



Ingénierie membranaire inspirée par la nature

10 Octobre 2018 au Maroc



De 14:00 à 18:00 à l'Hôtel Le Meridien N'fis
Avenue Mohamed VI, Marrakech

Compte rendu de l'atelier

Organisé en lien avec le

1^{er} Symposium International sur les Nanomatériaux et les Sciences des Membranes
(ISNMS 2018)



UNESCO Chair
"Membrane Science applied for Environment",
University of Montpellier
(Chemistry School of Engineering)



Compte rendu de l'atelier



- Remerciements 2
- Rappel du contexte et programme 3
- Présentations thématiques 5
- Synthèse des 2 tables rondes 6
- Liste complète des participants 8

• Remerciements

La chaire Unesco SIMEV et ses tutelles tiennent à remercier chaleureusement l'ensemble des intervenants et participants pour leur implication dans le déroulement de l'atelier "Ingénierie Membranaire Inspirée par la Nature" organisé le 10 octobre dernier à Marrakech.

Merci en particulier au Professeur Saad Alami Younssi pour son accueil et son soutien, à K2i organisation (Saad Lahbabi et Kawtar Ouhmid) pour la qualité de leur support logistique, ainsi qu'aux deux étudiants Dounia Beqqour et Omar Samhari pour leur aide efficace.

Merci également aux intervenants pour la qualité de leurs présentations, qui ont introduit de riches échanges, en amont de l'[ISNMS2018](#). Un Congrès qui a été très réussi!



Symbole d'une collaboration réciproque et bénéfique

Le Professeur Gilbert Rios - directeur de la chaire Unesco SIMEV - a reçu avec grand plaisir la distinction qui lui a été remise par le Professeur Saad Alami Younssi - président de la SMMD, Université Hassan II de Casablanca - pour sa contribution au Congrès via l'organisation de cette demi-journée d'atelier (photo ci-contre).

• Rappel du contexte et programme

Avec l'aide de la Société Marocaine des Membranes et de Dessalement (SMMD) et le laboratoire des Matériaux, Membranes et Environnement de l'Université Hassan II de Casablanca, la Chaire UNESCO SIMEV et ses tutelles ont organisé le 10 octobre 2018 un atelier dédié au partage de nouvelles technologies membranaires inspirées par la nature.

Pourquoi cet atelier ?

Le Professeur Gilbert Rios, Directeur de la chaire Unesco SIMEV, a introduit l'atelier en ces termes :

« Arrivé au terme de ma carrière, j'observe que, passé l'enthousiasme de la jeunesse et la volonté de redécouvrir le monde, les chercheurs s'aperçoivent chaque jour un peu plus avec émerveillement que tout existait déjà à leur naissance, et qu'il y a énormément à apprendre de l'observation de la nature et de choses à réaliser pour le bénéfice des sociétés humaines en prenant là son inspiration.

Lorsque je débutais ma carrière dans le domaine des technologies à membranes il y a près de 30 ans, je me souviens que Louis Cot avait organisé à Montpellier un séminaire placé sous l'autorité du Professeur Pierre Joliot centré sur les membranes biologiques : leurs structures et leurs fonctions. Durant cette journée, Pierre Joliot, membre de la 3^{ème} génération de la célèbre famille des Joliot-Curie, Directeur de la Chaire de Bioénergétique cellulaire du Collège de France, Membre Associé « National Academy of Sciences USA », Membre de l'Institut , Médaille d'or du CNRS ... nous avait enchanté en nous ouvrant à ce monde merveilleux, riche de tant de performances extraordinaires qui semblaient à des années-lumière des réalisations humaines de l'époque.

Depuis lors, l'étude des membranes et des procédés associés a fait l'objet d'investissements très importants dans nombre de pays - toutes les études de prospectives réalisées dans les pays les plus avancés en font des « dominant technologies »- et d'avancées considérables qui toutes nous ramènent au modèle ultime des phénomènes naturels.

Vous verrez au travers des différentes présentations qui vont être faites et des sujets abordés, que sa place en préliminaire du Congrès ISNMS semblait tout à fait « logique ».

