

Séance du 14 octobre 2013

Les Membranes Artificielles : utopie ou réalité industrielle

par Louis COT

MOTS CLÉS :

Membrane - Eau - Agroalimentaire - Gaz - Energie

RÉSUMÉ :

Les technologies à membrane sont une partie des technologies séparatives. Technologies clés pour le XXI^e siècle, elles s'appliquent à de nombreux domaines de l'environnement, de l'industrie, de l'énergie. Leur développement est en forte croissance à cause des qualités qu'elles présentent.

I — Introduction

Le mot "Membrane" vient du latin "Membrana", sorte de peau recouvrant les membres. Une deuxième définition, largement acceptée, se rapporte à une couche mince séparant deux milieux.

Les membranes sont présentes depuis toujours dans notre vie quotidienne. Elles jouent un rôle important dans le monde végétal et dans le monde biologique. Dans notre corps, toutes nos cellules sont entourées de membranes intelligentes qui laissent passer les substances nourricières et arrêtent les substances dangereuses.

Sans membrane il n'y aurait pas de cellule vivante et donc pas de vie. Nous n'allons pas examiner, malgré leur extrême importance, la structure et le fonctionnement de la membrane cellulaire dont l'observation des échanges qui s'y produisent est une source riche d'enseignements transposables aux membranes artificielles.

C'est le vaste domaine d'une partie passionnante de la biologie moléculaire.

Les chercheurs essaient de se rapprocher au mieux, par biomimétisme, de ces membranes naturelles.

Historiquement le phénomène membranaire a été découvert au XVIII^e siècle. C'est l'Abbé Jean Antoine Nollet, un physicien au Siècle des Lumières (plus physicien qu'ecclésiastique), qui répand en France le goût et l'étude de la physique par des expositions claires et attrayantes ; pour lui *"la physique doit observer les phénomènes de la nature et en montrer les causes"*. C'est ainsi qu'il découvre en 1748, l'osmose à partir de la spécialité que certains monastères s'étaient faite d'augmenter la "force du vin", en le plaçant dans des vessies de porc. L'eau s'échappait plus rapidement que l'alcool, jamais l'inverse ; on l'observait, on l'utilisait, on n'expliquait pas.

Découverte au XVIII^e siècle, il a fallu attendre le milieu du XX^e siècle, grâce à l'élaboration d'une membrane artificielle en acétate de cellulose à l'Université de Floride, pour que l'on fasse un pas décisif et que cette méthode devienne un procédé applicable, donc un procédé technologique intéressant. Dans les années 1960 les applications visées étaient :

- le dessalement de l'eau de mer pour produire de l'eau potable ;
- l'amélioration du procédé de dialyse rénale.

Puis dans les années 1970 à 1990 les choses se précipitent, diverses nouvelles applications apparaissent grâce à des activités de R et D au niveau des organismes publics (CEA-CNRS-INSERM) mais aussi privés (Air Liquide, Suez, Veolia...). Quels enseignements peut-on tirer de ce cheminement long de deux siècles ?

Il est clair que l'innovation doit s'appuyer sur la Science pour y puiser sa force. Mais aussi, que le processus entre découverte d'un phénomène et progrès technique, avec création de valeur, est un processus souvent long et complexe.

II – Notions de base sur ces technologies

La membrane agit comme une barrière mince, sélective qui, sous l'effet d'une force de transfert, permet le passage ou l'arrêt de certains composants entre les deux milieux qu'elle sépare.

Le terme membrane inclut des matériaux présentant une grande variété à la fois de texture (dense ou poreuse), d'origine (naturelle ou artificielle), de composition (polymère organique, céramique, métaux), mais aussi de propriété physique (isolant ou conducteur).

Cette force de transfert peut être : un gradient de pression, de température, de potentiel chimique ou de champ électrique.

