Dépolluer une eau avec des carapaces de crevettes

Bac 2021 Sujet zéro Terminale spécialité · Exercice 1 **10 points** **Durée conseillée 1 h 45**

1.1 Indiquer si la chitine est un polymère naturel ou artificiel, en justifiant. Même question pour le chitosane.

La chitine est extraite directement des carapaces de crustacés : elle est fabriquée par des êtres vivants, ce qui en fait un polymère **naturel**.

Le chitosane est obtenu en transformant chimiquement la chitine (traitement à la soude) : c'est un polymère **artificiel**.

Chitine : polymère naturel ; chitosane : polymère artificiel.

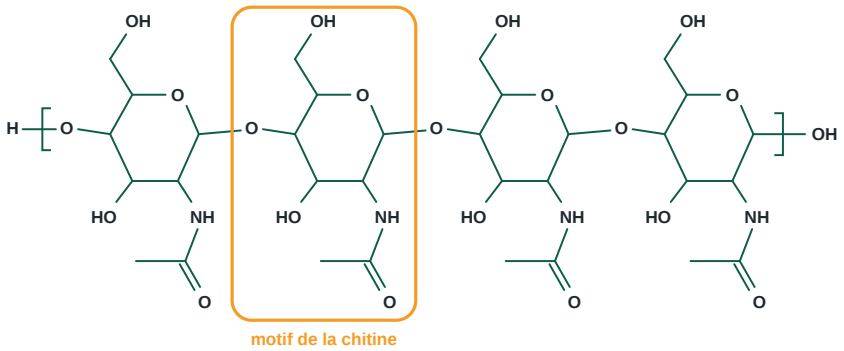
COMPRENDRE
Trois catégories : naturel (produit par le vivant), artificiel (polymère naturel modifié par une transformation chimique), synthétique (fabriqué à partir de petites molécules, souvent issues du pétrole).

1.2 Entourer, sur la figure 1 de l'annexe, le motif de la chitine.

Le motif est le groupe d'atomes qui se répète le long de la chaîne : ici il figure quatre fois entre les crochets. Il comprend l'atome d'oxygène de liaison, le cycle et tous ses groupes.

Motif entouré sur l'annexe (un seul des quatre suffit).

PIÈGE
Oublier l'atome O qui relie deux cycles, ou le prendre deux fois. Le motif contient un seul O de liaison : répété quatre fois, il doit redonner exactement le contenu des crochets.



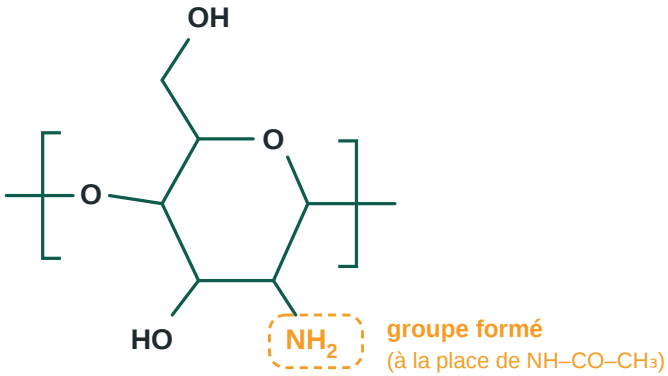
1.2 · Annexe, figure 1 : le motif de la chitine est entouré en orange

2.1 Représenter la formule topologique du motif du chitosane.

D'après la banque de réactions, l'ion hydroxyde transforme à chaud un amide en ion carboxylate et en amine. Dans le motif de la chitine, le groupe amide $-NH-CO-CH_3$ est donc coupé : l'ion éthanoate CH_3COO^- part et il reste $-NH_2$ sur le cycle. Le reste du motif est inchangé.

Motif du chitosane : celui de la chitine, avec $-NH_2$ à la place de $-NH-CO-CH_3$.

MÉTHODE
Repérer dans la molécule le groupe de la famille citée par la banque de réactions (ici l'amide), puis recopier la molécule en ne modifiant que ce groupe, comme dans l'exemple fourni.



