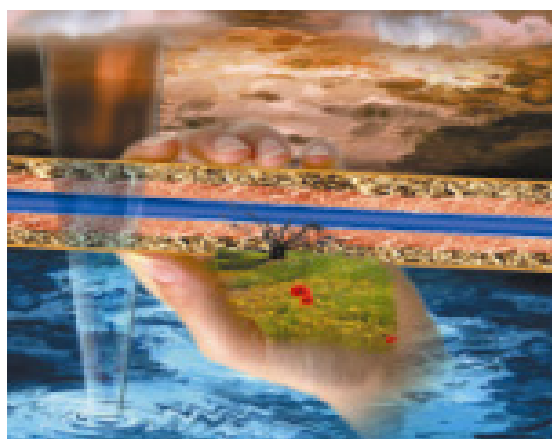


LES CAHIERS DE L'ECOLE STM

« Sciences et Technologies à Membranes »

**Dans le cadre de la Chaire UNESCO SIMEV
« Science des Membranes Appliquée à l'Environnement »**



Thème de STM 4

« Eau et Santé »

Editeurs : L. Cot, C. Diawara,

06-08 Juin 2007, Dakar, Sénégal

Ecole d'Eté

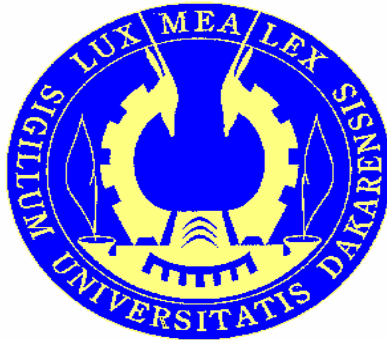
« SCIENCES ET TECHNOLOGIES A MEMBRANES »

Sous le patronage de :

- **Commission Nationale Française pour l'UNESCO**
- **Commission Nationale Sénégalaise pour l'UNESCO**
 - **Académie des Sciences (DRI) – Paris**
 - **Académie des Technologies – Paris**

Thème : Eau et Santé

- **Apport des technologies à membranes**
 - **Education des femmes à la santé**
en partenariat avec WHeP – IAP



Dakar 06, 07 et 08 Juin 2007

Lieu : Université Cheikh Anta DIOP

Co-organisée par l'Université Cheikh Anta DIOP (Dakar)
(Laboratoire de Chimie Minérale et Analytique)
&
la Chaire UNESCO SIMEV
« Science des Membranes Appliquée à l'Environnement » (Montpellier)

Dakar 6 – 8 juin 2007

1ère ECOLE OUEST AFRICAINE
 « SCIENCES ET TECHNOLOGIES A MEMBRANES »
 Sous le patronage de :

- Commission Nationale Française pour l'UNESCO
- Commission Nationale Sénégalaise pour l'UNESCO
 - Académie des Sciences (DRI) – Paris
 - Académie des Technologies – Paris

Thème : Eau et Santé

- **Apport des technologies à membranes**
- **Education des femmes à la santé**
en partenariat avec WHeP – IAP

Partenaires

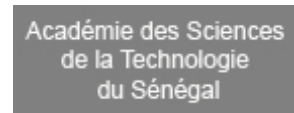
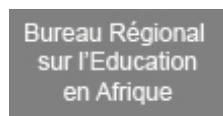
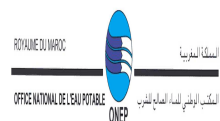
- Laboratoire Chimie Minérale et Analytique – UCAD - Dakar
- Faculté des Sciences et Techniques - UCAD- Dakar
- Chaire UNESCO SIMEV – IEM Montpellier
- Global Water Partnership West Africa – (Partenariat National de l'eau du Sénégal)
- Société Marocaine des Membranes et du Dessalement

Avec le soutien de:

- Académie des Sciences – Paris
- Académie des Technologies - Paris
- Commission Nationale Française pour l'UNESCO - France
- BREDA – UNESCO - Dakar
- Ambassade de France à Dakar et à Tunis
- AUF
- CNRS – Paris (DRI)
- Pôle Universitaire Européen - Montpellier
- Stés Pall – Veolia – Saur - France
- Sté ONEP (Maroc)
- *Office National d'Assainissement du Sénégal*



Filtration. Separation. Solution.®
www.pall.com



EXPOSE DES MOTIVATIONS :

A l'instar des Ecoles d'Été franco maghrébine « Sciences et Technologies à Membranes » qui se sont déroulées au Maroc (2004), en Tunisie (2005) et en Algérie (2006), l'objectif de cette réunion est de porter à la connaissance des industriels, décideurs institutionnels et chercheurs scientifiques de l'Afrique de l'Ouest **les potentialités des techniques à membranes** dans le domaine de l'eau en vue d'apporter une solution aux problèmes importants de santé. Cette technologie nouvelle est déjà utilisée dans divers domaines, particulièrement

- dans le traitement de l'eau potable (élimination de polluants spécifiques tels que le fluor et les nitrates)
- le dessalement des eaux saumâtres et des eaux de mer
- le traitement des eaux usées en vue de leur recyclage

Cette technologie est en plein développement dans le monde ; qu'il s'agisse de l'environnement, de la santé (en particulier pour obtenir de l'eau potable), de l'industrie (pour simplifier les procédés existants mais aussi pour obtenir de nouveaux produits). Le domaine de l'énergie fait actuellement fortement appel à cette nouvelle technologie.

Ce cycle de formation est réalisé essentiellement par des témoignages d'experts industriels utilisant déjà cette technologie et des présentations effectuées par des universitaires expérimentés sur les fondements théoriques des procédés membranaires.

Des tables rondes thématiques, en fin de journée, ont été l'occasion d'échanges entre les actuels et les futurs utilisateurs. Ces échanges permettront d'approfondir des aspects pouvant intéresser les participants et de présenter les potentialités locales de chaque pays par rapport à ce domaine.

Ils seront enrichis par l'apport du "Programme d'Education pour la Santé par les Femmes" (WHeP), programme scientifique de l'IAP (Inter Académique Panel).

Cette réunion a aussi été l'occasion de la mise sur pied d'un réseau ouest-africain des membranes

Langue : Les exposés ont été faits en langue française

COMITE SCIENTIFIQUE :

- Courfia Kéba DIAWARA, LACHIMIA – FST, SENEGAL
- Aminata Diassé SARR, LACHIMIA – FST, SENEGAL
- Omar GUEYE, LACHIMIA – FST, SENEGAL
- Libasse DIOP, LACHIMIA – FST, SENEGAL
- Louis COT, « SIMEV » Montpellier, FRANCE
- André AYRAL, Institut Européen des Membranes, FRANCE
- Djamel Eddine. AKRETICHE, USTHB – ALGER
- Raja. Ben AMAR, FSS – Sfax - TUNISIE
- Saad. ALAMI YOUNSSI, FSTM –Mohammedia - MAROC
- Codou Mar DIOP, Ecole Supérieure Polytechnique, SENEGAL
- Abdoulaye FAYE, Hydrogéologie - FST, SENEGAL
- Abdoul Aziz YAM, Odonto Stomatologie - FMPOS, SENEGAL
- Mahmoud HAFSI, ONEP MAROC
- Abdoulaye DOUCOURE, PALL Cooperation USA
- Hervé BUISSON, Véolia Water USA
- Jean Christophe SCHROTTER, Véolia Water FRANCE
- Gene SHELP, ENPAR - CANADA
- Pascal JAOUEN, Pôle Mer – Littoral FRANCE

COMITE D'ORGANISATION :

- Courfia DIAWARA, FST - SENEGAL
- Taofiki AMINOUE, FST - BENIN
- Denis ZOUNGRANA, ETSHER - BURKINA
- Hortense ESSI-TOME, ENS – COTE D'IVOIRE
- Yango KEITA, FST – GUINEE
- Adama TOLOFOUDJI, FST - MALI
- A. Kader OULD MAHMOUD, FST - MAURITANIE
- Ibrahim NATATOU, FST - NIGER
- Moctar L. BAWA, FST – TOGO
- Catherine SCOGNAMIGLIO, IEM Montpellier - FRANCE

