

2^{ème} partie : eau potable

I Traitement des eaux

1) Activité préliminaire

Réaliser l'activité 4 p 33 (« le traitement des eaux »)

Attention toutefois, écoutez bien les indications concernant les procédés membranaires et apportez les corrections nécessaires.

2) Partie travaux pratiques

a) Présentation

On se propose de travailler sur quelques aspects du traitement des eaux :

- Le traitement par charbon actif (TP)*
- La floculation/coagulation (TP)*
- Le traitement des eaux par résine échangeuses d'ions*
(analyse de protocole : utilisation des résines pour doser les ions nickel dans les effluents de l'usine de la SAFT à Bordeaux)

Pour répondre aux questions ou pour avancer dans les protocoles, vous pouvez vous aider des documents fournis.

b) Rôle d'un traitement au charbon actif

Un effluent à traiter, noté (E) est à votre disposition, considérez ses caractéristiques (odeur, couleur, ...)

Introduire environ 25 mL de (E) dans un bécher, ajouter une spatule de charbon actif en poudre, laisser agir 1h (sous agitation) et filtrer (*le protocole de filtration sera discuté*)
Conclusion du test : quel(s) intérêt(s) présente le traitement au charbon actif ? Le résultat est-il prévisible compte tenu de la structure moléculaire du charbon actif ?

(doc 4)

c) Traitement par floculation/coagulation

Principe :

L'introduction d'un agent de floculation/coagulation dans une suspension de particules très fines permet de modifier l'**état électrique** de la surface de ces particules et de permettre leur agglomération. Les agglomérats obtenus étant de taille plus importante, la décantation (ou la sédimentation) est plus rapide ou la filtration plus aisée. La floculation/coagulation dépend beaucoup des conditions de pH par exemple.

Manipulation :

On désire faire flocculer de l'eau très chargée en particules pour ensuite la traiter pour en faire éventuellement de l'eau de consommation. l'idéal ici est de faire flocculer l'eau obtenue à la suite de l'étape de traitement au charbon actif, c'est à dire de proposer une étape de plus de traitement à l'effluent initial (E). Toutefois une eau (F) spécialement prévue pour cette opération est disponible (au cas où les résultats obtenus à partir de E ne seraient pas assez concluants).

A l'aide des documents fournis, choisir l'agent de floculation qui vous semble le plus adapté.

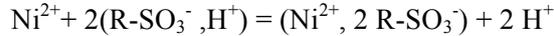
- Préparer deux éprouvettes contenant chacune 100 mL de (F)
- Dans une des deux éprouvettes (l'autre sert de témoin), introduire quelques gouttes de floculant (solution de chlorure de fer (III)).
- Noter les observations faites.
- Réaliser une filtration simple des contenus des deux éprouvettes et conclure quant à l'efficacité de l'étape de floculation en comparant visuellement (mais soigneusement) les deux filtrats obtenus.
- Indiquer quel problème supplémentaire a provoqué l'ajout de floculant, même si son action semble efficace.

c) Analyse de protocole expérimental : dosage des ions nickel d'un effluent industriel E

Principe :

On dispose d'une résine échangeuse de cations, de type $R-SO_3^-H^+$ (polymère présentant de nombreux groupements sulfonate SO_3^- dont le contre-ion est H^+).

Si on fait passer sur cette résine une solution de cations Ni^{2+} , on réalise la réaction d'équation :



L'échange est quantitatif : si on verse n mole d'ions Ni^{2+} sur la résine, on récupère en bas de la résine 2n mol d'ions H^+ .

Ces ions oxonium sont dosés par une solution de soude de concentration connue précisément.

Présentation du protocole expérimental :

Préparation de la résine.

- La résine a été traitée par une solution d'acide chlorhydrique à 2 mol.L⁻¹ dans laquelle elle baigne encore.
- Repérer le pH de l'eau déminéralisée grâce à un papier pH.
- Faire s'écouler le liquide surnageant au-dessus de la résine. Rincer la résine avec de l'eau déminéralisée jusqu'à neutralité de l'éluat (papier pH). La résine ne doit cependant jamais être en contact de l'air.
- Vérifier que l'éluat ne contient plus non plus d'ions chlorure grâce à un test au nitrate d'argent.

