

# Les membranes céramiques formées à partir de nanoparticules

## Une technologie au service de l'environnement

Jérôme Rose, Jean-Yves Bottero, Clément Levard, Armand Masion,  
María M. Cortalezzi, Andrew R. Barron et Mark R. Wiesner

**Résumé** Les membranes commercialisées depuis ces 50 dernières années connaissent un regain d'intérêt depuis une dizaine d'années. Elles peuvent être utilisées au niveau industriel pour des séparations liquides, solides ou gazeuses à l'échelle microscopique. Malgré tous les avantages des membranes céramiques par rapport aux membranes organiques, leur développement a été relativement long, à cause notamment des difficultés de synthèse et des coûts élevés. Les nanoparticules d'oxydes métalliques se révèlent parfaitement adaptées pour synthétiser des membranes céramiques car elles présentent différents avantages (petite taille, réactivité de surface). Cet article présente quelques exemples de nanoparticules utilisées dans la synthèse des membranes céramiques, telles les nanoparticules de ferroxane® obtenues par réaction d'un minéral à base de fer et d'acide acétique. Les membranes céramiques ainsi synthétisées sont adaptées à l'ultrafiltration et leur réactivité de surface leur permet de traiter certains polluants solubles. Elles apparaissent de plus comme des candidates de choix pour les piles à combustible.

**Mots-clés** Membrane céramique, réactivité de surface, nanoparticules, oxyhydroxydes de fer, environnement, traitement de l'eau, ultrafiltration.

**Abstract** **Ceramic membranes formed from nanoparticles: an environmental technology**  
Membranes, which are used commercially for the last 50 years, are more and more employed since the last ten years. They can be used at the industrial level for liquid, solid or gaseous separations down to the microscopic scale. In spite of all the advantages of the ceramic membranes (chemical stability, resistance in organic solvents, extreme pH, of high pressures) with regard to organic membranes, their development has been quite long mainly due to strong synthesis difficulties and high cost to produce crack and defect free membranes. Metallic oxides nanoparticles show themselves perfectly adapted to synthesize ceramic membranes, with various advantages. Their small size allows to realize membranes with very reduced sizes of pores. Moreover their high surface reactivity may enable the synthesis of reactive membranes or even catalytic membranes. This paper presents some examples of nanoparticles used in the synthesis of ceramic membranes like the Ferroxane® nanoparticles obtained by reaction of an iron base mineral and acetic acid. All the characterizations indicate that the obtained membranes are adapted to the ultrafiltration. But the most important point concerns their surface reactivity allowing them to sorb certain soluble pollutants. Furthermore they appear as candidates of choice for fuel cells.

**Keywords** Ceramic membranes, surface reactivity, nanoparticles, iron oxyhydroxides, environment, water treatment, ultrafiltration.

## Un nouveau pas dans la technologie des membranes

### Utilisation des membranes

Près d'un demi-siècle après l'invention des membranes polymères, ou plus exactement des membranes semi-perméables, cette technologie connaît un regain d'intérêt depuis une dizaine d'années. Elles peuvent être utilisées au niveau industriel pour des séparations liquides, solides ou gazeuses à l'échelle microscopique [1]. Les techniques de séparation membranaires peuvent remplacer des systèmes conventionnels de séparation (comme la distillation, l'adsorption, la centrifugation, le traitement chimique...) et permettent des économies d'énergie et/ou des baisses significatives de coût. Certaines membranes sont utilisées pour le dessalement de l'eau de mer en vue de sa

consommation comme eau potable ; dans l'industrie alimentaire, elles peuvent séparer les bactéries du lait par exemple ; en pétrochimie, elles sont utilisées pour recycler les huiles usagées, etc. Dans le cas du traitement des eaux, de plus en plus d'installations emploient les membranes. Ce rapide aperçu des utilisations possibles des membranes prouve qu'il s'agit d'une technologie de choix dans le domaine de l'environnement.