Vous comprendrez aisément aussi que, dans la mesure où en termes de développement durable personne ne peut prétendre proposer des systèmes plus performants, le cadre de l'UNESCO pour le conduire me soit apparu comme « naturel ».

Déroulé de la demi-journée d'atelier :

- 14:00**
- Accueil et présentation de la Société Marocaine des Membranes et de Dessalement (SMMD), par Prof. Saad Alami Younssi, Président de la SMMD, FST Mohammedia - Université Hassan II de Casablanca, Maroc
 - "Pourquoi une Chaire UNESCO (Science des Membranes appliquée à l'Environnement) hébergée par l'IEM? " par Prof. Ph. Miele, Directeur de l'IEM, Montpellier, France. Support partagé parallèlement à ce CR

Présentations thématiques

- 14:15 • "Bio- et nano- : clés pour de nouveaux processus membranaires intensifiés inspirés par la nature" par Prof. G.M. Rios, Directeur SIMEV, France
- 14:45 • "Valorisation de matériaux naturels dans le développement de nouvelles membranes céramiques" par Prof. Saad Alami Younssi, Directeur du L2ME - Université Hassan II de Casablanca, Maroc
- 15:15 • "Membranes à partir de bio-polymères : défis à venir" par Prof. J.G.Crespo - UNL Lisbon, Portugal
- 15:45 • "Processus biocatalytiques durables dans les systèmes membranaires: vers une industrie chimique propre" par Prof. P.Lozano Rodriguez, Univ. Murcia, Espagne
- 16:15 • "Modifications de surface bio-inspirées pour la filtration membranaire" par Dr Sana Gassara - IEM, France
- 16:45 Pause café

Tables rondes

- 17:00 • Matériaux biomimétiques.
Modérateurs: Ph. Miele & J. Crespo. Rapporteur: M. Boucher
- 17:30 • Procédés inspirés par la nature.
Modérateurs: G.M.Rios & P. Lozano Rodriguez. Rapporteur: M. Boucher
- 18:00** Fin de l'atelier et cocktail

• Présentations thématiques



Bio- et nano- : clés pour de nouveaux processus membranaires intensifiés inspirés par la nature par Prof. G.M. Rios, Président SIMEV, France

Support partagé parallèlement à ce CR



Valorisation de matériaux naturels dans le développement de nouvelles membranes céramiques par Prof. Saad Alami Younssi, Directeur du L2ME, Université Hassan II de Casablanca, Maroc

Support partagé parallèlement à ce CR



Membranes à partir de bio-polymères : défis à venir par Prof. J.G. Crespo, UNL Lisbon, Portugal

Support partagé parallèlement à ce CR



Processus biocatalytiques durables dans les systèmes membranaires : vers une industrie chimique propre par Prof. P. Lozano Rodriguez, Univ. Murcia, Espagne

Support partagé parallèlement à ce CR



Modifications de surface bio-inspirées pour la filtration membranaire par Dr Sana Gassara, IEM, France

Support partagé parallèlement à ce CR

• Synthèse des 2 tables rondes

Matériaux biomimétiques

Modérateurs : Philippe MIELE et Joao CRESPO

Quels sont les enjeux de développement des biomatériaux, en termes d'applications ? En reprenant l'exemple de l'aquaporine cité par G. Rios, la question est de savoir si le développement de matériaux s'inspirant ou intégrant cette protéine pourrait répondre à un besoin concret ? Ou bien s'il s'agit davantage de simples concepts d'étude (le prix Nobel pour leur découverte a été décerné en 2003 à Peter Agre) encore éloignés de solutions appliquées ?

G. Rios rappelle que les aquaporines sont des protéines présentes dans tous les systèmes naturels, qui assurent un transport d'eau et un effet barrière (vis à vis des sels notamment) avec une efficacité maximum. **Comprendre et mimer leur fonctionnement pourrait/devrait(?) permettre de développer des systèmes ayant un haut niveau de performance** (production, qualité, énergie car le transport est passif) notamment pour la production d'eau potable.