Échange d'ions.

- Faire s'écouler le liquide au-dessus de la résine (La résine ne doit cependant jamais être en contact de l'air dans toute la procédure qui suit)

Prélever $V_E = 5$ mL de l'effluent (E) à doser et les faire passer à travers la résine en faisant couler le liquide le long de la paroi de la colonne.

- Éluer avec de l'eau déminéralisée en faisant couler le liquide le long de la paroi de la colonne.

On utilisera entre 30 à 50 mL d'eau déminéralisée versée par fraction de 5 mL en utilisant un pipeton en plastique. Régler le débit de la colonne afin que l'écoulement se fasse lentement (1 goutte toute les 2 s). Récupérer dans un bécher de 150 mL la totalité de l'éluat : le volume total ne doit pas dépasser 100 mL. On vérifiera que la totalité de la solution (E) est bien passée à travers la colonne en utilisant le papier pH.

Dosage colorimétrique par la soude étalonnée.

- Doser les ions H^+ libérés par la résine, à l'aide de la solution d'hydroxyde de sodium de concentration $C_B = 0,0500$ mol.L⁻¹ en présence d'un indicateur coloré. On appelle V_b le volume versé à l'équivalence.

Régénération de la résine.

- Régénérer la résine en utilisant une solution d'acide chlorhydrique de concentration 2 mol.L⁻¹.
- Verser cette solution par fraction de volume égale à 5 mL et interrompre l'éluat lorsque le pH de l'éluat se situe au voisinage de 1.

d) Compte-rendu

A- Activité 4 p33

B- Présenter les protocoles expérimentaux et les conclusions concernant les parties a) et b)

C- Questions concernant la partie c)

- 1) Indiquer le rôle des rinçages à l'eau déminéralisée. Quel serait le type d'erreur sur le dosage en l'absence de ces rinçages ?
- 2) Qu'observerait-on s'il restait des ions chlorures ? Ecrire l'équation de réaction correspondante.
- 3) Avec quelle verrerie doit-on prélever les 5 mL de (E) ?
- 4) Quel pH doit indiquer le papier lorsque toute la solution E a été éluée ?
- 5) Pourquoi, si la réaction de dosage est très rapide, on peut, à priori, considérer qu'elle est aussi unique ?
- 6) Avez-vous des informations qui vous permettent de soupçonner que la réaction de dosage ($\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})} + \text{HO}^-_{(\text{aq})} \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$) est totale ?
- 7) Choisir judicieusement un indicateur coloré pour ce dosage.
- 8) Pourquoi le volume final d'éluat ne doit-il pas être trop important ?
- 9) Donner l'expression littérale de la quantité de matière d'ions H^+ dosés
- 10) Donner l'expression littérale de la quantité de matière d'ions Ni^{2+} échangés avec la résine.
- 11) En déduire la concentration C_{Ni} en ions nickel de l'effluent (E).
- 12) Expliquer ce qui se produit (chimiquement) lors de la phase de régénération de la résine.

D- Supplément : dessalage de l'eau de mer par distillation (Procédés d'obtention d'eau potable)

Activité du livre p 31

Commentaires sur le montage A p 36

Mise en œuvre d'une distillation d'eau salée.

- Réaliser le montage de distillation d'environ 150 mL d'eau salée. Matériel à disposition : ballon bicol de 250 mL, olive aimantée, colonne à distiller, tête de colonne, réfrigérant, recette, chauffe-ballon agitant, élévateur, deux thermomètres (un pour le bouilleur, un pour la tête de colonne).
- Mettre en chauffe en déclenchant un chronomètre et relever régulièrement les températures (bouilleur et tête) en fonction du temps.
- Récupérer 80 mL de distillat.
- Présenter sur le même graphe les courbes d'évolution des températures (bouilleur et tête) en fonction du temps.

Vérifier la pureté de l'eau obtenue par mesure de son indice de réfraction (on pensera à comparer avec l'indice officiel et à mesurer aussi celui de l'eau salée de départ).

DOCUMENTS

Doc 1 : dosage colorimétrique acide-base

Nous savons désormais comment évolue le pH lors d'un dosage à l'aide d'une réaction acide-base (il y a un saut de pH à l'équivalence)

Aujourd'hui, nous utiliserons un indicateur coloré acido-basique pour détecter cette équivalence.

