{1} = \frac{n(\text{HO}^-)_{\text{E}}}{1} \Leftrightarrow C_1 \cdot V_1 = C_b \cdot V_E$$

$$C_1 = \frac{C_b \cdot V_E}{V_1} = \frac{5,0 \cdot 10^{-2} \times 11,5 \cdot 10^{-3}}{10,0 \cdot 10^{-3}} = \underline{5,8 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}}$$

1.4. La solution S<sub>1</sub> ayant été obtenue par une dilution d'un facteur 20 de S<sub>0</sub> : C<sub>0</sub> = 20 × C<sub>1</sub> = 20 × 5,8 · 10<sup>-2</sup> mol.L<sup>-1</sup> = 1,2 mol.L<sup>-1</sup>



#### 2. COMPORTEMENT DE LA TRIMÉTHYLAMINE DANS L'EAU

2.1. [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>]<sub>éq</sub> = 10<sup>-pH</sup> = 10<sup>-10,9</sup> = 1,26 · 10<sup>-11</sup> mol.L<sup>-1</sup>

$$K_e = [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}} \cdot [\text{HO}^-]_{\text{éq}} \quad \text{donc :} \quad [\text{HO}^-]_{\text{éq}} = \frac{K_e}{[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}} = \frac{10^{-14}}{1,26 \cdot 10^{-11}} = \underline{7,9 \cdot 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}}$$

$$n(\text{HO}^-)_{\text{éq}} = [\text{HO}^-]_{\text{éq}} \cdot V = 7,9 \cdot 10^{-4} \times 50 \cdot 10^{-3} = \underline{4,0 \cdot 10^{-5} \text{ mol}}$$

2.2. n<sub>0</sub> = C · V = 1,0 · 10<sup>-2</sup> × 50 · 10<sup>-3</sup> = 5,0 · 10<sup>-4</sup> mol

2.3. Tableau d'avancement :

État du système	Avancement	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> N	+	H <sub>2</sub> O	⇌	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> NH <sup>+</sup>	+	HO <sup>-</sup>
État initial	0	n <sub>0</sub>		excès		0		0
Au cours de la transformation	x	n <sub>0</sub> - x		excès		x		x
État final (état d'équilibre)	x <sub>f</sub>	n <sub>0</sub> - x <sub>f</sub>		excès		x <sub>f</sub>		x <sub>f</sub>
État final si transformation totale	x <sub>max</sub>	n <sub>0</sub> - x <sub>max</sub> = 0		excès		x <sub>max</sub>		x <sub>max</sub>

2.4. D'après le tableau d'avancement : x<sub>max</sub> = n<sub>0</sub> = 5,0 · 10<sup>-4</sup> mol  
x<sub>f</sub> = n(HO<sup>-</sup>)<sub>éq</sub> = 4,0 · 10<sup>-5</sup> mol

2.5. τ = x<sub>f</sub> / x<sub>max</sub> = 4,0 · 10<sup>-5</sup> / 5,0 · 10<sup>-4</sup> = 0,079 = 7,9%

τ < 1 donc la transformation est limitée.

2.6. D'après le tableau d'avancement :

$$\frac{[(\text{CH}_3)_3\text{NH}^+]_{\text{éq}}}{[(\text{CH}_3)_3\text{N}]_{\text{éq}}} = \frac{n((\text{CH}_3)_3\text{NH}^+)_{\text{éq}} / V}{n((\text{CH}_3)_3\text{N})_{\text{éq}} / V} = \frac{x_f / V}{(n_0 - x_f) / V} = \frac{x_f}{n_0 - x_f} = \frac{4,0 \cdot 10^{-5}}{5,0 \cdot 10^{-4} - 4,0 \cdot 10^{-5}} = \underline{8,7 \cdot 10^{-2} < 1}$$

C'est donc l'amine malodorante (CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>N qui prédomine dans l'eau.