### Avantages des membranes céramiques

Les membranes organiques sont les plus couramment utilisées, principalement car leur prix d'achat est moins élevé. Cependant, les membranes céramiques présentent de nombreux avantages :

- elles sont chimiquement plus stables que les membranes organiques, ce qui leur confère une résistance à des solvants organiques et des pH extrêmes ;

- elles supportent de hautes pressions et températures, nécessaires dans le cas de procédés de stérilisation (industrie alimentaire, pharmaceutique...);  
 - elles sont également résistantes aux dégradations microbiennes.

Tout cela leur permet d'avoir une durée de vie plus longue et augmente leurs domaines d'applications par rapport aux membranes organiques.

Malgré tous ces avantages, le développement des membranes céramiques a été relativement long, à cause notamment des difficultés de synthèse et des coûts élevés pour produire des membranes sans défaut ou discontinuité (synonyme de fracture...), et avec une distribution étroite de la taille des pores. Les plus communément employées sont des oxydes métalliques tels que  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$  et  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

### Synthèse de membranes céramiques

Les céramiques sont produites traditionnellement *via* des réactions à l'état solide, qui nécessitent de hautes températures et des temps de réaction relativement longs. En effet, la technique utilisée est souvent la technique dite de frittage, qui consiste à réaliser un dépôt sous pression et à chauffer les échantillons dans des autoclaves (combinaison de pression et température). Les réactions de frittage permettent la transformation minéralogique des particules initiales, assurant leur « soudure » pour réaliser une membrane. Au niveau minéralogique, il s'agit souvent de transformer des oxyhydroxydes en oxydes.

Les procédés sol-gel constituent une voie de synthèse « basse température » pour ces composés. Ils semblent être de loin les procédés les plus favorables pour élaborer des films poreux avec des macro- méso- ou nanopores (pour la micro-, l'ultra- et la nanofiltration respectivement), une grande pureté et des particules de composition uniforme [2].

Généralement, la voie de synthèse sol-gel est un procédé qui transforme une solution colloïdale (particules de 1 nm à 0,4  $\mu\text{m}$ ) en un gel grâce à des réactions d'hydrolyse et de condensation d'alkoxydes métalliques ou de sels métalliques dans des alcools ou dans l'eau. De nombreux additifs sont indispensables pour obtenir des solutions colloïdales avec une dispersion homogène. Il s'agit de liants (polyvinyl butyrol...) et de plastifiants (modifiant la viscosité, polyéthylèneglycol...) qui sont ajoutés pour former des gels avec des propriétés données. Au niveau physico-chimique, il s'agit de contrôler à la fois l'homogénéité en taille des précurseurs et leur niveau de dispersion. L'ajout des liants et des plastifiants joue à la fois sur la force ionique des solutions, la modification de la charge de surface des précurseurs inorganiques, ainsi que sur la viscosité des suspensions. Le but est d'obtenir un gel le plus homogène possible.

Tout cela permet d'obtenir après calcination des gels, des membranes céramiques de porosité désirée.

Le principal inconvénient de cette technique réside dans l'utilisation de solvants organiques, acides forts ( $\text{HNO}_3$ ), liants, plastifiants, car certains de ces produits se retrouveront dans les résidus de combustion, tel l'acide nitrique par exemple qui formera des  $\text{NO}_x$ . De plus, ce procédé reste délicat à cause des difficultés rencontrées pour contrôler la taille des colloïdes durant les réactions d'hydrolyse/condensation. Il faut savoir qu'une modification de la taille des précurseurs durant l'hydrolyse a une influence sur le gel et se répercute donc sur les propriétés de la céramique.

### Membranes, nanoparticules et nanotechnologies

La naissance des nanotechnologies ou nanosciences se situe dans les années 1980-85 avec l'invention des microscopes à force atomique et la découverte des C60. Mais c'est vraiment une dizaine d'années plus tard que les nanotechnologies ont commencé à susciter un engouement qui ne se dément pas.