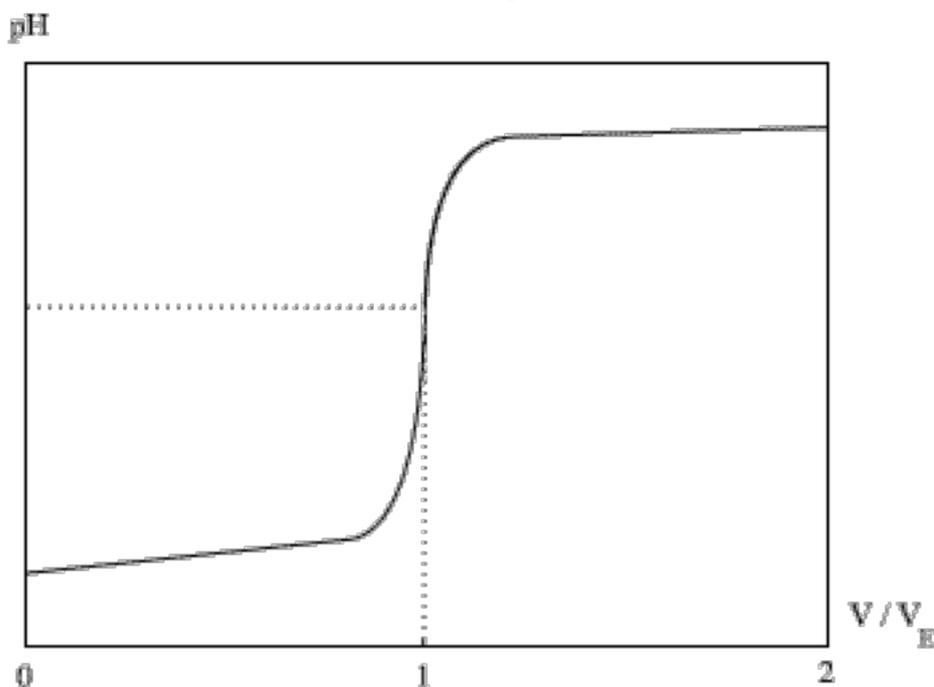
C'est un couple acide-base InH/In^- tel que la forme acide InH et la forme basique In^- n'ont pas la même couleur en solution. Selon l'environnement de l'indicateur, il se trouve sous une forme ou sous une autre. Chaque indicateur possède ce que l'on appelle sa zone de virage, c'est à dire un domaine étroit de valeurs de pH pour lesquelles les deux formes sont présentes, ce qui mène donc à une teinte intermédiaire.

Si, à l'équivalence d'une réaction de dosage acide-base, le pH change brutalement et traverse la zone de virage de l'indicateur, on peut détecter l'équivalence par observation du changement de couleur.

L'idéal étant de connaître un indicateur dont la zone de virage est entièrement contenue dans le saut de pH observé à l'équivalence.

Encore mieux : on est capable de prévoir par un calcul la valeur du pH à l'équivalence, il faut alors utiliser un indicateur dont la zone de virage contient cette valeur pH_E .

Nous rappelons ci-dessous l'allure de la courbe d'évolution du pH obtenue lorsque nous dosons des ions oxoniums ($\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}$) par des ions hydroxydes ($\text{HO}^-_{(\text{aq})}$).



Doc 2 : zones de virages de quelques indicateurs colorés acido-basiques

rouge de métacrésol	rouge	jaune	1,2-2,8
hélianthine	rouge	jaune	3,1-4,4
bleu de bromocrésol	jaune	bleu	3,8-5,4
rouge de chlorophénol	jaune	rouge	4,8-6,4
rouge de bromophénol	jaune	rouge	5,2-6,8
bleu de bromothymol	jaune	bleu	6,0-7,6
rouge neutre	rouge	jaune	6,8-8,0
rouge de crésol	jaune	rouge	7,2-8,8
phénolphtaléine	incolore	rouge violacé	8,2-10,0
jaune d'alizarine R	jaune	rouge	10,0-12,1
carmin d'indigo	bleu	jaune	11,6-14,0