TABLE DES MATIERES

	Page
<ul style="list-style-type: none"> Mot de bienvenue : Dr. Courfia Diawara Laboratoire de chimie Minérale et Analytique Faculté des sciences et Techniques Université Cheikh Anta DIOP -BP5005 Dakar - Sénégal 	5
<ul style="list-style-type: none"> Préambule : Prof. Louis. COT – Chaire UNESCO SIMEV - IEM – Montpellier – France - 	6
<ul style="list-style-type: none"> L’Afrique dans le Développement Durable. Mr François GUINOT Président de l’Académie des Technologies. Paris – France- 	11
<ul style="list-style-type: none"> Programme d’Education des Femmes à la Santé (Women Health Education Programme) - Mr Jean-Marie GUASTAVINO – Académie des Sciences, Institut de France - Délégation aux Relations Internationales – Paris - 	21
<ul style="list-style-type: none"> Rôle de l’éducation à la santé par les femmes Hygiène et assainissement de l’eau. Texte introductif à la table ronde - Ramatoulaye Sabaly DIOP Directrice nationale de l’éducation préscolaire, Dakar- Sénégal - 	24
<ul style="list-style-type: none"> Partenariat National de l’Eau du Sénégal – Mr I. MBODJI - Dakar – Sénégal - 	26
<ul style="list-style-type: none"> Qualité des Eaux Souterraines consommés par la population au Sénégal - Mr Bruno LEGENDRE – Partenariat National de l’Eau Sénégal - Dakar – Sénégal - 	30
<ul style="list-style-type: none"> Procédés membranaires pour le traitement d’eau potable. Revue des technologies et estimation des coûts - Mr Yvan. POUSSADE – Société VEOLIA – Paris – France – 	34
<ul style="list-style-type: none"> Fluor et potentialités hydrogéologiques au Sénégal – Mr A. FAYE. Faculté des Sciences et Techniques – Dakar – Sénégal – 	39
<ul style="list-style-type: none"> Projet Ndiaffate – Frère Luc Marie PERRIER – Kaolack – Caritas – Sénégal - 	44
<ul style="list-style-type: none"> Les fluorures dans les eaux contrôlées et distribuées par l’ONEP- Société Onep – Mr Mahmoud . HAFSI – Rabat – Maroc – 	52
<ul style="list-style-type: none"> Microfiltration membranaire et défluoration de l’eau potable dans les villages - Mr Michel FARCY – Société PALL France – Paris – France - 	59
<ul style="list-style-type: none"> Usage des technologies membranaires au quotidien – Mr Patrick TRESSIERES – Société BIOEPURATEUR - Béziers – France - 	76
<ul style="list-style-type: none"> Réutilisation des eaux usées et les membranes – Mr Philippe GENSSE – Société SAUR – St Quentin en Yvelines – France - 	79
<ul style="list-style-type: none"> Dessalement et énergie. Mr Alain MAUREL – Consultant – France - 	84
<ul style="list-style-type: none"> Activités de l’ITC en Afrique dans le cadre de la coopération internationale division de recherche et développement technologique - Mme Sonsoles Fernandez de la Puente GONZALEZ - Ingénieur Chimique - Assistante Technique pour l’ITC en Mauritanie 	96
<ul style="list-style-type: none"> Système Potabilis® - L’accès à l’eau en zone isolée – Système Osmose Inverse / Energies Renouvelables Jean Jacques MARCHAND – Association POTABILIS - Pornichet – France - 	101
<ul style="list-style-type: none"> Membranes multifonctionnelles couplant séparation et photocatalyse ; concept et applications potentielles au traitement de l’eau. Mr André AYRAL – IEM Montpellier – France 	107
<ul style="list-style-type: none"> Les Procédés à membranes en aquaculture et pour la valorisation des effluents de transformation des produits de la mer. Mr Pascal JAOUEN – Université de Nantes – Saint Nazaire – France - 	113
<ul style="list-style-type: none"> La gestion de l’eau dans l’industrie agroalimentaire : apport des opérations à membranes – Mr Georges DAUFIN – INRA – Rennes – France - 	119
<ul style="list-style-type: none"> Eau et Santé : Problèmes émergents – Pr. Bernard DIOP – Clinique des Maladies Infectieuses – CHU de Fann – Dakar – Sénégal - 	125
<ul style="list-style-type: none"> Le programme international francophone PROMATINTER , un exemple de coopération universitaire triangulaire Nord-Sud-Sud utilisant le téléenseignement. Mr André AYRAL et Louis COT – IEM Montpellier – France 	128
<ul style="list-style-type: none"> Conclusions de la 4° Ecole STM 	132

MOT DE BIENVENUE

Monsieur le Recteur, Monsieur le Président de l'Académie de Technologies de Paris, Monsieur le Représentant de l'Académie des Sciences de Paris, Monsieur le Titulaire de la Chaire UNESCO-SIMEV, Monsieur le Doyen de la Faculté des Sciences et Techniques de l'UCAD, Chers invités venant du Bénin, du Burkina, de la Guinée, du Mali, de la Mauritanie, du Niger et du Togo, chers invités venant de la Tunisie, du Maroc, des Iles Canaries et de la France, chers collègues et étudiants du Sénégal.

Nous allons nous réunir 3 jours durant pour évoquer **l'accès à l'eau potable en Afrique de l'ouest, les potentialités d'intégration des technologies à membranes et leur impact** sur la santé des populations.

Dans nos pays les fleuves et les rivières sont de véritables égouts ouverts et les déchets de tous ordres affectent les nappes phréatiques. Les eaux souterraines deviennent de véritables cibles des polluants pouvant atteindre les nappes et y persister plusieurs années.

Au Sénégal, l'eau de boisson couramment consommée dans la zone du bassin arachidier contient des quantités excessives de fluor et de sels donc dangereuse pour la santé. C'est une eau qui peut avoir une incidence négative sur les capacités intellectuelles des enfants et donc sur le potentiel de développement à long terme.

A cet effet Monsieur le Recteur, Chers participants, nous attendons pendant ces 3 jours *des témoignages d'industriels mondialement connus sur le traitement des eaux par membranes* en vue d'une meilleure compréhension des systèmes UF, NF, OI et ED, des échanges scientifiques sur l'adaptabilité de cette technologie en tenant compte de nos réalités spécifiques en Afrique de l'ouest.

Mesdames, Messieurs nous demeurons convaincus qu'il soit important, dans le cadre de cette Ecole sur les Membranes : Eau et Santé qui se tient du 06 au 08 juin 2007, qu'il soit mis sur pied un « **Réseau Ouest Africain sur les Membranes** » interpellant aussi bien des chercheurs que des industriels du domaine.

Enfin le LA.CHI.MI.A. tient à remercier sur cette tribune le Pr. Libasse DIOP fondateur du LA.CHI.MI.A., la Coopération Française à Dakar, l'Ecole Supérieure Polytechnique de Dakar, le BREDA, l'Office National d'Assainissement du Sénégal, le Doyen de la FST et le Recteur Président de l'assemblée de l'Université de Dakar.

Espérant que les débats scientifiques soient à la hauteur des attentes, que l'organisation de cette Ecole ne soit une réunion de plus, le comité d'organisation souhaite bon séjour à tous les participants.

Courfia Kéba DIAWARA

Comité d'organisation

Dr. Courfia Diawara Laboratoire de chimie Minérale et Analytique Faculte des sciences et Techniques Université Cheikh Anta DIOP -BP5005 Dakar - Senegal

Tel: 221 537 12 49 - Fax: 221 824 63 18

E-mail : courfia@caramail.com

PREAMBULE

Louis COT , Dakar, le 06 Juin 2007

Responsable Chaire UNESCO SIMEV
« SCIENCE DES MEMBRANES APPLIQUEE A L' ENVIRONNEMENT »
Institut Européen des Membranes
Place Eugène Bataillon - Case Courrier 047
F – 34095 Montpellier cedex 5
Tél : +[33] 4 67149101 - Fax : +[33] 4 67149119
E-mail : lcot@iemm.univ-montp2.fr

Quelques mots pour vous remercier d'être venus si nombreux à cette Ecole d'Eté, à la fois du Sénégal, des pays voisins (Benin, Burkina, Guinée, Mali, Niger, Togo, Iles Canaries, Mauritanie, Maroc, Tunisie).mais aussi de France. Cette Ecole fait suite aux 3 précédentes Ecoles qui ont eu lieu à Casablanca (2004), Monastir (2005) puis Alger (2006) où plus de 300 personnes ont bénéficié de cet enseignement ; certains présents ici aujourd'hui, ont pu y assister. Une communauté scientifique internationale Nors/Sud/Sud est née autour de ce thème qu'est la "Science des Membranes Appliquée à l'Environnement". Cette Ecole de Dakar est la 4° de la série ; elle est la 1° réunion Ouest Africaine sur " Sciences et Technologies à Membranes".

Le thème que vous avez retenu est "l'Eau et la Santé". Cette nouvelle réunion amplifie cette communauté scientifique dont je viens de parler ; d'ailleurs au terme de ces 3 jours vous avez voulu créer le Réseau Ouest Africain des Membranes. Bravo, nous ne pouvons que vous y encourager ; comptez sur nous pour vous y aider. Cette communauté qui se met en place progressivement fera émerger, sous l'égide de l'UNESCO, avec vos Universités, les institutions publiques ou privées volontaires, un pôle d'excellence consacré à la formation et à la recherche dans ce domaine clé du développement durable.

Personnellement après une carrière consacrée à la formation d'ingénieurs en chimie et de recherche orientée vers les techniques à membranes à Montpellier, j'anime la Chaire créée par l'UNESCO en Janvier 2004. Son titre est "Science des Membranes appliquée à l'Environnement".

Votre Faculté appartient à cette Chaire depuis 2006 ; 11 autres complètent ce réseau. Je citerai les Facultés de Kénitra-Fes-Mohammédia au Maroc, Monastir et Sfax en Tunisie puis 1 au Brésil, 3 au Chili, 1 au Mexique et 1 en Roumanie.

Ces chaires sont un des instruments mis en place par l'UNESCO pour assurer le transfert des connaissances dans un esprit de solidarité avec et entre les pays en voie de développement dans un coopération Nord→ Sud mais aussi Sud → Sud. Leur mission est donc de

promouvoir la paix, la sécurité et le développement au moyen de la coopération internationale.