2.1 · Motif du chitosane : seul le groupe porté par l'azote a changé

2.2 Nommer la famille fonctionnelle correspondant au groupe caractéristique formé dans le chitosane.

Le groupe formé est le groupe amino $-\mathrm{NH_2}$.

Le chitosane appartient à la famille des **amines**.

PIÈGE
Confondre amine et amide : dans un amide, l'azote est lié à un carbone portant une double liaison $\mathrm{C{=}O}$. Ce n'est plus le cas ici.

2.3 Expliquer l'intérêt d'un montage à reflux, puis nommer les éléments du montage numérotés de 1 à 6.

Chauffer accélère la transformation (la température est un facteur cinétique). Le reflux évite les pertes de matière : les vapeurs se liquéfient dans le réfrigérant et retombent dans le ballon.

- 1 : sortie d'eau
- 2 : réfrigérant à boules
- 3 : arrivée d'eau
- 4 : ballon
- 5 : chauffe-ballon
- 6 : support élévateur

Reflux : chauffer pour aller plus vite, sans perdre de matière.

COMPRENDRE
L'eau entre par le bas du réfrigérant et sort par le haut : il reste ainsi toujours rempli. Le support élévateur permet de retirer rapidement le chauffage en cas de problème.

2.4 Définir et calculer le rendement de la synthèse, les ions hydroxyde étant en excès.

Données utiles $m_{\text{chitine}} = 8{,}0\ \text{g}$; $m_{\text{chitosane}} = 4{,}0\ \text{g}$; $M_{\text{motif chitine}} = 203\ \text{g·mol}^{-1}$; $M_{\text{motif chitosane}} = 159\ \text{g·mol}^{-1}$

Le rendement est le quotient de la quantité de produit réellement obtenue par la quantité maximale attendue si la transformation était totale : $\eta = \dfrac{n_{\text{exp}}}{n_{\text{max}}}$.

$\mathrm{HO^-}$ est en excès : la chitine est le réactif limitant. Chaque motif de chitine donne un motif de chitosane, donc $n_{\text{max}} = \dfrac{m_{\text{chitine}}}{M_{\text{motif chitine}}}$.

$$\eta = \frac{m_{\text{chitosane}}/M_{\text{motif chitosane}}}{m_{\text{chitine}}/M_{\text{motif chitine}}} = \frac{4{,}0/159}{8{,}0/203} = 0{,}64$$

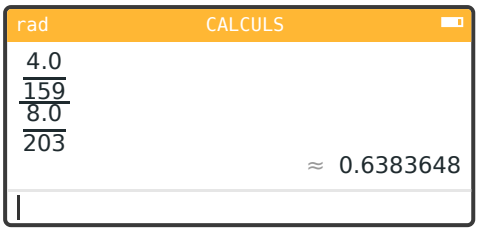
Remarque : la formule trouvée en 2.1 ($\mathrm{C_6H_{11}NO_4}$) correspond à $161\ \text{g·mol}^{-1}$ et non 159 ; le calcul est fait avec la valeur de l'énoncé.

$\eta = 0{,}64$, soit 64 %.

PIÈGE
Écrire $\eta = 4{,}0/8{,}0 = 50$ %. Les deux motifs n'ont pas la même masse molaire : on compare des quantités de matière, ou bien la masse obtenue à la masse maximale (6,3 g).

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme les masses 8,0 g et 4,0 g. L'écart sur la masse molaire du chitosane change peu le résultat : avec $161\ \text{g·mol}^{-1}$ on trouve 63 %.

À LA CALCULATRICE



3.1 Indiquer la couleur d'une solution aqueuse de sulfate de cuivre(II). Justifier.

Le spectre montre que la solution absorbe surtout entre 700 et 830 nm, avec un maximum vers 800 nm : elle absorbe le rouge.

La couleur perçue est la couleur complémentaire de la couleur absorbée, diamétralement opposée sur le cercle chromatique. En face du rouge se trouve le cyan.

La solution est de couleur cyan (bleu clair).

PIÈGE
Répondre « rouge » : la longueur d'onde du maximum d'absorption donne la couleur absorbée, pas la couleur de la solution.