Doc 3 : agents de coagulation /floculation

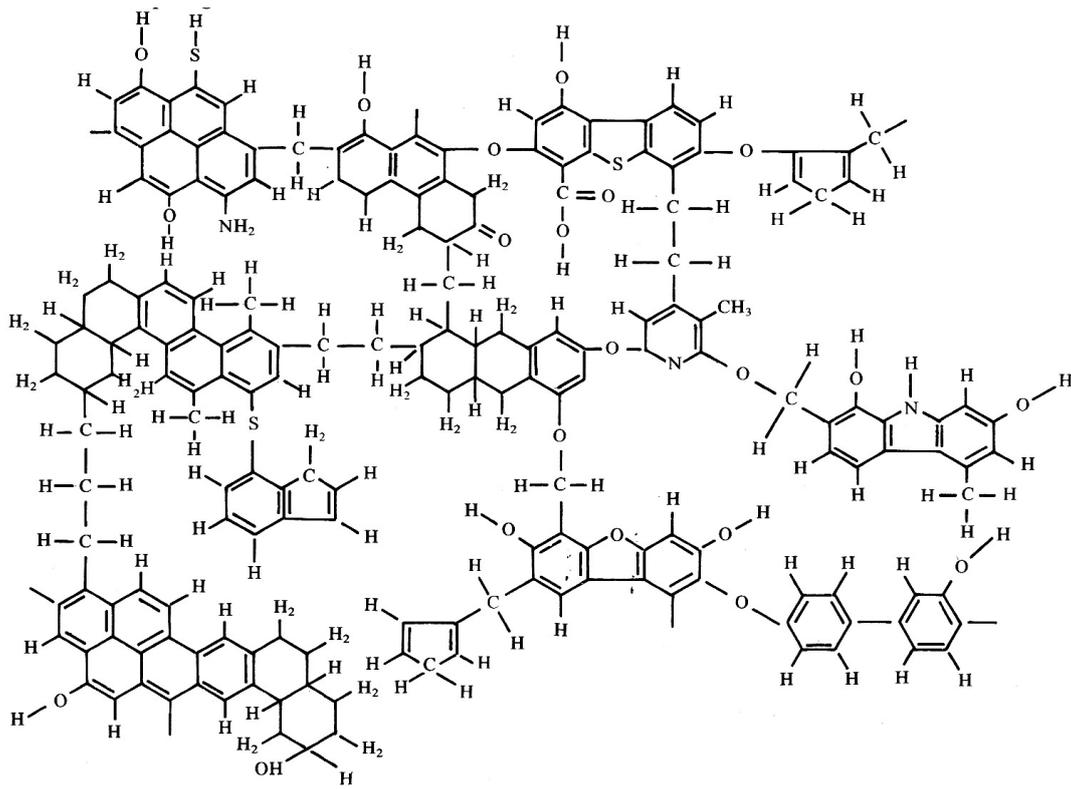
Les deux produits les plus couramment utilisés :

- Le sulfate d'aluminium ou alun : $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$
- Le chlorure ferrique FeCl_3

D'autres sels d'aluminiums partiellement hydrolysés, aussi connus sous le nom de poly-alumino-sulfates (PASS), sont de plus en plus populaires.

Ces composés sont plus coûteux que l'alun mais ils peuvent permettre des améliorations de performance notamment avec des eaux brutes ayant un faible pH ou une faible alcalinité et à basses températures (Boisvert et al., 1997). En outre, le PASS réduit la quantité d'aluminium soluble résiduel dans l'eau traitée.

Doc 4 : aperçu de la formule du charbon actif (ou noir animal)



Doc 5 : Travail parlementaire (Sénat) sur la qualité de l'eau et son assainissement en France

Rapport par G. MIQUEL au nom de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques

L'aluminium est un métal que l'on retrouve très fréquemment dans la consommation courante : dans l'alimentation, comme additif alimentaire ou comme contenant (barquette, canette), en cosmétique (dans les anti-transpirants), dans les médicaments (il neutralise l'acide gastrique et agit contre les « brûlures d'estomac ») et aussi dans les traitements d'eau. Les usines utilisent du sulfate d'aluminium, qui joue le rôle d'agent coagulant, qui favorise l'agglomération des particules qui peuvent alors être plus facilement éliminées par décantation. Une enquête de la Direction générale de la Santé en 2001 a recensé 706 installations utilisant des traitements à base d'aluminium.

