Corrigé complet — Bac 2023 Métropole Septembre Jour 1

Physique-chimie, enseignement de spécialité **20 points** **3 h 30**

Ex 1	**Observation ornithologique d'une oie cendrée** Lentille mince convergente · Relation de conjugaison et grandissement · Lunette astronomique afocale · Grossissement · Interférences de deux ondes · Interfrange	11 pts	1 h 45	15 questions	p. 2
Ex 2	**étude d'une chaufferette** Dilution · Titrage conductimétrique · Conductivité molaire ionique · Équivalence d'un titrage · Concentration en masse · Solubilité	4 pts	42 min	5 questions	p. 8
Ex 3	**Un savon fait maison** Esters et saponification · Espèce amphiphile · Concentration en quantité de matière · Avancement et réactif limitant · Facteur cinétique · Rendement	5 pts	53 min	10 questions	p. 11

Comment s'en servir. Fais d'abord le sujet en temps limité, puis corrige-toi exercice par exercice. À gauche de chaque question, sur les carreaux : ce qu'il faut écrire sur ta copie. À droite : les pièges, ce qu'il faut comprendre et les méthodes.

Observation ornithologique d'une oie cendrée

Bac 2023 Métropole Septembre Jour 1 · Exercice 1 **11 points** **Durée conseillée 1 h 45**

Q1 Justifier que la position de l'image $A'B'$ de l'oie par la lentille L est telle que $\overline{OA'} = 17$ mm.

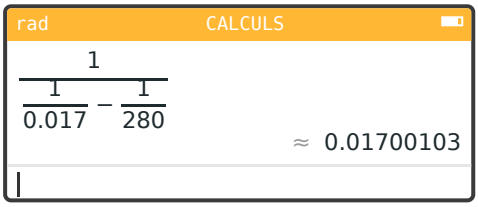
Données utiles $f' = 17$ mm ; oie à 280 m du centre optique : $\overline{OA} = -280$ m

Relation de conjugaison : $\dfrac{1}{\overline{OA'}} = \dfrac{1}{\overline{OA}} + \dfrac{1}{f'}$, donc $\overline{OA'} = \left(\dfrac{1}{\overline{OA}} + \dfrac{1}{f'}\right)^{-1}$.

$$\overline{OA'} = \left(\frac{1}{-280} + \frac{1}{17 \times 10^{-3}}\right)^{-1} = 1{,}7 \times 10^{-2}\ \text{m}$$

$\overline{OA'} = 17$ mm $= D$: l'image se forme sur la rétine.

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
L'objet est à gauche de la lentille : $\overline{OA}$ est négatif. Avec $+280$ m, le calcul donne encore 17 mm ici, mais le raisonnement est faux et le signe coûtera cher à la question suivante.

COMPRENDRE
280 m, c'est plus de dix mille fois la distance focale : l'objet est pratiquement à l'infini, $\dfrac{1}{\overline{OA}}$ est négligeable et l'image se forme dans le plan focal image, $\overline{OA'} \approx f'$. Résultat à deux chiffres significatifs, comme f'.

Q2 Vérifier que la taille de l'image $A'B'$ de l'oie sur la rétine est voisine de 49 µm. La rétine étant un disque de rayon 6 mm centré en F', préciser si l'oie est vue en entier.

Données utiles $AB = 80$ cm ; $\overline{OA} = -280$ m ; $\overline{OA'} = 17$ mm (Q1)

Grandissement : $\gamma = \dfrac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \dfrac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$, donc $\overline{A'B'} = \dfrac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \times \overline{AB}$.

$$\overline{A'B'} = \frac{17 \times 10^{-3}}{-280} \times 80 \times 10^{-2} = -4{,}9 \times 10^{-5}\ \text{m}$$

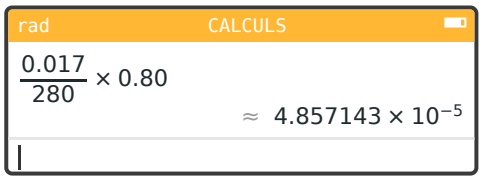
L'image est renversée (signe négatif) et mesure $A'B' = 49\ \mu\text{m}$.

Le point A' est en F', au centre de la rétine, et B' en est distant de 49 µm, soit $4{,}9 \times 10^{-2}$ mm, très inférieur au rayon de 6 mm.

$A'B' = 4{,}9 \times 10^{-5}$ m $= 49$ µm (valeur attendue : 49 µm) ; l'image tient sur la rétine, l'oie est vue en entier.

PIÈGE
Comparer 49 et 6 sans convertir : 49 µm, c'est 0,049 mm. Toutes les longueurs se mettent en mètres avant le calcul.

À LA CALCULATRICE



Q3 Déterminer la distance minimale séparant deux points A et B pouvant être vus distinctement à 280 m de l'œil. En déduire si l'oie, puis son bec, peuvent être vus distinctement à l'œil nu.

Données utiles $\alpha_m = 3 \times 10^{-4}$ rad ; $OA = 280$ m ; oie : 80 cm ; bec : 7 cm

L'objet AB, à la distance OA, est vu sous l'angle α tel que $\tan\alpha = \dfrac{AB}{OA}$. L'angle est petit : $\alpha = \dfrac{AB}{OA}$.