A cause des forces exercées, la membrane doit posséder une très bonne résistance mécanique mais aussi une faible épaisseur (0,1 à 1 μm) pour permettre un bon débit. Ces deux exigences contradictoires sont résolues par la mise au point de structure asymétrique. La peau active, d'une épaisseur de quelques fractions de micromètres, assure la fonction séparative. Elle est déposée sur un support de 0,5 à 2 mm d'épaisseur qui assure la résistance mécanique.

Les techniques à membrane se développent car leurs avantages sont nombreux : elles agissent à température ambiante (important pour les milieux thermosensibles), sans changement de phase (économiques au niveau énergétique) et sont modulables (s'adaptent aux volumes à traiter).

Elles s'appliquent à la purification des liquides, au traitement des gaz, mais aussi au domaine de l'énergie.

1. **Pour les systèmes à membrane poreuse**, la force de transfert est un gradient de pression ; les techniques permettent de séparer les différents constituants d'un fluide sur la base de la taille des pores. MF de 10 à 0,1 μm – UF de 0,1 μm à 5 nm – NF de 1 à 5 nm – OI < 1 nm.

(MF = microfiltration, UF = Ultrafiltration, NF = nanofiltration, OI = osmose inverse).

2. Le cas des membranes denses est différent

Imaginons une membrane dense qui sépare deux solutions à concentration différente. Si cette membrane est perméable uniquement à l'eau et imperméable aux ions dissous, il y a passage de l'eau du compartiment le plus dilué vers le compartiment le plus concentré : c'est *le phénomène d'osmose* qui se passe dans la cellule végétale mais aussi dans la cellule biologique.

Si l'on applique, sur la solution concentrée, une pression suffisamment forte (30 à 40 bars pour l'eau de mer) le flux s'inverse et l'eau va de la solution concentrée vers la solution diluée : c'est l'*Osmose Inverse*.

L'application majeure est le dessalement de l'eau de mer.

3. Autres procédés à membrane

- La force de transfert est un *gradient de température* : c'est la *pervaporation*. Les deux liquides sont séparés par "évaporation" de l'un d'eux à travers la membrane.

Il y a donc changement de phase de l'un des deux liquides qui est recueilli sous forme vapeur : extraction d'arômes, déshydratation d'alcool.

- Pour la *dialyse* la force de transfert est une différence de *concentration ionique* ΔC . Ce phénomène a été mis en évidence dans la seconde moitié du XIX^e siècle. C'est la purification d'un mélange liquide à l'aide d'une membrane qui laisse passer solvant et petites molécules en retenant les grosses molécules.

La principale application se situe dans le domaine médical : dialyse rénale (plus de 10 millions de m² installés).

Le premier rein artificiel date de 1943. De nombreux progrès ont été réalisés dans la deuxième partie du XX^e siècle.

- Si la force de transfert est un *champ électrique*, c'est l'*électrodialyse*.

La première installation industrielle date de 1960. Le procédé consiste à éliminer les sels dissous dans un solvant (eau) par migration des ions présents à travers des membranes sélectives sous l'action d'un champ électrique. On aura donc un compartiment déminéralisé et un compartiment de concentration en sel formé des ions de la solution traitée.

Chacun de ces procédés a fait (et fait encore) l'objet de nombreuses recherches et améliorations au niveau de la "Membrane", mais aussi au niveau de "Génie du procédé".

III – L'Eau et les Membranes

III.1 – Cas de l'eau de boisson

L'eau est un des grands thèmes du développement durable.

L'accès à l'eau potable et à l'assainissement est problématique pour des millions de personnes dans le monde.

Il faut donc s'attacher à trouver de nouveaux moyens d'approvisionnement.

Par ailleurs deux personnes sur cinq n'ont pas de procédé d'assainissement correct pour leurs eaux usées. Ceci se répercute directement sur leur santé : 80 % des maladies dans le monde sont d'origine hydrique.

Le manque d'eau potable est responsable de 5 millions de morts par an.

