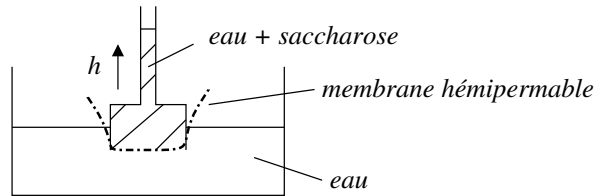


AD - Pression osmotique et applications

Document 1 : Expérience historique de Dutrochet

L'osmose fut découverte par Dutrochet (1826) qui imagina un appareil (osmomètre) constitué d'un réservoir de verre rempli d'une solution sucrée colorée (sorte de cylindre vertical dont la base est obturée par une membrane hémiperméable¹ (vessie de porc) et dont la partie supérieure est reliée à un long tube vertical de petit calibre) et plongé dans un cristalliseur contenant de l'eau.

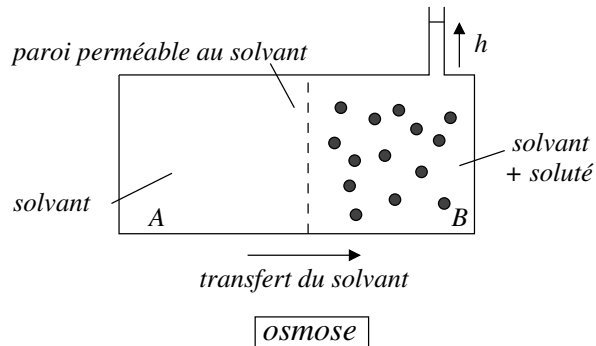


On observe une montée de l'eau dans le compartiment contenant le saccharose jusqu'à un niveau donné.

L'existence du flux de solvant indique que **le système n'est pas en équilibre**. La pression hydrostatique créée par la montée de l'eau dans le tube s'oppose au flux de solvant ; à l'équilibre, cette surpression est appelée **pression osmotique**.

Document 2 : Pression osmotique et potentiel chimique

On considère un dispositif constitué de deux compartiments comme indiqué sur la figure ci-dessous :



osmose

→ Si l'on ne tient pas compte de l'influence de la pression sur les potentiels

1. Une membrane hémiperméable est une membrane ne laissant passer que le solvant (en général l'eau), et pas les solutés (substances dissoutes).

chimiques, on a, pour le solvant :

$$\mu_A = \mu^\circ(T) \quad \text{et} \quad \mu_B = \mu^\circ(T) + RT \ln(1 - x_{\text{soluté}})$$

avec $x_{\text{soluté}}$ la fraction molaire en soluté dans le compartiment B.

L'équilibre est impossible et le solvant migre vers le compartiment B.

→ La migration du solvant engendre une surpression Δp dans le compartiment B qui va s'opposer au transfert de solvant.

En tenant maintenant compte de l'influence de la pression sur le potentiel chimique $\frac{\partial \mu}{\partial p} = V_m$, avec V_m le volume molaire, les potentiels chimiques deviennent :

$$\mu_A = \mu^\circ(T) \quad \text{et} \quad \mu_B = \mu^\circ(T) + RT \ln(1 - x_{\text{soluté}}) + V_m \Delta p$$

L'équilibre est alors possible pour une surpression égale à la **pression osmotique**, notée Π :

$$\boxed{\Pi = cRT}$$

avec c la concentration molaire du soluté dans le compartiment B.

Document 3 : Détermination de la masse molaire des protéines

L'osmose est la première méthode de mesure de la masse molaire M des protéines.

L'influence de la pression étant facilement mesurable, l'une des applications les plus courantes de l'osmométrie est la mesure des masses molaires des macromolécules (protéines et polymères synthétiques). Ces molécules énormes donnant des solutions loin d'être idéales, la relation entre pression osmotique Π et concentration massique c n'est plus une simple loi de proportionnalité. On privilégie une relation, dite équation du Viriel, du type :

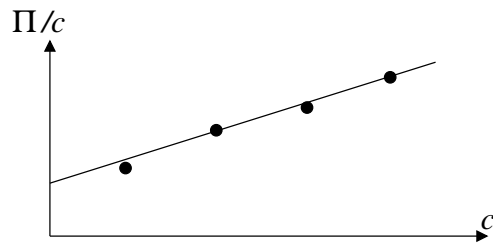
$$\frac{\Pi}{c} = \frac{RT}{M} + B \times c$$

Dans le cas de solutions macromoléculaires, les résultats dépendent de la concentration de la solution. On ne peut donc pas faire une mesure directe de M par une seule mesure de Π .

