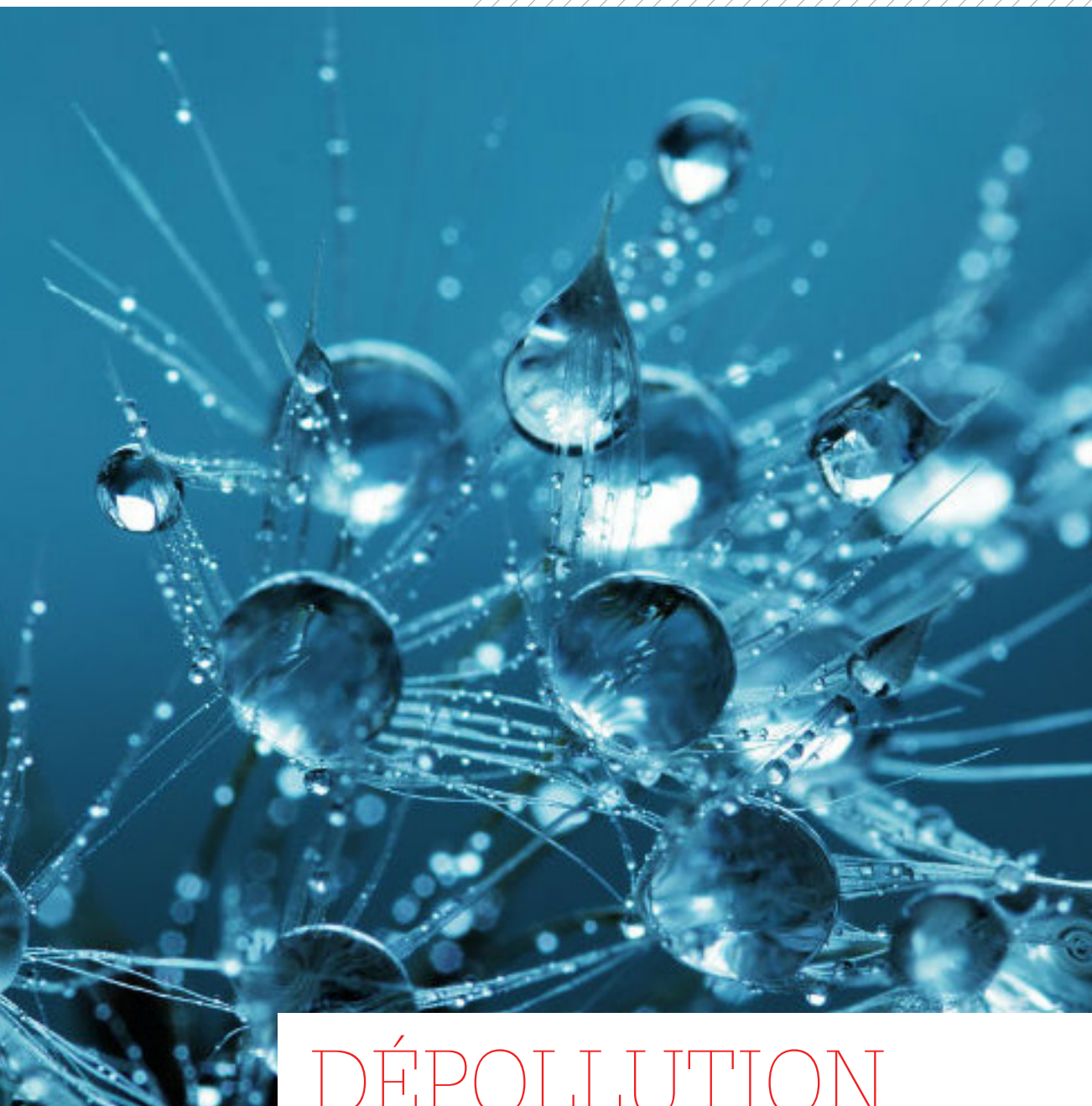




TECHNIQUES  
DE L'INGÉNIEUR

LES FOCUS  
TECHNIQUES DE L'INGÉNIEUR



# DÉPOLLUTION

3 NOUVELLES MANIÈRES DE  
PURIFIER L'EAU

---

mars / 2018

# SOMMAIRE

<b>SOMMAIRE</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUCTION</b>	<b>3</b>
<b>LES DERNIÈRES DÉCOUVERTES</b>	<b>4</b>
▪ <b>UNE IDÉE LUMINEUSE ET VITAMINÉE POUR DÉPOLLUER L'EAU</b>	<b>4</b>
▪ <b>FILTRE L'EAU ET TRIER DES IONS AVEC DES MOF</b>	<b>5</b>
▪ <b>MICROPOLLUANTS : L'OZONATION EST-ELLE EFFICACE EN STATION D'ÉPURATION ?</b>	<b>6</b>
<b>POUR VOIR PLUS LOIN</b>	<b>8</b>
▪ <b>POLLUTION : LES RIVIÈRES DANS UN SALE ÉTAT !</b>	<b>8</b>
▪ <b>UNE PUCE ÉLECTRONIQUE POUR DESSALER L'EAU DE MER</b>	<b>9</b>