Ces usages doivent bien évidemment être limités car les effets neurotoxiques de l'aluminium sont connus. Il pénètre dans le cerveau, provoquant une dégénérescence, une démence caractérisée par des troubles du comportement, parfois même quelques cas mortels (cas de patients dialysés, le liquide de dialyse étant très chargé en aluminium et de victimes d'une surconsommation de médicaments, comme ce fut le cas pour une fillette dont la mère avait consommé plusieurs dizaines de comprimés d'anti-acides par jour pendant sa grossesse).

C'est pourquoi l'Organisation Mondiale de la Santé et son comité d'experts des additifs alimentaires (JECFA) ont défini des doses limites. La dose hebdomadaire tolérable est de 7 mg/kg de poids corporel (soit 60 mg pour un adulte de 60

kg). Compte tenu des différentes sources d'exposition (95 % de l'apport d'aluminium provient des aliments), l'OMS a adopté une valeur guide pour l'aluminium dans l'eau de boisson de 200 µg/l. Ce seuil a été repris par la directive européenne n° 98/83/CE du 3 novembre 1998 et par le décret 2001-1220 du 20 décembre 2001 relatif aux eaux

destinées à la consommation humaine. Ce seuil n'est cependant pas un paramètre de santé, mais seulement un « paramètre indicateur de qualité témoin du fonctionnement des installations de production et de distribution d'eau ». Ses effets neurotoxiques connus ont conduit à émettre l'hypothèse d'un lien entre l'aluminium dans l'eau de boisson et la maladie d'Alzheimer, maladie qui touche essentiellement les personnes âgées, caractérisée par des pertes de mémoire et des troubles du comportement.

Des études ont été conduites aux Etats-Unis, puis en France, sur ce sujet. Sans résultat irréfragable.

En premier lieu, les études sont controversées. L'étude française dite ALAMA- (Aluminium-Alzheimer), est un volet d'une étude plus globale menée par l'INSERM dite « cohorte paquid » visant à étudier le vieillissement cérébral après 65 ans. La conduite de l'étude s'est heurtée à de nombreuses difficultés (double démarchage à domicile d'un psychologue, puis d'un neurologue, refus des familles de prélever des tissus dans le cerveau des défunts, faible nombre de communes -4- distribuant des eaux chargées à plus de 100 µg/l, faible nombre de cas de démence -17- identifiés...). L'étude a donc souffert d'une très faible puissance statistique. Les conclusions sur de si faibles échantillons peuvent être discutables.

En second lieu, les résultats sont contradictoires. Les premières études américaines en 1989, suggérant un risque en relation avec l'aluminium de l'eau de boisson, ont été infirmées quelques années plus tard. L'étude française conclut

que « les sujets vivant dans les communes distribuant une eau supérieure à 100 µg/l auraient deux fois plus de risques de développer la maladie, (mais une eau riche en silice réduit voire annule le risque) et toutes les personnes exposées

à l'aluminium ne développent pas la maladie ; (...) la prédisposition génétique paraît plus importante que les facteurs environnementaux et, un seul facteur environnemental tel que la présence d'aluminium dans l'eau n'est pas une

explication suffisante ». On rappellera en outre que l'eau de boisson ne constitue que 5 % de l'apport d'aluminium quotidien alors que 95 % sont issus de l'alimentation.

Doc 4 : <http://culturesciences.chimie.ens.fr/>

Le charbon actif est une forme amorphe de carbone obtenu en chauffant des matières carbonées vers 800-900°C en présence de vapeur d'eau et de dioxyde de carbone. Ce procédé donne naissance à un produit poreux avec une structure alvéolaire (voir schéma) connu pour ses capacités à adsorber de nombreux produits en très grande quantité.

On appelle adsorption, la rétention de molécules sur une surface solide. Les interactions responsables de l'adsorption sont des forces de Van der Waals et électrostatiques, dues à la polarité des surfaces et à la polarisabilité des

molécules. Les liaisons intermoléculaires ainsi formées sont de faible valeur, et peuvent par conséquent être rompues « facilement ».

Le charbon actif ne doit pas être manipulé près d'une flamme.