→ En effet, si on porte Π en fonction de c , on devrait obtenir une droite horizontale. Or ceci est très rarement observé. On obtient expérimentalement des droites plus ou moins inclinées.

→ On remarque d'autre part que si on recommence l'expérience dans d'autres solvants, on obtient d'autres droites mais ces droites passent toutes par la même origine.

→ Donc pour déterminer la masse molaire, il suffit d'extrapoler à c nulle.



Du fait de la résistance limitée des membranes, cette technique convient bien pour des masses molaires élevées.

Document 4 : Le dessalement de l'eau de mer

→ L'eau est abondante sur terre ; l'essentiel toutefois est constitué d'eau de mer (97,2%) et de glace (2,15%) inutilisables directement. L'eau douce, facilement disponible (lacs, fleuves, certaines eaux souterraines), ne représente que 0,07% de la ressource totale. Mais la répartition de cette eau est très inégale. En effet, dix pays se partagent 60% des réserves d'eau douce et vingt-neuf autres principalement en Afrique et au Moyen-Orient, sont au contraire confrontés à une pénurie chronique d'eau douce.

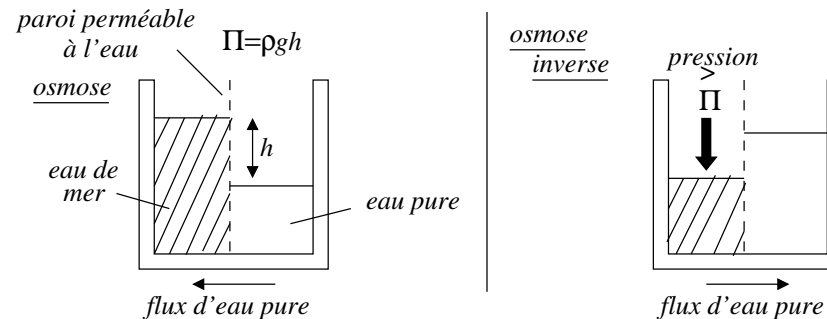
Une des techniques prometteuses pour certains pays est le dessalement de l'eau de mer.

Quel que soit le procédé de séparation du sel et de l'eau envisagé, toutes les installations de dessalement comportent 4 étapes :

- ★ une prise d'eau de mer avec une pompe et une filtration grossière,
- ★ un pré-traitement avec une filtration plus fine, l'addition de composés biocides et de produits anti-tartre,
- ★ le procédé de dessalement lui-même,
- ★ le post-traitement avec une éventuelle reminéralisation de l'eau produite.

→ Principe : L'osmose inverse est un procédé de séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes semi-perméables sous l'action de la pression (54 à 80 bars pour le traitement de l'eau de mer). Ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique pas de changement de phase. Les membranes polymères utilisées laissent passer les molécules d'eau et ne laissent pas passer les particules, les sels dissous, les molécules organiques de 10^{-7} mm de taille.

L'énergie requise par l'osmose inverse est uniquement celle électrique consommée principalement par les pompes haute pression.



Une augmentation de la pression au-delà de la pression osmotique va se traduire par un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique (voir figure), c'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée : c'est le phénomène d'**osmose inverse**.

Pour les solutions suffisamment diluées, la pression osmotique notée Π peut être calculée d'après la loi de van't Hoff :

$$\Pi = i \times cRT$$

où i est le nombre d'ions dissociés dans le cas d'un électrolyte, c est la concentration molaire en sels, T la température et $R = 8,314 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$ la constante des gaz parfaits.

Document 5 : Applications de l'osmose inverse

→ Dessalement : l'osmose inverse est un procédé industriel efficace de dessalement. Avec une pression de 50 à 80 bars, la pression osmotique de l'eau de mer étant d'environ 29 bars, environ 50% de l'eau d'une eau de mer peut être extraite, le sel se retrouve concentré dans les 50% restants.

→ Filtration pour les ménages : l'osmose inverse est également facilement accessible au particulier. Le but en est essentiellement la diminution de la dureté de l'eau, ce qui en rend l'utilisation plus agréable et protège les équipements en aval, mais aussi de supprimer les polluants (nitrates, résidus de pesticides, ...) et d'en améliorer le goût par l'élimination des composés chlorés.

→ Utilisation industrielle :

L'osmose inverse est utilisée pour produire de l'eau déminéralisée pour l'appoint d'eau de batteries d'accumulateurs électriques (traction ou marine). Elle est aussi utilisée dans l'industrie pharmaceutique, ou des semi-conducteurs, ou une eau pure est indispensable à la fabrication du produit.