À la limite de séparation, $\alpha = \alpha_m$: $AB_{\min} = \alpha_m \times OA$

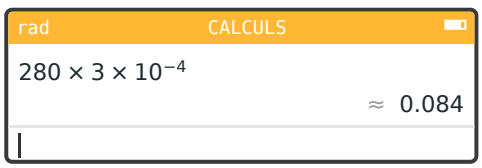
$$AB_{\min} = 3 \times 10^{-4} \times 280 = 8 \times 10^{-2}\ \text{m}$$

- Oie : 80 cm > 8 cm, elle est vue distinctement.
- Bec : 7 cm < 8 cm, il n'est pas vu distinctement.

$AB_{\min} \approx 8$ cm : l'oie est distinguée à l'œil nu, pas son bec.

COMPRENDRE
α_m n'a qu'un chiffre significatif, le résultat aussi (8,4 cm affiché). Le bec est juste sous la limite : il se réduit à une tache, sans détail visible.

À LA CALCULATRICE



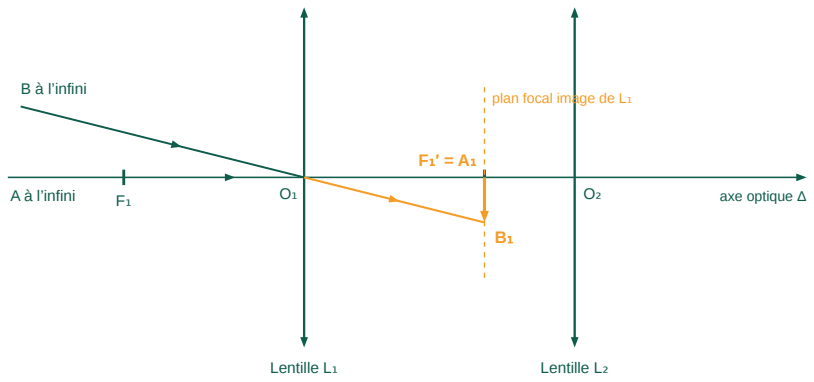
Q4 Compléter la figure A1 de l'annexe pour représenter l'image A_1B_1 formée par la lentille L_1 de l'objet AB situé à l'infini.

L'objet est à l'infini : son image se forme dans le plan focal image de L_1, le plan perpendiculaire à l'axe optique passant par F_1'.

- A est sur l'axe optique : A_1 est confondu avec F_1'.
- Le rayon issu de B qui passe par le centre optique O_1 traverse la lentille en ligne droite et rencontre ce plan en B_1.

A_1B_1 est dans le plan focal image de L_1, avec A_1 en F_1' et B_1 sur le rayon (BO_1) prolongé ; l'image est renversée.

MÉTHODE
Image d'un objet à l'infini : tracer le plan focal image, puis prolonger sans le dévier le rayon passant par le centre optique. Leur intersection donne le point image.



Q4 · Figure A1 complétée : image A_1B_1 dans le plan focal image de L_1

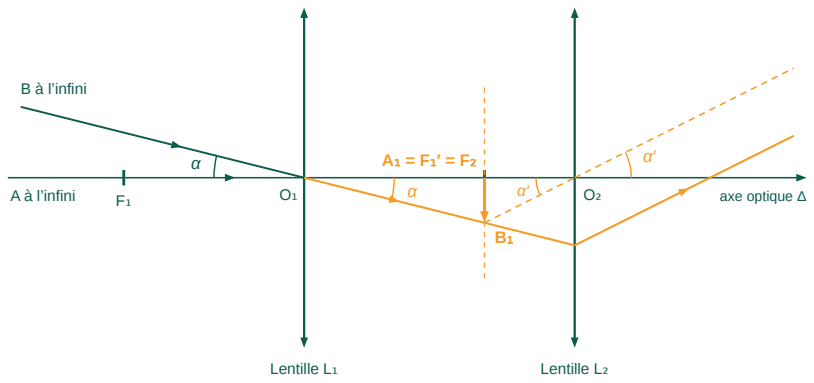
Q5 Placer, en justifiant, le foyer objet F_2 de la lentille L_2 sur la figure A1 de l'annexe.

La lunette est afocale : d'un objet à l'infini, elle donne une image finale A_2B_2 à l'infini.

Pour que L_2 renvoie l'image à l'infini, l'image intermédiaire A_1B_1 doit se trouver dans le plan focal objet de L_2. Or A_1 est en F_1'.

F_2 est confondu avec F_1' (et avec A_1).

PIÈGE
Placer F_2 sans justification, ou le placer à droite de L_2 : le foyer objet est avant la lentille, c'est F_2' qui est après.



Q5 · Figure A1 complétée : foyer F_2 confondu avec F_1', angles α et α' (utiles en Q6)

Q6 Les angles α et α' étant petits, montrer que le grossissement de la lunette afocale s'exprime par $G = \frac{f_1'}{f_2'}$.

Dans le triangle $O_1A_1B_1$, rectangle en A_1 : $\tan\alpha = \frac{A_1B_1}{O_1A_1} = \frac{A_1B_1}{f_1'}$ car A_1 est en F_1'.

Dans le triangle $O_2A_1B_1$, rectangle en A_1 : $\tan\alpha' = \frac{A_1B_1}{O_2A_1} = \frac{A_1B_1}{f_2'}$ car A_1 est en F_2.

Les angles sont petits : $\alpha = \frac{A_1B_1}{f_1'}$ et $\alpha' = \frac{A_1B_1}{f_2'}$.

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{A_1B_1}{f_2'} \times \frac{f_1'}{A_1B_1}$$

$$\boxed{G = \frac{f_1'}{f_2'}}$$

COMPRENDRE
Le rayon (B_1O_2) traverse L_2 sans déviation : il donne la direction de tous les rayons émergents issus de B, donc l'angle α'. On retrouve α en O_1 par angles opposés par le sommet.

