

Les métaux lourds tels que le cuivre, le cobalt ou le nickel peuvent se retrouver dans les eaux usées. Leur présence est dangereuse pour l'homme ; ils sont toxiques à faible concentration et s'accumulent dans l'organisme. On cherche des procédés permettant de dépolluer les eaux en métaux lourds.

Une piste prometteuse utilise le chitosane, molécule synthétisée à partir de la chitine elle-même extraite des carapaces de crustacés (crevette, crabe, homard...). Le chitosane s'associe aux ions métalliques pour former une nouvelle espèce chimique insoluble dans le milieu, que l'on isole par filtration.

On souhaite tester, en laboratoire, les propriétés du chitosane sur trois eaux polluées artificiellement respectivement au cuivre, au nickel et au cobalt.

Voici les étapes du protocole opératoire.

Étape 1 : Préparation des trois solutions

Trois solutions aqueuses d'ions métalliques de volume $V_0 = 40,0$ mL et de concentration molaire C_0 sont versées dans trois béchers :

- Solution S_1 de sulfate de cuivre II ($\text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$) de couleur bleue ;
- Solution S_2 de sulfate de nickel II ($\text{Ni}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$) de couleur verte ;
- Solution S_3 de sulfate de cobalt II ($\text{Co}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$) de couleur rose.

Étape 2 : Analyse spectrale des trois solutions

On mesure à l'aide d'un spectrophotomètre l'absorbance $A_0(1)$, $A_0(2)$ et $A_0(3)$ des solutions S_1 , S_2 et S_3 .

Étape 3 : Solubilisation du chitosane

On ajoute une même masse m de chitosane solide dans les trois béchers.
On agite pendant trente minutes.

Étape 4 : Filtration

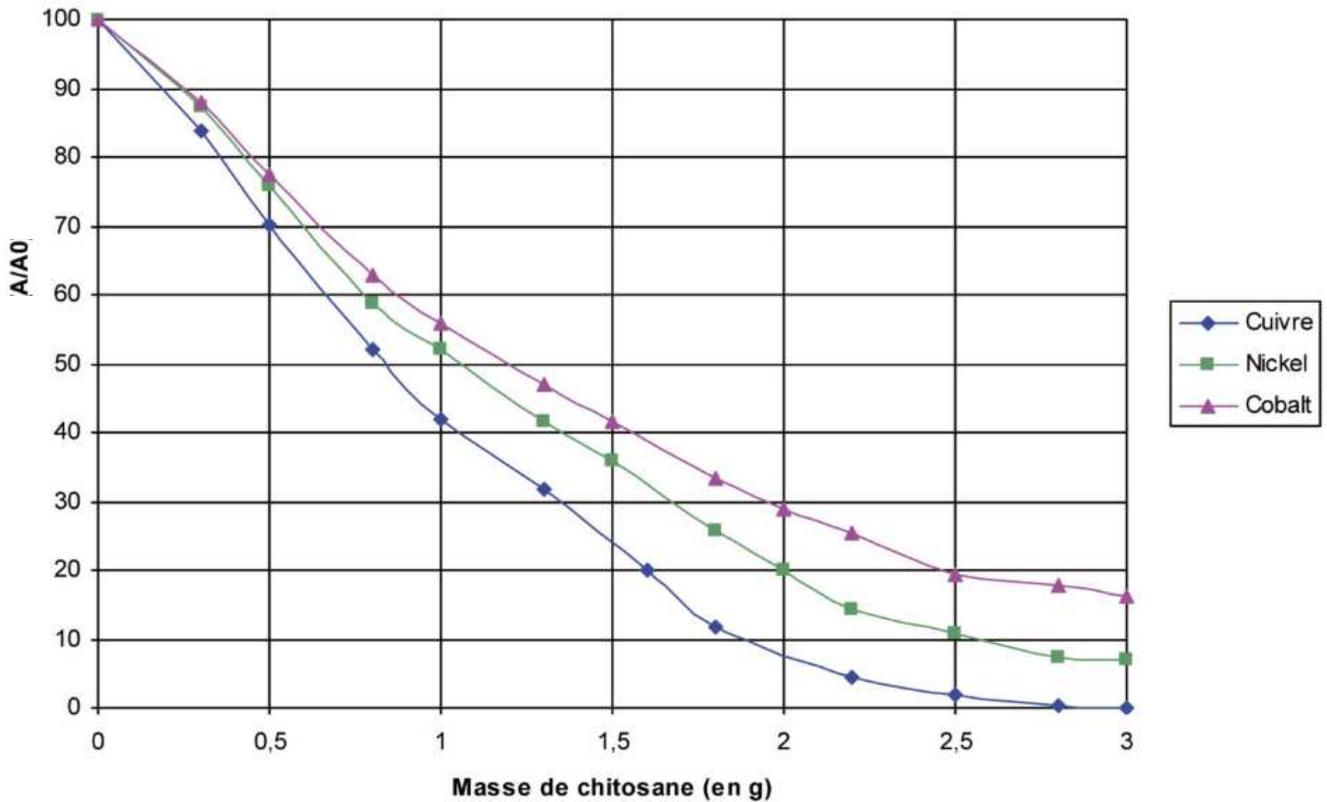
On filtre les trois solutions et on récupère les filtrats d'aspect limpide.