En ce qui concerne les techniques de séparation membranaires, le terme de nanofiltration est apparu assez tôt, avant même l'éclosion des nanotechnologies. D'ailleurs, à la lecture d'articles détaillant cette montée en puissance des nanotechnologies, la nanofiltration est souvent oubliée alors qu'elle peut être considérée comme une des nanotechnologies pionnières. Néanmoins, l'approche issue des nanotechnologies qui vise à fabriquer des matériaux jusqu'à l'échelle moléculaire est une véritable source d'inspiration pour le domaine de la synthèse membranaire. Le contrôle de l'architecture membranaire à l'échelle nanométrique permettrait d'obtenir des membranes ayant une meilleure sélectivité et des coûts plus faibles, que ce soit pour le traitement de l'eau ou d'effluents. De nouveaux matériaux pourraient être utilisés conjointement aux membranes pour créer de nouveaux réacteurs membranes/nanomatériaux. Des membranes multifonctionnelles qui peuvent simultanément séparer, réagir ou détecter sont possibles. Les nanotechnologies ont ainsi le potentiel d'améliorer à la fois la fiabilité et l'efficacité des membranes, tout en élargissant leurs domaines d'applications.

### Fabrication de membranes utilisant des nanomatériaux

Les performances des membranes sont intimement liées aux matériaux qui les constituent. La composition des membranes va déterminer directement leurs propriétés comme le taux de réjection (la sélectivité), la propension à se colmater, la résistance mécanique et leur réactivité. La composition peut aussi conditionner les géométries des éléments de filtration qu'il est possible ou pas de réaliser. Bien sûr, tout cela impacte le coût des membranes. Il est dès lors peu surprenant que la création de nouveaux nanomatériaux ouvre la porte à de nouvelles approches de synthèse des membranes. Les nanomatériaux semblent être utilisés dans trois cas :

- dans le premier cas, des nanoparticules servent de matériel de base à la fabrication de membranes ;
- pour le second, des nanomatériaux sont employés pour renforcer les propriétés de membranes existantes ;
- enfin, il s'agit d'utiliser les nanomatériaux pour « façonner » les membranes lors de leur synthèse.

Dans cet article, nous ne détaillerons que le premier cas.

#### Approche « bottom-up »

Dans certains cas, les membranes peuvent être (presque) entièrement fabriquées à partir de produits issus de la chimie de synthèse. L'utilisation de nanoparticules comme précurseurs des membranes plutôt que des procédés sol-gel a certains avantages sur les procédés de synthèse, comme par exemple celui de diminuer la température de frittage (calcination).

Les membranes minérales ont été fabriquées à partir d'un grand nombre de nanoparticules. Commercialement, il existe des membranes à base d'oxydes métalliques

comme  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$  et  $\text{TiO}_2$  [3]. Néanmoins, il est possible de fabriquer des membranes en utilisant d'autres nanoparticules, notamment des particules d'or ou de silice.

Dans bien des cas, la fabrication des précurseurs membranaires nanométriques utilise les techniques du sol-gel ou de précipitation. Dans tous les cas, il s'agit de partir de solutions ayant une dispersion à l'échelle atomique pour former par croissance les nanoparticules. Comme cela a été mentionné précédemment dans le cas des procédés sol-gel, la synthèse d'une suspension de nanoparticules parfaitement monodisperse et ayant des tailles contrôlées nécessite un nombre d'étapes important et pour lequel le passage à l'échelle pilote peut s'avérer délicat. Néanmoins, la littérature concernant la synthèse de nanoparticules devient extrêmement abondante.

**Approche « top-down »**

Il existe cependant une alternative à l'approche « bottom-up ». En effet, les travaux de l'équipe du professeur Barron (Université de Rice, Houston, Texas) ont permis de mettre au point un procédé qui utilise les « métal-oxanes », dont les premiers ont été les « alumoxanes », comme précurseurs de céramiques [4-5].

Si les alumoxanes sont connus depuis 1958 [6], les récents travaux de l'équipe Barron ont montré que ces particules ont la structure de la boehmite ( $\gamma\text{Al-OOH}$ ) et sont complexées en surface par des ligands organiques (acides carboxyliques) (figure 1).