#### 3. INTÉRÊT D'AJOUTER DU VINAIGRE À L'EAU DE CUISSON DES POISSONS

3.1. K<sub>a2</sub> est la constante d'équilibre de la réaction de l'acide du couple sur l'eau : (CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>NH<sup>+</sup><sub>(aq)</sub> + H<sub>2</sub>O<sub>(l)</sub> ⇌ (CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>N<sub>(aq)</sub> + H<sub>3</sub>O<sup>+</sup><sub>(aq)</sub>

$$\text{Ainsi :} \quad K_{a2} = \frac{[(\text{CH}_3)_3\text{N}]_{\text{éq}} \times [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}}{[(\text{CH}_3)_3\text{NH}^+]_{\text{éq}}} \quad \text{et on en déduit :} \quad \frac{[(\text{CH}_3)_3\text{NH}^+]_{\text{éq}}}{[(\text{CH}_3)_3\text{N}]_{\text{éq}}} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}}{K_{a2}} = \frac{10^{-\text{pH}}}{10^{-\text{p}K_{a2}}} = 10^{\text{p}K_{a2} - \text{pH}}$$

3.2.  $\frac{[(\text{CH}_3)_3\text{NH}^+]_{\text{éq}}}{[(\text{CH}_3)_3\text{N}]_{\text{éq}}} = 10^{9,8-6,5} = \underline{2,0 \cdot 10^3}$

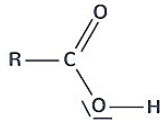
3.3. [(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>NH<sup>+</sup>]<sub>éq</sub> = 2,0 · 10<sup>3</sup> × [(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>N]<sub>éq</sub>

L'espèce nauséabonde (CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>N devient très minoritaire dans la solution ce qui atténue les mauvaises odeurs.

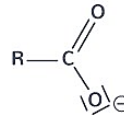
## PARTIE 2 : Dégradation d'un produit de contraste

### PROPRIÉTÉS CHIMIQUES DE L'ACIDE DIATRIZOÏQUE

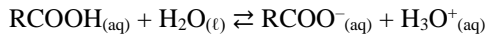
1. Schémas de Lewis de l'acide diatrizoïque :



et de l'ion carboxylate correspondant :



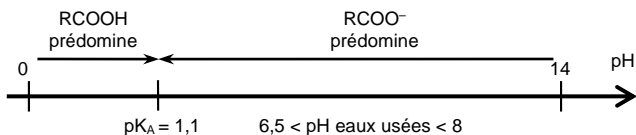
2. Couples :  $\frac{\text{RCOOH}}{\text{RCOO}^-}$   
 $\frac{\text{H}_3\text{O}^+}{\text{H}_2\text{O}}$



et

$$K_A = \frac{[\text{RCOO}^-]_{\text{éq}} \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}}{[\text{RCOOH}]_{\text{éq}}}$$

3. Diagramme de prédominance :



pH eaux usées > pK<sub>a</sub> donc c'est l'ion carboxylate RCOO<sup>-</sup> qui prédomine.

### CINÉTIQUE DE DÉGRADATION DE PRODUITS DE CONTRASTE

4. À la date t<sub>1/2</sub>, l'avancement est égal à la moitié de l'avancement final.

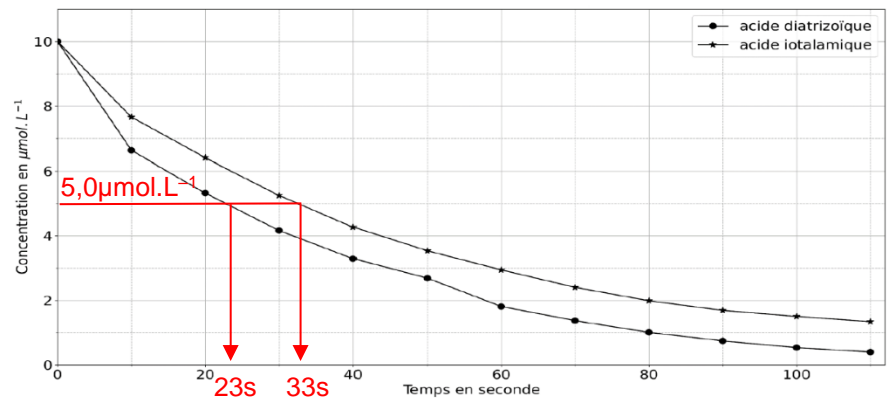
La concentration initiale du produit de contraste a alors été divisée par deux et vaut : 10 / 2 = 5,0 μmol.L<sup>-1</sup>

D'où graphiquement ⇒

Acide diatrizoïque : t<sub>1/2</sub> = 23s

Acide iotalamique : t<sub>1/2</sub> = 33s

L'acide diatrizoïque se dégrade plus vite que l'acide iotalamique car son temps de demi-réaction est plus faible.



