Le colorant E 127

Bac 2022 Métropole Jour 1 · Exercice 1 **10 points** **Durée conseillée 1 h 45**

Q1 Nommer les familles fonctionnelles associées aux groupes caractéristiques A, B et C de la forme $\mathrm{H_2Ery}$.

- Groupe A, $-\mathrm{OH}$: groupe hydroxyle, famille des **alcools**.
- Groupe B, $\mathrm{C{=}O}$ lié à deux atomes de carbone : groupe carbonyle, famille des **cétones**.
- Groupe C, $-\mathrm{COOH}$: groupe carboxyle, famille des **acides carboxyliques**.

A : alcool ; B : cétone ; C : acide carboxylique

PIÈGE
Confondre le nom du groupe (hydroxyle, carbonyle, carboxyle) et celui de la famille : la question demande la famille. Pour B, écrire « aldéhyde » est faux, le carbone ne porte pas d'atome d'hydrogène.

COMPRENDRE
Le groupe A est porté par un cycle aromatique : c'est en toute rigueur un phénol, famille hors programme. La réponse attendue en Terminale est « alcool ».

Q2 Identifier, en justifiant, la forme de l'érythrosine qui prédomine dans le révélateur de plaque dentaire.

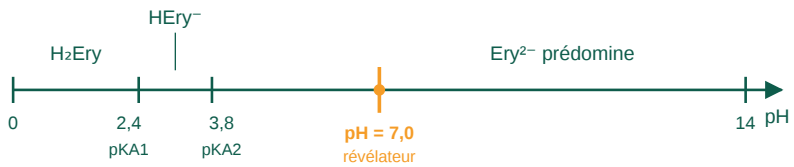
Données utiles $\mathrm{p}K_{A1} = 2{,}4$; $\mathrm{p}K_{A2} = 3{,}8$; $\mathrm{pH} = 7{,}0$

Pour un couple acide-base, la base prédomine sur l'acide lorsque $\mathrm{pH} > \mathrm{p}K_A$.

Ici $\mathrm{pH} = 7{,}0 > \mathrm{p}K_{A2} = 3{,}8 > \mathrm{p}K_{A1}$: le pH se situe dans le domaine de la forme la plus basique.

La forme $\mathrm{Ery^{2-}}$ prédomine dans le révélateur.

MÉTHODE
Espèce à plusieurs acidités : tracer un axe de pH, placer les $\mathrm{p}K_A$ par ordre croissant, écrire les formes de la plus acide à la plus basique, puis repérer le pH de la solution.



Q2 · Diagramme de prédominance des trois formes de l'érythrosine

Q3 Justifier la couleur rouge du révélateur de plaque dentaire.

Données utiles spectre d'absorption du colorant E 127 ; cercle chromatique

Le spectre présente un seul pic d'absorption, dont le maximum se situe vers $\lambda_{\max} \approx 530\ \mathrm{nm}$: la solution absorbe surtout les radiations vertes.

La couleur perçue est la couleur complémentaire de la couleur absorbée, c'est-à-dire celle qui lui est diamétralement opposée sur le cercle chromatique. En face du vert se trouve le rouge.

Absorption maximale dans le vert ($\approx 530\ \mathrm{nm}$) : la solution paraît rouge.

PIÈGE
Répondre « la solution absorbe le rouge ». Une solution a la couleur des radiations qu'elle laisse passer, pas de celles qu'elle absorbe.

Q4 Montrer que la concentration du colorant E 127 dans le révélateur vaut $2{,}2 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, puis déterminer son titre massique. Commenter.

Données utiles $A_S = 0{,}484$; prélèvement $V_0 = 0{,}5\ \text{mL}$; fiole $V_S = 2{,}0\ \text{L}$; $M(\text{Na}_2\text{Ery}) = 880\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $\rho = 1{,}0\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$; indication : 2 % en masse

Concentration de la solution S. Les points de la figure 1 sont alignés sur une droite passant par l'origine : l'absorbance est proportionnelle à la concentration (loi de Beer-Lambert). Pour $A_S = 0{,}484$, on lit sur cette droite $c_S = 5{,}5\ \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Concentration du révélateur. Lors de la dilution, la quantité de colorant se conserve : $c_0\,V_0 = c_S\,V_S$, donc

$$c_0 = \frac{c_S\,V_S}{V_0} = \frac{5{,}5 \times 10^{-6} \times 2{,}0}{0{,}5 \times 10^{-3}} = 2{,}2 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

On retrouve la valeur annoncée.