Outre ces 4 Ecoles d'Eté, la Chaire SIMEV et son réseau de 12 Facultés associées, ont mis en place, une formation par téléenseignement animé par le Prof. A. Ayral. Il fera un exposé sur cet enseignement demain lors de la table ronde.

Revenons à l'objectif de ces Ecoles STM, dont le thème est décidé par le pays dans lequel a lieu la réunion. Le but est de porter à la connaissance des industriels, décideurs, chercheurs et enseignants-chercheurs locaux, la potentialité de ces techniques à membranes, techniques nouvelles qui se développent à grands pas dans de nombreux pays et qui doivent être connues et diffusées dans les pays en émergence comme les vôtres. *"Ce n'est pas parce que l'escalier est trop haut qu'il ne faut pas en gravir les marches"*. Nous sommes là pour y participer par l'information, la formation et puis dégager des opérations concrètes de R et D sur le terrain.

Le thème de celle-ci est *"l'apport des technologies à membranes à l'eau et donc à la santé"*.

L'eau est porteuse de vie, mais aussi de maladies.

L'eau est un des problèmes vitaux, une des questions les plus importantes posées à l'humanité. Elle est un des grands thèmes du développement durable, avec l'énergie, l'agriculture, le logement, la biodiversité : on sait aujourd'hui que l'investissement dans la santé des individus est un préalable au développement économique et non le contraire.

Il est sûr que l'état de la santé humaine est inextricablement lié aux ressources en eau.

L'eau régulièrement soustraite du milieu naturel, utilisée, elle est ensuite rejetée dans le milieu avec ou sans épuration. Quand la pollution n'est pas d'origine accidentelle, elle découle de l'activité humaine. Potabiliser l'eau, mais aussi l'épurer après utilisation, sont les 2 extrêmes qui régissent sa disponibilité.

L'eau ne manque pas, mais les ressources sont inégalement réparties, surtout mal gérées ; c'est ce qu'indique le 2^o Rapport Mondial des Nations Unis. (*"L'eau une responsabilité partagée"*) présenté à Mexico le 22 Mars 2006.

Au cours du XX^o siècle la consommation en eau a été multipliée par 6 alors que la population mondiale n'a été multipliée que par 3.

"Ceci impliquera une bonne gestion des ressources en eau disponibles ; cette bonne gouvernance doit reposer sur le plan national, mais aussi régional et local, au niveau du citoyen" K. Matsuura.

La mauvaise gestion entraîne une baisse des approvisionnements, une baisse des nappes phréatiques, la réduction de la superficie des lacs ou encore la baisse de l'écoulement des cours d'eau.

Quasiment 1 personne/5 sur la planète (1,1 Milliard) n'a pas accès à l'eau potable et 40 % de la population mondiale ne dispose pas d'un service d'assainissement de base.

Il est donc urgent d'améliorer la gestion et l'assainissement de l'eau. Une eau de mauvaise qualité joue un rôle clé dans les mauvaises conditions de vie.

I- Le manque d'eau potable et l'inadaptation des systèmes d'assainissement sont à l'origine de 80 % de l'ensemble des maladies du monde. 3 millions meurent chaque année dans le monde. 450 millions de personnes touchées par des maladies dues aux vecteurs associés à l'eau vivent en Afrique Subsaharienne.

90 % sont des enfants de – de 5 ans. Un enfant meurt toutes les 15 secondes du défaut d'accès à une eau propre ! Or se laver régulièrement les mains éviterait plus de 50 % de ces cas de morts. Nous devons nous impliquer pour que les gens, et surtout les jeunes sachent que ces problèmes existent !

II- C'est pour cela que cette Ecole a été programmée.

"Le question n'est pas seulement technique ; elle intéresse la science, la technologie mais aussi la culture et le social".

Il y a des signes d'espoir. La prise de conscience se développe. L'eau figure en bonne place dans les agendas politiques internationaux. Les citoyens eux-mêmes se saisissent de la question. Certaines pratiques se développent pour améliorer les techniques d'approvisionnement ; à côté des barrages, c'est la récupération des eaux usées, le dessalement de l'eau de mer, les techniques à membranes...

Les technologies à membranes ont désormais leur place dans la palette des techniques à notre disposition pour la production d'eau potable, mais aussi dans le traitement des eaux usées car elles résolvent de nombreux problèmes délicats rencontrés dans les stations biologiques traditionnelles.

Les techniques à membranes font partie de l'arsenal considérable que la science et la technologie mettent au service de l'homme pour réaliser de nouvelles approches pour un développement durable.

On n'imagine pas que l'homme s'arrête d'innover, de produire, de consommer. Des milliards d'individus aspirent à un niveau de vie comparable à ceux des pays développés. La croissance est nécessaire pour le bien-être de tous les hommes. Il faut donc inventer de nouvelles

approches du développement en tirant parti des ressources considérables des sciences et techniques. C'est à travers ces ressources que s'opéreront les progrès de qualité, de productivité, de respect des ressources, de prise en compte de la durée dans l'économie ; ceci suppose des visions d'avenir à tous niveaux.

Comme l'on disait à propos de l'essor de Florence et des villes italiennes *"ce qui fait l'homme c'est l'horizon"* on pourrait dire *"ce qui fait le développement c'est l'action des hommes qui dépassent le quotidien et osent préparer l'avenir"* ; c'est l'un des buts de ces journées. Osons pour vos pays faire l'économie des 19^e et 20^e siècles grandement responsables des problèmes que nous avons actuellement dans nos pays industrialisés.

Pour terminer mon exposé :

je voudrais faire référence à Tacite qui disait *"qu'on ne peut gouverner sans laconisme"*, de même, me semble-t-il on ne peut remercier sans sobriété ; sinon la reconnaissance se diluerait dans l'abondance des mots. Aussi je dirai un simple mot : **Merci**, mais du fond du cœur.

Merci à Mr le Recteur de l'Université Cheik Antan Diop. Un merci spécial à Mr le Doyen Seck de la Faculté des Sciences et Technologies, à Mr le Dr. Courfia Diawara dont l'énergie, la gentillesse n'ont d'égal que son efficacité ; merci à vos équipes.

Un grand merci

- au Comité Local d'Organisation pour tous les efforts faits afin que ces 3 jours soient les plus agréables et enrichissants possibles pour tous ; vous nous offrez un accueil et un cadre propice au travail.
- aux conférenciers qui ont accepté de venir témoigner, durant ces 3 jours, de la potentialité de ces nouvelles techniques pour le traitement de l'eau de boisson et des effluents
- à l'Académie des Sciences et Techniques du Sénégal
- à l'Académie des Technologies de Paris représentée ici par son Président François Guinot, un précurseur du développement durable ; jeune Académie dont la devise merveilleuse est : *"Pour un progrès raisonné, choisi et partagé"*
- à l'Académie des Sciences de Paris à Monsieur André Capron Directeur Relations Internationales de l'Académie des Sciences, représenté ici par Mr J-M Guastavino ; et au-delà aux 90 Académies des Sciences du Monde regroupées au sein de l'Inter Académic Panel (IAP) qui œuvre à la diffusion du savoir au sein d'actions concrètes telles le Women Health Education Program. Le WHEP qui est l'un des programmes scientifiques internationaux de l'IAP. Ce programme, a été créé à l'initiative de

Monsieur A. Capron de l'Académie des Sciences de Paris ainsi que l'Académie du Sénégal. Ce programme est chargé d'accompagner les projets nationaux contribuant à l'amélioration de la santé de tous, par l'éducation des femmes dans les pays en développement.

"La santé au fil de l'eau" est le programme actuellement développé pour l'éducation à la santé par les femmes dans le bassin du fleuve Sénégal. Mr J-M Guastavino nous en parlera longuement.

Merci à tous ceux qui ont aidé financièrement cette Ecole afin que le succès soit total :

- les entreprises présentes à cette Ecole
- l'Académie des Sciences et de la Technologie du Sénégal
- l'Académie des Sciences et l'Académie des Technologies de Paris
- le bureau de l'UNESCO à Dakar : le BREDA (Bureau Régional sur l'Education en Afrique)
- Le Ministère des Affaires Etrangères Français à Tunis et Dakar
- la Société Véolia par l'Institut Véolia Environnement
- la Société Pall
- le Pôle Universitaire Européen de Montpellier
- la Commission Nationale Française pour l'UNESCO
- le CNRS - Paris

Pour terminer parmi tous les souhaits de succès, d'amitiés, d'échanges humains et scientifiques que je formule pour cette réunion, je formulerai le souhait que de *cette semaine d'information par des mots*, nous en fassions un *avenir de création par des actes*.

L'AFRIQUE dans le DÉVELOPPEMENT DURABLE

Quelques réflexions sur le passage de la notion d'aide à celle de partenariat

François GUINOT

Président de l'Académie des technologies.

www.academie-technologies.fr

E-mail : president@academie-technologies.fr

Monsieur le Recteur, Monsieur le Doyen, Cher Professeur Louis COT,
Mesdames et Messieurs les Professeur et Directeurs,
Mesdames et Messieurs, Chers Amis,

Mes premiers mots seront pour exprimer le plaisir que j'ai à me retrouver ici à Dakar, au Sénégal, au milieu d'amis de huit autres pays de l'Afrique de l'ouest, mais aussi du Maroc, de Tunisie, des Iles Canaries et de France.