3.2 Décrire un protocole de dilution permettant d'obtenir 10,0 mL de la solution F1 à partir de la solution S.

Données utiles $C_S = 0{,}50\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$; $C_{F1} = 0{,}10\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$; $V_{F1} = 10{,}0\ \text{mL}$

Lors d'une dilution, la quantité de soluté se conserve : $C_S\,V_S = C_{F1}\,V_{F1}$.

$$V_S = \frac{C_{F1}\,V_{F1}}{C_S} = \frac{0{,}10 \times 10{,}0}{0{,}50} = 2{,}0\ \text{mL}$$

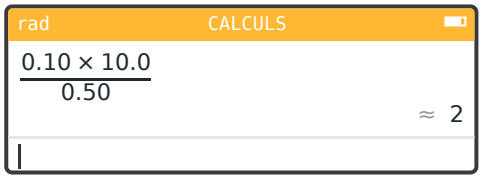
Protocole :

- verser un peu de solution S dans un bécher ;
- prélever 2,0 mL de S avec une pipette jaugée de 2,0 mL munie d'une propipette ;
- les introduire dans une fiole jaugée de 10,0 mL ;
- ajouter de l'eau distillée aux trois quarts, boucher, agiter ;
- compléter à l'eau distillée jusqu'au trait de jauge, boucher, homogénéiser.

Prélever $V_S = 2{,}0$ mL de S (pipette jaugée) et compléter à 10,0 mL (fiole jaugée).

MÉTHODE
Facteur de dilution $F = C_S/C_{F1} = 5$: le volume de la fiole vaut cinq fois celui de la pipette. Toujours nommer la verrerie jaugée, avec son volume.

À LA CALCULATRICE



3.3 Montrer que le taux d'avancement final de la complexation vaut 0,73. Conclure sur l'efficacité de la dépollution et proposer, si besoin, une amélioration.

Données utiles $C_0 = 0{,}10\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$; $V_0 = 40$ mL ; chitosane en excès ; $A_{\text{filtrat}} = 0{,}30$; tableau des solutions étalons

Concentration finale. Les quotients A/C des six solutions étalons sont presque égaux (entre 11,0 et 11,6) : A est proportionnelle à C (loi de Beer-Lambert), $A = k\,C$ avec en moyenne $k = 11{,}3\ \text{L}\cdot\text{mol}^{-1}$.

$$C_f = \frac{A_{\text{filtrat}}}{k} = \frac{0{,}30}{11{,}3} = 2{,}7\times10^{-2}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

Taux d'avancement. Cu^{2+} est le réactif limitant : $x_{\max} = C_0\,V_0$. À l'état final il reste $C_f\,V_0 = C_0\,V_0 - x_f$, donc $x_f = (C_0 - C_f)\,V_0$.

$$\tau = \frac{x_f}{x_{\max}} = \frac{C_0 - C_f}{C_0} = \frac{0{,}10 - 0{,}027}{0{,}10} = 0{,}73$$

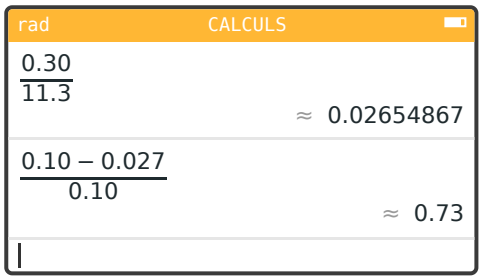
Conclusion. 73 % des ions cuivre(II) ont été retirés de l'eau, mais il en reste 27 % : la dépollution est réelle mais incomplète. Pour l'améliorer, on peut agiter plus longtemps, utiliser un chitosane plus finement divisé, ou traiter de nouveau le filtrat avec du chitosane neuf.