Titre massique. Un volume V de révélateur a pour masse $\rho\,V$ et contient la masse $c_0\,V\,M$ de colorant :

$$w = \frac{c_0\,V\,M}{\rho\,V} = \frac{c_0\,M}{\rho} = \frac{2{,}2 \times 10^{-2} \times 880}{1{,}0 \times 10^{3}} = 0{,}019$$

avec $\rho = 1{,}0\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1} = 1{,}0 \times 10^{3}\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$.

Le résultat est très proche des 2 % annoncés : l'indication du fabricant est vérifiée.

$c_0 = 2{,}2 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (valeur attendue) ; $w = 0{,}019$, soit 1,9 % en masse

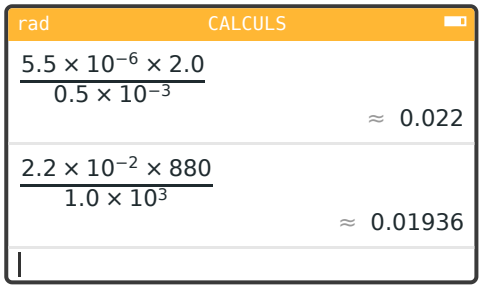
PIÈGE

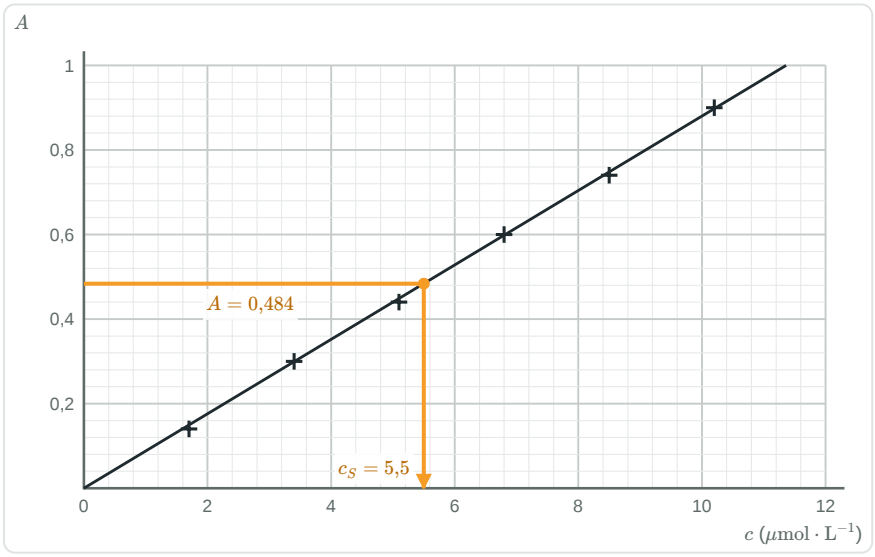
Laisser ρ en $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ alors que $c_0\,M$ est en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$: le titre serait mille fois trop grand. Convertir aussi V_0 en litres dans la dilution.

COMPRENDRE

Deux chiffres significatifs au résultat, comme ρ, V_S et la lecture graphique. Le facteur de dilution vaut $V_S/V_0 = 4000$: la solution S est assez diluée pour entrer dans la gamme d'étalonnage.

À LA CALCULATRICE





Q4 · Figure 1 du sujet, avec la droite d'étalonnage et la lecture pour la solution S

Q5 Identifier le rôle des étapes n°1, n°2 et n°3 du protocole de synthèse de l'érythrosine.

- Étape n°1 : **transformation** des réactifs en produit (la synthèse proprement dite).
- Étape n°2 : **isolement** du produit solide par filtration, puis début de **purification** par lavage à l'eau et à l'éthanol.
- Étape n°3 : **analyse** du produit : la température de fusion permet de l'identifier et de contrôler sa pureté.