Cette rencontre pendant trois jours promet d'être fructueuse. Je remercie vivement ses organisateurs, le Dr. Diawara, le Professeur Cot, qui m'ont permis de prendre la parole au moment où elle s'ouvre.

Je souhaite le faire en montrant combien le concept de développement durable a récemment évolué ; pourquoi il représente désormais une chance pour l'Afrique, en démontrant au reste du monde qu'il a intérêt à son développement, et à elle-même qu'elle doit se positionner comme partenaire.

Aujourd'hui même, à Heiligendamm, sur la Baltique, et pour ces mêmes trois jours, s'ouvre le sommet des chefs d'Etats et de gouvernements du G8. Le Président de la République Française, la Chancelière allemande ont rappelés ces jours derniers que l'Afrique et le développement durable devraient en être des thèmes prioritaires. Plusieurs leaders politiques africains y sont invités, dont le Président du Sénégal..

Après trop d'espoirs déçus faut-il y voir un indice que les changements attendus seraient enfin en train de se dessiner ?

Puisque ce qui nous réunit ici touche aux perspectives d'une coopération scientifique technique et économique, je voudrais dans cette introduction resituer les technologies au cœur du développement durable, concept indispensable à l'humanité pour sortir des risques considérables auxquels elle se trouve confrontée.

Ce terme de développement durable s'est affadi par l'usage immodéré qui en a été fait et pour beaucoup il n'en reste qu'une vague notion de protection de l'environnement.

Je voudrais en quelques mots le rétablir dans toute sa force d'un modèle de développement en espérance qui marque une rupture nécessaire ; nous verrons alors la

place que les technologies occupent dans ce modèle, et nous ne ferons qu'esquisser les évolutions scientifiques, économiques, sociales et culturelles que suppose sa réussite. Ce concept a été élaboré autour de deux idées force.

La première – celle du développement – partait d'un constat : nos sociétés, toutes nos sociétés, ont besoin de croissance pour gérer leur évolution, quel qu'en soit le stade. Le contenu à donner à cette croissance peut être discuté. La nécessité même d'un développement est indiscutable, sauf pour les tenants de "l'écologie profonde" qui en rejettent l'idée même, puisqu'ils considèrent l'homme comme la pire des pollutions.

La seconde idée portait sur les limites que rencontre le modèle de développement suivi jusqu'ici. Il a, certes, apporté à ceux qui en ont bénéficié un bien-être, des savoirs, une longévité jamais connus auparavant. Mais il s'accompagne d'impacts inquiétants sur les équilibres naturels : réchauffement climatique, épuisement des ressources fossiles, pollutions diverses, destructions d'écosystèmes et disparitions d'espèces, épuisement des sols, etc ...

A partir de ces deux idées, ce concept a associé **l'efficacité économique**, condition du développement, à l'évolution vers des comportements de **prudence écologique** et à la volonté de laisser aux générations futures la capacité de choisir leurs propres options de développement.

Toutefois **cette solidarité avec les générations futures**, cette solidarité décalée dans le temps n'est pas ressentie comme une contrainte véritable capable de provoquer les décisions immédiatement nécessaires et de surmonter l'inertie de nos systèmes. Peu à peu, **le concept** a glissé vers une approche mièvre, trop souvent **ramenée à une charge émotionnelle en faveur de "tout ce qui est naturel"**.

Cette approche est aujourd'hui dépassée.

Nous voulions changer de modèle en raison des risques qu'il faisait courir à l'espèce humaine. Nous oublions qu'il a entraîné vers le progrès tel que nous l'entendons – bien-être, savoirs, longévité – 20% seulement de l'humanité.

Or, voici que plus de 40% de cette humanité s'invitent avec force à la table du progrès : la Chine, immense, au tout premier rang, derrière laquelle se profile l'énorme silhouette de l'Inde, la Russie, le Brésil, ..., et d'autres pays encore, dont un petit nombre en Afrique.

S'ils devaient suivre le modèle que nous avons suivi, les risques redoutés deviendraient vite des dangers imminents.

Dès lors, nous sommes enfermés **dans une dialectique de l'impossible et de l'inacceptable**. Il est impossible pour la sauvegarde de la planète que les pays émergents se développent selon le modèle ancien. Mais il est évidemment inacceptable de les empêcher de se développer.

Qui le pourrait d'ailleurs ? Et comment le pourrait-on sans entrer dans des conflits désastreux ? Ne soyons pas naïfs; les risques de conflits existent. La raréfaction des

ressources naturelles, énergétiques en particulier, devant une demande en croissance irrépensible devient un élément majeur de géopolitique. Aussi, les Etats-Unis d'Amérique entendent bien en 2015 retirer d'Afrique 15% de leurs besoins en pétrole. Et la Chine de Hu Jintao développe massivement ses échanges avec l'Afrique en n'oubliant évidemment pas ses intérêts énergétiques ... Cette raréfaction des ressources naturelles explique pour une large part des conflits existants dans le monde. Elle nourrit des tensions dont la gestion appelle **une gouvernance mondiale repensée**.

Face au risque réel de la régression que représenteraient des conflits élargis au sujet du partage des ressources, il **n'existe qu'une alternative**. Elle consiste en une **solidarité obligée et immédiate** avec les pays émergents.

Pour échapper à l'impossible et à l'inacceptable, nous devons **nous engager dans une dialectique de concurrence et de partenariat**.

Prenons l'exemple de la Chine. Si nous voulons éviter l'asphyxie de la planète, il y a urgence à ce que ses fours à ciments, ses aciéries, ses centrales thermiques au charbon, ... enfin tout son appareil industriel vétuste soit reconverti aux technologies les plus modernes. Ceci exacerbe évidemment la concurrence. C'est le prix à payer – et à moduler par une gouvernance mondiale repensée – en attendant que se rapprochent les niveaux de vie ... Ce mouvement est en marche, vous le savez. Un Etat centralisé, des investissements massifs en infrastructures, des investissements étrangers directs de 63 milliards us \$ (qui ne représentent que 6% de l'investissement total), une masse d'individus bien formés, un marché intérieur insuffisant mais en fort développement, voilà les ressorts principaux de ce mouvement.

J'ajoute que la multiplication des échanges entre jeunes générations me paraît être un élément aussi important que les transferts massifs de technologies modernes. C'est en effet, grâce à ces échanges que la concurrence sera demain plus loyale et les partenariats plus nombreux et approfondis.

Mais j'en viens à ce qui est pour moi essentiel dans ce nouveau concept de développement durable : **la solidarité obligée et immédiate** ne se limite pas aux grands pays émergents. Elle **s'étend à tous les pays, y compris aux plus démunis**.

Les deux milliards d'êtres humains qui n'ont aujourd'hui pour source d'énergie que les trois pierres entre lesquelles ils font brûler ce qu'ils peuvent interviennent fortement dans les émissions de CO₂, dans la déforestation ou l'appauvrissement des sols, dans la progression des déserts ... Ces deux milliards seront bientôt quatre !

Vous savez bien qu'il existe par exemple un cercle vicieux entre pauvreté et désertification. L'ONU a décrété 2006 année de la "désertification". 40% des terres disponibles sont touchées par ce phénomène.

Plus on est pauvre, plus on surexploite son environnement immédiat même si cela doit amener à sa destruction à moyen terme. L'extrême misère ne permet pas à ceux qu'elle frappe de se soucier de l'avenir à terme de la planète, alors qu'ils vivent dans l'angoisse de leurs propres lendemains. Mais le "poids" que représentent les populations de ces pays démunis dans l'évolution des dynamiques naturelles ne permet plus qu'on les ignore.

Ainsi, la solidarité envers les pays les plus démunis **devient un des articles forts de l'assurance survie** de l'espèce humaine toute entière. Pour que chacun le comprenne, il faut de toute urgence développer cette prise de conscience.

Ce double mouvement de la remise en cause par les pays riches de leur modèle de développement et de l'émergence de grands pays amène à cette prise de conscience forte des réalités qui concernent **l'espèce humaine prise dans son ensemble**.

L'espèce humaine porte son propre potentiel d'évolution.

Depuis son premier outil, depuis sa première arme, il lui a fallu 3 millions d'années pour parvenir à compter 1,5 milliards d'individus au début du 20^{ème} siècle. En une vie d'homme, en 75 ans, ce nombre aura quadruplé pour atteindre plus de 6 milliards. Selon les démographes, il devrait dans les décennies à venir s'élever jusqu'à 9 à 10 milliards puis plafonner à ce niveau.

Voilà des données qu'on ne peut ignorer.

Voilà une espèce humaine qui, par le poids qu'elle a acquis, par son omniprésence à la surface du globe, se trouve désormais dans une situation de dépendance réciproque avec les autres espèces vivantes et la planète qui les porte. Au-delà des aspects quantitatifs, il convient d'affirmer et de conserver son potentiel d'évolution.