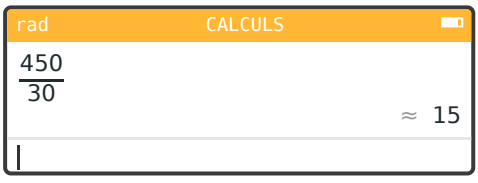
Q7 Calculer la valeur du grossissement G de la lunette astronomique afocale.

Données utiles $f_1' = 450$ mm ; $f_2' = 30$ mm

$$G = \frac{f_1'}{f_2'} = \frac{450}{30}$$

$\boxed{G = 15 \text{ (sans unité)}}$

À LA CALCULATRICE



Q8 Indiquer en justifiant si l'observateur voit distinctement, à travers la longue-vue, le bec de l'oie située à 280 m.

Données utiles bec : 7 cm ; distance : 280 m ; $G = 15$ (Q7) ; $\alpha_m = 3 \times 10^{-4}$ rad

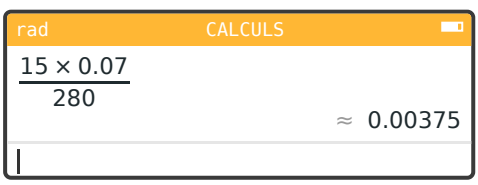
À l'œil nu, le bec est vu sous l'angle $\alpha = \frac{AB}{OA}$. À travers la lunette, il est vu sous l'angle $\alpha' = G \times \alpha = G \times \frac{AB}{OA}$.

$$\alpha' = 15 \times \frac{7 \times 10^{-2}}{280} = 4 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

$\boxed{\alpha' \approx 4 \times 10^{-3} \text{ rad} > \alpha_m = 3 \times 10^{-4} \text{ rad} : \text{le bec est vu distinctement à travers la longue-vue.}}$

MÉTHODE
Un instrument ne change pas le pouvoir séparateur de l'œil : c'est l'angle sous lequel l'objet est vu qui est multiplié par G. On compare donc toujours α' à α_m.

À LA CALCULATRICE



Q9 Préciser la condition que doit vérifier la différence de chemin optique δ pour que les interférences soient constructives en M. Indiquer en justifiant si la frange au point O' est brillante ou sombre.

Les interférences sont constructives en M si $\delta = k\,\lambda$, avec k entier relatif.

Le point O' est sur l'axe optique, à égale distance des deux fentes : $F_2O' = F_1O'$, donc $\delta = 0 = 0 \times \lambda$. La condition est vérifiée avec $k = 0$.

$\delta = k\,\lambda$ (k entier relatif) ; en O', $\delta = 0$: la frange est brillante.

PIÈGE
Oublier de préciser que k est un entier relatif, ou confondre avec la condition des interférences destructives, $\delta = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda$.

Q10 Montrer que, dans les conditions de l'expérience ($\theta \ll 1$ rad), la différence de chemin optique s'écrit $\delta = b \cdot \theta$.

Le triangle F_1F_2H est rectangle en H, d'hypoténuse $F_1F_2 = b$. Le côté opposé à l'angle θ (de sommet F_1) est $F_2H = \delta$.

$$\sin\theta = \frac{F_2H}{F_1F_2} = \frac{\delta}{b}$$

L'angle est petit : $\sin\theta = \theta$, donc $\theta = \frac{\delta}{b}$.

$\delta = b \cdot \theta$

Q11 Après avoir exprimé l'angle θ en fonction de D et x, montrer que $\delta = \frac{b \cdot x}{D}$.

Dans le triangle $O'OM$, rectangle en O' : $\tan\theta = \frac{O'M}{OO'} = \frac{x}{D}$.

L'angle est petit : $\tan\theta = \theta$, donc $\theta = \frac{x}{D}$.

En reportant dans $\delta = b \cdot \theta$ (Q10) :

$\delta = \frac{b \cdot x}{D}$

COMPRENDRE
L'approximation est légitime parce que l'écran est loin : x vaut quelques centimètres quand D approche le mètre, donc θ ne dépasse pas quelques centièmes de radian.

Q12 En déduire l'expression des abscisses x_k des franges brillantes, en fonction de λ, D, b et d'un entier relatif k.

Frange brillante : $\delta = k\,\lambda$ (Q9). Avec $\delta = \frac{b \cdot x_k}{D}$ (Q11) : $\frac{b \cdot x_k}{D} = k\,\lambda$

$x_k = k\,\frac{\lambda \cdot D}{b}$, avec k entier relatif.

Q13 Montrer que l'interfrange i est donnée par $i = \frac{\lambda \cdot D}{b}$.

L'interfrange est la distance entre les centres de deux franges brillantes consécutives :

$$i = x_{k+1} - x_k = (k+1)\,\frac{\lambda \cdot D}{b} - k\,\frac{\lambda \cdot D}{b}$$

$i = \frac{\lambda \cdot D}{b}$

COMPRENDRE
i est inversement proportionnelle à b : plus les fentes sont rapprochées, plus les franges sont écartées. C'est la clé des deux questions suivantes.

Q14 Montrer que le modèle simplifié explique certaines caractéristiques de la figure d'interférences de la figure A2. Dans les cases vides, identifier, en justifiant, l'axe $O'x$ puis l'axe $O'y$.