Il existe aujourd'hui quelques entreprises qui essaient de se développer autour de ces idées telle Aquaporin (créée il y a dix ans environ au Danemark et aujourd'hui présente à Singapour). En pratique, il s'agirait d'implanter les aquaporines dans des supports polymériques. L'une des principales difficultés rencontrées est de le faire dans des conditions proches de celle qu'on observe à l'état naturel : la protéine crée un véritable canal de transfert au travers de la membrane cellulaire. D'autres questions d'importance concernent : la durée dans le temps des structures ainsi créées qui sont soumises à des cycles de pression (conditions de procédé) et de nettoyage (gestion des phénomènes de colmatage soulignée à plusieurs reprises) « fatigant », la résistance de la protéine vis à vis de l'action toujours possible de microorganismes (l'activité dépend de la structure qui sera fortement influencée par l'environnement)... Comment repenser les modules pour les adapter aux nouvelles membranes (ce qui a été peu investigué jusqu'alors...) ?

De manière générale, on constate que **lorsqu'il est question de transfert de technologies bio-inspirées, on pense souvent matériaux mais peu conditions de procédé (conditions opératoires, modules...) et connaissance des produits à traiter**. Il serait nécessaire d'associer tout cela pour pouvoir développer une approche holistique à la hauteur des problèmes rencontrés.

L'exemple de la stratégie de grands groupes tels que VEOLIA est évoqué : pour pouvoir passer de l'idée à son industrialisation en 4 à 5 ans maximum, il est indispensable d'avoir un objectif appliqué. Le développement de biomatériaux s'intègre alors dans la proposition d'une solution concrète à commercialiser. Le récent partenariat signé entre l'IEM et VEOLIA illustre bien la volonté de faire le lien entre la recherche et la mise en œuvre de solutions concrètes. La recherche est nécessaire pour permettre aux partenaires industriels d'innover et l'industrie fait part des contraintes terrain aux chercheurs, qui peuvent les prendre en compte dans leurs travaux.

Procédés inspirés par la Nature

Modérateurs : G.M. RIOS et Pedro LOZANO R.

Suite à la table ronde précédente, **l'importance de la bonne gestion du colmatage est à nouveau mentionnée comme point clé pour l'ingénierie des systèmes procédés membranaires bio-inspirés**. Une comparaison entre une coque de bateau propre et une autre pleine de coquillages incrustés est avancée pour illustrer l'impact du colmatage sur la performance des procédés : le bateau à la coque pleine de coquillages aura un coût de déplacement plus élevé.

Les types de colmatage peuvent varier d'un système à l'autre - apparition de biofilms en traitement d'eau, colmatage par interactions protéines/membrane en agro-alimentaire- et leur traitement doit être étudié au cas par cas -pour la fabrication de jus de fruits par exemple, utilisation de pectinases permettent de limiter le dépôt colmatant qui tend à se former....-. **Le passage de la filtration frontale à la filtration tangentielle est un bon exemple d'innovation procédé permettant de réduire le colmatage, sans se focaliser sur les aspects matériaux**. Choix du type d'écoulement, vitesse, viscosité de la solution ...sont autant de caractéristiques qui permettront de moduler le colmatage et les résistances additionnelles induites.

L'approche ingénierie des procédés aura donc aussi toute sa place pour les matériaux bio-inspirés, l'optimisation du matériau membranaire pouvant n'avoir qu'un impact limité sur le produit final. **Il est important de redonner au matériau sa place, en réfléchissant procédé. Il n'y aura pas de solution unique, mais de multiples réponses spécifiques, liées aux milieux sur lesquels on travaille. L'importance d'une approche multidisciplinaire se doit d'être rappelée.**

La plupart des systèmes membranaires imaginés par l'homme fonctionnent sous le mode de la convection. La nature n'hésite pas quant à elle à utiliser des systèmes diffusifs lorsque nécessaire avec des surfaces spécifiques très élevées, voire à les coupler à de la convection... **Peut-être serait-il intéressant pour nos propres réalisations de changer de paradigme et de s'inspirer de ces mises en réseau de plusieurs modes de fonctionnement ? Cela devrait être facilité par les possibilités nouvelles offertes par les nanotechnologies pour accroître les surfaces spécifiques au sein des équipements?** (cf présentation de G. Rios)