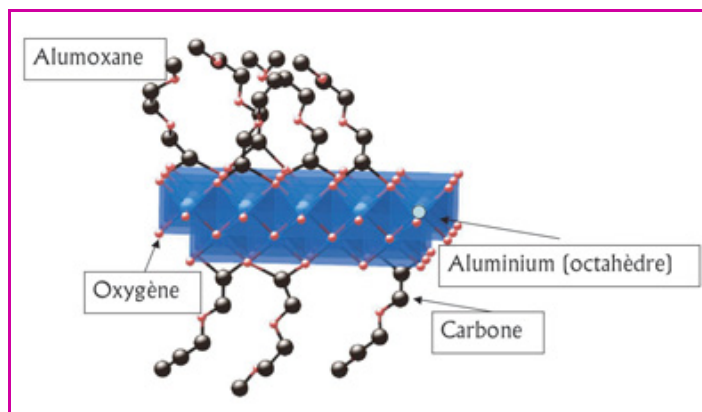


Figure 1 - Structure schématique des alumoxanes avec un cœur de boehmite et une surface organique.

Le principe de la synthèse des alumoxanes est en fait inverse par rapport au système sol-gel. Alors que pour le sol-gel il s'agit de faire croître les particules à partir d'une solution de monomères ou clusters métalliques (d'où les difficultés de contrôler la cinétique et la taille des colloïdes durant la croissance), il s'agit ici de partir d'un minéral  $\gamma\text{Al-OOH}$  (boehmite). Celui-ci est mis en solution en présence d'un acide carboxylique qui va « disloquer-dissoudre en partie » la structure du minéral et former des particules d'environ 40 à 200 nm : les alumoxanes. Ces composés représentent des précurseurs de céramique et sont stables. Ils sont aisément transformés en  $\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$  par thermolyse « douce » (à basse température). L'intérêt de l'utilisation des alumoxanes comme précurseurs de membranes est double : - tout d'abord ce procédé permet une diminution drastique de rejets toxiques : élimination de l'utilisation de  $\text{HNO}_3$  et de solvants organiques, réduction des sous-produits de la combustion des plastifiants et liants ;

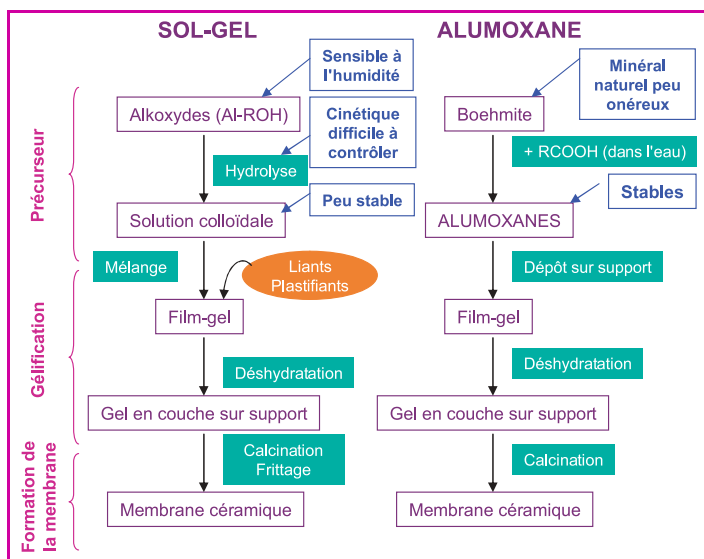


Figure 2 - Comparaison des procédés sol-gel et alumoxane pour la synthèse de membranes.

- ce procédé est « flexible », c'est-à-dire qu'il laisse de grandes possibilités pour la synthèse de membranes céramiques. On peut aisément doper les alumoxanes avec les métaux de transition ou les lanthanides<sup>(1)</sup> afin d'obtenir des céramiques ayant de nouvelles propriétés.

Enfin, outre la possibilité d'élaborer des membranes céramiques, les alumoxanes ont connu un grand succès dans l'industrie pour d'autres utilisations [7] : comme adjuvant pour les peintures, anti-transpirants (déodorants en gel), supports pour colloïdes métalliques, catalyse...