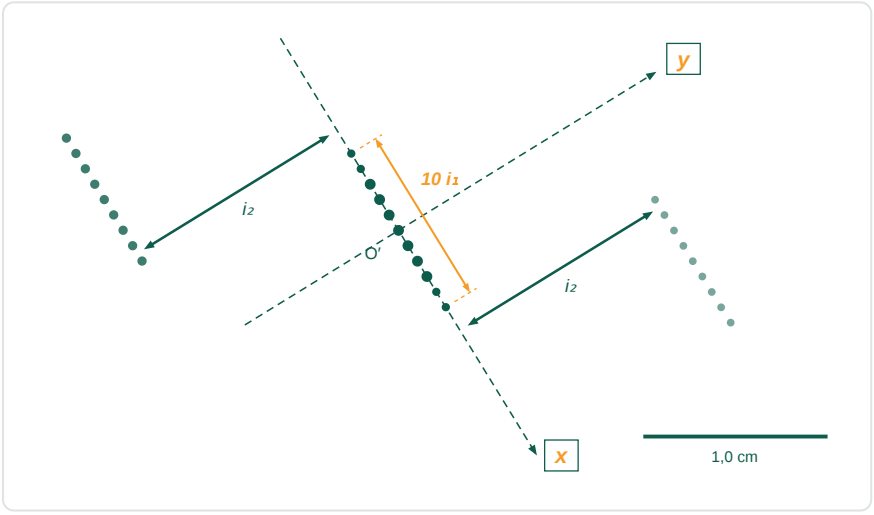
Le modèle prévoit des points brillants régulièrement espacés selon deux directions perpendiculaires, avec un pas $\frac{\lambda D}{b_{\text{barbe}}}$ selon $O'x$ et un pas $\frac{\lambda D}{b_{\text{barbule}}}$ selon $O'y$.

C'est ce que montre la photographie : des taches alignées et équidistantes (pas i_1), sur des lignes parallèles qui se répètent, dans la direction perpendiculaire, avec un pas i_2 plus grand. Seuls certains points sont éclairés, comme l'annonce le modèle.

Comme $b_{\text{barbule}} < b_{\text{barbe}}$: $\frac{\lambda D}{b_{\text{barbule}}} > \frac{\lambda D}{b_{\text{barbe}}}$. Le pas est donc le plus grand selon $O'y$. Sur la figure, $i_2 > i_1$.

$O'x$ est l'axe qui porte les taches serrées (case du bas, pas i_1, barbes) ; $O'y$ est l'axe perpendiculaire (case du haut, pas i_2, barbules).

PIÈGE
Associer le grand écartement aux barbes parce qu'elles sont les plus espacées. C'est l'inverse : la structure la plus fine donne les taches les plus écartées.



Q14 · Figure A2 schématisée (taches brillantes en vert) : axes identifiés et mesure de $10\,i_1$

Q15 En exploitant la figure A2, évaluer les interfranges i_1 et i_2, puis en déduire les espacements b_{barbule} et b_{barbe}.

Données utiles $\lambda = 650$ nm ; $D = 74$ cm ; échelle de la figure A2 : le segment « 1,0 cm » mesure 4,0 cm sur l'annexe imprimée

Mesures à la règle sur l'annexe : la double flèche i_2 mesure 5,1 cm ; dix intervalles entre taches de la ligne centrale mesurent 3,8 cm.

$$i_2 = \frac{5{,}1}{4{,}0} \times 1{,}0 = 1{,}3 \text{ cm} \qquad i_1 = \frac{3{,}8}{10 \times 4{,}0} \times 1{,}0 = 0{,}095 \text{ cm}$$

D'après Q13, $b = \dfrac{\lambda \cdot D}{i}$, avec i_2 pour les barbules et i_1 pour les barbes (Q14) :

$$b_{\text{barbule}} = \frac{650 \times 10^{-9} \times 74 \times 10^{-2}}{1{,}3 \times 10^{-2}} = 3{,}7 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$b_{\text{barbe}} = \frac{650 \times 10^{-9} \times 74 \times 10^{-2}}{9{,}5 \times 10^{-4}} = 5{,}1 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$i_2 \approx 1{,}3$ cm et $i_1 \approx 0{,}95$ mm ; $b_{\text{barbule}} \approx 37$ µm et $b_{\text{barbe}} \approx 0{,}5$ mm.

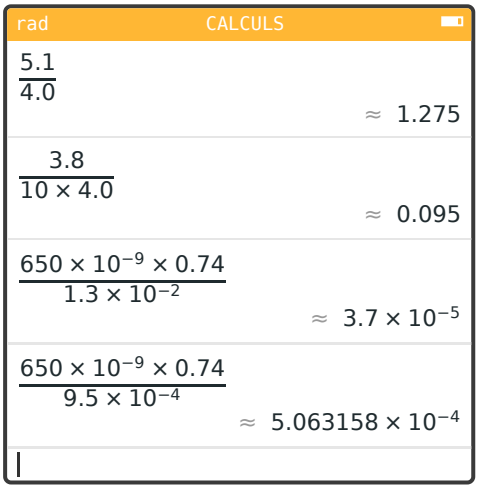
COMPRENDRE

Les mesures dépendent de l'impression : seul le rapport à l'échelle compte, et une lecture à 1 mm près change peu le résultat. On vérifie que $b_{\text{barbule}} < b_{\text{barbe}}$: 37 µm, invisible à l'œil nu, contre un demi-millimètre.

MÉTHODE

Mesurer plusieurs interfranges d'un coup (ici dix), puis diviser : l'erreur de lecture est divisée d'autant. Toujours convertir avec l'échelle de la figure, jamais lire directement la règle.