# INTRODUCTION

Un procédé permettant de désintégrer des polluants persistants grâce à une LED verte, un catalyseur et de la vitamine C, un traitement des micropolluants par ozonation dans une station d'épuration, des membranes MOF pouvant faire office de filtre à l'instar d'une membrane cellulaire organique pour les sels et les ions alcalins... Voici trois innovations qui poursuivent le même objectif : trouver la meilleure manière de dépolluer l'eau. Des chimistes de l'université Martin Luther Halle Wittenberg ont en effet mis au point un procédé permettant de désintégrer des polluants persistants grâce à une LED verte, un catalyseur et de la vitamine C. Une équipe internationale a découvert que les membranes MOF pouvaient faire office de filtre à l'instar d'une membrane cellulaire organique pour les sels et les ions alcalins. Pendant trois ans, l'Irstea a évalué en conditions réelles l'efficacité du traitement des micropolluants par ozonation dans une station d'épuration. Ces découvertes pourraient durablement transformer notre façon de dépolluer l'eau.

## LES DERNIÈRES DÉCOUVERTES

# UNE IDÉE LUMINEUSE ET VITAMINÉE POUR DÉPOLLUER L'EAU

*Des chimistes de l'université Martin Luther Halle Wittenberg ont mis au point un procédé permettant de désintégrer des polluants persistants grâce à une LED verte, un catalyseur et de la vitamine C.*

Ces travaux, publiés dans la [revue Angewandte Chemie](#), proposent une méthode peu coûteuse et facile, alternative aux [systèmes laser complexes](#) actuellement requis pour ce genre de tâches. En photochimie, on utilise la lumière pour initier des réactions dans des molécules. Parmi les pistes intéressantes repérées actuellement, les chercheurs explorent la libération d'électrons hydratés. L'avantage de ces électrons c'est qu'ils sont extrêmement réactifs et qu'ils disparaissent très vite après leur création, ne laissant ainsi aucun résidu toxique. En outre, ils possèdent un fort pouvoir réducteur et peuvent ainsi réagir avec des molécules très stables pour les détruire ou les fractionner.

### **Un intermédiaire qui a la forme**

Le procédé mis au point par l'équipe allemande consiste simplement en une diode émettant de la lumière verte, des traces d'un complexe métallique agissant comme un catalyseur et de la vitamine C. La méthode a été testée avec succès sur de l'acide chloroacétique, une substance extrêmement toxique, stable et persistante, employé couramment dans l'industrie des herbicides, des plastiques ou des médicaments. Les électrons hydratés générés lors des expériences ont fractionné l'acide chloroacétique en deux composés non toxiques. D'après les chercheurs cette méthode peut être appliquées avec succès sur l'ensemble des chlorures et des fluorures et l'approche devrait aussi intéresser nombre d'autres réactions photochimiques qu'il est encore aujourd'hui difficile d'initier sans des approches complexes, coûteuses et lourdes à mettre en place via des systèmes de lasers pulsés à haute puissance. Or les chimistes ont montré dans leur étude que leur méthode

produisait autant d'électrons hydratés que ce type de système de lasers à haute puissance.

Par Sophie Huguin

21/03/2018

# FILTRER L'EAU ET TRIER DES IONS AVEC DES MOF

*Une équipe internationale a découvert que les membranes MOF pouvaient faire office de filtre à l'instar d'une membrane cellulaire organique pour les sels et les ions alcalins.*

Les réseaux organo-métalliques (MOF pour metal-organic framework) sont des [matériaux de nouvelle génération](#) composés d'ions métalliques ou de groupe d'atomes métalliques reliés entre eux par des liens organiques et qui forment des structures à une, deux ou trois dimensions. Ils possèdent une très grande surface de contact interne comme une sorte d'éponge cristalline qui peut capter, stocker et relarguer d'autres composés chimiques. Dans ces [travaux, publiés dans Sciences Advances](#), des MOF ont été testés pour filtrer le sel et les ions de l'eau de mer de manière efficace et beaucoup moins énergivore que les membranes utilisées actuellement. Les recherches ont été menées par des chercheurs australiens de la Monash University (Melbourne) et du CSIRO en collaboration avec l'Université du Texas (Austin – Etats-Unis).

