



HAL
open science

Dessaler l'eau de mer : des membranes plus rentables et écologiques

Mihail Barboiu

► **To cite this version:**

Mihail Barboiu. Dessaler l'eau de mer : des membranes plus rentables et écologiques. Claire-Marie Pradier; Francis Teyssandier; Olivier Parisel. Etonnante Chimie. Découvertes et promesses du XXI^e siècle, CNRS éditions, 2021, 9782271136527. hal-03410243

HAL Id: hal-03410243

<https://hal.science/hal-03410243v1>

Submitted on 31 Oct 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Dessaler l'eau de mer : des membranes plus rentables et écologiques

Par Mihail Barboiu, directeur de recherche au CNRS et membre de l'Institut européen des membranes de Montpellier (CNRS/Université de Montpellier/ENSC Montpellier).

Croissance démographique, sécheresses : l'accès à l'eau potable est un enjeu majeur de santé publique. Un nouveau procédé pour dessaler l'eau de mer pourrait permettre de réduire la facture tout en préservant l'environnement.

Plus de 2,2 milliards de personnes – soit un être humain sur trois – manquent d'eau potable. Compte tenu de l'évolution rapide de la croissance de la population mondiale et de ses activités économiques sur fond de changement climatique, de nombreux pays auront besoin de solutions urgentes. Dessaler l'eau de mer est une idée séduisante. Pour ce faire, des membranes filtrantes, laissant passer les molécules d'eau mais stoppant les ions qui composent le sel, ont été mises au point depuis une cinquantaine d'années. Mais leurs performances n'ont jusqu'à présent permis d'obtenir que des solutions très coûteuses en énergie, contribuant elles-mêmes au changement climatique. La membrane hybride que nous avons mise au point (1, 2) pourrait changer la donne. Combinaison d'une matrice en polyamide, déjà utilisée par les industriels de la désalinisation, et de canaux artificiels d'eau, elle permet de dessaler trois fois plus d'eau et de consommer 12 % d'énergie en moins pour chaque mètre cube d'eau traité que les méthodes actuelles.

Environ 100 millions de mètres cubes d'eau par jour sont actuellement dessalés dans le monde. Plusieurs technologies de pointe sont utilisées. Elles sont majoritairement fondées sur un procédé inspiré de la nature : l'osmose. Celle-ci correspond par exemple au passage spontané d'eau à travers les pores d'une membrane qui sépare deux solutions de concentrations différentes en sel : l'eau passe de la moins concentrée à la plus concentrée, ce qui dilue cette dernière et aboutit à réduire la différence de concentration entre les deux solutions. Mais pour dessaler l'eau de mer, il faut au contraire « pousser » l'eau dans le sens inverse à ce mouvement spontané, afin d'obtenir des concentrations en sel très différentes de part et d'autre de la membrane, voire une concentration nulle ou presque d'un côté. Il faut pour cela appliquer de fortes pressions sur l'eau. On parle d'osmose inverse sous pression.

La synthèse de telles membranes, dites biomimétiques car elles reproduisent des processus biologiques, bénéficie des progrès constants de la chimie. Plus d'un demi-siècle s'est écoulé depuis la conception de la première membrane utilisée pour le dessalement par osmose inverse. Réalisée sous la forme d'une couche mince de polyamide, elle présente une perméabilité d'eau allant de 1 à 1,5 litre par mètre cube par heure par bar, et un taux de rejet de sel de 99 %. Plus récemment, la fabrication de membranes constituées de films minces en polyamide englobant des nanoparticules a amélioré la perméabilité avec cependant un plus faible taux de rejet du sel.

D'autres membranes, mises au point dans les années 2010, ont misé sur une imitation encore plus poussée de la nature. Elles incorporent des protéines, les aquaporines, formant des canaux perméables à l'eau et rejetant les ions. La découverte de ces aquaporines, qui assurent cette tâche au sein de la membrane des cellules biologiques, a valu le prix Nobel de chimie au biologiste américain Peter Agre en 2003. Grâce à elles, la perméabilité des membranes s'est améliorée d'environ de 30 %, mais avec une sélectivité aux ions réduite (le

taux de rejet du sel n'est que de 97 %). Et surtout, les applications à grande échelle de membranes hybrides polyamide-aquaporines souffrent toujours de nombreux inconvénients : coût élevé de production des aquaporines par biosynthèse, faible stabilité, contraintes de fabrication, instabilité aux hautes pressions...

Pour améliorer les membranes pour le dessalement, les aquaporines peuvent être remplacées par des canaux synthétiques : les canaux artificiels d'eau. Nous avons par exemple travaillé sur des canaux qui s'insèrent dans une double couche de molécules de lipides (corps gras), semblable à la membrane de nos cellules biologiques. Et nous avons découvert que pour traverser ces canaux, les molécules d'eau s'alignent en file indienne et s'orientent d'une façon bien précise. Cet arrangement engendre une plus grande mobilité des molécules dans ces canaux, favorisant ainsi les transports de matière, avec un apport énergétique extérieur réduit.

Ces canaux artificiels d'eau ont donc vite représenté une alternative prometteuse. Pour fabriquer à l'échelle du mètre des membranes qui en contenaient, nous les avons combinées avec l'éprouvé polyamide des premiers temps. Nous y sommes parvenus en améliorant le processus chimique conventionnel de polymérisation. Et nous avons obtenu une structure hybride en forme de « super-éponge ».

Ces travaux ont fait l'objet d'une demande de brevet en 2019 et de telles membranes hybrides sont en cours de développement avec plusieurs partenaires industriels. Leurs performances en perméabilité (3 litres par mètre cube par heure par bar) et rejet de sel (supérieure à 99,5 %) permettent de réduire de 12 % la facture d'énergie pour trois fois plus d'eau produite qu'avec les méthodes actuelles dont les rendements stagnent depuis cinquante ans. Elles constituent donc un changement d'échelle, tout en offrant une amélioration de la stabilité à long terme de ces matériaux et la réduction des dimensions des installations de dessalement. On pourrait aussi envisager l'utilisation de ces membranes pour la production d'une façon plus simple d'eau ultra-pure nécessaire à la fabrication des vaccins ou des composants de la microélectronique, tout en évitant d'utiliser des procédés coûteux d'échange ionique très sensibles à la dureté de l'eau dans certaines régions du monde.

Comprendre l'écoulement sélectif de l'eau dans des canaux artificiels est un domaine tendant un pont entre des recherches fondamentales et des applications industrielles. Étonnamment, des canaux artificiels d'eau de dimension nanométrique (un nanomètre vaut un millionième de millimètre, soit 10^{-9} mètre !) permettent de fabriquer des mètres carrés de membranes pour produire des millions de mètres cubes d'eau dessalée par jour... C'est la beauté de la chimie qui a le pouvoir de construire ses objets à des échelles différentes et pour des applications si diverses.

À lire Étonnante chimie. Découvertes et promesses du XXI^e siècle, sous la direction de Claire-Marie Pradier, coordonné par Francis Teyssandier et Olivier Parisel, CNRS Editions, 268 p., 22 euros, à paraître le 15 avril 2021.

(1) Coordonnée par l'Institut européen des membranes de Montpellier, l'équipe du CNRS a coopéré avec des chercheurs de l'École polytechnique de Turin, de l'Université des sciences

et technologies du roi Abdallah (Arabie saoudite) et du Lehn Institute of Functional Materials, School of Chemistry (Chine).

(2) Di Vincenzo, M. et al. (2020), "Biomimetic artificial water channel membranes for enhanced desalination", Nature Nanotechnology.