

Une avancée majeure dans le domaine des membranes artificielles pour la filtration et le dessalement de l’eau, grâce au projet Waterland !

Dirigé par le scientifique Mihail Barboiu de l’Institut Européen des Membranes à Montpellier, le projet de recherche Waterland vise à développer une technologie de dessalement inspirée de la nature, répondant à un besoin croissant face au changement climatique.

Une révélation inattendue

Le projet Waterland puise ses origines dans une découverte fortuite, survenue vers 2010. À cette époque, l’équipe du Dr Mihail Barboiu à l’Institut Européen des Membranes (IEM) mène des travaux sur des matériaux auto-organisés pour des applications de piles à combustible, lorsqu’elle identifie des structures capables de transporter sélectivement l’eau tout en retenant les ions et autres molécules de même taille – un mécanisme similaire à celui des aquaporines, ces protéines naturelles présentes dans les membranes cellulaires. Cette avancée a ainsi ouvert la voie à un nouveau champ de recherche : les canaux d’eau artificiels.

L’IEM, fondé en 1994, est un laboratoire de référence au niveau international dans le domaine des matériaux et procédés membranaires, s’articulant autour de trois axes principaux : la chimie moléculaire et des matériaux, la physico-chimie des processus de filtration, et le génie des procédés pour les applications industrielles. L’équipe du Dr Mihail Barboiu travaillant sur Waterland se compose de trois doctorants et post-doctorants en charge des volets scientifiques et techniques, de deux spécialistes dédiés aux aspects économiques et à l’élaboration d’un business plan, ainsi que du chercheur lui-même, qui coordonne le projet.

L’avantage d’une eau confinée

Deux principales approches sont utilisées au laboratoire pour la création de canaux d’eau artificiels :

- **L’auto-assemblage** : Le premier canal artificiel d’eau développé et publié par l’équipe de Mihail Barboiu est nommé *l-quartet*. Il est formé par l’assemblage de quatre molécules d’imidazole et de deux molécules d’eau, constituant une structure circulaire stabilisée par des liaisons hydrogène. Ces unités s’empilent ensuite pour former des tubes dotés d’une interface externe hydrophobe, facilitant leur insertion dans les membranes.

- **Les systèmes unimoléculaires** : Il s’agit d’assemblages supramoléculaires cylindriques comportant à la fois des régions hydrophobes et hydrophiles, capables de s’insérer dans des membranes, seules ou assemblées.

Lorsqu’elle est confinée dans ces espaces nanométriques, l’eau adopte un comportement singulier, distinct de celui de l’eau à l’état liquide ordinaire. Habituellement désordonnée et amorphe, sa structure tend alors à s’organiser de façon spécifique à l’intérieur des canaux, tout en conservant un certain dynamisme. Cette organisation présente un intérêt particulier, du fait de la nature dipolaire de la molécule d’eau. En effet, lorsque ces dipôles s’orientent dans la même direction – comme pour les aquaporines naturelles – ils induisent une polarisation dynamique susceptible de générer un champ électrique temporaire.

De la découverte au prototype

Le passage de la découverte fondamentale à une application pratique a nécessité plusieurs

étapes cruciales. Tout d’abord, l’équipe s’est attachée à comprendre comment intégrer efficacement les canaux d’eau artificiels au sein d’une membrane fonctionnelle. Le principal défi résidait dans l’identification d’une densité optimale de canaux à la surface, tout en garantissant la robustesse mécanique de la membrane face aux contraintes d’utilisation industrielles.

En effet, pour filtrer l’eau de mer – qui contient environ 35 g/L de NaCl – il est nécessaire d’appliquer une pression supérieure à la pression osmotique générée par la solution salée. Les membranes industrielles actuelles fonctionnent à des pressions pouvant atteindre 60 bars (60 fois la pression atmosphérique), ce qui impose des contraintes mécaniques considérables.

Les membranes Waterland développées au laboratoire sont constituées de plusieurs couches successives. À leur base, une mèche en PET (polyéthylène téréphtalate) – un matériau plastique assurant la résistance mécanique – permet de supporter la pression exercée lors du processus de dessalement. Sur cette mèche est appliqué un polymère formant une structure poreuse, sur laquelle sont ensuite déposés les canaux d’eau artificiels nanométriques. Une fois finalisées, les membranes prennent l’aspect d’un tissu souple pouvant être enroulé.