5. Vitesse de disparition de l'iopamidol (Iop) :

$$V = -\frac{d[\text{Iop}]}{dt}$$

6. Pour une cinétique d'ordre 1 : V = k.[Iop] donc en remplaçant dans l'expression de la vitesse :

$$-\frac{d[\text{Iop}]}{dt} = k.[\text{Iop}] \Leftrightarrow \frac{d[\text{Iop}]}{dt} + k.[\text{Iop}] = 0$$

7. Le programme permet de modéliser la courbe [Iop] = f(t) par la fonction a.e<sup>-b.temps</sup> (solution de l'équation différentielle précédente).

Le modèle choisi est valide car la courbe modélisée est très proche des points expérimentaux : la cinétique est bien d'ordre 1.

En identifiant les coefficients a et b du programme avec la solution de l'équation différentielle [Iop](t) = [Iop]<sub>0</sub>.e<sup>-k.t</sup> on en déduit : [Iop]<sub>0</sub> = a = 9,70 μmol.L<sup>-1</sup> et k = b = 0,020 s<sup>-1</sup>

8. On cherche la date t<sub>m</sub> telle que la concentration massique en Iop vérifie : C<sub>m</sub> = 2,0 mg.L<sup>-1</sup>

La concentration molaire associée à la date t<sub>m</sub> vaut : [Iop](t<sub>m</sub>) = C<sub>m</sub> / M = 2,0.10<sup>-3</sup> / 777 = 2,6.10<sup>-6</sup> mol.L<sup>-1</sup> = 2,6 μmol.L<sup>-1</sup>

1<sup>ère</sup> méthode :

Graphiquement, l'antécédent de 2,6 μmol.L<sup>-1</sup>, donne une durée minimum de : t<sub>m</sub> = 68s

2<sup>ème</sup> méthode :

En exploitant le modèle [Iop](t) = [Iop]<sub>0</sub>.e<sup>-k.t</sup>

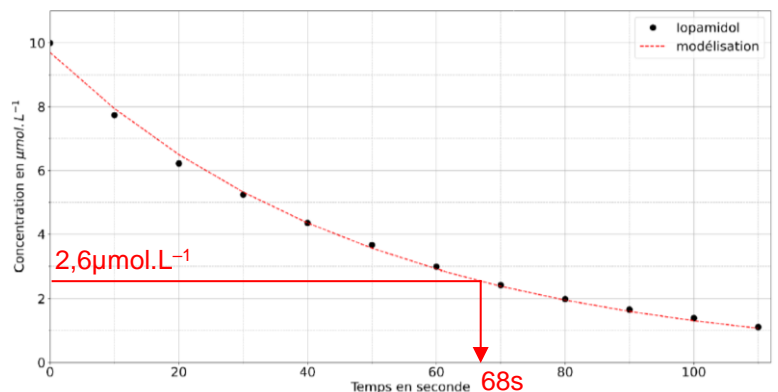
$$\frac{[\text{Iop}](t)}{[\text{Iop}]_0} = e^{-k.t}$$

d'où en prenant le logarithme népérien :

$$\ln\left(\frac{[\text{Iop}](t)}{[\text{Iop}]_0}\right) = -k.t$$

$$\text{Soit : } t = -\frac{1}{k} \ln\left(\frac{[\text{Iop}]}{[\text{Iop}]_0}\right)$$

$$\text{donc pour la date } t_m \text{ recherchée : } t_m = -\frac{1}{0,020} \ln\left(\frac{2,6}{10}\right) = 68s$$



## EXERCICE B : DÉTERMINATION DU DIAMÈTRE DE JUPITER (5 POINTS)

### ESTIMATION DU DIAMÈTRE APPARENT DE JUPITER PAR COMPARAISON AVEC LA LUNE

1.  $G = \alpha' / \alpha$

2. "Il voyait Jupiter à travers la lunette deux fois plus gros que la Lune à l'oeil nu" donc :  $\alpha'_J = 2 \cdot \alpha_L$

or :  $G = \frac{\alpha'_J}{\alpha_J} = \frac{2 \cdot \alpha_L}{\alpha_J}$  donc :  $\alpha_J = \frac{2 \cdot \alpha_L}{G}$

3.  $G = 164$  et  $\alpha_L = 8,7 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$  d'après l'énoncé donc :  $\alpha_J = \frac{2 \times 8,7 \cdot 10^{-3}}{164} = 1,1 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$

Ce qui correspond à la valeur trouvée par Huygens : "il put estimer que celui de Jupiter était approximativement de  $10^{-4}$  radians".