Étape 5 : Nouvelle analyse spectrale

On mesure l'absorbance $A(1)$, $A(2)$ et $A(3)$ des filtrats dans la gamme de longueurs d'onde 400 - 900 nm.

L'étude est réalisée pour 40,0 mL de solution aqueuse à la même concentration molaire C_0 et différentes masses m de chitosane solide.

Les résultats obtenus sont exploités et conduisent aux tracés des graphes représentant l'évolution du rapport A/A_0 (exprimé en pourcentage) en fonction de la masse de chitosane ajoutée.



D'après le Bup PC n°940, janvier 2012

Problème

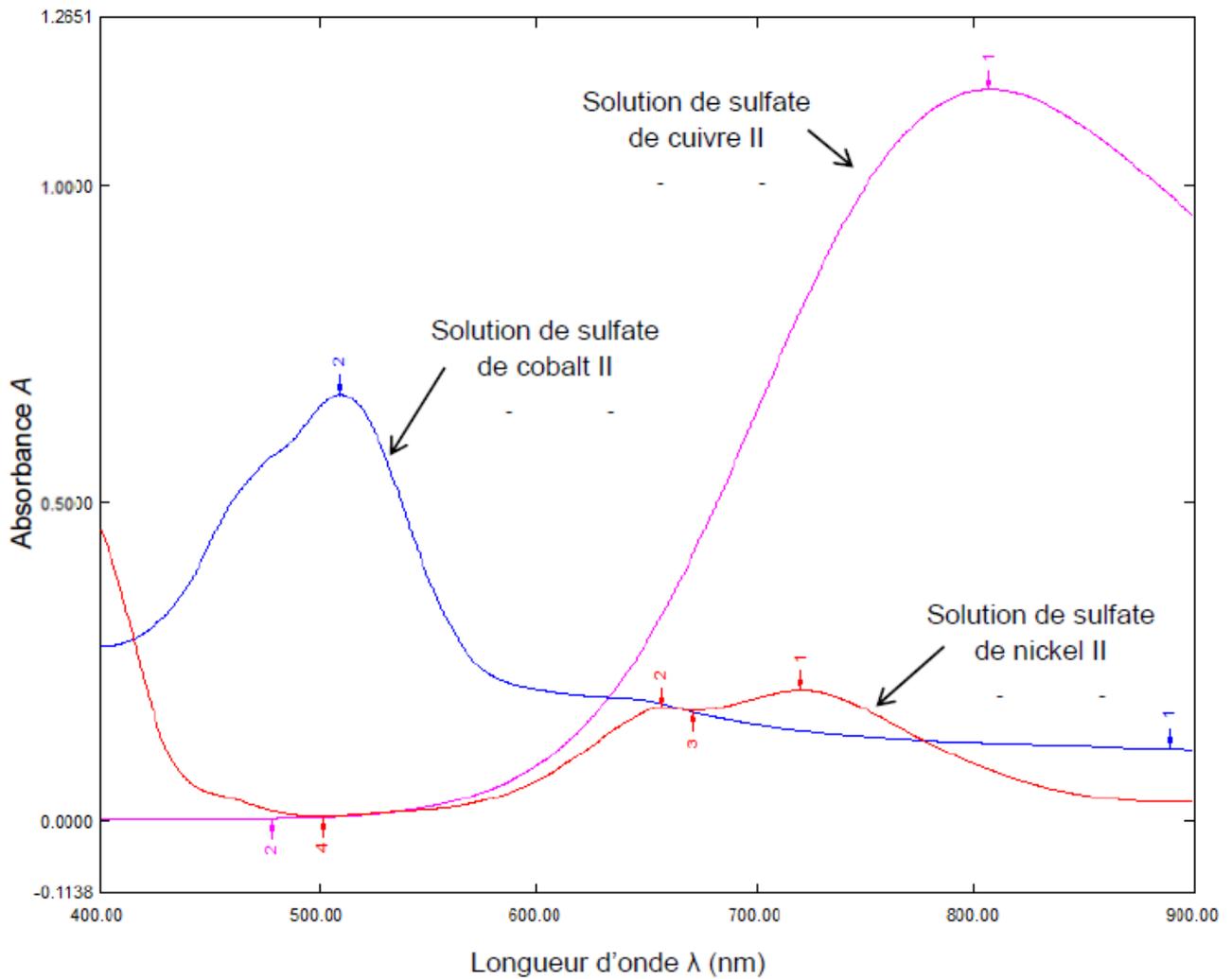
On dispose de 60 g de carapaces de crevettes. Cette masse de carapaces est-elle suffisante pour ramener 40 mL de la solution S_1 aux normes environnementales françaises de pollution des eaux en cuivre ?

