EXERCICE III : LA POLLUTION PAR LES NITRATES (5 points)

Les ions nitrate (NO_3^-) sont présents naturellement dans les eaux souterraines et superficielles en faibles quantités, généralement inférieures à 1 $mg.L^{-1}$. Ils participent à l'équilibre de l'écosystème en intervenant notamment dans le développement de certaines plantes et microorganismes.

Cependant, leur utilisation massive comme engrais dans les cultures et leur rejet par les élevages entraînent aujourd'hui une forte augmentation de leur concentration dans les nappes phréatiques et les cours d'eau environnants. Les ions nitrate contenus dans le sol constituent désormais la cause majeure de pollution des grands réservoirs d'eaux souterraines du globe terrestre.

Les dangers sont réels pour l'environnement et la santé. L'Organisation Mondiale de la Santé préconise pour une personne, de ne pas consommer plus de 3,65 mg d'ions nitrate par kilogramme de masse corporelle et par jour. La législation française impose donc une teneur inférieure à 50 $mg.L^{-1}$ dans les eaux de consommation.

Les eaux présentant un taux d'ions nitrate supérieur à la norme nécessitent donc un traitement spécifique pour pouvoir être consommées. Pour lutter contre cette pollution, on utilise des bactéries dénitrifiantes ou des résines échangeuses d'ions (REC).

Fonctionnement des résines échangeuses d'ions (REC)

La résine échangeuse d'ions utilisée comporte des petites billes poreuses, de diamètre 0,6 mm, saturées en ions échangeables (soit des ions chlorure, soit des ions hydrogénocarbonate). Au contact de cette résine, les ions nitrate présents dans une eau polluée vont s'échanger avec les ions chlorure et prendre leur place sur la résine, ce qui permet d'éliminer la majeure partie des ions nitrate dans l'eau en les remplaçant par des ions chlorure.

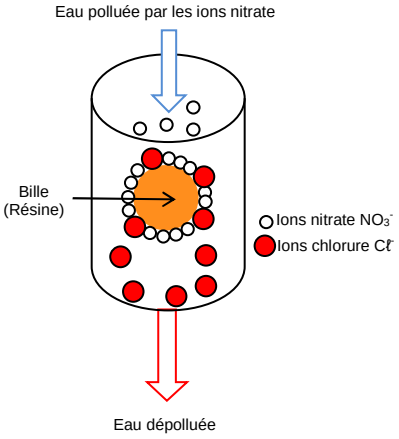


Schéma : dénitratation d'une eau par une résine contenant des ions chlorure

L'objectif de l'étude est de vérifier si le traitement, par une résine échangeuse d'ions d'une eau polluée par les nitrates a permis de rendre cette eau potable. Pour cela on met en œuvre le protocole suivant :

Titrage des ions nitrate présents dans une eau après traitement sur une REC :

Étape 1 :

- Introduire un volume V_{EAU} = 50 mL d'eau à analyser dans un erlenmeyer.
- Ajouter un volume de 10 mL d'acide sulfurique ($2\ H^+_{(aq)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)}$) pour acidifier le mélange réactionnel.
- Ajouter un volume V_1 = 100 mL d'une solution aqueuse de sel de Mohr de concentration molaire C_1 = 1,00 mmol.L^{-1} de manière à apporter une quantité de matière initiale d'ions fer (II) $n_i(Fe^{2+})$ en excès.
- Chauffer le mélange au bain-marie pendant 45 min ; ce qui permet de rendre totale la transformation des ions nitrate de l'eau en monoxyde d'azote $NO_{(g)}$.
- On refroidit le mélange.

Étape 2 :

- On introduit dans une burette une solution aqueuse de permanganate de potassium ($K^+_{(aq)} + MnO_4^-{}_{(aq)}$) de concentration molaire $C_2 = 3{,}0\times10^{-4}$ mol.L^{-1}.
- On titre les ions fer (II) restant, $n_{restant}(Fe^{2+})$ dans l'erlenmeyer en versant la solution de permanganate de potassium.
- On repère l'équivalence grâce à un changement de couleur du mélange réactionnel.
- On trouve un volume à l'équivalence de V_E = 11,3 mL pour l'eau analysée.

Données :

- masses molaires atomiques en g.mol^{-1} : $M(N) = 14{,}0$; $M(O) = 16{,}0$;
- les couples oxydant / réducteur mis en jeu sont les suivants :
  $NO_3^-{}_{(aq)}$ / $NO_{(g)}$; $Fe^{3+}_{(aq)}$ / $Fe^{2+}_{(aq)}$; $MnO_4^-{}_{(aq)}$ / $Mn^{2+}_{(aq)}$
- équations des réactions chimiques intervenant dans le protocole :
  $NO_3^-{}_{(aq)} + 3\ Fe^{2+}_{(aq)} + 4\ H^+_{(aq)} \rightarrow NO_{(g)} + 2\ H_2O_{(\ell)} + 3\ Fe^{3+}_{(aq)}$
  $5\ Fe^{2+}_{(aq)} + MnO_4^-{}_{(aq)} + 8\ H^+_{(aq)} \rightarrow 5\ Fe^{3+}_{(aq)} + Mn^{2+}_{(aq)} + 4\ H_2O_{(\ell)}$
- formule du sel de Mohr : $Fe(SO_4)_2(NH_4)_2, 6\ H_2O$

Questions préliminaires :

1- Identifier la réaction chimique mise en œuvre lors de la première étape du protocole. Justifier.

2- Préciser les ions majoritairement présents dans l'erlenmeyer lors de cette première étape :
   - avant l'ajout de la solution aqueuse de sel de Mohr ;
   - au bout des 45 min de chauffage au bain-marie.

3- À partir des demi-équations électroniques, vérifier l'équation de la réaction chimique correspondant à la deuxième étape du protocole. Schématiser et légender le montage utilisé dans cette étape.

Problème :

Peut-on considérer que la technique de dénitratation utilisée est suffisamment efficace pour que l'eau initialement polluée soit considérée comme potable ? Quelle quantité maximale de cette eau un enfant de 35 kg peut-il boire sans conséquences néfastes pour sa santé ?

L'analyse des données ainsi que la démarche suivie sont 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.