Il faut songer à potabiliser l'eau de boisson mais aussi à traiter les eaux usées ; voilà deux problèmes majeurs qui nous sont posés et nous interpellent.

Voyons d'abord le problème de la potabilité de l'eau.

En France et dans les pays industrialisés, l'eau de boisson est le produit alimentaire le plus contrôlé et le plus réglementé car sensible aux pollutions.

Afin de mieux répondre à la sévérité croissante des normes OMS, à la pollution qui augmente, d'importants efforts de R et D ont été faits ces dernières années et conduisent à développer de nouvelles techniques de traitement faisant appel aux technologies membranaires.

C'est une véritable révolution qui s'est produite en quelques années dans le traitement de l'eau potable. Les micropolluants sont extraits physiquement. On n'utilise plus de réactifs chimiques. Ces techniques sont très fiables et permettent de traiter des eaux très polluées. Elles produisent une eau excellente au goût quelle que soit la variation de la qualité de l'eau à traiter. Ces techniques membranaires sont utilisées à grande échelle. Le principe est simple puisqu'il consiste, ni plus ni moins, en une filtration physique.

L'eau à traiter circule sous pression à l'extérieur ou l'intérieur de micro tubes et passe par les pores dont le diamètre est voisin de 50 nm. De toutes les substances présentes dans l'eau, seules traversent la paroi celles dont l'encombrement est inférieur au diamètre des pores. Les substances contenues (bactéries et virus) dans l'eau sont éliminées. Pour l'eau le marché des membranes est estimé à 40 % du marché global, soit environ 4 milliards d'euros.

De nombreuses usines ont été construites, plusieurs dizaines en France, pour produire de l'eau potable.

Nous venons de voir comment la qualité des eaux de boisson est améliorée par les techniques membranaires. Nous avons parlé de pénurie prévisible pour l'eau.

Il est indéniable que la consommation en eau potable est en augmentation dans le monde. D'une part la population augmente, d'autre part, il y a dans les pays développés une relation étroite entre consommation d'eau et élévation du niveau de vie ; 3 litres par jour et par personne suffisaient à la boisson, à la cuisson des aliments et à l'hygiène, aujourd'hui on atteint 200 à 300 l/j personne ; si bien que la consommation d'eau double tous les 5 ans.

Quels sont les moyens possibles pour subvenir à cette pénurie ?

De nombreuses possibilités ont été ou sont encore discutées.

- La première possibilité est de prendre en considération l'eau virtuelle qui traduit l'eau nécessaire à la fabrication ou la production de produits finis.

Compte tenu des quantités d'eau consommées par l'agriculture, certains pays décident d'économiser leurs ressources en eau en choisissant d'importer les produits agricoles plutôt que de les produire localement.

Il est plus facile d'importer 1 tonne de blé que d'importer 1000 m³ d'eau.

- La réduction du gaspillage alimentaire pourrait faire économiser, en 1 an, 250 km³ d'eau, d'après les calculs de la FAO.

D'autres moyens pourraient aider pour subvenir à cette pénurie en eau :

- le transport d'eau d'un pays transfrontalier à un autre ;
- le captage d'eau douce en mer ;
- l'exploitation de réserves fossiles ;
- le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres ;
- le recyclage des eaux usées.

Où en est-on actuellement ?

Ce sont ces deux derniers procédés qui sont actuellement en plein développement et qui contribuent fortement à améliorer l'approvisionnement en eau.

D'abord quelques mots sur le dessalement.

Le dessalement ne consiste pas à enlever le sel de l'eau, mais à l'inverse il consiste à extraire de l'eau douce d'une eau salée. C'est durant la seconde moitié du XX^e siècle et plus particulièrement entre 1975 et 2000 que le dessalement de l'eau de mer et des eaux salines est devenu un moyen industriel fiable de production d'eau douce.