À ce jour, l’équipe est parvenue à faire passer ses membranes de laboratoire de quelques centimètres carrés à plusieurs mètres carrés, une dimension adaptée aux besoins des applications industrielles. Cette mise à l’échelle a nécessité la conception de machines spécifiques, dont l’une, développée en interne et baptisée *Roll and Roll*, s’inspire des technologies employées dans l’industrie papetière.

Un design intelligent pour des bénéfices mesurables

Le prototype actuel pre-industriel intègre environ 4 m² de membrane enroulée. Les membranes sont insérées dans des cartouches cylindriques d’un mètre de long pour 10 à 15 centimètres de diamètre. Contrairement aux membranes commerciales – généralement très compactes, denses et peu perméables –, les membranes Waterland créent des zones de facilitation au sein de la structure grâce aux canaux d’eau artificiels intégrés, assurant un transport actif et sélectif des molécules d’eau.

À la clé, plusieurs avantages majeurs :

- 1. Augmentation de la productivité** : Les cartouches Waterland produisent jusqu’à trois fois plus d’eau dessalée que les membranes conventionnelles dans les mêmes conditions.
- 2. Réduction de la pression opérationnelle** : Pour une même quantité d’eau produite, une membrane Waterland fonctionne à une pression réduite de 40 bar, contre 60 bar pour une classique, se traduisant par d’importantes économies d’énergie.
- 3. Taux de conversion supérieur** : Alors que les membranes traditionnelles récupèrent environ 8 à 10% d’eau dessalée par cartouche, les membranes Waterland atteignent un taux de 20%. Cette performance réduit le nombre de cartouches en série nécessaires pour atteindre le taux de conversion optimal de 50 % généralement recherché dans l’industrie.
- 4. Miniaturisation des installations** : Le taux de conversion supérieur, combiné à la réduction du nombre de cartouches, permet de diminuer significativement la taille des installations, ainsi que les coûts d’investissement (CAPEX).



Membranes à l’échelle laboratoire - © M Barboiu

Un tournant décisif

Waterland entre dans une phase clé de son développement. Après avoir relevé le défi de produire des prototypes de taille industrielle, et de les intégrer dans des cartouches de filtration prêtes à être testées sur le terrain, l’équipe se prépare à passer à la vitesse supérieure avec une production à plus grande échelle.

Porté par Dr Mihail Barboiu, le projet vise donc la création d’une start-up – actuellement accompagnée par le programme RISE du CNRS Innovation et avec la participation de BX Ventures –, tout en accélérant la recherche de partenaires industriels. L’objectif : amorcer le transfert de technologie, et faire de Waterland une solution concrète face aux enjeux mondiaux de l’eau !

Un canal vers l’innovation

Au-delà du dessalement, les canaux d’eau artificiels de Waterland ouvrent des perspectives prometteuses dans le domaine biomédical. Ces structures pourraient, à terme, remplacer les aquaporines

défectueuses impliquées dans certaines pathologies. Des travaux sont déjà en cours, notamment des tests menés sur cellules vivantes. Par ailleurs, la maîtrise du transport de l’eau à l’échelle moléculaire pourrait trouver des applications dans d’autres domaines, tels que la purification de l’air ou la séparation de mélanges complexes.

Le projet Waterland illustre avec clarté comment une découverte fondamentale en laboratoire peut, en une quinzaine d’années, se transformer en applications concrètes capables de répondre à des enjeux sociétaux majeurs. Il souligne également le rôle essentiel de la recherche interdisciplinaire, à la croisée de la chimie moléculaire, de la physique des matériaux et du génie des procédés. Un exemple inspirant... à suivre de près !

Pour en savoir plus :

Projet WATERLAND

Dr Mihail Barboiu

mihail-dumitru.barboiu@umontpellier.fr

<https://iem.umontpellier.fr/>

J S. Lopes

© La Gazette du Laboratoire



De l’eau pour toutes les techniques de laboratoire



Rendez-vous à Forum Labo, stand E20