À LA CALCULATRICE



étude d'une chaufferette

Bac 2023 Métropole Septembre Jour 1 · Exercice 2 **4 points** **Durée conseillée 42 min**

Q1 Décrire le protocole expérimental permettant de préparer la solution S. Indiquer, en justifiant, les volumes de la verrerie utilisée.

Données utiles volume de solution S à préparer : $V_1 = 50{,}0$ mL ; facteur de dilution : $F = 25$

Lors d'une dilution, la quantité de matière de soluté est conservée : $C_0\,V_0 = C_1\,V_1$ avec $C_1 = \dfrac{C_0}{F}$. Le volume de solution mère à prélever est donc

$$V_0 = \frac{V_1}{F} = \frac{50{,}0}{25} = 2{,}0\ \text{mL}$$

Protocole :

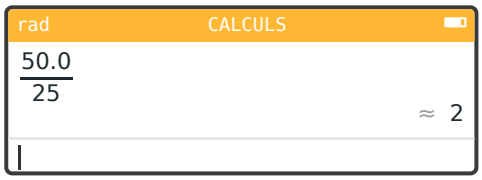
- verser un peu de solution de la chaufferette dans un bécher et en prélever $2{,}0$ mL avec une pipette jaugée de $2{,}0$ mL munie d'une propipette ;
- introduire ce prélèvement dans une fiole jaugée de $50{,}0$ mL ;
- ajouter de l'eau distillée aux deux tiers environ, boucher et agiter ;
- compléter à l'eau distillée jusqu'au trait de jauge, boucher et homogénéiser.

Pipette jaugée de $2{,}0$ mL et fiole jaugée de $50{,}0$ mL, car $V_0 = \dfrac{V_1}{F} = 2{,}0$ mL.

PIÈGE
Prélever avec une éprouvette graduée ou directement dans le flacon. Une dilution précise exige de la verrerie jaugée, et le calcul de V_0 fait partie de la justification demandée.

MÉTHODE
Le facteur de dilution est le rapport des deux volumes de verrerie jaugée : $F = \dfrac{V_{\text{fiole}}}{V_{\text{pipette}}}$. On choisit la fiole d'après le volume à préparer, puis on en déduit la pipette.

À LA CALCULATRICE



Q2 Reproduire le tableau et décrire, dans chaque case, l'évolution des concentrations des ions dans le bécher lors de l'ajout d'acide chlorhydrique, avant puis après l'équivalence.

Données utiles réaction support : $CH_3CO_2^-\,(aq) + H_3O^+\,(aq) \longrightarrow CH_3CO_2H\,(aq) + H_2O\,(l)$; dilution négligée

Voir le tableau complété ci-dessous.

- Na^+ : ion spectateur présent dès le départ dans le bécher, sa quantité ne varie pas.
- $CH_3CO_2^-$: réactif titré, consommé jusqu'à l'équivalence, puis absent.
- H_3O^+ : réactif titrant, limitant avant l'équivalence (entièrement consommé), en excès ensuite.
- Cl^- : ion spectateur apporté par chaque ajout de solution titrante.

Avant l'équivalence, seul $[Cl^-]$ augmente ; après, $[Cl^-]$ et $[H_3O^+]$ augmentent.

PIÈGE
Oublier que l'acide chlorhydrique apporte autant d'ions Cl^- que d'ions H_3O^+ : $[Cl^-]$ augmente pendant tout le titrage, avant comme après l'équivalence.

Concentration	Avant l'équivalence	Après l'équivalence
$[Na^+]$	reste constante	reste constante
$[CH_3CO_2^-]$	diminue	reste négligeable
$[H_3O^+]$	reste négligeable	augmente
$[Cl^-]$	augmente	augmente

Q2 · Tableau complété (en orange, ce que l'élève écrit)

Q3 En utilisant les conductivités molaires ioniques des espèces présentes, justifier sans calcul l'allure de la courbe de la figure 1.

Données utiles λ en $\mathrm{mS \cdot m^2 \cdot mol^{-1}}$: H_3O^+ : 35,0 ; Cl^- : 7,6 ; Na^+ : 5,0 ; $CH_3CO_2^-$: 4,1

La conductivité est la somme des contributions des ions (loi de Kohlrausch) : $\sigma = \sum \lambda_i [X_i]$.

Avant l'équivalence : chaque ion $CH_3CO_2^-$ consommé est remplacé dans le bécher par un ion Cl^-, et $[Na^+]$ ne change pas. Comme $\lambda(Cl^-) > \lambda(CH_3CO_2^-)$, avec des valeurs voisines, σ augmente lentement : droite de faible pente positive.

Après l'équivalence : les ions H_3O^+ et Cl^- ajoutés ne réagissent plus et s'accumulent. Comme $\lambda(H_3O^+)$ est très élevée, σ augmente beaucoup plus vite : droite de forte pente.

Deux portions de droite croissantes, la seconde bien plus pentue : la rupture de pente marque l'équivalence.

PIÈGE
Expliquer la première partie par la seule disparition de $CH_3CO_2^-$: on conclurait à tort que σ diminue. Il faut toujours raisonner sur tous les ions, spectateurs compris.

COMPRENDRE
Avant l'équivalence, la pente est proportionnelle à $7{,}6 - 4{,}1 = 3{,}5$; après, à $35{,}0 + 7{,}6 = 42{,}6$, soit environ douze fois plus. C'est bien le rapport des pentes observé sur la figure 1.