Étape 1 : transformation ; étape 2 : isolement et purification ; étape 3 : analyse (identification)

MÉTHODE
Une synthèse suit presque toujours le même plan : transformation, isolement (séparation), purification, analyse. Associer chaque geste du protocole à l'une de ces étapes.

Q6 Identifier l'opération du protocole réalisée pour optimiser la vitesse de formation de l'érythrosine.

Dans l'étape n°1, le mélange est chauffé à 60 °C. La température est un facteur cinétique : plus elle est élevée, plus la transformation est rapide.

Le chauffage à 60 °C augmente la vitesse de formation de l'érythrosine.

PIÈGE
Citer le chauffage sans dire pourquoi. Il faut nommer le facteur cinétique (la température) et préciser le sens de son effet.

Q7 Déterminer le réactif limitant de la synthèse de l'érythrosine.

Données utiles $\mathrm{H_2Flu} + 4\,\mathrm{I_2} \longrightarrow \mathrm{H_2Ery} + 4\,\mathrm{HI}$; $m(\mathrm{H_2Flu}) = 5{,}0\ \mathrm{g}$; $m(\mathrm{I_2}) = 9{,}5\ \mathrm{g}$; $M(\mathrm{H_2Flu}) = 332\ \mathrm{g\cdot mol^{-1}}$; $M(\mathrm{I_2}) = 254\ \mathrm{g\cdot mol^{-1}}$

On compare les quantités initiales divisées par les nombres stœchiométriques de l'équation.

$$\frac{n_0(\mathrm{H_2Flu})}{1} = \frac{m(\mathrm{H_2Flu})}{M(\mathrm{H_2Flu})} = \frac{5{,}0}{332} = 1{,}5\times10^{-2}\ \mathrm{mol}$$

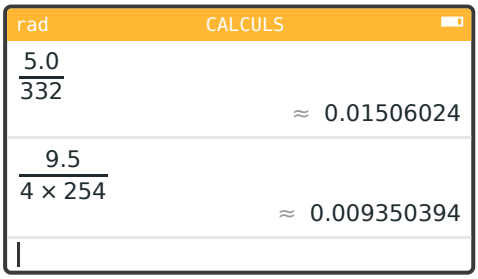
$$\frac{n_0(\mathrm{I_2})}{4} = \frac{m(\mathrm{I_2})}{4\,M(\mathrm{I_2})} = \frac{9{,}5}{4\times254} = 9{,}4\times10^{-3}\ \mathrm{mol}$$

Comme $\dfrac{n_0(\mathrm{I_2})}{4} < \dfrac{n_0(\mathrm{H_2Flu})}{1}$, le diiode est épuisé le premier.

Le réactif limitant est le diiode $\mathrm{I_2}$, avec $x_{\max} = 9{,}4\times10^{-3}\ \mathrm{mol}$.

PIÈGE
Comparer directement $n_0(\mathrm{I_2}) = 3{,}7\times10^{-2}\ \mathrm{mol}$ à $n_0(\mathrm{H_2Flu})$ et conclure que la fluorescéine est limitante. Il faut quatre moles de diiode pour une mole de fluorescéine.

À LA CALCULATRICE



Q8 Montrer que la masse d'érythrosine H_2Ery obtenue expérimentalement est d'environ 4,6 g.

Données utiles $x_{max} = 9{,}35 \times 10^{-3}$ mol (Q7) ; $r = 59\ \%$; $M(H_2Ery) = 836\ g \cdot mol^{-1}$

Si la transformation était totale, on obtiendrait $n_{max}(H_2Ery) = x_{max}$, soit la masse $m_{max} = x_{max}\, M(H_2Ery)$.

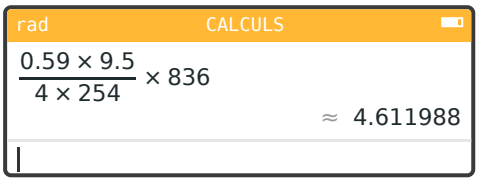
Le rendement est $r = \dfrac{m_{exp}}{m_{max}}$, donc

$$m_{exp} = r\, x_{max}\, M(H_2Ery) = 0{,}59 \times 9{,}35 \times 10^{-3} \times 836 = 4{,}6\ g$$

$m_{exp} = 4{,}6$ g, conforme à la valeur attendue

MÉTHODE
Dans un calcul en chaîne, reprendre la valeur non arrondie du résultat précédent (ici $9{,}35 \times 10^{-3}$ mol) et n'arrondir qu'à la fin.