La production artificielle d'eau par dessalement a débuté dans des situations d'isolement insulaire (Malte, Baléares, Chypre, Cyclades...), littorales ou désertiques (Libye, Algérie).

Pourquoi dessaler l'eau ?

Les atouts sont nombreux et il est normal de se retourner vers la mer, vaste ressource inexploitée : 97,5 % de l'eau sur terre est salée

La ressource est considérée comme illimitée et le flux ne peut être limité par un voisin.

Les techniques utilisées pour dessaler l'eau de mer ou les eaux saumâtres sont majoritairement, la distillation et l'osmose inverse.

La distillation : c'est le premier système exploité, mais très gourmand en énergie. C'est la méthode ancestrale des marins qui transformaient, à bord de leur navire, grâce à des bouilleurs, l'eau de mer en eau douce. Les premiers appareils industriels de distillation sont apparus à la première moitié du XIX^e siècle.

L'osmose inverse : c'est actuellement la technologie la plus performante et celle qui permet des coûts moindres. L'eau salée passe à travers une membrane sous une pression de 40 à 60 bars. Les ions sont retenus à température ordinaire.

Le développement de cette technique est le résultat des efforts importants de recherches initiés par les Etats-Unis dans les années 1960, mais aussi par la France, l'URSS, le Japon et Israël. Puis à partir des années 1975 les industriels se sont fortement investis (Suez, Véolia...).

Le développement de l'Osmose Inverse est tel que :

- Pour obtenir 1m³ d'eau - par distillation, il faut 3,5 kg de fioul ;
- par O.I., il faut 1 kg de fioul.

Pour les grandes installations, le coût de l'eau obtenue par osmose inverse est de 0,4 à 0,8 \$/m³ pour l'eau de mer, 0,2 à 0,4 \$/m³ pour l'eau saumâtre.

Ces coûts se rapprochent des coûts de traitement d'eau par des techniques conventionnelles.

Actuellement 65 millions de m³ d'eau potable sont produits par dessalement par jour avec un développement exponentiel, ce qui représente l'alimentation de 20 à 30 millions de personnes.

Plus de 18 000 unités sont en fonctionnement essentiellement au Moyen-Orient et dans les pays du Golfe mais aussi en Espagne, Lybie, Italie, Algérie avec une progression de 10 % par an.

Au Moyen-Orient des usines de capacité 500 000 m³/j et même de 1 million m³/j sont en chantier. Ces pays disposent de moyens financiers colossaux et compte tenu de leurs besoins en eau douce, ont investi massivement dans des installations de dessalement et permis ainsi aux technologies de progresser à la fois du point de vue technique et économique.

Sur le pourtour méditerranéen, c'est l'Espagne (quatrième rang mondial) qui a le plus développé le dessalement. La plus importante usine d'Europe se trouve à Barcelone : 250 000 m³/j.

En conclusion, si les coûts de l'eau douce obtenue par dessalement sont acceptables pour les besoins humains et l'industrie, ils sont trop élevés pour les cultures de plains champs (céréales, en particulier) compte tenu des quantités d'eau nécessaires (1 tonne de pétrole peut produire 1000 m³ d'eau, nécessaires pour produire 1 tonne de blé). Ils sont acceptables pour la production de produits agricoles à fort rapport économique comme les légumes ou les fleurs.

Face à toutes ces contraintes, la meilleure solution reste la bonne gestion des ressources ainsi que le *recyclage des eaux usées* qui demande moins d'énergie et a moins d'impact sur l'environnement.

III.2 – Cas des eaux usées municipales

Si on veut réutiliser les eaux usées, la technique consiste à pousser l'épuration des effluents au-delà du stade normalement atteint par les procédés classiques.

La réutilisation devient, pour certains pays, (pays de la Méditerranée, Etats-Unis, Australie...) une ressource complémentaire importante pour combler le déficit en eau.

La croissance du marché varie de 25 à 60 % selon les régions du monde.

