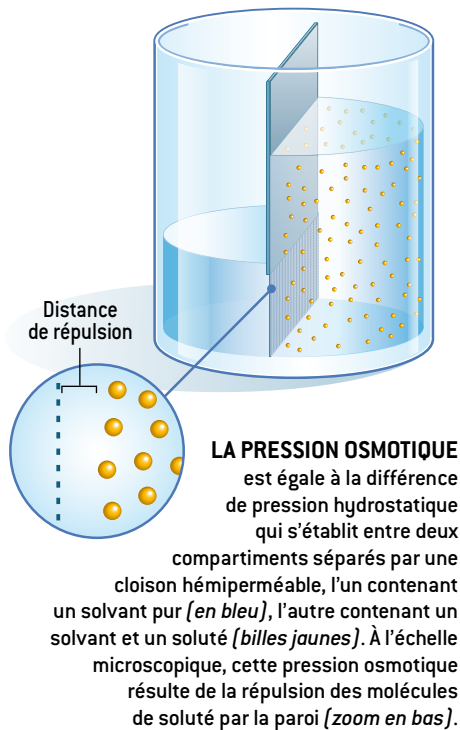




et supérieure à celle exercée sur les molécules de solvant. Il s'ensuit que la force exercée par la paroi sur le fluide, et donc la pression, est supérieure du côté du soluté. La différence de pression est nommée pression osmotique.

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 $P = nRT$).

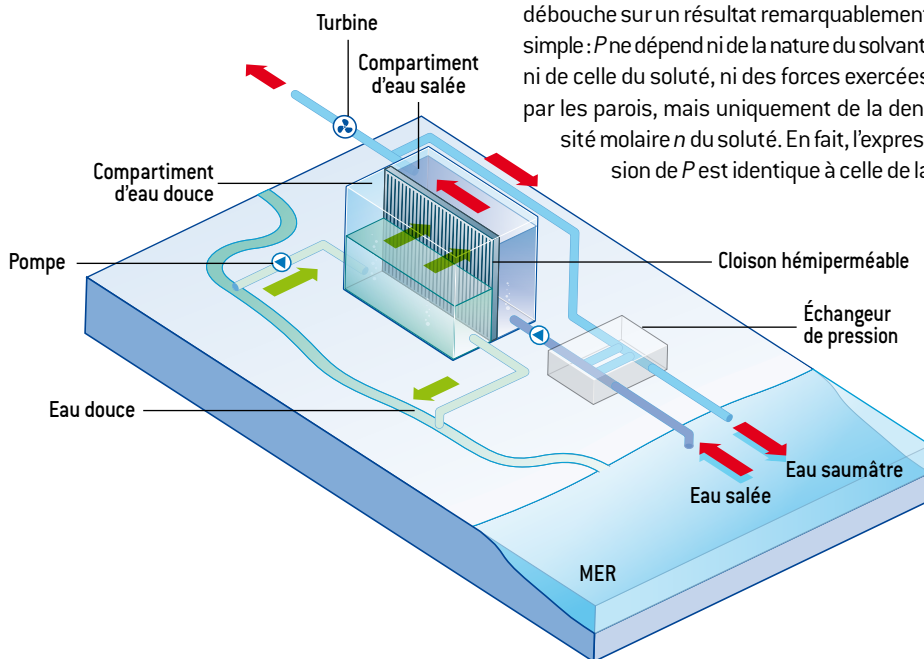
Quelle différence de pression peut-on alors espérer avec de l'eau pure et de l'eau salée ? Pour un gaz à température ambiante, on a une pression de 1 bar lorsque sa densité est d'environ 0,04 mole par litre. Pour du chlorure de sodium (sel de table), dont la masse molaire est de 58 grammes par mole et 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.

présente ainsi une superficie totale de 2 000 mètres carrés, pour un débit de quelques litres par seconde et une puissance évaluée à quelques kilowatts.

Une seconde difficulté est le renouvellement de l'eau salée. À mesure que le réservoir « salé » se remplit, la salinité de son eau diminue. Il faut renouveler cette saumure, de plus en plus diluée et qui chute en pression, par l'eau salée de la mer. Or cette saumure est sous pression par rapport à l'eau de la mer, à pression atmosphérique. Pour ne pas gaspiller trop d'énergie dans ce processus, les ingénieurs ont inventé des « échangeurs de pression », un analogue mécanique des échangeurs de chaleur, qui permettent de passer de la situation « eau salée à faible pression et saumure sous pression » à l'objectif « eau salée sous pression et saumure à faible pression ».

Quant aux perspectives industrielles, on estime qu'une centrale osmotique sera rentable à partir de 5 watts par mètre carré de paroi hémiperméable. Les performances actuelles n'étant pas très éloignées, les ingénieurs cherchent à améliorer les procédés. Une autre piste suivie par les physiciens est d'améliorer les parois grâce à une meilleure compréhension des écoulements ou des transports de particules à l'échelle nanométrique.

Récemment, l'équipe de Lydéric Bocquet, du CNRS et de l'université Lyon 1, a ainsi étudié l'écoulement osmotique de l'eau à travers un tube de nitrure de bore de quelques dizaines de nanomètres de diamètre. Il s'effectue presque sans frottement, avec un potentiel de 4 kilowatts par mètre carré. Ce résultat ne concerne qu'un nanotube, certes, mais montre que de grands progrès sont possibles du côté des membranes hémiperméables. ■

BIBLIOGRAPHIE

A. Siria *et al.*, Giant osmotic energy conversion measured in a single transmembrane boron nitride nanotube, *Nature*, vol. 494, pp. 455-458, 2013.

B. E. Logan et M. Elimelech, Membrane-based processes for sustainable power generation using water, *Nature*, vol. 488, pp. 313-319, 2012.



Retrouvez la rubrique
Idées de physique sur
www.pourlascience.fr



Dans l'inter^{france}êt de la science

mathieu vidard

la tête au carré
14:05-15:00



intervenez
franceinter.fr