Dans l'industrie agro-alimentaire, elle est utilisée pour :

- ★ concentrer le sucre de la sève de canne, du jus de betterave ou de l'eau d'érable ;

on limite ainsi la consommation d'énergie pour évaporer l'eau dans la production du sirop ou de cristaux de sucre.

- ★ concentrer le lait et les produits laitiers afin de réduire les coûts de transport ;
- ★ extraire les protéines du lactosérum.

→ Inconvénients :

Les inconvénients de l'osmose inverse sont :

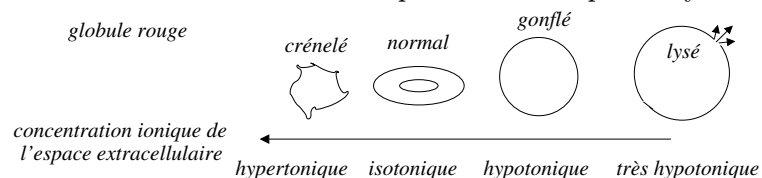
- ★ le coût des membranes qui se dégradent ; lors du dimensionnement d'une installation d'osmose inverse, on tient compte en moyenne d'une durée de vie des membranes de l'ordre de 3 ans. Le coût des membranes tend à diminuer ;
- ★ l'énergie consommée par la pompe ;
- ★ les pertes en eau. En effet, le concentrât qui contient tous les sels qui n'ont pas traversé la ou les membranes, représente environ 25% du débit entrant, pour des installations industrielles. Cette eau contient alors trop de sel pour l'agriculture et est donc inutilisable ;
- ★ pour les ménages, le taux d'eau rejetée qui oscille entre 3 L d'eau pour 1 L d'eau pure cela peut monter à 15 L pour 1 L d'eau selon la pression osmotique.

Document 6 : Hémolyse et plasmolyse des globules rouges

La pression osmotique du plasma sanguin est d'environ 8 bars à 37°C, due surtout aux ions chlore et sodium. Les globules rouges sont en équilibre osmotique avec le plasma. La membrane plasmique étant tout à fait perméable à l'eau, l'eau pénétrera ou sortira des cellules dans le sens de son gradient de concentration.

→ Hémolyse : un globule rouge placé dans l'eau pure subit une pression osmotique considérable. En absence de contre-pression appliquée dans le cytoplasme, l'eau pure (hypotonique) diffuse vers l'intérieur de la cellule (hypertonique) à travers la membrane. L'entrée massive d'eau dans l'hématie entraîne le gonflement puis l'éclatement du globule rouge, il y a hémolyse des cellules.

→ Plasmolyse : réciproquement, si les globules rouges sont placés dans une solution hypertonique, ils se rétracteront. Le milieu extérieur est hypertonique entraînant la sortie de l'eau des hématies et donc le phénomène de plasmolyse .



Sources :

Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres. Article rédigé par Viviane Renaudin. Culture SciencesChimie. Éduscol.

<http://culturesciences.chimie.ens.fr/content/le-dessalement-de-leau-de-mer-et-des-eaux-saumatres-840>

Article Wikipedia : osmose inverse.

http://fr.wikipedia.org/wiki/Osmose_inverse

OSMOSE - PRESSION OSMOTIQUE. Claire PIGAULT. 2010

http://unt-ori2.crihan.fr/unspf/2010_Strasbourg_Pigault_Osmose/co/00_Module_Osmose_web.html

CHIMIE. MP, PSI, PT. Sous la direction de Bertrand Hauchecorne. Ellipses. Prépas Sciences.

Questions : Données : Masse molaire $NaCl = 58,6 \text{ g.mol}^{-1}$.

1. Résumer en quelques lignes et sans calcul le principe de l'osmose, la notion de pression osmotique et l'osmose inverse. Illustrer à chaque fois par une des applications proposées.
2. Dans le cas où l'on néglige l'influence de la pression sur le potentiel chimique, justifier les expressions du potentiel chimique dans les deux compartiments (document 2).
3. L'eau de mer contient 35 g de sel par litre. En assimilant ce sel à du chlorure de sodium, retrouver la pression osmotique de l'eau de mer. Pourquoi travaille-t-on à des pressions de 50 à 80 bars ?
4. Le sérum physiologique est une solution (isotonique) de chlorure de sodium à 9 g/L qui peut être utilisé pour le remplissage vasculaire en intraveineuse. Justifier le choix de cette concentration.
5. Préciser comment exploiter le graphique du document 3 pour extraire la masse molaire de la molécule. Il est indiqué : "Du fait de la résistance limitée des membranes, cette technique convient bien pour des masses molaires élevées". Justifier.