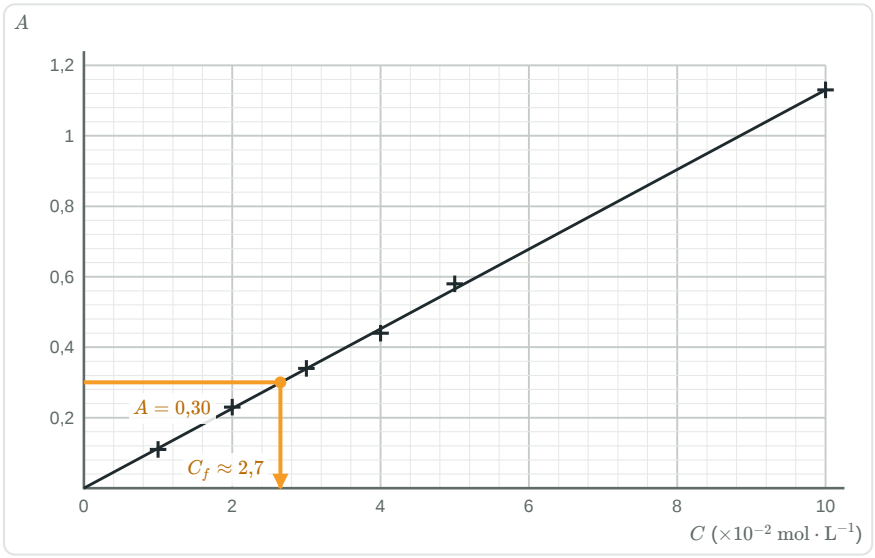
$\tau = 0{,}73$: valeur attendue retrouvée ; dépollution efficace mais partielle.

COMPRENDRE
Le volume V_0 se simplifie : τ ne dépend que des concentrations. Un taux inférieur à 1 signifie que la transformation n'est pas totale, bien que le chitosane soit en excès.

MÉTHODE
Question ouverte : annoncer le plan (trouver C_f par l'étalonnage, puis x_f, puis τ). Tracer la droite d'étalonnage et y lire C_f est une autre démarche tout aussi valable.

À LA CALCULATRICE





3.3 · Droite d'étalonnage et lecture pour le filtrat

4.1 Définir la vitesse volumique de consommation des ions $Cu^{2+}(aq)$.

C'est l'opposé de la dérivée par rapport au temps de la concentration en ions Cu^{2+} :

$$v = -\frac{\text{d}[Cu^{2+}]}{\text{d}t} = -\frac{\text{d}C}{\text{d}t}$$

PIÈGE
Oublier le signe « − » : la concentration d'un réactif diminue, sa dérivée est négative, alors qu'une vitesse est positive.

4.2 Estimer, par une construction graphique sur la figure 2 de l'annexe, la vitesse volumique de consommation des ions Cu^{2+} (aq) à la date $t = 10$ min.

La vitesse à $t = 10$ min est l'opposé du coefficient directeur de la tangente à la courbe en ce point. On trace cette tangente et on y choisit deux points éloignés : A (4 min ; $12{,}8 \times 10^{-3}$ mol · L^{-1}) et B (16 min ; $5{,}6 \times 10^{-3}$ mol · L^{-1}).

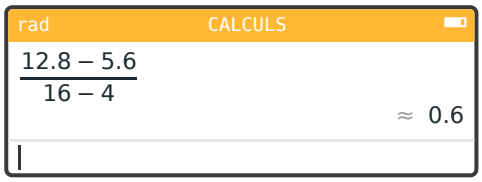
$$v = -\frac{C_B - C_A}{t_B - t_A} = -\frac{(5{,}6 - 12{,}8) \times 10^{-3}}{16 - 4}$$