Si non, quelle est la masse minimale de carapaces de crevettes nécessaires pour éliminer le cuivre de la solution ?

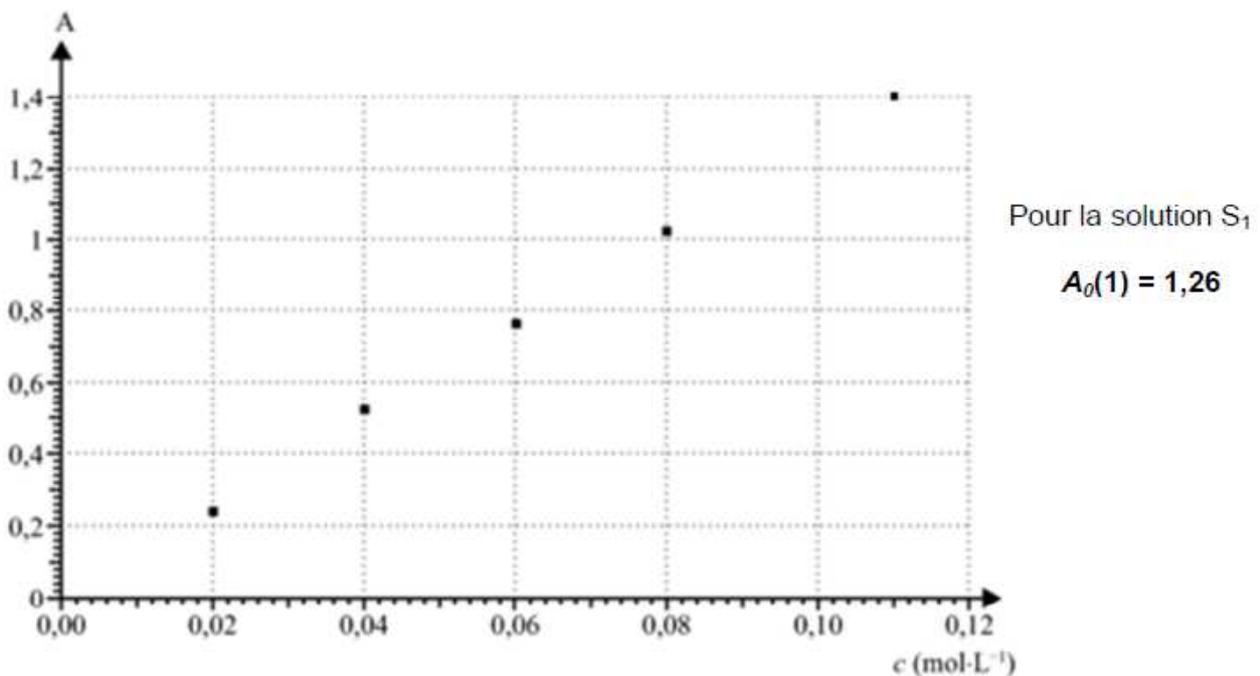
Données : masses molaires $M(\text{Co}) = 58,9 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{Cu}) = 63,5 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{Ni}) = 58,7 \text{ g.mol}^{-1}$

L'analyse des données ainsi que la démarche suivie seront évaluées et nécessitent d'être correctement présentées. Les calculs numériques seront menés à leur terme. Il est aussi nécessaire d'apporter un regard critique sur le résultat.