## **Sélectivité, déshydratation et transport rapide**

Pour mettre au point leurs filtres sélectifs à base de MOF, les chimistes se sont inspirés de la structure et du fonctionnement des membranes cellulaires, capables de trier des ions aux diamètres proches et de les faire circuler très rapidement. L'objectif était de réussir, comme le font les membranes, à être sélectif sur plusieurs ions monoatomiques dont la valence et la taille sont similaires tels que les ions Li<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, et K<sup>+</sup>.

S'appuyant sur les récentes recherches concernant les membranes MOF munies de pores de l'ordre de l'ångström (0,1 nm) pour des technologies de séparation et de perméation des gaz ou de solutions, ces travaux ont montré qu'une membrane ultrafine de type ZIF-8 (ZIF pour zeolitic imidazolate framework) pouvait ainsi transporter très

rapidement et sélectivement des ions lithium parmi d'autres ions alcalins tels que Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> et Rb<sup>+</sup>. Les simulations de dynamiques moléculaires laissent à penser que ce phénomène est associé à une déshydratation des ions. D'autres types de membranes ont été testées, comme une de type UiO-66 qui montre des résultats similaires mais moins performants. Ces résultats ouvrent la voie à de nombreux développements de membranes basées sur des MOF avec des pores subnanométriques pour des applications de séparations d'ions efficaces.

## **Vers un lithium plus accessible et moins polluant ?**

Non seulement cette découverte ouvre de nouvelles perspectives pour les processus de désalinisation mais elle intéresse aussi la filière d'extraction du lithium. En effet, les procédés actuels d'extraction du lithium depuis la roche ou l'eau salée utilisent des solvants polluants, ils sont peu efficaces et impactent fortement les économies et sociétés locales. La demande globale de lithium continuant de croître pour le marché des appareils électroniques et des batteries, ces nouveaux types de membranes pourraient constituer une nouvelle voie d'extraction, plus propre et permettant par exemple d'utiliser l'eau de mer, ressource courante et accessible partout dans le monde ou encore de l'utiliser sur des rejets d'autres industries comme sur les rejets secondaires à l'extraction de gaz de schistes tels que ceux du Texas qui sont riches en lithium.

Par **Sophie Huguin**

21/03/2018

# MICROPOLLUANTS : L'OZONATION EST-ELLE EFFICACE EN STATION D'ÉPURATION ?

*Pendant trois ans, l'Irstea a évalué en conditions réelles l'efficacité du traitement des micropolluants par ozonation dans une station d'épuration. Des résultats contrastés.*

Même si la [réglementation](#) ne fixe pas encore de seuil de concentrations concernant les [micropolluants](#) (résidus de médicaments, pesticides, hormones etc.), certains sont déjà sur la sellette au niveau européen et nul doute que la réduction de leur présence dans les eaux sera l'une des priorités des années à venir. La France s'est d'ailleurs dotée depuis peu d'un plan quinquennal « micropolluants » (2016-2021). Dans ce cadre, de nombreuses méthodes sont aujourd'hui en cours d'élaboration ou de test et on évalue au mieux leur efficacité et leur pertinence économique. Le projet Micropolis-Procédés sur l'ozonation mené par l'Irstea et ses partenaires (Suez et l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse) en est l'un des exemples.

## Un test sur 76 micropolluants

L'ozonation, qui correspond à une oxydation par l'ozone, consiste à dégrader les molécules des micropolluants en d'autres molécules que l'on espère non dangereuses pour la santé ou l'environnement. Installé dans la station d'épuration de Sophia-Antipolis, le réacteur d'ozonation où ont eu lieu les tests et les [campagnes d'échantillonnages](#) a permis sur trois ans d'analyser les rendements de la dégradation par ozonation sur 76 micropolluants (organiques ou métalliques) réfractaires au traitement biologique, de les classer et de déterminer la dose d'ozone juste nécessaire pour chaque classe. Au final, il ressort que le rendement de dégradation varie de 70 à 90 % et que l'on peut classer les micropolluants en trois catégories selon leur capacité à être oxydés plus ou moins rapidement.

## Un impact global à affiner

Si la dégradation des micropolluants est bien réelle, de nombreuses interrogations subsistent. En effet, l'écotoxicité des produits de dégradation n'est pas forcément connue, notamment leurs effets comme perturbateurs endocriniens. Aussi, avant d'établir un bilan totalement positif de cette expérience, un projet complémentaire Micropolis-Indicateurs a été mené dont les résultats finaux devraient être présentés fin mai 2018. Les résultats partiels semblent indiquer que le pouvoir de perturbateurs endocriniens de nombreuses substances est seulement diminué par l'ozonation mais pas forcément assez (voici les [résultats intermédiaires](#)). Côté consommation énergétique, la mise en place du procédé d'ozonation a engendré une hausse de 20 à 25 % de la consommation électrique de la station. Cependant, nuance Jean-Marc Choubert, le responsable du projet à l'Irstea, cela ne représente qu'une augmentation de 10 à 18€HT par m<sup>3</sup> d'eau traitée soit une dizaine d'euros par an pour le consommateur.