La majorité de la réutilisation des eaux usées est destinée à l'irrigation agricole, l'arrosage des espaces verts. Cependant la production indirecte d'eau potable par recharge de nappes phréatiques se multiplie. Pour éviter tout risque sanitaire, il est indispensable de traiter l'eau usée avant de la réutiliser.

Initialement destinées aux usines de traitement d'eau potable, **les membranes** sont aujourd'hui utilisées pour traiter les eaux usées. Cette technologie permet d'atteindre des niveaux de dépollution élevée :

- Soit pour assurer une **très bonne qualité avant rejet** dans le milieu naturel. C'est le cas de nombreuses villes, certaines proches de chez nous :
 - La Grande Motte où une nouvelle station à membrane vient d'être installée et gère l'ensemble des eaux usées de l'Agglo des Pays de l'or ; l'eau est utilisée à l'arrosage des pelouses et du golf.
 - La nouvelle station d'épuration de Baillargues-Le Crès mise en service en janvier 2011.
- Soit pour une **production indirecte** d'eau potable grâce à la barrière physique qu'apporte la membrane qui permet d'éliminer bactéries et virus.

L'eau usée traitée est injectée dans la nappe à une dilution d'environ 15 à 20 %. Pour éviter tout problème de santé, les filières de traitement reposent sur le principe de barrières multiples : procédés MF – UF – OI , qui ont montré l'excellente qualité de l'eau produite.

Conclusion

Initialement les procédés à membrane ont été développés pour les produits à haute valeur ajoutée : nucléaire, pharmacie, médecine, alimentaire. Elles se sont imposées dans le domaine du traitement des eaux, domaine qui exige de larges volumes et un prix de revient inférieur 1 €/m³.

Le marché est en croissance constante, (supérieure à 10 %/an), pour cause de législation toujours plus stricte, mais aussi pour cause d'une consommation en forte croissance dans le monde.

De nouveaux matériaux apparaissent, de nouveaux procédés sont en développement faisant baisser le prix de revient de l'eau traitée en conservant la qualité exigée. La production d'eau est toujours liée à l'énergie.

IV – L'agroalimentaire et les membranes

En moins de 30 ans, elles sont devenues des outils industriels incontournables; principalement dans le secteur laitier, bien devant les autres produits alimentaires que sont le vin, la bière, les jus de fruits...

En 2011 le chiffre d'affaires était de 240 millions de \$ avec une croissance de 6 à 7 % par an pour les prochaines années.

Ces techniques sont utilisées au sein de la chaîne de production mais aussi pour le traitement des effluents.

Les quatre opérations majeures utilisées sont MF, UF, NF et OI.

- **Le lait** : la microfiltration du lait permet de retirer les bactéries indésirables ou pathogènes du lait sans recours aux traitements thermiques. C'est le cas du lait "Marguerite" tout récemment distribué dans certaines grandes surfaces. Il est obtenu par réduction bactérienne au même niveau que la pasteurisation. Le goût est proche du lait cru et les protéines ne sont pas dénaturées.
- **Industrie des boissons** : loin derrière l'industrie laitière, l'industrie des boissons est le second domaine d'utilisation des membranes dans le secteur agroalimentaire.

Citons :

La clarification du vin et des moûts de fermentation à l'aide de membranes de MF mais aussi *la stabilisation tartrique du vin*

Un nouveau procédé de stabilisation tartrique a été mis au point et utilise l'électrodialyse ; il évite totalement les dépôts. Il élimine l'acide tartrique, le potassium, le calcium sans affecter l'alcool, les composés volatils, les arômes et l'acidité volatile.

Le niveau de traitement est à ajuster pour chaque vin en fonction de son instabilité. C'est un traitement très fiable et flexible ; il est moins onéreux que le traitement à froid.

La MF est utilisée pour la stabilité microbienne et élimination des troubles de la bière et des jus de fruit.