La figure 2 met en évidence les avantages du procédé de synthèse de céramiques à base d'alumoxanes par rapport aux procédés sol-gels.

Une fois les nanoparticules obtenues, il s'agit de les déposer sur un support poreux (figure 3). L'ensemble subit ensuite une calcination afin de transformer l'oxyhydroxyde d'aluminium en oxyde. Dans le cas de l'aluminium, il faut atteindre une température d'au moins 900 °C. La taille des pores de la membrane est directement liée à celle des nanoparticules utilisées lors du dépôt. Les pores correspondent en effet à l'espace libre entre les nanoparticules : plus les nanoparticules sont petites, plus la taille des pores de la membrane sera réduite.

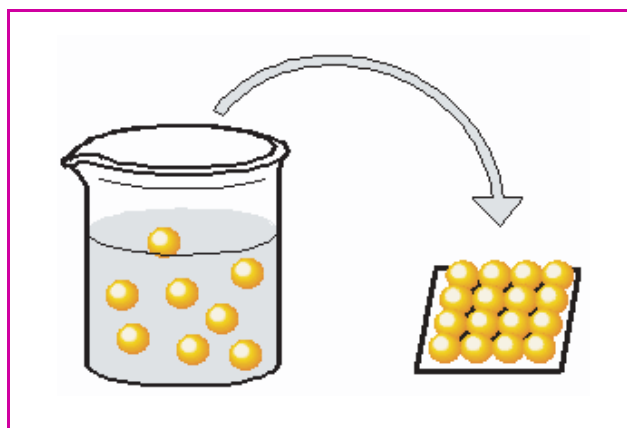


Figure 3 - Dépôt de nanoparticules sur un support : les pores de la future membrane correspondent à l'espace libre entre les particules.



Bien évidemment, même si cette technique semble plus simple que le procédé sol-gel, il existe néanmoins des difficultés. La principale concerne le contrôle de la taille des alumoxanes. L'équipe Barron a montré que la nature du ligand organique pouvait influencer la taille des nanoparticules finales. Des mono-acides carboxyliques R-COOH ayant des chaînes méthylées R plus ou moins longues aboutissaient à des alumoxanes de tailles différentes. Il semble que l'acide acétique permette d'obtenir les objets les plus petits. L'effet cinétique ne paraît pas primordial : en quelques heures, la taille n'évolue plus. Il est important ensuite de sélectionner les nanoparticules les plus fines. Cela est réalisable par centrifugation, ce qui permet d'éliminer les grosses particules ayant peu ou pas réagi et de conserver dans le surnageant les nanoparticules à utiliser.

Le principe développé par l'équipe Barron a été étendu à d'autres éléments comme le fer. Le développement de membranes à base d'oxyde de fer n'avait jamais été réalisé et pourtant, les propriétés des oxydes de fer vis-à-vis des oxydes d'aluminium peuvent procurer des propriétés intéressantes aux membranes formées. En effet, le fer est un élément peu polluant et l'on peut envisager son utilisation dans le traitement des eaux où ses propriétés photo-dégradantes peuvent être particulièrement intéressantes. De plus, les oxyhydroxydes de fer sont moins solubles que leurs analogues alumineux et résistent donc mieux à des solutions corrosives ou des solutions à des pH plus extrêmes.

Dans le cas du fer, il s'agit de choisir comme minéral de départ la lépidocrocite ( $\gamma$ -FeOOH), un oxyhydroxyde de fer ayant la structure de la boehmite. Après réaction avec un acide carboxylique, la « dislocation » a bien lieu (confirmée par diffraction des rayons X). L'insertion de l'acide acétique entre les feuillettes d'octaèdres de fer est responsable de ce clivage (*figure 4*), fragilisant ainsi les minéraux qui pourront par érosion ou rupture former des particules de très petite taille. L'analyse des particules par diffusion de la lumière indique que leur taille passe de quelques dizaines de  $\mu\text{m}$  à 60-100 nm lorsque la lépidocrocite a réagi avec l'acide organique pour former des ferroxanes®.