Ce projet a ainsi permis d'établir les premières données scientifiques de référence et d'élaborer des recommandations et des solutions d'optimisation immédiatement applicables pour la station. Les résultats sont désormais à la disposition des collectivités et des professionnels en charge de l'épuration qui souhaitent bénéficier de ce retour d'expérience.

• [Documents et informations complémentaires sur les deux projets Micropolis](#)

Sophie Huguin

21/03/2018





## POUR VOIR PLUS LOIN

# POLLUTION : LES RIVIÈRES DANS UN SALE ÉTAT !

*Selon un rapport publié par l'UNEP fin août, la pollution de l'eau par les agents pathogènes menace la santé de près de 323 millions de personnes en Asie, en Afrique et en Amérique latine.*

Le rapport du programme des Nations unies pour l'environnement (UNEP) est formel : la qualité des eaux de surface se dégrade en Asie, en Afrique et Amérique latine. Entre 1990 et 2000, la pollution organique et microbiologique a augmenté dans plus de 50% des rivières de ces trois continents. La pollution microbiologique impacte désormais un quart des rivières en Amérique latine, entre 10 et 25 % des rivières africaines et la moitié des rivières asiatiques.

L'augmentation des pathogènes et des matières organiques résulte principalement de la hausse des rejets d'eaux usées non traitées dans les eaux de surface.

En cause : la croissance démographique, l'augmentation de l'activité économique et l'intensification continue de l'agriculture. Les engrais et les pesticides concourent à renforcer la pollution par les phosphates ; les activités minières et agricoles aggravent la pollution saline. Cette dernière a augmenté de presque 33%, affirme le rapport de l'UNEP, et affecte désormais près d'une rivière sur 10 sur les 3 continents.

La pollution des eaux menace directement la santé de 323 millions de personnes sur les trois continents : 25 millions en Amérique latine, 164 millions en Afrique et 134 millions en Asie. Car dans certains pays, plus de 90% de la population dépend des eaux de surface comme principale source d'eau potable. Les populations risquent alors de contracter des maladies mortelles, comme le choléra, la typhoïde, les hépatites infectieuses, la polio et les maladies diarrhéiques, alerte l'UNEP. Environ 3,4 millions de personnes meurent chaque année d'une de ces maladies.

Par ailleurs, cette pollution nuit à l'économie de ces trois régions, avec des impacts sur la pêche, l'irrigation et les écosystèmes aquatiques. Il existe pourtant des méthodes capables de réduire la pollution à la source, rappelle l'UNEP. Il s'agit de « traiter les eaux polluées avant qu'elles ne pénètrent dans les plans d'eaux, recycler les eaux usées destinées à l'irrigation et protéger les écosystèmes en restaurant les zones humides dans le but de réduire les polluants des écoulements agricoles et urbains ». L'organisation exhorte la communauté internationale à lutter contre cette « menace croissante ».

**Par Matthieu Combe, journaliste scientifique**

07/09/2016



# UNE PUCE ÉLECTRONIQUE POUR DESSALER L'EAU DE MER

*Une nouvelle technique de dessalement basée sur une réaction chimique se révèle peu coûteuse.*

Des chercheurs de l'université du Texas à Austin et de celle de Marburg en Allemagne ont collaboré avec la société Okeanos Technologies pour fabriquer une puce électronique permettant de dessaler l'eau de mer. Le principe est simple : l'eau de mer s'écoule entre plusieurs micro-canaux de 22 microns de diamètre. Chacun d'entre eux se divise en deux.

Au point de séparation, une électrode impose une tension qui oxyde les ions chlorure. La disparition de ces ions provoque un gradient de champ magnétique qui pousse les ions chargés positivement vers la sortie. Les ions chargés négativement sont alors attirés par ceux chargés positivement. Un canal contient donc les ions chargés, tandis que dans le deuxième coule une eau partiellement dessalée.

Les avantages de cette approche sont sa simplicité de mise en œuvre, son besoin en énergie limité puisque des piles du commerce suffiraient à l'alimenter, et donc son faible coût. Reste cependant à améliorer le rendement. A ce jour, le taux de désalinisation est de seulement 25% maximum. Un taux qui doit impérativement atteindre les 99% pour que l'eau soit considérée comme potable.

Paru dans le journal *Angewandte Chemie*, ces travaux proposent une alternative prometteuse aux techniques actuelles dont la distillation ou l'osmose inverse, très efficaces mais très chères à mettre en œuvre.

**Par Audrey Loubens, journaliste scientifique**

15/08/2013