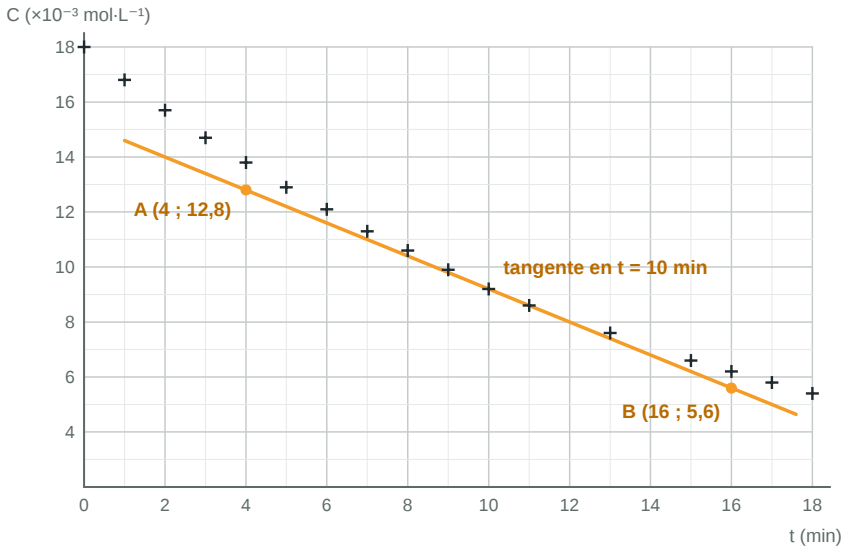
$v(10\text{ min}) \approx 6{,}0 \times 10^{-4}\text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

PIÈGE
Prendre les points A et B sur la courbe au lieu de la tangente, ou oublier le facteur 10^{-3} de l'axe des ordonnées.

COMPRENDRE
Le tracé d'une tangente est approximatif : toute valeur comprise entre 5 et 7 $\times 10^{-4}$ mol · L^{-1} · min^{-1} est acceptable, avec les traits de construction visibles.

À LA CALCULATRICE





4.2 · Annexe, figure 2 : tangente à la courbe à la date $t = 10$ min

4.3 Décrire l'évolution de la vitesse volumique de consommation des ions Cu^{2+}(aq) au cours du temps. Proposer, en justifiant, un facteur cinétique à l'origine de cette évolution.

La courbe $C(t)$ est de moins en moins pentue : la tangente se rapproche de l'horizontale, son coefficient directeur diminue en valeur absolue. La vitesse de consommation **diminue** donc au cours du temps.

Le facteur cinétique responsable est la concentration du réactif : les ions Cu^{2+} sont consommés, leur concentration baisse, et la transformation ralentit.

La vitesse diminue au cours du temps car la concentration en Cu^{2+} diminue.

PIÈGE
Citer la température : rien n'indique qu'elle varie pendant l'expérience. Le facteur cinétique doit être une grandeur qui change réellement au cours du temps.

4.4 Expliquer, à l'aide de l'extrait de programme, pourquoi les vitesses volumiques calculées par ce programme sont des valeurs approchées.

La ligne 19, `v.append(-(C[i+1]-C[i])/(t[i+1]-t[i]))`, calcule $-\dfrac{C_{i+1}-C_i}{t_{i+1}-t_i}$: c'est le taux de variation de C entre deux mesures successives, séparées de 1 min (parfois 2 min).

Or la vitesse est une dérivée, c'est-à-dire la limite de ce taux quand l'intervalle de temps tend vers zéro. Le programme calcule donc une vitesse moyenne sur chaque intervalle, pas la vitesse à la date t_i.

Le programme remplace la dérivée par un taux de variation sur une durée non négligeable : valeur approchée.

COMPRENDRE
Graphiquement, le programme utilise la pente de la corde entre deux points voisins au lieu de celle de la tangente. Plus les mesures sont rapprochées, meilleure est l'approximation.

4.5 Indiquer, en justifiant, si la complexation des ions Cu^{2+}(aq) peut être modélisée par une loi d'ordre 1.

Une transformation suit une loi d'ordre 1 si la vitesse de consommation du réactif est proportionnelle à sa concentration : $v = k\,C$.

La figure 5 montre des points alignés, modélisés par $v = 0{,}065\,C - 0{,}005$. L'ordonnée à l'origine ($0{,}005\ \mathrm{mmol \cdot L^{-1} \cdot min^{-1}}$) est négligeable devant les vitesses mesurées (de 0,4 à 1,2) : la droite passe pratiquement par l'origine, donc $v \approx 0{,}065\,C$.

Oui : v est proportionnelle à C, loi d'ordre 1 avec $k \approx 0{,}065\ \mathrm{min^{-1}}$.

PIÈGE
Se contenter de « les points sont alignés ». Une droite ne suffit pas : l'ordre 1 exige la proportionnalité, donc une droite passant par l'origine.