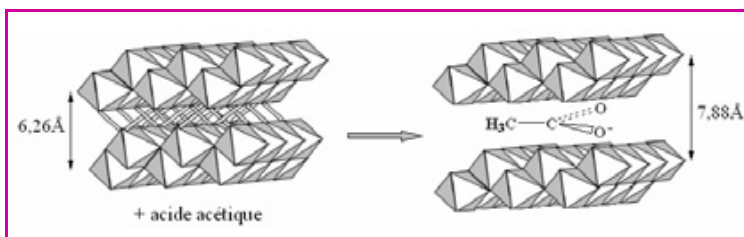


Figure 4 - Mécanismes de clivage des feuillettes de la lépidocrocite.

Différents types de membranes ont été réalisés, mais les plus efficaces sont issus d'une imprégnation de supports alumineux ou siliceux (*figure 5*). Un point capital à noter concerne la température de calcination : dans le cas des ferroxanes®, la transformation en oxyde a lieu pour des températures de 300 à 400 °C, ce qui représente un gain conséquent en énergie.

Les membranes formées à partir de ferroxane® ou d'alumoxane ont des propriétés de filtration assez similaires, même si la taille des pores des membranes alumoxanes est un peu plus faible (*tableau I*). Le flux obtenu à 0,7 bar pour les ferroxanes® est de  $5,9 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ . La caractérisation des membranes alumoxanes et ferroxanes® les classe dans la catégorie des membranes d'ultrafiltration.

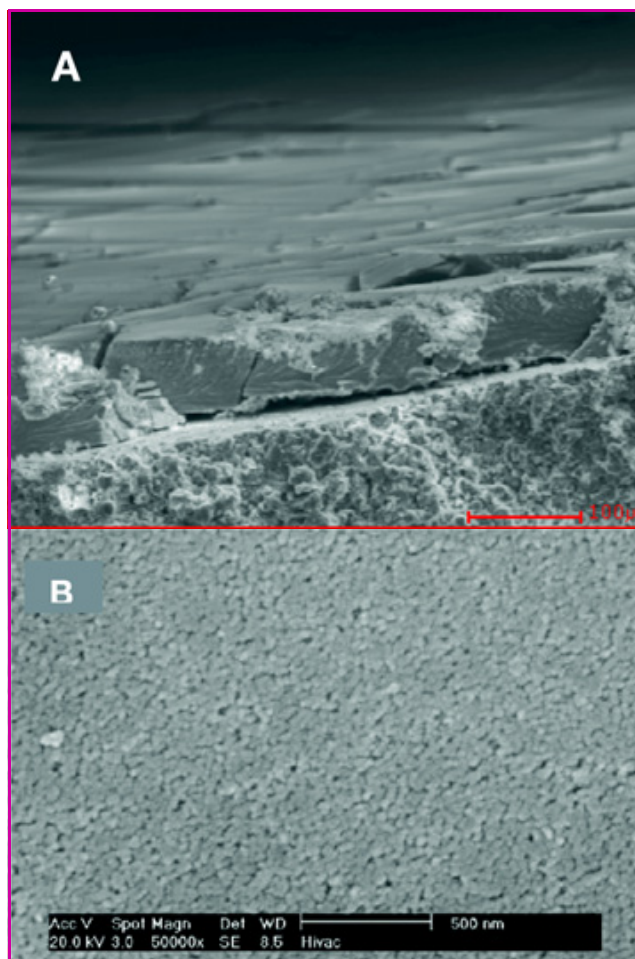


Figure 5 - A) Interaction entre le support alumineux et la membrane ferroxane® ; B) Membrane ferroxane®.

Ainsi l'utilisation des « métal-oxanes » pour créer des membranes céramiques permet de réduire la quantité de solvants toxiques et l'énergie nécessaires à leur formation. De plus, l'utilisation de nanoparticules de taille « sur mesure » et leur dépôt sur des supports adaptés présentent un degré élevé de contrôle de la structure des membranes formées après frittage. La versatilité de ces produits peut être utilisée pour contrôler finement la distribution de la taille des pores.