Pour la planète elle-même, rien n'est jamais resté figé dans une situation donnée. Elle n'a cessé d'évoluer et bien avant toute pression anthropique, sa biosphère a connu cinq grandes extinctions. Il faut garder à cette planète et aux autres espèces qu'elle porte leurs propres potentiels d'évolution.

Les scientifiques admettent aujourd'hui que c'est dans les interactions entre la Nature et les différentes communautés d'hommes – c'est-à-dire entre Nature et cultures – que doivent coexister ces différents potentiels d'évolution. C'est une notion nouvelle et très riche.

Le **concept de développement durable**, selon la définition à laquelle j'adhère, est basé sur cette notion nouvelle de **co-évolution harmonieuse entre l'espèce humaine, les autres espèces et la planète qui les porte**.

Il s'impose comme une nécessité absolue et s'articule autour de trois axes indissociables :

L'efficacité économique,

la solidarité humaine, large et immédiate,

la recherche des conditions pour une évolution de l'espèce humaine en symbiose avec celle des autres espèces et de la planète,

L'efficacité économique, car sans combinaison entre économie et écologie, on ne parviendra à rien. Et je trouve très sages les organisateurs de cette rencontre qui ont su réunir des chercheurs, des formateurs, des techniciens et des entrepreneurs que je salue amicalement.

Autrement contraignante que la notion floue et décalée d'une solidarité avec les générations futures, **l'exigence d'une solidarité humaine large et immédiate**, inséparable des deux autres composantes **donne à ce concept une force nouvelle**.

Nécessité absolue, le développement durable est aussi **une vraie rupture**. Autrement riche que la vague notion de prudence écologique antérieure, cette co-évolution, ce passage de la position de prédateur à celle de symbiote va nous révéler l'étendue de nos ignorances. Il va exiger de formidables besoins de recherches fondamentales ...

Considérons l'évolution des climats. On en admet aujourd'hui la perturbation, le réchauffement en liaison avec les activités humaines. Mais si l'on admet une corrélation, on est loin d'apporter des explications. La combinaison du rôle des océans, de la tectonique des plaques, de la biochimie du phytoplancton, des microorganismes océaniques est loin d'être démêlée, et demandera des travaux considérables de disciplines très variées pour être clarifiée.

Comment pourra-t-on imaginer une agriculture respectueuse de ce concept renouvelé de développement durable sans connaître beaucoup mieux les interactions entre les sols, les végétaux, les insectes, les microorganismes ...? On en est loin.

Oui, il y a un énorme déficit de connaissances fondamentales pour que l'homme puisse parvenir au statut de symbiote.

Je ne vais pas développer ce point maintenant, quoiqu'il soit fondamental dans l'appréciation du concept de développement durable en tant que rupture.

Je préférerais partager avec vous quelques réflexions sur cette notion d'une **solidarité obligée, large et immédiate** qui est une autre composante toute aussi importante de cette rupture.

Elle signifie que **le monde a intérêt au développement du continent africain**.

Elle signifie que l'aide au développement ne relève plus des sentiments de ceux qui l'apportent vis-à-vis de ceux qui la reçoivent. La bonne conscience, la générosité ou la commisération des uns souvent suspectes aux autres, font place à la notion **d'intérêts partagés**. Moralement, c'est peut-être moins satisfaisant, mais c'est sans doute plus sûr.

Qui dit intérêts partagés dit **partenariats**. C'est désormais sur la base de partenariats que doivent se repenser les liens existants ou se nouer les liens futurs entre les pays africains et les autres pays.

Le continent africain porte l'une des populations les plus jeunes du monde. 48% des africains ont moins de 15 ans. D'ici 2025, les 750 millions d'habitants de l'Afrique subsaharienne, orientale et australe seront devenus 1100 millions.

Comment le monde pourrait-il se désintéresser de cette part importante de l'espèce humaine et des problèmes que soulève son évolution pour les dynamiques naturelles de la planète et des autres espèces ?

De ce point de vue, **le développement de l'Afrique sera déterminant pour la réussite du développement durable**.

Comment pourrions-nous parvenir à des politiques migratoires raisonnables si des pans entiers de ce continent étaient condamnés à la misère à perpétuité? Comment ceux-ci pourraient-ils se développer si comme aujourd'hui, les personnes qualifiées qui représentent 4% de la population active forment 40% des effectifs de migrants ?

L'émigration massive sous la pression de conditions de vie inacceptables ne peut être une politique durable ...

Tous les aspects du problème que vous connaissez mieux que moi, renforcent l'idée **d'intérêts partagés** et conduisent à la **nécessité de partenariats pour un co-développement**.

Cette notion de co-développement reste à construire.

La première de ses dimensions est évidemment l'éducation.

Que cette réunion soit aujourd'hui organisée en coopération avec la Chaire Unesco-simev doit nous inciter à ne pas l'oublier.

Ces partenariats, ce co-développement font nécessairement appel aux technologies.

Et la réunion qui s'ouvre ici pour trois jours trouve tout son sens : autour du thème "Eau et Santé", nous n'allons pas assister à des discussions éthérées sur les mérites respectifs de telle ou telle technologie, mais bien jeter les bases de partenariats pour des choix technologiques au service du développement ; des choix économiques justifiés, des choix adaptés aux conditions régionales de leur mise en œuvre, y compris les conditions culturelles.

Quelques exemples simples montrent combien les technologies sont au cœur du développement durable.

Les technologies liées à l'énergie s'y trouvent évidemment placées, puisqu' existent des liens étroits entre les choix énergétiques, le niveau de consommation énergétique et l'évolution de la planète sous l'effet des changements climatiques.

Par ailleurs, l'accès à l'énergie est une donnée essentielle du développement. Il détermine, j'y faisais allusion il y a un instant, une véritable géopolitique de l'énergie qui contient en germe des risques de conflits majeurs, qui ruinerait le concept de développement durable. Les Etats-Unis d'Amérique, la Chine, le Japon, la Russie, l'Amérique du Sud tiennent l'énergie pour une clef ou même la clef de leur politique internationale. L'union Européenne, prenant conscience de la vulnérabilité que lui vaut une dépendance énergétique de plus de 50% place aujourd'hui et enfin cette question dans ses priorités. Elle discute les moyens d'éviter de passer d'une trop forte dépendance du pétrole du Moyen Orient à une dépendance trop grande du gaz russe ...

Mais au-delà de ces grandes manœuvres géopolitiques, les technologies de l'énergie sont aussi au cœur du développement durable parce qu'elles touchent à la santé publique, à l'espérance de vie.

La mortalité infantile est fortement corrélée à la consommation énergétique individuelle. Elle décroît en fonction de celle-ci. L'asymptote est atteinte vers 4 tonnes d'équivalent-pétrole par an (4 tep/an). L'espérance de vie s'accroît régulièrement jusqu'à ce même niveau de 4 tep/an. Au-delà, aucun gain n'est perceptible pour chacun de ces deux critères.

Plus précisément encore, on considère que le minimum vital se situe à 0,5 tep/an et que le minimum pour qu'une population puisse assurer son développement se situe de 1,5 à 2 tep/an/habitant.

Notre Académie de Médecine a montré, lors du colloque "Choix énergétiques et Santé" en 2003, que **"le plus grand risque pour la santé publique est de manquer**

d'énergie". De ce fait, c'est aussi le plus grand risque pour le développement. Sans énergie, pas de chaîne du froid pour conserver des vaccins ou des aliments dans de bonnes conditions ; pas d'utilisation des TIC pour l'information, la formation, l'enseignement ; pas de pompes pour tirer l'eau du puits, disposer de pression suffisante pour utiliser des systèmes de purification ou activer des systèmes d'irrigation économes en eau, etc ...

Les chiffres des perspectives énergétiques de l'espèce humaine illustrent à la fois l'impact de celle-ci sur l'avenir de la planète et la nécessaire solidarité qu'elle doit obligatoirement instaurer parmi ses membres.

Entre le début de l'ère industrielle, au commencement du 19^{ème} siècle, et la fin du 21^{ème}, on aura connu :

une multiplication par 10 de la population mondiale (de 1 à 10 milliards),

une multiplication par 10 de la consommation individuelle d'énergie,

ce qui conduit à :

une multiplication par 100 de la consommation globale d'énergie,

qui provoque :

une multiplication par 2 à 3 de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère.

En limitant la **projection à l'année 2050**, la plupart des prévisionnistes estiment entre **15 et 20 giga tep le besoin mondial d'énergie, contre 9 aujourd'hui. Le double.**

Ce doublement repose sur deux hypothèses qui ne sont pas échevelées :

un développement économique modéré des pays pauvres qui suppose pour leurs 8 milliards d'habitants une consommation individuelle de 1,5 à 2 tep/an, qui correspond au minimum que j'évoquais à l'instant.

Une forte réduction de la consommation individuelle dans les pays riches (1,25 milliards d'habitants), qui passerait d'une moyenne de 6 à 4 tep/an.

On mesure par là l'énormité des contraintes qui pèsent sur la planète, mais aussi l'énormité des problèmes que pose à l'espèce humaine sa propre évolution. Il va falloir – que dis-je, il faut de toute urgence – des politiques nouvelles et des comportements nouveaux, des politiques qui imposent des comportements nouveaux.