Document 1 : Spectres d'absorbance des solutions aqueuses de quelques métaux lourds



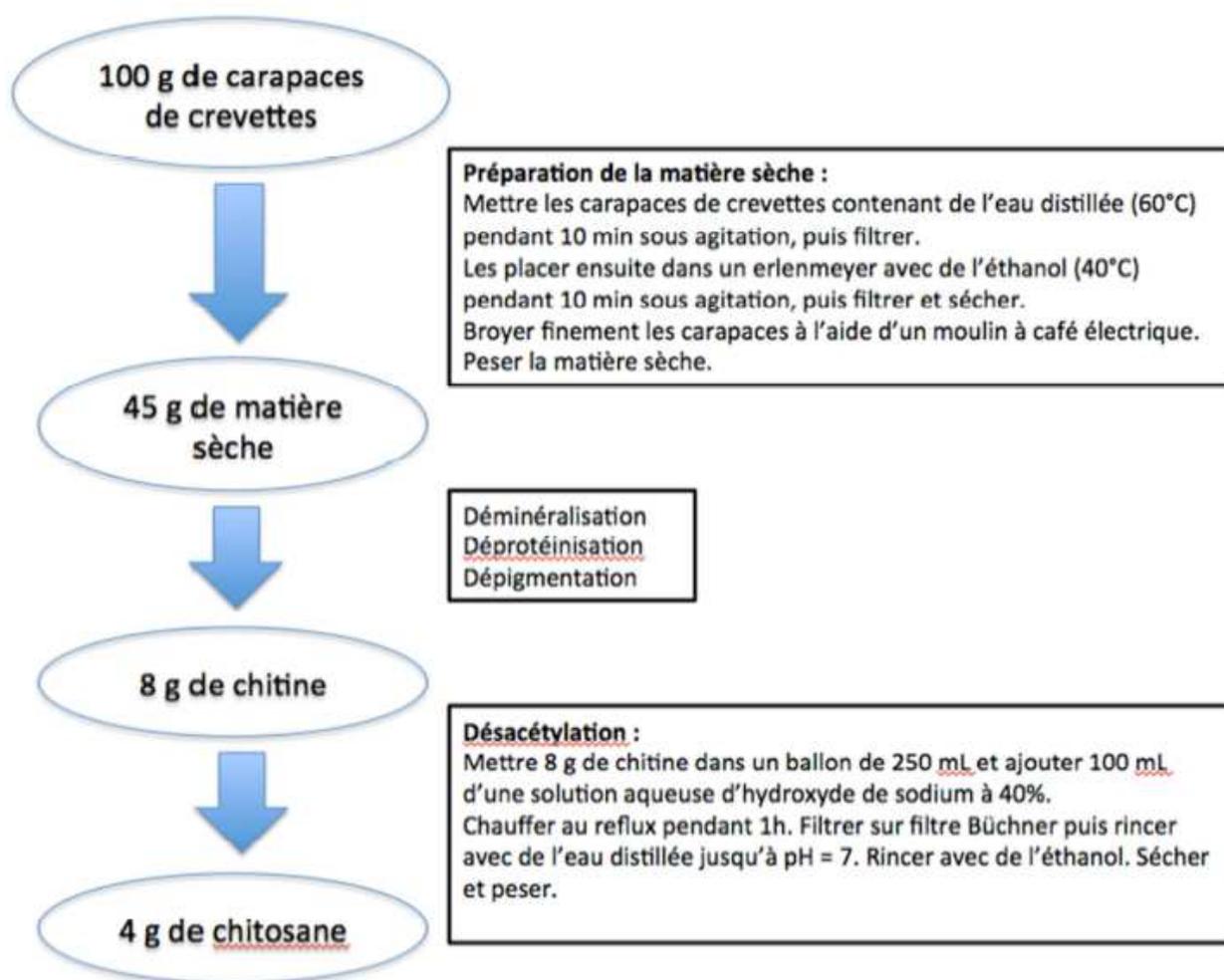
Document 2 : évolution de l'absorbance à 800 nm de solutions aqueuses de sulfate de cuivre II en fonction de la concentration molaire en sulfate de cuivre II



Document 3 : Normes de rejet d'effluents chargés en métaux lourds

métal	Fe	Cu	Ni	Zn	Cd	Pb	Al	Sn	Cr	Hg	Normes
Conc (mg/l)	5	2	5	5	0.2	1	5	2	3	0.05	CEE
	5	0.5	0.5	0.5	0.2	0.5	5	2	0.5	0.05	France
	2	2	3	5	1	1	2	-	2	0.1	Belgique
	3	0.5	0.5	1	0.2	0.5	3	1	0.5	-	Allemagne
	1	1	2	2	1	1	10	-	2	0.1	Suisse