Mais une application inattendue des membranes ferroxanes® a récemment été mise en évidence : il s'agit de leur utilisation potentielle dans les piles à combustible [8]. À la différence de nombreuses membranes céramiques, qui malgré de très bonnes résistances mécaniques, thermiques et chimiques ne présentent que de très faibles conductivités protoniques ( $10^{-6}$  à  $10^{-3} \text{ S/cm}$ ), les membranes ferroxanes® atteignent des valeurs supérieures à  $10^{-2} \text{ S/cm}$ . Avec de telles valeurs, il s'agit de membranes ayant un fort potentiel de

Tableau I - Comparaison des alumoxanes et des ferroxanes®.

	Alumoxanes	Ferroxanes®
Taille des particules	28 nm	60-100 nm
Taille des pores (à partir de la filtration de dextran de différentes masses moléculaires (min : env. 40 000 daltons))	10-20 nm	22-28 nm

développement, qui ont permis un véritable saut technologique comparées aux membranes issues des procédés classiques sol-gel. Les membranes ferroxanes® possèdent des performances proches des membranes utilisées à l'heure actuelle (Nafion®) (tableau II).

Tableau II - Valeurs représentatives des conductivités protoniques des membranes d'oxydes avec celle du Nafion® (membrane utilisée dans les piles à combustible).

Matériau	Conductivité S/cm (à 100 % d'humidité relative et à 20 °C)
Nafion®	0,06 à 0,09
SiO <sub>2</sub>	10 <sup>-6</sup> à 10 <sup>-3</sup>
(SiO <sub>2</sub> -P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	9,4 x 10 <sup>-3</sup>
Sol-gel Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6 x 10 <sup>-4</sup>
Alumoxane	6,7 x 10 <sup>-4</sup>
Ferroxane®	0,03

## Perspectives industrielles

À l'heure actuelle, le développement des membranes formées à partir de nanoparticules reste confiné au niveau des laboratoires. Même si des brevets existent [9], l'application de ce type de membranes reste conditionnée par les coûts de fabrication en comparaison aux membranes organiques. Néanmoins, il est clair que le prix du traitement de l'eau ou le recyclage d'effluents augmentera dans l'avenir et ce type de produits trouvera sans doute des applications industrielles. Il faut néanmoins souligner que comme tout nanomatériau, les producteurs devront s'assurer de l'innocuité de ce type de membrane vis-à-vis de l'environnement et de la santé humaine.

## Note et références

- (1) Le dopage est effectué en mélangeant une solution d'acétylacétate de métal (ou de lanthanide) à une solution d'alumoxanes.
- [1] Bailey D.A., *Characterization of alumina membranes derived from alumoxanes*, Mémoire de Master of Science, Rice University, Houston, Texas, 1998.
- [2] Hsieh H.H., *New Membrane Materials and Processes for Separation*, K.K. Sirkar, D.R. Loyd (eds), America Institute of Chemical Engineering, New York, 1998, Vol. 84.
- [3] Wiesner M.R., Barron A.R., Rose J., Membrane processes, *Environmental Nanotechnology: Applications and Impacts of Nanomaterials*, Mc Graw Hill, Wiesner and Bottero Ed., 2007.
- [4] Landry C.C., Davis J.A., Apblett A.W., Barron A.R., *J. Matter. Chem.*, 1993, 3, p. 597.
- [5] Landry C.C., Pappe N., Mason M.R., Apblett A.W., Tyler A.N., MacInnes A.N., Barron A.R., *J. Matter. Chem.*, 1995, 5, p. 331.
- [6] Andrianov K.A., Zhdanov A.A., *J. Polym. Sci.*, 1958, 30, p. 513.
- [7] Apblett A.W., Alisen C.W., Barron A.R., Synthesis and characterization of triethylsiloxy substituted alumoxanes: their structural relationship to the mineral boehmite and diasporite, *Chem. Mater.*, 1992, 4, p. 167.
- [8] Tsui E.M., Cortalezzi M.M., Wiesner M.R., Proton conductivity of an iron oxide membrane derived from ferroxane nanoparticles, *J. of Membrane Science*, 2007, 306(1-2), p. 8.
- [10] Brevet ferroxane : Barron A., Cortalezzi M.-M., Rose J., Wiesner M., Organic acid-FeOOH (ferroxane) particles and ferroxane-derived ceramics and ceramic membrane, 2003, 03732078.5-2111-US0302101.