Les politiques ne peuvent à un instant t prendre des décisions contraignantes dont les effets bénéfiques espérés se manifesteront dans 30 ans, bien au-delà de leur horizon électoral. Pour qu'ils y parviennent, ils doivent être suivis ou poussés par une majorité de citoyens qui en ressentira fortement l'urgence. C'est à cette prise de conscience que nous devons nous attacher.

L'humanité s'urbanise. Avant la fin du siècle, 80% des humains vivront dans des centres urbains.

L'Afrique n'échappe pas à ce mouvement. Elle connaît l'une des croissances urbaines les plus rapides du monde. En 2030, 50% des africains devraient vivre et travailler en milieu urbain. Mais 7,5% seulement des citoyens africains disposent aujourd'hui d'habitats reliés à des réseaux d'égouts. 72% de ces citoyens vivent dans des conditions très précaires.

5000 enfants de moins de cinq ans meurent chaque jour dans le monde de n'avoir accès qu'à des eaux polluées. Et autant d'adultes ... C'est dire combien les technologies de traitement des eaux sont capitales pour la santé, et par conséquent pour le développement.

C'est dire aussi l'importance des technologies qui se multiplient pour donner accès à des sources d'énergies fiables et propres et qui peuvent être aisément délocalisées. Pour toutes les populations qui, pour des raisons de choix d'investissements d'infrastructures ou d'impossibilités géographiques, n'auront pas accès à des réseaux nationaux ou transnationaux de distribution de l'énergie, ces **technologies d'énergies délocalisées** apporteront des améliorations considérables dans leurs conditions de vie. De façon plus générale, la question du financement de ces technologies délocalisées et adaptées est cruciale. Les **techniques du micro crédit** peuvent y intervenir très positivement.

Il n'est pas nécessaire, en ouvrant cette réunion de trois jours, d'entrer dans le détail des panoplies des technologies existantes ou à développer. Dans tous les domaines, énergie, santé, eau, habitat, agriculture, transports, ... les besoins d'innovations technologiques ou d'adaptations de technologies existantes sont immenses.

Il me semble qu'autour de ces besoins devraient se bâtir **les partenariats qui formeront la trame du co-développement**.

Il me semble que c'est précisément ce que vous entreprenez ici, et que vous le faites de la bonne façon en alliant information, formation, développement, concrétisation.

Le **partenariat** a pour fondement le respect mutuel des partenaires. Il ne se réduit pas à des échanges sur des technologies. Sa **dimension culturelle est forte**.

Vous me permettrez d'en donner un exemple vécu qui vaut plus qu'un long discours.

Dans la deuxième partie des années 80, la Fondation Rhône-Poulenc Santé que je venais de créer, s'intéressait aux carences en iode. Ces carences se développent lorsque la nourriture dépourvue de poissons de mer, ou provenant de poissons issus d'eaux courant sur des sols usés n'apporte plus aux êtres humains la quantité pourtant minime d'iode qui leur est indispensable. Les carences se manifestent par des goitres, par des taux parfois dramatiques de naissances d'enfants arriérés mentaux, par des naissances prématurées d'enfants dont la croissance est à haut risque dans les pays pauvres. Les carences sont réglées sans problème dès lors qu'est organisé un apport des quelques dizaines de milligrammes d'iode nécessaires quotidiennement.

Elles l'ont été dans les vallées alpines profondes, suisses ou françaises, à l'issue de la dernière guerre mondiale par la distribution de sel de table iodé. Il n'y a plus de « crétins des Alpes ».

Mais en Afrique, en Asie, en Inde, des centaines de millions d'êtres humains sont carencés.

L'idée de notre Fondation a été d'associer l'apport d'iode à l'eau de boisson. L'iodation du sel est coûteuse en investissement, en maintenance et en distribution. Et dans nombre de pays concernés, rien n'est moins sûr que la régularité des repas alors que tout le monde doit boire régulièrement pour survivre. Dans beaucoup de villages, des pompes à bras très robustes ont été installées, qui puisent l'eau des nappes phréatiques. Leur entretien nécessite qu'elles soient relevées une fois l'an seulement. Notre idée fut

de rechercher un moyen d'accrocher à ces pompes un système qui, pendant 365 jours, relarguerait de façon régulière les quantités nécessaires d'iode. La solution fut trouvée par nos chercheurs en incluant un dérivé iodé dans une matrice de silicone qui diffuse l'iode selon une cinétique d'ordre zéro. "High tech" dans sa conception, cette solution était économique.

Nous étions au Mali. Dans la culture Bambara comme dans beaucoup d'autres, on ne touche pas innocemment à l'eau. Plus qu'une ressource rare, elle est porteuse de symboles, de mythes liés à l'essentiel, à la vie.

Alors dans les cinq villages où devait se réaliser l'étude de l'efficacité de notre procédé, nous nous sommes attachés à convaincre les anciens et leurs conseils. Cela a pris du temps. Ici les goitres apparaissaient comme "normaux" puisque le puits était situé au pied d'un nouveau baobab qui y plongeait ses racines. Ceux qui buvaient cette eau trouvaient "naturel" que les nœuds de baobab ressortent sous forme de goitres. Ils voulaient y voir la transmission de la longévité réputée de cet arbre. Ailleurs, on s'interrogeait sur ces carottes de silicone porteuses de dérivé iodé ; sur ce que serait son comportement pendant une année dans le puits...Oui, cela a pris du temps pour expliquer et convaincre, et cela n'a pu se réaliser qu'avec l'aide d'un "médiateur" bambara d'une qualité humaine exceptionnelle et, je tiens à le souligner, avec le soutien très vite acquis et très déterminé des femmes de ces villages. L'expérience a été une réussite totale.

A l'ombre des majestueux manguiers où se tenaient les conseils des anciens, dans la chaleur africaine du climat et de l'amitié, j'ai reçu la leçon de la dimension culturelle du développement.

J'en ai retenu le message essentiel : la sagesse veut que l'on n'impose pas une nouvelle technologie. On doit s'attacher à la faire accepter. Au delà d'une volonté politique, il revient au technologue d'intégrer dans son projet le prérequis de l'acceptabilité sociale. Mais cette volonté et cette acceptabilité sont grandement facilitées si les technologues sont capables de présenter une panoplie de technologies qui permette un choix adapté aux situations rencontrées. Et cette leçon que l'Afrique m'a offerte est une leçon universelle.

J'en ai retenu aussi combien les femmes sont des acteurs clef du changement dans les comportements et par conséquent combien leur alphabétisation et leur éducation sont des leviers formidables du développement.

Mesdames et Messieurs, je veux croire avec vous – et c'était le sens de ce propos introductif à vos travaux – je veux croire que le développement durable ouvre une ère nouvelle et appelle à de vrais partenariats pour un vrai co-développement.

Notre Académie des technologies est la plus jeune de nos grandes académies nationales. Le 14 mars dernier, le Premier ministre l'a installée dans son statut définitif au Palais de la Découverte où se situera son siège.

Je veux très simplement vous dire qu'elle s'attache avant tout à mériter d'être reconnue comme l'intermédiaire de choix entre les décideurs et l'opinion publique pour favoriser un progrès au service de l'Homme. A ce titre, le concept de développement durable, tel que je le décris, représente l'intégrale de tous ses objectifs.

Pour cette raison, elle est déterminée à soutenir, avec vous si vous le souhaitez, une approche nouvelle des relations avec vos pays africains, basée sur de vrais partenariats. Qu'il s'agisse de formations techniques et professionnelles, trop absentes des établissements français d'enseignement en Afrique ; d'enseignements à distance, en partenariats entre des établissements universitaires français et africains conduisant à des diplômes reconnus ; d'échanges d'étudiants et de visa de longue durée pour études, etc ... ou d'échanges comme ceux que vous organisez ici dans des domaines scientifiques, technologiques ou économiques, notre Académie souhaite vivement tisser avec vous les liens confiants qui favoriseront l'aboutissement de vos projets.

Je termine en vous disant ma gratitude pour m'avoir permis d'être avec vous lors de cette première réunion. Je suis convaincu qu'elle marquera le début de relations approfondies, fructueuses et empreintes d'une amitié sans fard, sincère.

PROGRAMME D'EDUCATION DES FEMMES A LA SANTE

(Women Health Education Programme)

« *La Santé par les Femmes* »

*Académie des Sciences, Institut de France
Délégation aux relations internationales
23 quai de Conti, F 75006 Paris*

André CAPRON - Président - andre.capron@academie-sciences.fr

Jean-Marie GUASTAVINO – Chargé de Mission - jean-marie.guastavino@academie-sciences.fr

Jacques FRÖCHEN - Directeur - jacques.frochen@academie-sciences.fr

Gilles RIVEAU - Chargé de Mission - gilles.riveau@pasteur-lille.fr

Isabelle THOMAS - secrétariat - isabelle.thomas@academie-sciences.fr

Tél : +33 1 44 41 44 04

Fax : +33 1 44 41 45 54

www.whep.info

L'éducation est la pierre angulaire de toutes les stratégies de développement. Il n'est aucun domaine, eau, énergies, environnement, nutrition, santé où elle ne soit indispensable aux progrès des sociétés. L'amélioration de la santé dans les pays en développement, objectif essentiel du millénaire répond plus que tout autre à cet impératif éducatif où la femme joue un rôle dominant.

