

1 Étude documentaire : Dessaler l'eau de mer (1 h)

Pour pallier le manque d'eau douce (et donc d'eau potable), de plus en plus d'usines de dessalement de l'eau de mer sont construites dans le monde.

1.1 Les compétences

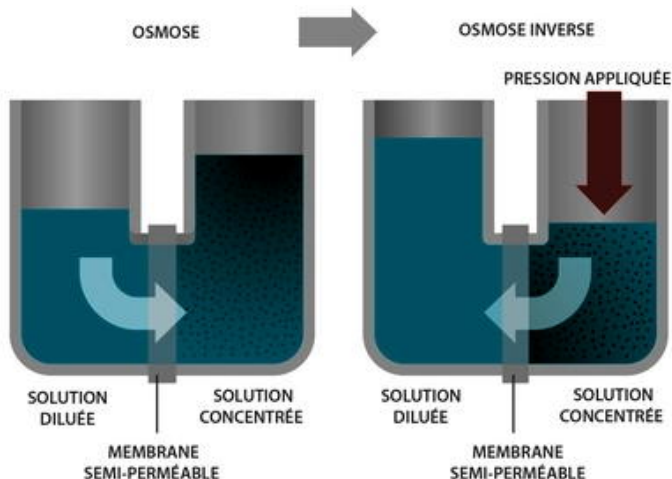
- Faire preuve de curiosité.
- Identifier les paramètres jouant un rôle dans un phénomène physique.

1.2 Situation problème

Le dessalement coûte cher (même si les prix ont diminué au cours des années) et il n'est pas sans effet sur l'environnement, car il engendre des gaz à effet de serre et des eaux de rejet fortement salées.

Il existe deux grands types de procédés pour dessaler l'eau de mer. Le premier, thermique, repose sur la distillation. Il consiste à chauffer l'eau de mer pour produire une vapeur d'eau pure, que l'on condense ensuite sur des faisceaux de tubes refroidis afin d'obtenir de l'eau douce.

Le second procédé, plus récent, est basé sur l'osmose inverse (figures ci-dessous). Si deux solutions aqueuses de concentrations différentes sont séparées par une membrane semi-perméable (elle laisse passer l'eau, mais pas les solides dissous), l'eau de la solution la moins concentrée migre vers la solution la plus concentrée de façon à égaliser les deux concentrations : c'est l'osmose.



Dans l'osmose inverse, on empêche le transfert d'eau de se réaliser normalement en exerçant une pression sur la solution la plus concentrée. Ainsi l'eau passe vers la solution la moins concentrée, tandis que les espèces dissoutes restent dans le compartiment.

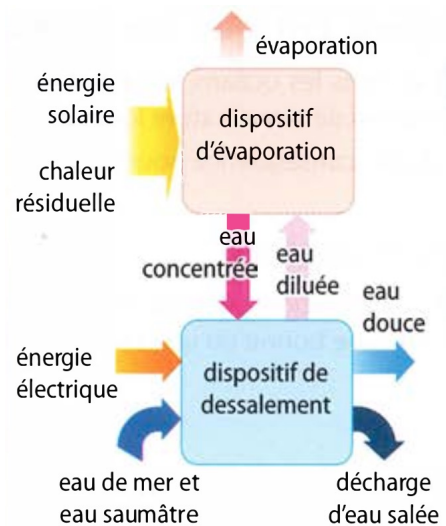
Quelle que soit la technique utilisée, le dessalement a un coût énergétique assez élevé : pour produire un mètre

cube d'eau douce, il faut au moins 10 kWh pour les meilleurs procédés thermiques et 4 à 5 kWh pour les installations d'osmose inverse les plus modernes.

1.3 Analyse du problème

Deux ingénieurs de Vancouver (Canada), Ben Sparrow et Joshua Zoshi, ont mis au point un autre système de dessalement, avec une consommation énergétique moindre (environ 1 kWh par mètre cube d'eau douce produit).

Cette technique repose sur les échanges ioniques à travers des jonctions en polystyrène traitées spécialement pour ne laisser passer que les cations ou que les anions. La migration des ions s'effectue suivant le principe de la diffusion : en présence d'un gradient de concentration, les ions se déplacent des milieux les plus concentrés vers les milieux les moins concentrés.



Dans un premier temps, une solution d'eau de mer de forte concentration en sel est formée par exploitation de l'énergie solaire (ou en récupérant de la chaleur industrielle). La concentration des sels dans l'eau de mer passe de 3,5 % à 18 % ou plus (figure ci-dessus). Cette eau salée concentrée est ensuite pompée dans l'unité de dessalement, où elle circule dans un tuyau, en relation avec trois autres flux d'eau de mer, dont les concentrations en sels sont normales (3,5 %). Les relations entre ces quatre flux sont gouvernées par les jonctions en polystyrène.