À LA CALCULATRICE



Q9 Déterminer le nombre de flacons de 10 mL de révélateur, de concentration $2{,}2 \times 10^{-2}\ mol \cdot L^{-1}$ en colorant E 127, que cette synthèse permet de fabriquer.

Données utiles $m_{exp} = 4{,}6$ g (Q8) ; $M(H_2Ery) = 836\ g \cdot mol^{-1}$; $c_0 = 2{,}2 \times 10^{-2}\ mol \cdot L^{-1}$; $V = 10$ mL

Quantité d'érythrosine synthétisée : $n(H_2Ery) = \dfrac{m_{exp}}{M(H_2Ery)} = \dfrac{4{,}6}{836} = 5{,}5 \times 10^{-3}$ mol.

À pH = 7, toute l'érythrosine est sous la forme Ery^{2-} (Q2) : une mole de H_2Ery fournit une mole de colorant E 127.

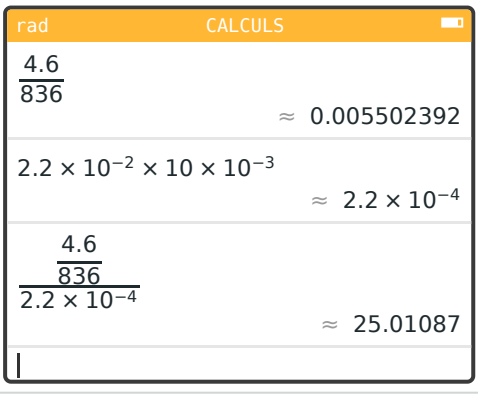
Quantité de colorant dans un flacon : $n_1 = c_0\, V = 2{,}2 \times 10^{-2} \times 10 \times 10^{-3} = 2{,}2 \times 10^{-4}$ mol.

$$N = \frac{n(H_2Ery)}{n_1} = \frac{5{,}5 \times 10^{-3}}{2{,}2 \times 10^{-4}} = 25$$

La synthèse permet de fabriquer 25 flacons de 10 mL.

PIÈGE
Diviser la masse 4,6 g par la masse molaire du colorant Na_2Ery (880) : la masse obtenue est celle de H_2Ery, de masse molaire 836 $g \cdot mol^{-1}$.

À LA CALCULATRICE



Q10 Décrire qualitativement l'évolution de la vitesse volumique de disparition de Ery^{2-} au cours du temps pour l'expérience A. Proposer un facteur cinétique à l'origine de cette évolution.

La vitesse volumique de disparition s'écrit $v = -\dfrac{\mathrm{d}[\mathrm{Ery}^{2-}]}{\mathrm{d}t}$: c'est l'opposé du coefficient directeur de la tangente à la courbe de la figure 2.

Pour l'expérience A, la courbe descend d'abord rapidement, puis de plus en plus lentement : la tangente, très inclinée à $t = 0$, devient presque horizontale en fin d'expérience. La vitesse de disparition est donc maximale au début, puis elle diminue et tend vers zéro.

Facteur cinétique : la concentration d'un réactif. Ery^{2-} est consommé, sa concentration baisse, ce qui ralentit la transformation.

La vitesse de disparition diminue au cours du temps, car la concentration du réactif Ery^{2-} diminue.

PIÈGE
Proposer la température : elle est maintenue à 25 °C pendant toute l'expérience, elle ne peut pas expliquer une évolution de la vitesse.

Q11 Déterminer graphiquement le temps de demi-réaction pour l'expérience A. Commenter.

Données utiles figure 2 : $[\mathrm{Ery}^{2-}]_0 = 8{,}5\ \mu\mathrm{mol}\cdot\mathrm{L}^{-1}$

Le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ est la durée au bout de laquelle l'avancement atteint la moitié de sa valeur finale.