L'ambition du programme WHEP(*) consiste, en renforçant le pouvoir des femmes dans ce domaine, à développer une stratégie innovante d'éducation fondée sur l'appropriation, l'intégration communicative, la durabilité et l'évaluation.

Sous l'égide de l' « Inter Academy Panel for International Issues » (IAP), et avec le soutien de l'UNESCO, 24 académies se sont jointes à cette initiative de l'Académie des Sciences de France et visent à la création d'un réseau mondial d'initiatives en faveur de l'éducation à la santé par les femmes dans les pays en développement.

Historique :

Présenté en décembre 2003 à l'Assemblée générale de l'IAP qui regroupe plus de 90 Académies des Sciences dans le monde), le programme a été approuvé par le Comité Exécutif de l'IAP en février 2004 et lancé en juillet de la même année. Deux réunions de son Conseil scientifique ont eu lieu en septembre 2005 et octobre 2006.

Assurant la suite du programme Santé de la Mère et de l'Enfant (Mother and Child Health Programme) il s'attaque à l'un des problèmes les plus tragiques de notre époque: la mortalité maternelle et infantile dans les pays en développement. Il est clair désormais que Education et Prise de conscience des femmes constituent les solutions clés pour remédier à cette terrible situation aux dimensions humaines, sociales, mais aussi économiques et culturelles.

Les initiatives qui ont précédé ont été le plus souvent brèves, dépourvues d'évaluation et fondées sur la passivité des personnes - cibles. Les mots-clés du programme WHEP sont au contraire:

- permanence des actions dans le temps,
- appropriation
- évaluation continue,
- intégration aux contextes sociaux, géographiques, économiques, et aux données de l'éducation formelle et non - formelle.

Ces actions sont développées pour les femmes à tous les âges de leur vie et en cohérence avec leur rôle familial et social.

Les fondements du programme

Les Académies des Sciences sont appelées à jouer un rôle majeur dans l'évolution des sociétés du savoir. Elles apportent expertise et conseil aux citoyens et aux décideurs sur les aspects scientifiques des enjeux mondiaux, comme celui de la santé. Fondement du bien-être physique et intellectuel de chacun, la santé joue un rôle déterminant dans le développement économique des nations. Cependant, richesse mal partagée dans le monde, la santé publique continue, en dépit d'efforts importants, à accuser une aggravation dramatique dans de nombreux pays en développement : maladies infectieuses, mortalité maternelle et infantile, malnutrition...

Les femmes représentent les acteurs essentiels du développement des sociétés où elles jouent un rôle primordial dans le domaine de la santé et de l'hygiène. Leur implication est un enjeu majeur sur lequel se fonde WHEP.

L'objectif du programme

WHEP a pour objectif de promouvoir la santé par les femmes en favorisant et adaptant toutes les méthodes d'éducation disponibles.

Animé par la volonté de rénover l'esprit et les procédures des programmes d'aide pour la santé, WHEP inscrit ses objectifs dans une démarche novatrice issue directement des problématiques de terrain.

Dans le respect des cultures, WHEP vise ainsi à favoriser l'appropriation du savoir et sa pérennisation en mettant toutes les méthodologies scientifiques au service de l'action et de son évaluation.

Les choix stratégiques

Les Académies des Sciences ont pour mission de s'impliquer pour aider les États à accroître leur capacité d'enseignement et de recherche. WHEP, l'un des grands programmes de l'IAP, qui regroupe plus de 90 Académies des Sciences, vise à définir des stratégies et des méthodes d'éducation à la santé par les femmes.

Au-delà des barrières culturelles, WHEP fonde ses actions sur l'universalité du savoir et la capacité de chacun à y accéder et à se l'approprier en intégrant les spécificités culturelles de sa communauté.

Les actions

A l'initiative d'instances locales, nationales et internationales, WHEP pilote des projets concrets d'éducation à la santé intégrés aux politiques de formation. WHEP s'attache par ailleurs à évaluer ces actions et à en préparer l'extension en élargissant le cadre de leur application.

Ainsi...

Un atelier d'orientation s'est tenu les 10 et 11 Mars 2005 à Paris (Sèvres). 50 participants d'Europe, d'Afrique et d'Amérique ont conclu à la nécessité d'une évaluation globale des programmes existants dans le domaine de l'éducation à la santé, notamment en Afrique, et de constituer un groupe d'académies pour étudier la meilleure façon d'atteindre les Objectifs du Millénaire pour le Développement, fixés par l'Organisation des Nations Unies relativement à la Mère et à l'Enfant..

Le projet EPLS-WHEP « La santé au fil de l'eau » (région de Gamadji-Saré). En étroite collaboration avec l'Académie des Sciences et Techniques du Sénégal et sous le patronage des autorités régionales, nationales et internationales, WHEP conduit un projet pilote d'éducation à la santé en milieu scolaire rural, dans le cadre de l'aménagement du bassin du Fleuve Sénégal : « la santé au fil de l'eau ». Son objectif est de développer les savoirs sanitaires des enfants et de modifier au quotidien leurs gestes de santé. Compte tenu de l'intégration des enfants au sein de leurs familles et de leurs communautés, l'éducation à la santé paraît aussi facile dans la cour de l'école que dans les salles de classes. L'Académie des Sciences et des Techniques du Sénégal et les autorités gouvernementales jouent un rôle essentiel dans la préparation des outils d'enseignement. A cet égard trois étapes sont prévues : percevoir l'eau et prendre conscience de soi ; comprendre ; agir sur soi et les autres.

Des documents pédagogiques, affiches, plaquettes, accessibles sur le site web sont publiés pour assurer la transparence des démarches, favoriser le concours des partenaires impliqués dans des actions analogues, et en faciliter l'appropriation, l'amélioration, la diffusion voire l'extension.

Un site internet whep.info (en français et en anglais) au service de tous les acteurs impliqués dans le programme. Il a été conçu pour coordonner les informations et en général les échanges d'idées, de projets de formation et d'éducation, de documents pédagogiques et d'information... au sein de la communauté des acteurs de Whep. Un bulletin est régulièrement adressé à ceux qui le souhaitent. Les échanges réciproques deviennent possibles entre les milieux de l'éducation et de la santé publique et de la médecine. Le site est aussi conçu pour constituer un recueil accessible à tous de données éducatives et médicales, bibliothèque au service de tous, en premier lieu les acteurs de terrain, un site réellement interactif!.

De nouveaux projets en cours d'examen par l'IAP...

- au **Sénégal**, l'extension du projet pilote "Eau et santé" avec le concours de l'Académie des sciences du Brésil, qui anime un programme spécial de l'IAP sur l'Eau ;
- au **Maroc**, sur l'eau, les femmes et le pouvoir de décision (projet animé par Asma El Kasmi, titulaire de la Chaire Unesco du même nom à l'Université Al Akhawayn) ;
- aux **Philippines**: sur le traitement de déchets ménagers, où les femmes jouent un rôle de premier plan pour la préservation de l'environnement (projet animé par Thelma Tupasi, Académie des sciences des Philippines, NAST, IAMP).

Un réseau de projets sera ainsi constitué en prenant appui sur le site whep.info.

WHEP est un programme fondé sur l'éducation ; il vise à favoriser l'accès des femmes aux savoirs scientifiques touchant notamment l'hygiène et la nutrition, en pleine cohérence avec leur rôle familial et social au sein des communautés où elles vivent, en agissant sur leurs gestes de santé, en un processus intégré aux communautés et impliquant les autorités qui en sont chargées.

ROLE DE L' EDUCATION A LA SANTE PAR LES FEMMES HYGIENE ET ASSAINISSEMENT DE L'EAU TEXTE INTRODUCTIF A LA TABLE RONDE

*Ramatoulaye Sabaly **DIOP** Directrice nationale de l'éducation préscolaire,
28 avenue Leopold Sedar Senghor Dakar- Sénégal.-
Téléphone +221 644 72 75 - E-mail: toulaye10@yahoo.fr*

CONTEXTE ET JUSTIFICATION

En Afrique Subsaharienne, une éducation en matière d'eau, d'assainissement et d'hygiène doit constituer une action majeure dans les programmes de développement.

En tant que ressource nécessaire à toute activité humaine, l'eau contribue au développement harmonieux prôné par l'Assemblée générale des Nations Unies.

Pour sa gestion optimale alors, il faut en plus des dispositions techniques et réglementaires un plaidoyer et des initiatives hardies d'éducation.

Les femmes compte tenu de leur nombre et du rôle actif joué dans l'utilisation et la gestion de l'eau peuvent être des actrices et partenaires de premier plan.

L'Education des femmes peut donc favoriser un changement de comportement. Elle est un préalable à tout développement durable. Cependant toute Education de la femme pour arriver à des fins doit s'appuyer sur les principes suivants :

- Une approche globale

Les atteintes de la santé des individus, des familles, des communautés sont rarement dues à des causes isolées.

Par exemple : le taux de mortalité infantile ne dépend pas seulement d'une pathologie, de l'existence d'un centre de santé ou hôpital. Il dépend aussi du niveau d'éducation de la mère (facteur culturel), de la dimension des familles, des moyens financiers des parents. Trois facteurs majeurs menacent la santé des populations : ce sont : la malnutrition, les maladies transmissibles, la mauvaise hygiène de l'eau .