1.4 Questions préliminaires

a. Décrire rapidement la technique qui permet d'augmenter la concentration en sels. Que pensez-vous de sa demande énergétique ? Conclure en comparant avec les autres procédés.

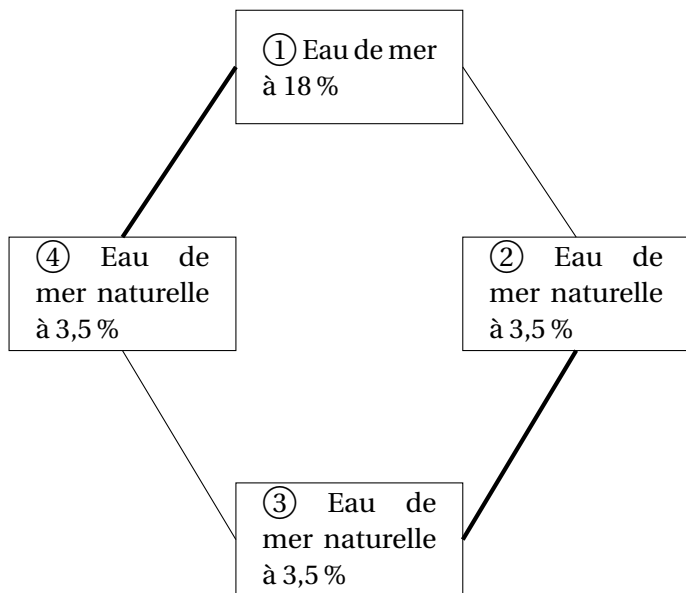
b. En première approximation, quels sont les deux ions majoritairement présents dans l'eau de mer ?

1.5 Questions scientifique à résoudre

Comment dessaler l'eau de mer en commençant par la saler encore plus ?

1.6 Construction des étapes de la résolution

Dans les conditions initiales (date $t = 0$), la disposition relative des quatre flux d'eau salée dans l'unité de dessalement est donnée sur la figure ci-dessous.



_____ Jonction en polystyrène perméable aux anions

_____ Jonction en polystyrène perméable aux cations

c. Peu de temps après la mise en place des jonctions, on observe une migration d'ions. Pourquoi ?

d. Préciser entre quels flux se déroule cette migration.

e. Recopier le schéma et y indiquer le sens de migration et le nom des ions.

1.7 Mise en œuvre des étapes de la résolution

f. Quelle va être la conséquence de cette migration sur les flux ② et ④ ?

g. Que va-t-il donc se passer au niveau du flux ③ ? Pourquoi ? Compléter le schéma.

1.8 Regard critique sur la résolution

h. Pourquoi est-il nécessaire au départ de créer une solution « hypersaline » d'eau de mer ?

i. Pour simplifier, nous avons considéré uniquement la présence de deux ions dans l'eau de mer. Est-ce le cas ? Cela change-t-il le raisonnement ?

j. Dans quelles conditions l'eau douce produite peut-elle être utilisée comme eau potable ?

1.9 Pour conclure

k. À votre avis, dans quelle zone géographique le procédé développé par Sparrow et Zoshi sera-t-il le plus rentable ?

l. Pourquoi est-il moins polluant que les autres procédés ?

m. Cependant, un problème inhérent aux procédés de dessalement persiste. Lequel ?

2 TP : déminéralisation sur résine échangeuse d'ions (1 h)

On va déminéraliser une eau de Contrex par chromatographie sur une résine échangeuse de cations (Amberlite IR-120), puis réaliser un dosage acido-basique des ions $H_{(aq)}^+$ cédés par la résine afin de vérifier son efficacité. La résine utilisée est une résine cationique, sur laquelle sont initialement fixés des ions $H_{(aq)}^+$.

2.1 Les compétences

- Savoir utiliser une résine échangeuse d'ions ;
- Savoir comment régénérer une telle résine ;
- Connaître les différents modes de traitement de l'eau ;
- Savoir préparer une chromatographie sur colonne ;
- Savoir mener et interpréter un dosage colorimétrique.

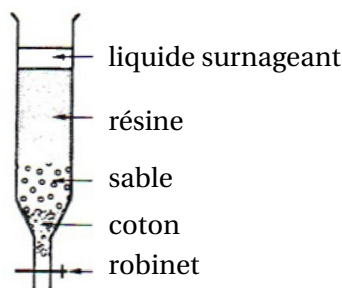
2.2 L'étiquette de l'eau de Contrex

a. Dresser la liste des ions présents dans cette eau.

b. Pour chacun d'entre eux, convertir sa concentration massique en concentration molaire.