Document 4 : Synthèse du chitosane



d'après le Bup PC n°940, janvier 2012

Grille du DS de Spécialité n°4
Dépollution des eaux

NOM :		NOTE sur 20 : 0.0				
	Coeff.	Indicateurs de réussite correspondant au niveau A	A	B	C	D
S'approprier - Comprendre la situation (question 1) - Restituer et réinvestir ses connaissances - Extraire les données de l'énoncé	1	Comprendre – Question 1. L'absorbance A des solutions diminue				
	1	Comprendre – Question 1. Donc la concentration des ions métalliques diminue				
	1	Comprendre – Question 1. L'action sur le cuivre est plus efficace que sur les autres métaux				
	1	Réinvestir – Donner le nom de la loi de Beer-Lambert				
	1	Réinvestir – Donner la loi de Beer-Lambert sous la forme $A = kC$				
	1	Réinvestir – Lien $t = CM$ entre concentration massique et concentration molaire				
	1	Extraire – Utiliser le bon spectre d'absorbance pour déterminer la longueur d'onde à utiliser				
	1	Extraire – Utiliser la bonne valeur pour la masse des crevettes (60 g)				
	1	Extraire – Utiliser le document 4 (100 g de crevettes permettent de produire 4 g de chitosane)				
Analyser - Identifier les différentes étapes pour réaliser le problème - Avoir conservé des formules littérales pour aboutir à une relation littérale	2	Étapes – Avoir énoncé les différentes étapes pour réaliser le problème Problème (a) – Déterminer la masse de chitosane disponible Problème (b) – Déterminer la concentration initiale en ions cuivre Problème (c) – Déterminer la concentration massique en ions cuivre après traitement				
	2	Étapes – Avoir réalisé les différentes étapes (même si elles ne sont pas réussies)				
	2	Problème (b) – Avoir donné le raisonnement pour résoudre cette étape, en particulier la formule				
	2	Problème (c) – Avoir donné le raisonnement pour résoudre cette étape, en particulier la formule				
	2	Problème (c) – Avoir utilisé la loi de Beer-Lambert pour faire le lien entre A/A_0 et C/C_0				
	2	Problème (c) – Avoir conservé des formules littérales pour le lien ci-dessus				
	2	Masse minimale – Il faut passer de 6,4 g/L à 0,5 mg/L				
	2	Masse minimale – Autant dire $A/A_0 = 0$ tellement il faut descendre bas en concentration en ions cuivre				
Réaliser - Effectuer des calculs littéraux ou numériques - Répondre explicitement à la problématique	2	Avant traitement – Avoir donné la bonne longueur d'onde pour le dosage (800 nm)				
	2	Avant traitement – Lecture graphique 0,10 mol/L pour les ions cuivre (II)				
	2	Avant traitement – Calcul $t = 6,4$ g/L				
	2	Problème (a) – Masse de chitosane – 2,4 g de chitosane disponible				
	2	Problème (a) – Masse de chitosane – Avec la bonne unité (gramme)				
	2	Problème (b) – 6,4 g/L pour la concentration en ions cuivre avant dépollution				
	2	Problème (b) – Avec la bonne unité (gramme par litre)				
	2	Problème (c) – Lecture graphique de $A_0/A = 2,3$ % en fonction de 2,4 g de chitosane				
	2	Problème (c) – $A_0 = 1,26$ et $C_0 = 0,10$ mol/L pour le calcul de k (ou tout autre couple de valeurs)				
	2	Problème (c) – Calcul numérique de $C = A/k$ avec les bonnes valeurs				
	2	Problème (c) – $C = 2,3$ mmol/L après traitement				
	2	Problème (c) – Calcul $t = 0,15$ g/L après traitement				
Valider - Vérifier la cohérence du résultat (signe, ordre de grandeur...) - S'assurer que l'on a répondu à la question posée	3	Problème (c) – On ne peut pas rejeter dans la nature même après traitement				
	3	Problème (c) – L'imprécision des mesures graphiques ne peut pas expliquer un tel écart				
	3	Masse minimale – Le résultat est cohérent				
	3	Masse minimale – 75 g de carapaces permet d'être certain vu que $A_0/A = 0$ un peu avant 3 g				
	3	Masse minimale – Avoir répondu par une phrase avec la bonne unité pour la masse (gramme)				