

IDÉES DE PHYSIQUE

L'énergie du sel

L'osmose entre eau douce et eau salée séparées par une membrane imperméable au sel peut être la source d'une nouvelle énergie renouvelable.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Gâce à son sel, chaque mètre cube d'eau de mer a le potentiel de fournir une énergie de près de un kilowattheure !

Comment ? En mettant à profit la pression dite osmotique qui naît lorsqu'on met en contact de l'eau douce et de l'eau de mer à travers une paroi ne laissant passer que l'eau. La récupération de cette énergie liée au phénomène d'osmose n'en est qu'à ses balbutiements, mais les perspectives sont alléchantes : compte tenu des énormes quantités d'eau déversées dans les océans par les fleuves, on évalue le potentiel mondial pour cette énergie à deux térawatts, soit l'équivalent de 2 000 cœurs de réacteur électronucléaire. Mais au fait, qu'est-ce que l'osmose ?

Pression osmotique

Nous avons tous rencontré ce phénomène à une occasion ou une autre. Par exemple, on saupoudre souvent de sel les concombres ou les aubergines pour les faire dégorger, c'est-à-dire pour qu'ils se vident d'une partie de leur eau. Inversement, en plaçant dans de l'eau pure des fleurs aux tiges ramollies, celles-ci absorbent de l'eau et se raffermissent.

Pourquoi ces mouvements d'eau, que l'on peut reproduire très simplement avec une pomme de terre (voir ci-contre) ? Ils apparaissent lorsque la concentration en sel de l'intérieur

LES AUTEURS



Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK sont professeurs de physique à l'université Pierre-et-Marie-Curie, à Paris. Leur blog : www.scilogs.fr/idees-de-physique/

des cellules végétales (9 grammes par litre) diffère de la concentration du liquide ambiant, sachant que les membranes cellulaires sont « hémiperméables » : elles laissent passer l'eau, mais pas le sel. L'eau s'écoule alors dans le sens qui permet de diminuer la différence des concentrations en sel.

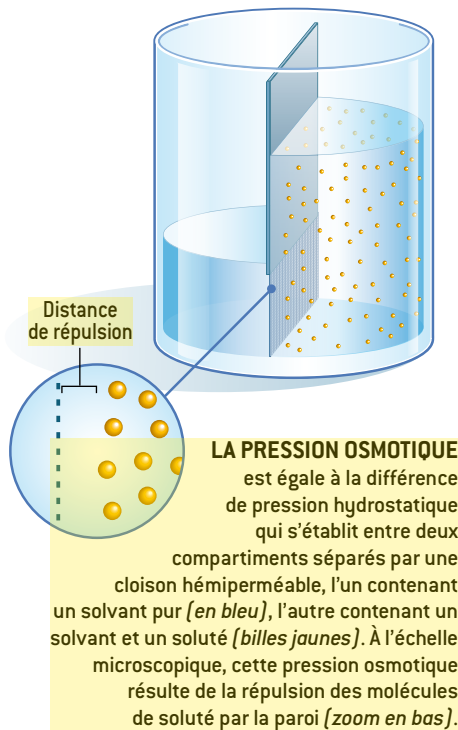
Pour comprendre comment agissent ces membranes, considérons un récipient ouvert, séparé en deux compartiments par une paroi hémiperméable dans sa partie inférieure. L'un des compartiments contient un solvant pur, de l'eau par exemple, tandis que l'autre contient le solvant et, en faible concentration, un soluté incapable de traverser la paroi – du sel par exemple. Cela signifie que la paroi exerce d'une façon ou d'une autre une force très répulsive sur les molécules du soluté quand elles s'en approchent. Ainsi seul le solvant peut traverser la paroi hémiperméable, dans un sens comme dans l'autre.

Cette dissymétrie des forces exercées par la paroi sur le solvant et le soluté a deux conséquences. La première concerne la situation d'équilibre. Faisons dans ce cas un bilan des forces de part et d'autre de la cloison. Du côté du solvant pur, la force totale est celle exercée par la paroi sur les molécules du solvant. Dans l'autre compartiment, certaines molécules du solvant sont remplacées par des molécules de soluté ; or pour celles qui sont proches de la paroi, la force est, en moyenne, répulsive



L'OSMOSE EN PATATES. Creusons deux cavités dans une moitié de pomme de terre, l'une qu'on remplit d'eau pure, l'autre où l'on met un peu de sel. Quelques heures plus tard, la première cavité s'est vidée, tandis que la seconde s'est remplie d'eau. C'est la manifestation de l'osmose, qui tend à égaliser les concentrations en sel de part et d'autre d'une membrane perméable à l'eau mais imperméable au sel.

Dessins de Bruno Vicario



et supérieure à celle exercée sur les molécules de solvant. Il s'ensuit que la force exercée par la paroi sur le fluide, et donc la pression, est supérieure du côté du soluté. La différence de pression est nommée pression osmotique.

La seconde conséquence concerne la situation hors d'équilibre, par exemple quand la pression hydrostatique est initialement égale dans les deux compartiments. L'effet dissymétrique de la paroi n'étant plus compensé, on a un mouvement du solvant vers le compartiment contenant le soluté. Ce système fonctionne donc comme une pompe à solvant, jusqu'à ce que l'équilibre des pressions soit atteint.