2.3 Préparation de la résine

- Dans un bécher de 100 mL, immerger 10 g de résine dans de l'acide chlorhydrique 6 mol/L pendant quelques heures (cette opération a été réalisée par avance).
- Introduire la résine dans une burette de 25 mL (modèle non gradué), préalablement préparée avec un très petit morceau de coton et quelques grains de sable de Fontainebleau.



- Évaluer le pH de l'eau distillée à l'aide du papier-pH.

$$pH_0 =$$

- Rincer la résine plusieurs fois à l'eau distillée (environ 60 mL d'eau distillée sont nécessaires), jusqu'à ce que le pH de l'éluat soit égal au pH de l'eau distillée.

Dans toutes les opérations qui suivent, la résine doit toujours rester immergée.

- Laisser alors élué jusqu'à ce que le liquide affleure la résine. La colonne est prête.

2.4 Échange des ions

- Préparer un bécher de 100 mL sous la burette afin de recueillir les éluats.
- Introduire à l'aide d'une pipette jaugée 10 mL d'eau de Contrex en faisant couler le liquide le long de la paroi de la burette.
- Régler le débit en un goutte-à-goutte lent.
- Effectuer une mesure du pH au cours de l'élué.

$$pH_2 =$$

- Lorsque le niveau du liquide affleure la résine, ajouter de l'eau distillée à la pipette (entre 30 et 40 mL ajoutés par fractions de 10 mL), toujours en laissant couler le liquide le long de la paroi de la burette.
- Laisser élué jusqu'à ce que le pH de l'éluat ait repris sa valeur initiale (celle de l'eau distillée).

2.5 Dosage de l'éluat

- Porter l'éluat à ébullition pendant 5 min. Laisser ensuite refroidir.
- Remplir une burette de 25 mL avec une solution de soude de concentration $2,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.
- Placer le bécher contenant l'éluat sous la burette, sous agitation magnétique modérée.
- Ajouter dans ce bécher quelques gouttes de bleu de bromothymol (BBT), et un petit morceau de papier blanc pour mieux apprécier la couleur.
- Réaliser le dosage (la teinte sensible du BBT est le vert).
- Relever la valeur du volume à l'équivalence.

$$V_E = \quad \text{mL}$$

2.6 Analyse du protocole

c. Quel est le rôle des rinçages successifs à l'eau distillée lors de la préparation de la résine ?

d. Écrire les équations des réactions d'échange ayant lieu entre les cations de l'eau et les protons initialement fixés sur la résine. En déduire le nombre de protons cédés par la résine pour chaque type de cation fixé.

e. Quelle est la valeur du pH mesuré au cours de l'élué ? Cela confirme-t-il les prévisions théoriques ?

f. Lors de l'éluat, une réaction acido-basique a lieu entre les protons cédés par la résine et des ions de l'eau minérale. Quels sont ces ions ? Écrire l'équation de la réaction.

g. Pourquoi porter l'éluat à ébullition avant d'effectuer le dosage des ions $H_{(aq)}^+$?

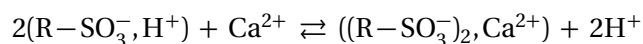
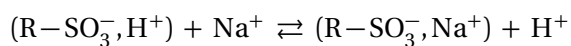
h. De la valeur V_E du volume à l'équivalence, déduire la concentration en ions hydrogène $[H^+]$ de l'éluat.

i. Vérifier la relation donnant la « somme des cations » à partir des indications fournies par le fabricant sur l'étiquette de l'eau minérale :

$$[H^+] = 2[Ca^{2+}] + 2[Mg^{2+}] + [Na^+] + [K^+] + [HCO_3^-]$$

2.7 Annexe – Comment fonctionne un adoucisseur d'eau domestique ?

Les eaux minérales sont riches en cations tels que Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ ... Déminéraliser ces eaux consiste à supprimer ces ions en les fixant sur la résine, qui cède alors des ions H^+ . Par exemple :



On constate en particulier qu'un cation qui possède deux charges positives se fixe sur deux sites de la résine et libère deux ions H^+ .

3 Exercices de la séance n° 17

17.1 N° 3 p. 43 – Dureté d'une eau.

17.2 N° 4 p. 44 – Recovery magnesium from sea water.

17.3 N° 5 p. 45 – Adoucissement et dessalement.

*Voici les numéros et pages des activités du livre,
à lire avant d'aborder les exercices.*

Activité 2 page 31 – De l'eau salée à l'eau potable.

Activité 3 page 32 – Production d'eau potable et écologie.

Activité 4 page 33 – Le traitement des eaux.