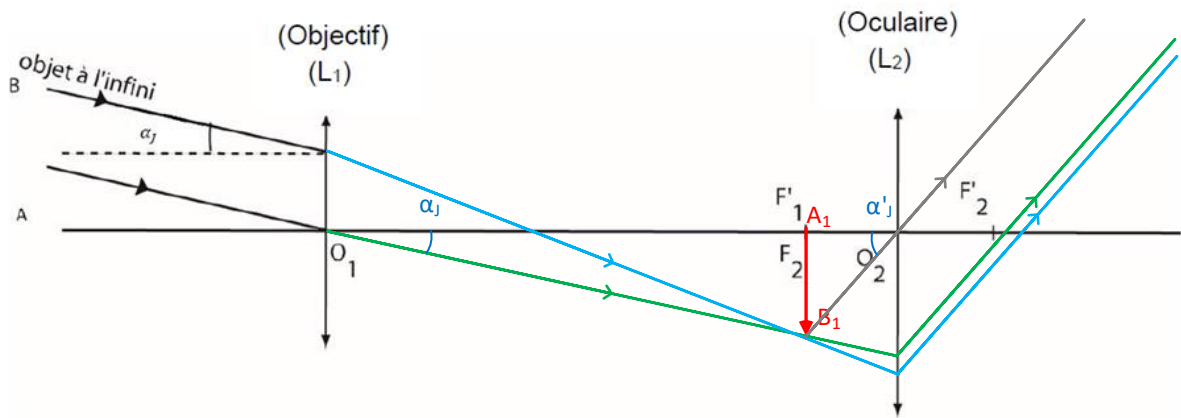
4. L'objet AB étant à l'infini, son image  $A_1B_1$  par l'objectif  $L_1$  se forme dans le plan focal image de  $L_1$ .

Comme ce plan focal image est aussi confondu avec le plan focal objet de l'oculaire  $L_2$ , l'image de  $A_1B_1$  par l'oculaire  $L_2$  est renvoyée à l'infini. La lunette astronomique est donc afocale : l'image par la lunette d'un objet à l'infini donne une image à l'infini.

### MODÉLISATION DE LA LUNETTE ASTRONOMIQUE DE HUYGENS

5. Le rayon passant par le centre optique de  $L_1$  n'est pas dévié et l'image  $A_1B_1$  se forme dans le plan focal image de  $L_1$ .

6. Le rayon issu de  $B_1$  et passant par  $O_2$  n'est pas dévié par  $L_2$ . Les autres rayons issus de  $B_1$  émergent de  $L_2$  parallèlement entre eux.



7. Dans le triangle  $O_1A_1B_1$  en utilisant l'approximation des petits angles :  $\tan \alpha_J = \frac{A_1B_1}{O_1A_1} = \frac{A_1B_1}{f'_1} \approx \alpha_J$

Dans le triangle  $O_2A_1B_1$  en utilisant l'approximation des petits angles :  $\tan \alpha'_J = \frac{A_1B_1}{O_2A_1} = \frac{A_1B_1}{f_2} \approx \alpha'_J$

Ainsi :  $G = \frac{\alpha'_J}{\alpha_J} = \frac{A_1B_1 / f_2}{A_1B_1 / f'_1} = \frac{f'_1}{f_2}$

### APPLICATION À LA LUNETTE DE HUYGENS

8. "L'image intermédiaire est égale à 2mm" :  $A_1B_1 = 2 \text{ mm}$

or d'après la question 7. :  $\alpha_J = \frac{A_1B_1}{f'_1} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{10,35} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$

9.  $G = \frac{f'_1}{f_2} = \frac{10,35}{63 \cdot 10^{-3}} = 1,6 \cdot 10^2$

Dans le premier paragraphe, Huygens s'est basé sur une estimation "deux fois plus gros", tandis que dans le second paragraphe il est question d'une mesure forcément plus précise.