Aujourd'hui les résultats de recherche sur les nanomatériaux au service des membranes peuvent faire l'objet de bonnes publications ; mais leur impact réel en termes d'applications reste très limité ! **Le manque de reconnaissance des résultats concrets obtenus pour la recherche appliquée** (par opposition à l'importance donnée aux publications, nécessaires pour l'évolution de carrière) **est un problème général qui entrave grandement le développement de solutions technologiques réelles sur ces domaines**. En étant sans cesse à la recherche de « sensationnel » souvent aux applications très spécifiques, on ne focalise pas assez sur des solutions globales applicables à court terme.

• Liste complète des participants

Toute personne intéressée d'en savoir plus sur les technologies membranaires (matériaux et procédés) inspirées par la nature était invitée à s'inscrire gratuitement en ligne, dans la limite des places disponibles (50).

L'atelier a rassemblé 29 participants (hors intervenants), venant du Maroc (62%), de France (24%), du Koweït, du Liban et d'Espagne.

Nom	Prénom	Structure
ACHARGUI	Nezha	Univ. Hassan II Casablanca, Maroc
ACHIOU	Brahim	Univ. Hassan II Casablanca, Maroc
ALAMI YOUNSSI	Saad	Univ. Hassan II Casablanca, Maroc
BEN YUCEF	Hicham	Univ. Polytechnique Mohammed VI, Maroc
BEQQOUR	Dounia	Univ. Hassan II Casablanca, Maroc
BOUCHER	Mathilde	Chaire Unesco SIMEV, Montpellier, France
BOUHRIA	Mohamed	SMMD- Univ. Hassan II Casablanca, Maroc
BOUSSOUGA	Youssef-Amine	Univ. Sidi M. Ben Abdellah, Fez, Maroc
BREIDA	Majda	Univ. Hassan II Casablanca, Maroc
CRESPO	Joao	FCT-NOVA University of Lisbon, Portugal
DEROUICH	Ghizlane	Univ. Hassan II Casablanca, Maroc
EL ATTAR	Anas	Univ. Hassan II Casablanca, Maroc
GARUDACHARI	Bhadrachari	Kuwait institute for scientific research
GASSARA	Sana	IEM, Montpellier, France
GHAFFOUR	Noreddine	King Abdullah University of Science and Technology, Saudi Arabia
HAFSI	Mahmoud	ONEE - Office National de l'Electricité et de l'Eau Potable, Maroc
HALIM	Elmahdi	Univ. Hassan II Casablanca, Maroc
HERRO	Ziad	Univ. Libanaise, Beyrouth
KARIM	Abdelaali	Univ. Hassan II Casablanca, Maroc
KHAYET	Mohamed	University Complutense of Madrid, Spain
LESAGE	Geoffroy	IEM, Montpellier, France
LHASSANI	Abdelhadi	Univ. Fez , Maroc
LOULERGUE	Patrick	Institut des Sciences Chimiques de Rennes, France
LOZANO	Pedro	Univ. Murcia, Spain
MAGNES	Pierre	FIRMUS France
MAMA	El Rhazi	Univ. Hassan II Casablanca, Maroc
MIELE	Philippe	IEM, Montpellier, France
OUAMMOU	Mohamed	Univ. Hassan II Casablanca, Maroc
RABILLER-BAUDRY	Murielle	Institut des Sciences Chimiques de Rennes, France
RIOS	Gilbert M.	Chaire Unesco SIMEV, Montpellier, France
SAMHARI	Omar	Univ. Hassan II Casablanca, Maroc
SZYMCZYK	Anthony	Institut des Sciences Chimiques de Rennes, France
TAHRI	Khalid	ONEE - Office National de l'Electricité et de l'Eau Potable, Maroc
TAKY	Mohamed	Univ. Ibn Tofaïl, Kenitra, Maroc
ZAVISKA	François	IEM, Montpellier, France