## Pour en savoir plus

- Rose J., Fidalgo M.M., Moustier S., Magnetto C., Jones C.D., Barron A.R., Wiesner M.R., Bottero J.-Y., Synthesis and characterisation of carboxylate-FeOOH nanoparticles (Ferroxane(r)) and Ferroxane-derived ceramics, *Chemistry of Materials*, 2002, 14, p. 621.
- Tsui E.M., Cortalezzi M.M., Wiesner M.R., Proton conductivity of an iron oxide membrane derived from ferroxane nanoparticles, *J. of Membrane Science*, 2007, 306(1-2), p. 8.
- Wiesner M.R., Barron A.R., Rose J., Membrane processes, *Environmental Nanotechnology: Applications and Impacts of Nanomaterials*, Mc Graw Hill, Wiesner and Bottero Ed., 2007.



J. Rose



J.-Y. Bottero



C. Levard



A. Masion

**Jérôme Rose** (auteur correspondant) et **Jean-Yves Bottero** sont directeurs de recherche CNRS, **Clément Levard**, doctorant, **Armand Masion**, chargé de recherche CNRS, au Centre Européen de Recherche et d'Enseignement en Géosciences de l'Environnement (CEREGE), Université Aix-Marseille<sup>1</sup>.



M.M. Cortalezzi



A.R. Barron

**Maria M. Cortalezzi** est professeur assistant au Department of Chemical Engineering, Buenos Aires Institute of Technology, Argentine<sup>2</sup>.



M.R. Wiesner

**Andrew R. Barron** est

professeur au Department of Chemistry, Rice University, Houston<sup>3</sup>. **Mark R. Wiesner** est professeur au Civil and Environmental Engineering, Duke University, Durham<sup>4</sup>.

- <sup>1</sup> CEREGE, Université Aix-Marseille, Europôle de l'Arbois, 13090 Aix-en-Provence.  
Courriel : rose@cerege.fr  
<http://nano.cerege.fr>
- <sup>2</sup> Department of Chemical Engineering, Buenos Aires Institute of Technology, Buenos Aires, Argentine.
- <sup>3</sup> Department of Chemistry, Rice University, Houston TX 77005 (États-Unis).  
[www.rice.edu/barron](http://www.rice.edu/barron)
- <sup>4</sup> Civil and Environmental Engineering, Duke University, Durham, NC 27708 (États-Unis).  
<http://wiesner.cee.duke.edu>



### Internships Engineers

**THE CORPORATE RESEARCH CENTER OF LHOIST**, one of the leaders in the production of lime and dolomite for the industry, based in Nivelles (Belgium), is made up of approximately 35 people, structured primarily by industrial application, each type of application, typically representative of an industry served by the group. R&D Engineers work in close interaction with their equivalent in Product Development. The Corporate Research Center includes a Laboratory / Technical Assistance team and a Documentation, Patents & Licensing team, both providing support across all applications / industries. In addition, the Nivelles center interacts closely with smaller research units, one based in Germany, the others in the US and Brazil.

Over the last few years a series of improvement initiatives have been defined and implemented in order to evolve towards a more modern, innovative and entrepreneurial R&D organization.

**We are looking at offering internship opportunities to scientific students especially coming from abroad so as to enhance multicultural exchanges.**

---

Interested? All cvs should be addressed to [marie-france.weichselbaum@lhoist.com](mailto:marie-france.weichselbaum@lhoist.com)

You will find more information on the group on [www.lhoist.com](http://www.lhoist.com)