Ainsi, quand on part d'une situation où les liquides sont au même niveau dans les deux compartiments, le compartiment contenant le solvant pur va lentement se vider au profit du compartiment contenant le solvant et le soluté : un dénivelé apparaît entre les deux compartiments, et augmente jusqu'à ce que la différence de pression hydrostatique soit égale à la pression osmotique (*voir la figure ci-dessus à gauche*).

Le calcul de la pression osmotique P débouche sur un résultat remarquablement simple : P ne dépend ni de la nature du solvant, ni de celle du soluté, ni des forces exercées par les parois, mais uniquement de la densité molaire n du soluté. En fait, l'expression de P est identique à celle de la

pression d'un gaz parfait de même densité (soit $P = nRT$).

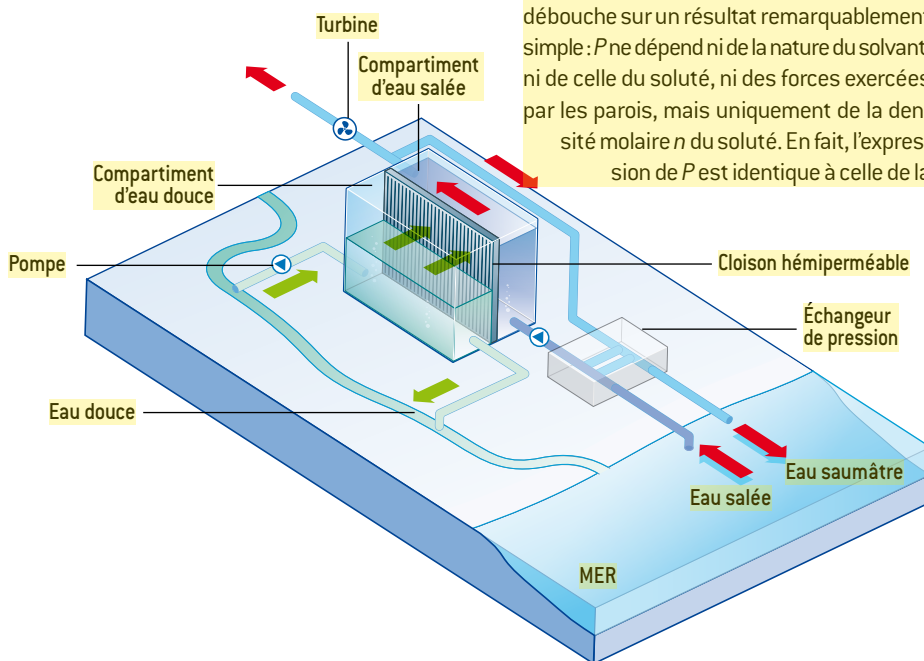
Quelle différence de pression peut-on alors espérer avec de l'eau pure et de l'eau salée ? Pour un gaz à température ambiante, on a une pression de 1 bar lorsque sa densité est d'environ 0,04 mole par litre. Pour du chlorure de sodium (sel de table), dont la masse molaire est de 58 grammes par mole et en prenant en compte le fait qu'il y a deux ions (Na^+ et Cl^-) par mole de sel, cela correspond à une masse d'un peu moins de 1,2 gramme. On a donc, en gros, 1 bar pour 1 gramme de sel par litre. Or 1 bar est l'équivalent de la pression d'une colonne d'eau de 10 mètres. Avec de l'eau de mer à 30 grammes de sel par litre, on aura par conséquent 30 bars, soit une hauteur d'eau de 300 mètres !

Faire tourner une turbine

Comment exploiter la pression osmotique pour réaliser une centrale électrique ? Imaginons que, à l'embouchure d'une rivière, on place deux réservoirs séparés par une membrane hémiperméable, l'un alimenté par l'eau salée de la mer, l'autre par l'eau douce de la rivière. L'eau douce est alors pompée par le réservoir « salé » qui se remplit jusqu'à une hauteur de 300 mètres, un dénivelé idéal pour installer un barrage hydroélectrique. En pratique, pas besoin de construire une structure aussi haute : l'eau sous pression du côté salé peut directement faire tourner une turbine génératrice d'électricité (*voir la figure ci-contre*).

Le principe est aisé, mais la réalisation est délicate. L'obstacle principal est le flux d'eau que l'on peut obtenir. Dans une vision très simplifiée, une membrane hémiperméable fonctionne comme un tamis moléculaire : ses pores sont assez étroits pour laisser passer les molécules d'eau, mais pas les ions et les molécules qu'ils entraînent. Les pores étant nanométriques, les débits attendus sont faibles, de l'ordre du millilitre par seconde et par mètre carré de membrane. En termes de puissance, cela correspond à 3 watts par mètre carré.

Pour faire tourner une turbine, il faut donc une surface considérable de parois. Le prototype construit en Norvège par Statkraft



ON PEUT PRODUIRE DE L'ÉLECTRICITÉ en mettant sous pression de l'eau salée (eau de mer) grâce à l'osmose, qui fait entrer de l'eau douce dans le compartiment d'eau salée. Cette eau sous pression, devenue saumâtre, est partiellement évacuée à travers une turbine, qui produit de l'électricité. Une autre partie passe à travers un dispositif qui permet de transférer son excès de pression à l'eau de mer qui alimente le circuit.