La réaction est totale et Ery^{2-} disparaît entièrement : à $t_{1/2}$, sa concentration vaut la moitié de sa valeur initiale, soit $\dfrac{8{,}5}{2} = 4{,}25\ \mu\mathrm{mol}\cdot\mathrm{L}^{-1}$.

Sur la courbe de l'expérience A, le point d'ordonnée $4{,}25\ \mu\mathrm{mol}\cdot\mathrm{L}^{-1}$ a pour abscisse 150 s.

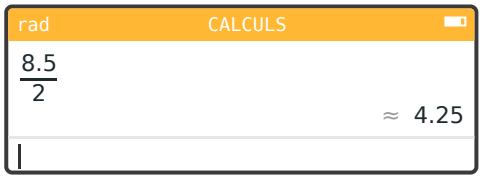
Commentaire : la transformation est lente. La moitié du colorant disparaît en deux minutes et demie, mais la figure 2 montre que la décoloration n'est quasi complète qu'au bout de 700 à 800 s, soit plus de dix minutes.

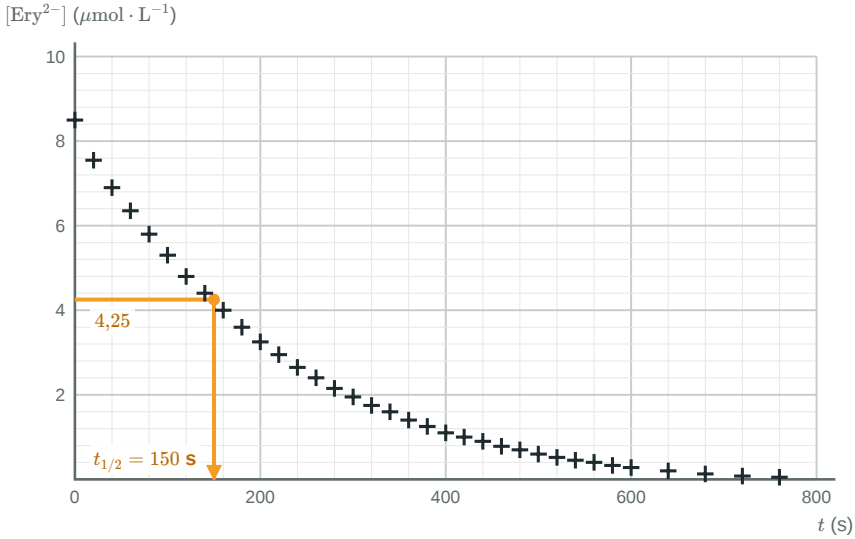
$t_{1/2} \approx 150$ s pour l'expérience A : décoloration lente

PIÈGE
Lire l'abscisse du point d'ordonnée 5 (milieu de l'axe) ou croire que la réaction est finie à $2\,t_{1/2}$: à 300 s il reste encore environ un quart du colorant.

COMPRENDRE
La valeur initiale $8{,}5\ \mu\mathrm{mol}\cdot\mathrm{L}^{-1}$ vient du mélange : 10,0 mL de solution à $1{,}7\times10^{-5}\ \mathrm{mol}\cdot\mathrm{L}^{-1}$ dans 20 mL au total, soit une concentration divisée par deux.

À LA CALCULATRICE





Q11 · Figure 2 du sujet (expérience A seule), avec la lecture de $t_{1/2}$

Q12 Expliquer comment il est possible d'optimiser la décoloration du filtre Büchner.

Sur la figure 2, la concentration de Ery^{2-} décroît nettement plus vite dans l'expérience B que dans l'expérience A : le colorant a pratiquement disparu vers 400 s, contre environ 800 s pour A.

Seule la concentration en ions hypochlorite ClO^- diffère : l'eau de Javel est diluée deux fois pour A et utilisée pure pour B. La concentration de ce réactif est un facteur cinétique.

On peut aussi opérer à une température plus élevée, la température étant un autre facteur cinétique.

Pour décolorer le filtre plus vite : utiliser l'eau de Javel commerciale non diluée, plus concentrée en ions hypochlorite.

COMPRENDRE

Optimiser signifie ici réduire la durée. La réaction étant totale, le colorant finit par disparaître dans les deux expériences : la concentration en ClO^- agit sur la vitesse, pas sur l'état final.