La UF est utilisée pour la production de jus de fruit clarifié (ex : jus de pomme) et stabilisé.

Les membranes sont utilisées pour clarifier et stabiliser tous les jus de fruits et d'agrumes, et même les fruits tropicaux riches en pulpe.

L'industrie fromagère est grande utilisatrice des membranes.

- Par MF la teneur du lait en protéines est standardisée avant transformation en fromage pour pallier les variations saisonnières de composition du lait.
- Par UF on concentre les protéines du lactosérum (petit lait) issu des fabrications fromagères classiques qui est ensuite valorisé en l'incorporant dans des préparations culinaires ou des boissons énergétiques pour sportifs ou malades.
- Devant les contraintes de plus en plus sévères sur l'eau et les effluents, certaines usines sont équipées de systèmes à membrane comme pour les eaux usées des villes.

En conclusion, les opérations à membrane permettent à l'industrie alimentaire d'atteindre simultanément : sécurité alimentaire, compétitivité, respect de l'environnement et création de nouveaux produits.

V – Les gaz et les membranes

Le marché, en 2010, est de l'ordre de plus de 350 millions de dollars par an dont 20 % pour le gaz naturel.

V. 1 – Le gaz naturel est principalement constitué de méthane mais il contient plusieurs impuretés indésirables comme le gaz carbonique, le propane, le butane et les hydrocarbures lourds.

Ces impuretés sont extraites par solvants.

Or en raison d'une présence de plus en plus élevé de contaminants, le coût associé aux traitements augmente (corrosion des installations, quantité de plus en plus grande de solvants...).

Parmi les solutions existantes, la technologie à membrane se révèle très intéressante.

Depuis 20 ans, cette technologie a connu un fort développement, d'abord en Russie, puis aux USA et maintenant dans le monde où plusieurs millions de m³ de gaz sont traités chaque jour.

V.2 – Les autres applications concernent la séparation de l'azote de l'air pour l'inertage (99,9 %) ou l'enrichissement de l'air en oxygène (jusqu'à 50 %) ; L'opération consiste à faire traverser un faisceau de membranes par de l'air comprimé. Les éléments O₂ - CO₂ - H₂O de l'air diffuse plus rapidement que N₂ à travers la membrane. La séparation n'est pas totale ; elle est partielle : on enrichit l'air en l'une des espèces. Le niveau de pureté est ajusté par l'utilisateur de 95 à 99 % ; de 5 à 5000 m³/h.

Citons encore :

- la séparation de CO₂ et des composés organiques volatiles (acétone, benzène...) de l'air ;
- la séparation de H₂ en pétrochimie et aussi de CO₂ ou CO ;
- le traitement dans l'énergie nucléaire (enrichissent UF₆ U 235/238) ;
- le séchage des gaz et de l'air.

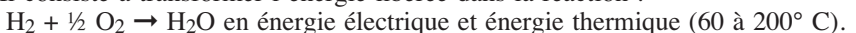
V.3 – Evolution

Le marché de la séparation des gaz se développe avec une croissance de 7 à 8 % par an.

VII – L'Energie et les membranes

Cas de la pile à combustible

Une pile à combustible (PAC) est une pile qui fabrique de l'électricité par réaction inverse de l'électrolyse de l'eau. Son principe date du milieu des années 1850. Il consiste à transformer l'énergie libérée dans la réaction :



D'un côté un jet d' H₂ est dissocié en 2H⁺ (2H₂ → 4H⁺ + 4e⁻) sous l'effet d'un catalyseur de Pt. De l'autre côté un flux d'O₂ est dirigé côté cathode.

H⁺ traverse la membrane (nafion) et réagit avec O₂ pour former de l'eau.

La membrane bloque les électrons qui passent par le circuit extérieur, elle conduit H⁺: elle joue un rôle majeur !

- Les PAC furent mis au point au début des années 1960 et utilisées pour des applications spatiales : programmes Gemini – missions spatiales Appolo et Soyouz.