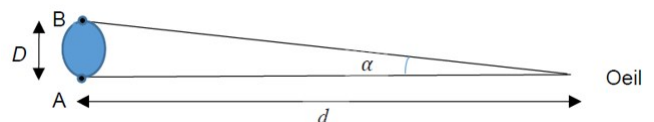
### DIAMÈTRE DE JUPITER

10. D'après le schéma ci-contre et en utilisant l'approximation des petits angles :

$\tan \alpha_J = \frac{AB}{d} \approx \alpha_J$  donc :

$|AB = \alpha_J \times d = 2 \cdot 10^{-4} \times 7,80 \cdot 10^8 = 2 \cdot 10^5 \text{ km}$  (un seul CS pour le résultat car un seul CS pour  $\alpha_J$ ).

Le diamètre  $D = AB$  de Jupiter est de l'ordre de  $2 \cdot 10^5 \text{ km}$ .



## EXERCICE C : MESURE DE LA TAILLE DES MAILLES D'UN MASQUE RESPIRATOIRE (5 POINTS)

1. Le phénomène ondulatoire exploité par cette expérience est le phénomène de diffraction.

$$2. \bar{\lambda} = \frac{615 + 685 + 621 + 682 + 664}{5} = \underline{653\text{nm}}$$

$$3. \bar{\lambda} = 653 \pm 13\text{nm} \quad \text{donc : } 640\text{nm} < \lambda < 666\text{nm}$$

La valeur de référence (650nm) fournie par le fabricant du laser fait bien partie de cet intervalle de confiance : elle est compatible avec les mesures effectuées par l'expérimentateur.

4. Les phénomènes physiques sous-jacents à l'expérience 2 sont des interférences : les ondes diffractées par les deux fentes se superposent en un point de l'écran pour générer des franges d'interférences.

5. Utilisons la formule de l'interfrange donnée :

$$i = \frac{\lambda \cdot D}{b} \quad \text{donc : } \boxed{b = \frac{\lambda \cdot D}{i}}$$

$D = 2,23\text{m}$  et  $\lambda = 650\text{nm}$  d'après l'énoncé.

Déterminons l'interfrange  $i$  à partir de la photographie et de l'échelle donnée :

$$2,1\text{cm réel} \Leftrightarrow 4,5\text{cm photo du sujet (mesuré à la règle)}$$

$$6 \cdot i \quad \Leftrightarrow 5,6\text{cm}$$

$$\text{Donc : } 6 \cdot i = \frac{5,6 \times 2,1}{4,5} \quad \text{et : } i = \frac{5,6 \times 2,1}{6 \times 4,5} = 0,43\text{cm} = \underline{4,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}}$$

$$b = \frac{\lambda \cdot D}{i} = \frac{650 \cdot 10^{-9} \times 2,23}{4,3 \cdot 10^{-3}} = \underline{3,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}} = \underline{340\mu\text{m}}$$

La distance entre deux fils est donc d'environ  $340\mu\text{m}$ .

6. En négligeant l'épaisseur des fils, la taille des trous est assimilable à la distance entre deux fils soit  $340\mu\text{m}$ .

En introduction, il est dit "qu'une toux génère des microgouttelettes de diamètre de plusieurs dizaines de micromètres à une centaine de micromètres" : la taille des "trous" du masque ( $340\mu\text{m}$ ) est donc plus importante que les dimensions des microgouttelettes (inférieures à  $100\mu\text{m}$ ) expulsées lors de la respiration ou de l'éternuement.

7. Ainsi, les trous du masque sont trop larges pour bloquer les microgouttelettes : ils ne permettent donc pas a priori de les retenir par un effet "passoire". Or les masques homologués ont une efficacité de filtration des microgouttelettes très proche de 100% d'après l'énoncé : il y a donc d'autres phénomènes physiques qui interviennent dans la filtration.

Pour information :

Les microgouttelettes se collent durablement aux fils grâce à des interactions électriques de faible intensité (forces de Van der Waals).