Q4 Déterminer, en justifiant à l'aide d'un schéma, la valeur du volume de solution titrante versé à l'équivalence du titrage.

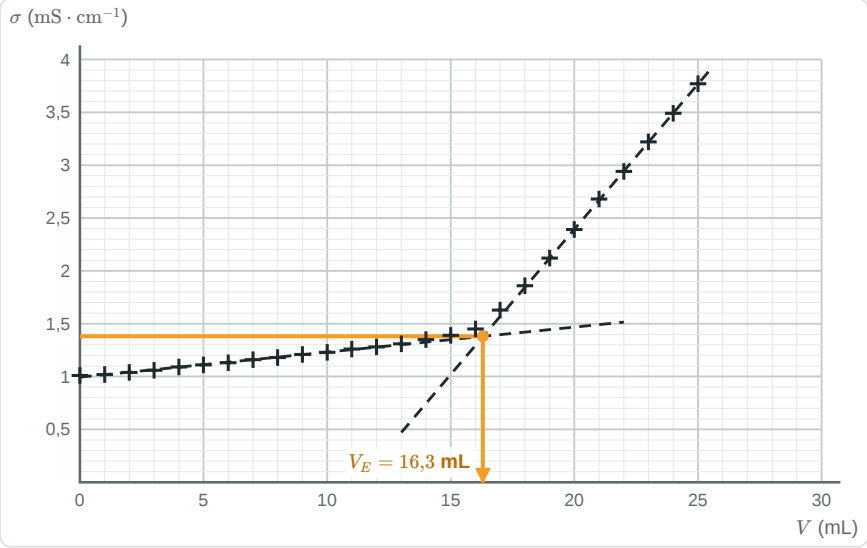
L'équivalence correspond au changement de réactif limitant, donc à la rupture de pente de la courbe $\sigma = f(V)$.

On trace la droite qui passe au plus près des points de la première partie (de 0 à 14 mL environ) et celle qui passe au plus près des points de la seconde partie (à partir de 19 mL environ). L'abscisse de leur point d'intersection est le volume à l'équivalence.

$V_E \approx 16{,}3$ mL

PIÈGE
Relier les points à main levée ou lire V_E sur un point de mesure. Les points proches de l'équivalence (15 à 18 mL) s'écartent des droites : on ne les utilise pas pour les tracer.

COMPRENDRE
La lecture graphique se fait à quelques dixièmes de millilitre près : toute valeur comprise entre 16,0 et 16,5 mL, accompagnée du tracé des deux droites, est acceptable.



Q4 · Figure 1 du sujet : les deux droites modélisant les portions rectilignes se coupent en V_E

Q5 Justifier que la solution contenue dans la chaufferette est sursaturée, c'est-à-dire que sa concentration en masse de soluté est supérieure à sa solubilité s.

Données utiles $C = 2{,}0 \times 10^{-1}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V_S = 10{,}0$ mL ; $V_E = 16{,}3$ mL (Q4) ; $F = 25$; $M = 82{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $s = 365\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de la réaction support (un pour un) :

$$n(\text{CH}_3\text{CO}_2^-)_{\text{initial}} = n(\text{H}_3\text{O}^+)_{\text{versé}} \quad \text{soit} \quad C_S\,V_S = C\,V_E$$

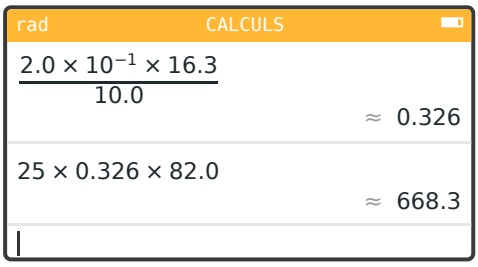
$$C_S = \frac{C\,V_E}{V_S} = \frac{2{,}0 \times 10^{-1} \times 16{,}3}{10{,}0} = 0{,}326\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

La solution S a été obtenue en diluant 25 fois celle de la chaufferette, dont la concentration en quantité de matière est $C_0 = F \times C_S$. Sa concentration en masse vaut donc

$$C_m = F \times C_S \times M = 25 \times 0{,}326 \times 82{,}0 = 6{,}7 \times 10^2\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$$

$C_m \approx 6{,}7 \times 10^2\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1} > s = 365\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$: la solution de la chaufferette est sursaturée.

À LA CALCULATRICE



PIÈGE

Oublier le facteur 25 : on obtient $27\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, concentration de S et non de la chaufferette. Les 250 mL d'eau du bécher ne changent pas la quantité titrée.

COMPRENDRE

Deux chiffres significatifs, comme C, la donnée la moins précise. La concentration trouvée vaut presque le double de la solubilité : la conclusion ne dépend pas de l'incertitude sur la lecture de V_E.

Un savon fait maison

Bac 2023 Métropole Septembre Jour 1 · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

Q1 Nommer la famille chimique à laquelle appartient la molécule d'oléine et préciser son groupe caractéristique.

La molécule d'oléine contient trois fois l'enchaînement $-CO-O-C$: un carbone doublement lié à un oxygène et lié à un second oxygène, lui-même lié à un carbone.

L'oléine appartient à la famille des **esters** (c'est un triester) ; son groupe caractéristique est le groupe ester $-COO-$.

PIÈGE
Confondre avec un acide carboxylique : dans un ester, l'oxygène simplement lié porte une chaîne carbonée, pas un atome d'hydrogène.