- Vers les années 90, elles deviennent des options pour des applications civiles grâce à une meilleure maîtrise de la filière H₂ et des progrès dans le domaine des matériaux membranaires.

Quelques exemples d'application

- Transport (30 à 200 kW) : plusieurs flottes de bus sont en cours de démonstration dans les villes européennes japonaises et américaines.
- Le véhicule privé ne se distingue pas des autres véhicules ; citons les futures séries Toyota et Hyundai.

- Sites isolés ou touristiques à population variable (250 kW à 1 MW).
- Appareils portatifs avec P.A.C. au méthanol (1 à 100 W).

L'hydrogène est remplacé par le méthanol. En 2003 une nouvelle membrane composite avec microbilles de SiO₂, imperméable au méthanol et qui laisse passer les H⁺ est mise au point en Allemagne.

Quelques industriels proposent des ensembles pour le grand public, et pour l'armée avec des PAC qui alimentent une batterie pour le camping car et la plaisance nautique.

Les Piles à Combustibles sont une solution énergétique de choix ; elles connaissent actuellement un réel décollage au niveau mondial. A l'horizon 2016 le marché atteindra 4 à 5 milliards d'euros avec une large gamme de puissances.

Le handicap est le manque de stations service à H₂ ! "Avec H₂ on a des éléments qui permettent au véhicule électrique de retrouver les performances du véhicule thermique en terme de mobilité" (Louis Gallois) avec garantie d'une autonomie de 500 à 600 km.

H₂ sera-t-il le vecteur énergétique du futur ?

VIII – Conclusions

Le marché mondial des techniques membranaires de 300 millions d'euros en 1990 est passé en 2010 à 8 milliards d'euros. En 20 ans on est passé d'une utopie à une réalité industrielle !

Tous les domaines sont concernés : environnement – santé – agroalimentaire – pétrochimie – H₂ – énergie (PAC) ...

La Science des Membranes figure parmi les technologies clés retenues par l'Europe ; ce sont des segments stratégiques de l'économie à l'horizon 2050.

C'est une science à caractère pluridisciplinaire qui nécessite la synthèse de cultures scientifiques aussi diverses que la physique, la mécanique des fluides, le génie des procédés et même l'économie et les sciences humaines.

Les progrès importants de ces dernières années proviennent d'une synergie "Recherche Publique – Industrie".

De nombreux Centres et Instituts publics ou privés obtiennent d'excellents résultats publiés dans de nombreuses revues de haut niveau, colloques ou conférences.

La France est en retard dans la production industrielle de membranes organiques à l'image de l'Europe. Toutefois elle est bien positionnée en membranes inorganiques (fruit de la R et D dans le nucléaire). Nous bénéficions cependant d'entreprises leaders mondiales en application dans l'environnement (Suez, Véolia, Degremont, Saur...), et en agroalimentaire (Danone...).

L'avenir est au développement de nouveaux matériaux membranaires, multifonctions qui répondent à des stimuli externes comme le pH, les signaux lumineux, magnétiques ou électroniques ; ceci suppose la constitution d'équipes pluridisciplinaires.

Deux actions se développent dans les pays du Sud, actions coordonnées par la Chaire UNESCO SIMEV. L'une dans la région de Koalack à 200 km à l'Est de Dakar pour la fourniture d'une eau de boisson à 2000 personnes (12 m³/j), l'autre dans un lycée de 1200 élèves proche de Kénitra (Maroc) : 10 m³/j). Dans les deux cas le photovoltaïque (couplé à l'éolien pour le Maroc) assure l'apport énergétique.

Les deux réalisations montrent combien il est nécessaire d'innover et combien ces technologies récentes s'adaptent à l'économie des pays en émergence. Elles montrent aussi le possible couplage du domaine des énergies renouvelables et celui du traitement de l'eau, apparemment très éloignés l'un de l'autre.