Q2 Donner la formule brute du glycérol, noté A dans l'équation de saponification de l'oléine.

L'équation est ajustée : chaque élément est conservé. Formules brutes : oléine $C_{57}H_{104}O_6$; ion oléate $C_{18}H_{33}O_2^-$.

- Carbone : $57 = 3 \times 18 + n_C$, donc $n_C = 3$.
- Hydrogène : $104 + 3 = 3 \times 33 + n_H$, donc $n_H = 8$.
- Oxygène : $6 + 3 = 3 \times 2 + n_O$, donc $n_O = 3$.
- Sodium et charges : déjà équilibrés ($3\,Na^+$ de chaque côté), A est neutre et sans sodium.

Le glycérol A a pour formule brute $C_3H_8O_3$.

PIÈGE
Oublier les atomes hors des groupes $C_{17}H_{33}$: l'oléine compte aussi 6 C et 5 H dans son squelette, et les 3 ions HO^- apportent 3 H et 3 O.

MÉTHODE
Vérifier avec la masse molaire du tableau : $3 \times 12 + 8 \times 1 + 3 \times 16 = 92\ g \cdot mol^{-1}$, valeur donnée pour le glycérol.

Q3 Choisir, parmi les deux schémas, celui qui illustre les propriétés lavantes des savons. Justifier ce choix.

La chaîne carbonée de l'ion oléate est lipophile : elle a de l'affinité pour le gras et s'y enfonce. La tête $-COO-$, hydrophile, reste au contact de l'eau.

Les ions entourent donc la salissure, chaînes tournées vers l'intérieur et têtes vers l'extérieur ; l'ensemble, bien dispersé dans l'eau, est emporté au rinçage.

C'est le **schéma 2** : les chaînes plongent dans le gras et les têtes (cercles) sont dirigées vers l'eau.

COMPRENDRE
Dans le schéma 1, ce sont les têtes hydrophiles qui touchent le gras et les chaînes lipophiles qui baignent dans l'eau : chaque partie est placée dans le milieu avec lequel elle n'a pas d'affinité.

Q4 Déterminer la concentration en quantité de matière de la solution d'hydroxyde de sodium préparée dans la première étape, la dissolution se faisant sans variation de volume. Commenter.

Données utiles $m(NaOH) = 25\ g$; $M(NaOH) = 40\ g \cdot mol^{-1}$; $V = 50\ mL = 50 \times 10^{-3}\ L$

$$C = \frac{n(NaOH)}{V} = \frac{m(NaOH)}{M(NaOH) \times V}$$

$$C = \frac{25}{40 \times 50 \times 10^{-3}} = 12{,}5\ mol \cdot L^{-1}$$

Cette solution est extrêmement concentrée. L'hydroxyde de sodium étant corrosif (pictogramme du tableau), elle provoque de graves brûlures de la peau et des yeux : la consigne de porter blouse, lunettes et gants est pleinement justifiée.

$C \approx 13\ mol \cdot L^{-1}$: solution très concentrée et corrosive, les protections sont indispensables.

PIÈGE
Laisser le volume en millilitres : on obtiendrait une concentration mille fois trop petite.

COMPRENDRE
Les données (25 g, 50 mL, $0{,}91\ g \cdot mL^{-1}$) ont deux chiffres significatifs : les résultats en gardent deux. Dans les calculs suivants, on reprend les valeurs non arrondies.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{25}{40 \times 50 \times 10^{-3}} \approx 12.5$$

Q5 Indiquer, en justifiant, l'évolution attendue du pH du milieu au cours de la fabrication du savon.

Les ions hydroxyde HO^- sont un réactif de la saponification : ils sont consommés au fur et à mesure, donc leur concentration diminue. Or le pH d'un milieu basique est d'autant plus élevé que $[HO^-]$ est grande.

Très élevé au départ, le pH **diminue** tout au long de la saponification.

COMPRENDRE
Le milieu reste néanmoins basique en fin de transformation : l'ion oléate formé est une base faible.

Q6 Déterminer la masse restante d'oléine à l'état final, en s'appuyant par exemple sur un tableau d'avancement.

Données utiles $V_{huile} = 220$ mL ; $\rho = 0{,}91$ g · mL^{-1} ; $M(\text{oléine}) = 884$ g · mol^{-1} ; $m(\text{NaOH}) = 25$ g ; $M(\text{NaOH}) = 40$ g · mol^{-1}

Quantités initiales :

$$n_i(\text{oléine}) = \frac{\rho \times V_{huile}}{M(\text{oléine})} = \frac{0{,}91 \times 220}{884} = 0{,}226 \text{ mol}$$

$$n_i(HO^-) = \frac{m(\text{NaOH})}{M(\text{NaOH})} = \frac{25}{40} = 0{,}625 \text{ mol}$$

Tableau d'avancement (en mol), transformation totale :

	oléine	$3\,HO^-$	3 oléate	A
$x = 0$	0,226	0,625	0	0
x_{max}	$0{,}226 - x_{max}$	$0{,}625 - 3\,x_{max}$	$3\,x_{max}$	x_{max}

Réactif limitant : $\frac{n_i(HO^-)}{3} = 0{,}208 \text{ mol} < \frac{n_i(\text{oléine})}{1} = 0{,}226$ mol. Les ions hydroxyde sont limitants et $x_{max} = 0{,}208$ mol.

Masse d'oléine restante :

$$m_f = (n_i(\text{oléine}) - x_{max}) \times M(\text{oléine}) = \left(\frac{0{,}91 \times 220}{884} - \frac{25}{3 \times 40}\right) \times 884$$

$m_f(\text{oléine}) \approx 16$ g

PIÈGE
Comparer directement 0,226 mol et 0,625 mol et conclure que l'oléine est limitante. Il faut diviser chaque quantité par son nombre stœchiométrique : ici 0,625 mol se divise par 3.

COMPRENDRE
L'huile est volontairement en excès : toute la soude, corrosive, est consommée et le savon final n'en contient plus.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{0.91 \times 220}{884} \approx 0.2264706$$

$$\frac{25}{3 \times 40} \approx 0.2083333$$

$$\left(\frac{0.91 \times 220}{884} - \frac{25}{3 \times 40}\right) \times 884 \approx 16.03333$$

Q7 Déterminer le surgraissage du savon obtenu par cette méthode.

Données utiles surgraissage : pourcentage en masse d'huile non saponifiée ; $m_f(\text{oléine}) = 16{,}0$ g (Q6) ; $V_{\text{huile}} = 220$ mL ; $\rho = 0{,}91$ g · mL^{-1}

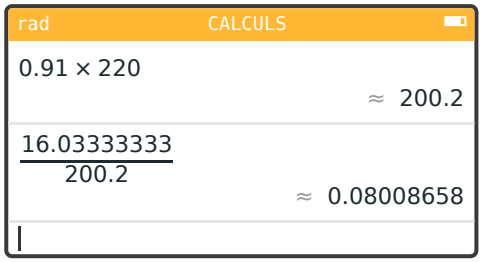
Masse d'huile introduite : $m_i = \rho \times V_{\text{huile}} = 0{,}91 \times 220 = 200$ g.

$$\text{surgraissage} = \frac{m_f(\text{oléine})}{m_i} = \frac{16{,}0}{200} = 0{,}080$$

Cette valeur est comprise entre 5 % et 10 % : le savon obtenu a un surgraissage habituel.

Surgraissage $\approx 8{,}0$ %, conforme à l'intervalle usuel de 5 % à 10 %.

À LA CALCULATRICE



Q8 Expliquer, en utilisant les données, l'intérêt du relargage.

D'après le tableau des données, l'oléate de sodium est moyennement soluble dans l'eau mais insoluble dans l'eau salée, alors que le glycérol et l'hydroxyde de sodium en excès y sont très solubles.

En ajoutant de l'eau salée, le savon dissous précipite tandis que les autres espèces restent en solution.

Le relargage fait précipiter le savon : on le sépare du glycérol et de la soude en excès, et on en récupère davantage.

COMPRENDRE
Sans relargage, une partie de l'oléate de sodium resterait dissoute dans la phase aqueuse et serait perdue : cette étape sert à la fois à isoler le produit et à en récupérer le plus possible.

Q9 Identifier, dans le protocole de la fabrication artisanale, la stratégie choisie pour optimiser le procédé par rapport à la fabrication maison de la partie 1.

Dans le procédé artisanal, le mélange est porté à ébullition, alors que la fabrication maison se fait à froid. La température est un facteur cinétique : en chauffant, on augmente la vitesse de la transformation.

La stratégie est le **chauffage** du milieu réactionnel, qui accélère la saponification.

COMPRENDRE
Autre différence : la soude est ici en excès, si bien que toute l'huile peut être transformée. Dans la partie 1, c'est l'huile qui est en excès, pour obtenir un savon surgras.

Q10 Calculer la masse d'oléate de sodium présente dans le « savon épuré », puis déterminer le rendement maximal de la fabrication du savon par le procédé artisanal.

Données utiles pour $m_{\text{huile}} = 1{,}000$ kg : au maximum $m_{\text{savon}} = 1{,}350$ kg ; oléate de sodium : 50,2 % en masse ; $M(\text{oléine}) = 884\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{oléate}) = 304\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Masse d'oléate de sodium réellement obtenue :

$$m_{\text{exp}} = \frac{50{,}2}{100} \times 1{,}350 = 0{,}678\ \text{kg}$$

Masse maximale attendue : l'oléine est le réactif limitant, puisque la soude est introduite en excès. D'après l'équation, une mole d'oléine donne trois moles d'oléate de sodium :

$$n_{max}(\text{oléate}) = 3 \times n_i(\text{oléine}) = 3 \times \frac{m_{\text{huile}}}{M(\text{oléine})}$$

$$m_{max} = 3 \times \frac{m_{\text{huile}}}{M(\text{oléine})} \times M(\text{oléate}) = 3 \times \frac{1{,}000}{884} \times 304 = 1{,}03\ \text{kg}$$

Rendement :

$$\eta = \frac{m_{\text{exp}}}{m_{max}} = \frac{0{,}678}{1{,}03} = 0{,}657$$

$m_{\text{exp}} = 0{,}678$ kg d'oléate de sodium ; rendement maximal $\eta \approx 65{,}7\ \%$

PIÈGE
Diviser la masse de savon épuré (1,350 kg) par la masse maximale : ce savon contient 45,2 % d'eau et de la soude. Seule la masse d'oléate de sodium entre dans le rendement.

COMPRENDRE
Rendement « maximal » car 1,350 kg est la plus grande masse de savon citée. Dans l'extrait de 1859, « 1,000 » désigne sans doute mille kilogrammes : le rendement, rapport de deux masses, est inchangé.

MÉTHODE
Le rapport des masses molaires se calcule sans conversion : en gardant les masses en kilogrammes en haut et en bas, les unités se simplifient.

À LA CALCULATRICE