Dans les régions les plus défavorisées, le problème dominant est celui de l'eau sur lequel il est possible d'intervenir.

Les efforts prioritaires de traitement et surtout de prévention doivent se concentrer sur les trois catégories de risques cités plus haut qui paralysent la vie économique et sociale.

La réussite de ces efforts dépend bien sûr de l'existence d'infrastructures sanitaires, mais d'abord de la compétence, du dynamisme et de l'engagement de la communauté qui avertie, informée et consciente des risques est plus apte à réagir efficacement.

Il faut nécessairement une participation active des femmes pour toute action de développement durable.

Des modules de formation adaptés à leurs réalités doivent être développés à leur intention par exemple :

- **L'Eau potable**

Les risques d'une eau non potable pour la santé publique ,cause de maladies comme le choléra la pneumonie,la typhoïde, les la bilarsiose, la dysenterie t la poliomyélite
L'Excès de fluor, de plomb,est source de problèmes. Les eaux stagnantes développent des parasites.(paludisme, fièvres.....)

- **La qualité de l'eau**

Qu'est-ce-qu'une eau saine ?
Comment se présente une eau saine ?

- **Les sources d'approvisionnement**

Répondent elles au critère de santé , ?
Sont elles suffisantes ?
Les Coûts

- **Le choix d'une source d'approvisionnement,**

Les précautions à prendre
Comment protéger les puits ou les creuser ?

Comment désinfecter les puits.

Les autres sources d'eau, leur protection, Exemple les eaux de pluies (là où l'eau est rare)

Récoltées par les toits ou autre surface.

Comment conserver la qualité de l'eau ?

- **Les systèmes d'approvisionnement :**

Pompes, réservoirs, conduites,
Les Chercheurs et les Industriels doivent s'intéresser à la conception et à la vulgarisation de matériaux simples à faible coût. .

- **Le traitement de l'eau, la filtration, la désinfection.**

Les moyens domestiques, l'ébullition, la désinfection chimique

Comment le faire : chlore, iode.
Le stockage de l'eau à domicile. : Canari à robinet,

- **Des stratégies d'apprentissage à favoriser :**

Partager les informations **les vulgariser** avec des messages simples et accessibles.

Favoriser des séances **de sensibilisation et de formation de proximité** à l'éducation à la santé relative à l'eau.

Baser l'apprentissage dans **un climat confortable et de coopération.**

Choisir une **Pédagogie adaptée, active, prenant appui sur leur vécu et leur réalités.**

Tenir compte des **valeurs. Allier théorie et pratique .**

Pratiquer la dynamique de groupe

Utiliser les techniques audio visuels et les études de cas

Avoir recours aux personnes ressources.

PARTENARIAT NATIONAL DE L'EAU DU SENEGAL (PNES)

*Par M. Ibrahima MBODJI, Secrétaire Exécutif
DGPRE ex-Camp Lat –Dior – Dakar
Tel : 221.842.70.56.
E-mail : info@pnes.sn*

1. Réseau du GWP. Le PNES est un membre de la famille du Partenariat Ouest Africain de l'Eau (GWP/Afrique de l'Ouest) qui est la structure régionale du Partenariat Mondial de l'Eau (GWP) – Global Water Partnership.

Le GWP a été créé en 1996 par la Banque Mondiale, le PNUD et l'Agence Suédoise de Développement International (ASDI). Le GWP est un réseau international des acteurs de l'eau, basé à Stockholm (Suède), dont le rôle est d'appuyer les Etats à la gestion durable de leurs ressources en eau pour le bien être de tous.

2. GWP en Afrique de l'Ouest. Le Partenariat Ouest Africain de l'Eau (GWP/AO) dont le siège est établi à Ouagadougou (Burkina Faso) a été créé en 2002 à Bamako (Mali). Un de ses objectifs est le développement de partenariats nationaux dans les pays de la sous région.

Des PNEs ont été mis en place dans 11 pays (Burkina Faso, Bénin, Cap Vert, Cote d'Ivoire, Ghana, Guinée, Mali, Niger, Nigeria, Sénégal, Togo). En perspective les PNEs des pays suivants restent à créer : Gambie, Guinée Bissau, Libéria et Sierra Léone.

3. GWP au Sénégal. Le PNES est la structure locale du GWP. Il a été mis en place en novembre 2002 sous la forme d'une association à but non lucratif (Récépissé de déclaration d'association n°12038/MINT/DAGAT/DEL/AS du 23 mai 2003), dont les membres représentant des institutions sont regroupés en 7 groupes d'intérêt :

- groupe 1 : Services techniques de l'Etat
- groupe 2 : Elus (parlementaires, élus locaux)
- groupe 3 : Instituts de Formation et de Recherche
- groupe 4 : Associations de Femmes
- groupe 5 : Associations et Groupements d'usagers
- groupe 6 : Sociétés privées
- groupe 7 : ONG

4. Conditions d'accréditation/GWP. Bien que l'établissement des PNEs soit décidé par les Partenaires locaux concernés, l'accréditation de ces PNEs est une décision qui revient au GWP. Il s'agit de :

- a) Respecter les principes et la philosophie du GWP
- b) Respecter la politique du GWP sur les Partenaires
- c) Respecter la politique Graphique du GWP
- d) Établir une plate-forme neutre
- e) Avoir une crédibilité financière et opérationnelle
- f) Préparer le plan de travail annuel qui fait la promotion de la mission du GWP
- g) Coopérer avec le réseau élargi du GWP
- h) Assurer un contenu de haute qualité

Etre accrédité, c'est être autorisé à utiliser le nom « Partenariat Mondial de l'Eau – GWP ». La nouvelle Politique sur les Partenaires déclare clairement que les Partenaires sont des institutions et non des individus. Tous les Partenaires (institutions) enregistrés sont alors automatiquement Partenaires du réseau mondial. Les personnes physiques intègrent le réseau en qualité de « personnes ressources ».

5. Organisation du PNES. Le PNES compte près d'une centaine de membres. Les organes statutaires sont : Assemblée Générale, le Comité de Direction (CD), le Comité Scientifique et Technique (CST) et le Secrétariat Exécutif (SE). Le CST est l'organe consultatif du Comité de Direction chargé de l'élaboration et de la mise en œuvre de son plan d'actions. Le SE est l'organe d'exécution du PNES.

En perspectives, il est envisagé la mise en place des structures décentralisées du PNES en tenant compte des critères administratifs, écologiques, hydrologiques, etc.

6. Mission du PNES. La mission fondamentale du PNES est de promouvoir au Sénégal la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE). La GIRE repose sur trois critères fondamentaux à savoir :

- L'efficacité économique de l'utilisation de l'eau compte tenu de la rareté et du caractère épuisable de la ressource ;
- L'équité dans l'accès de chacun à l'eau (quantité & qualité) pour maximiser le bien être économique et social ;
- La durabilité environnementale et écologique des utilisations actuelles des ressources en eau pour préserver la pérennité des écosystèmes vitaux et garantir l'utilisation de cette ressource par les générations futures.

7. Stratégies d'intervention du PNES. Les actions du PNES s'inscrivent dans une dynamique participative pour responsabiliser les usagers, promouvoir l'équité et mobiliser la société civile.

Responsabiliser les usagers : Le PNES agit en promoteur des changements de comportements pour un Développement Durable du pays en :

- Développant une approche transparente dans le traitement des problèmes liés à la gestion des ressources en eau, en intégrant notamment l'ensemble des contraintes et enjeux qui leurs sont sous-jacents ;
- Organisant le partage de l'information pour que tous les acteurs, puissent exprimer leurs attentes et connaître leurs droits et devoirs ;
- Investissant dans l'éducation des plus jeunes.

Promouvoir l'Equité : Le PNES intègre dans sa démarche la réalisation des Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD) en :

- Offrant à chaque individu, d'être le partenaire sur qui il peut compter pour promouvoir et défendre ses droits dans l'accès aux ressources en eau ;
- Encourageant l'implication de la femme, actrice majeure du secteur de l'eau, à tous les niveaux de la gestion des ressources en eau.

Mobiliser la Société Civile : Le PNES se veut un cadre dynamique de développement de Partenariats Public-Privé en :

- Développant son réseau jusque dans les régions les plus éloignées ;
- Soutenant les initiatives en faveur de la GIRE au sein de la société civile.

8. Actions et Partenariat. La démarche du PNES consiste à faciliter l'appropriation du concept GIRE par des actions concrètes sur le terrain dans les domaines de sensibilisation, de soutien aux initiatives et d'appui aux institutions.

Sensibilisation : La gestion durable de nos ressources impose une évolution de nos comportements. Le PNES met en œuvre des campagnes de sensibilisation, en direction des jeunes : affichage, élaboration de documents pédagogiques, information sur l'actualisation de la gestion des ressources en eau (internet, radios locales, presse).

Soutien aux initiatives : La gestion des ressources en eau est l'affaire de tous. Le PNES participe à la promotion d'initiatives d'acteurs à la base : publication de travaux de recherche et organisation d'ateliers de réflexion et de concertation.

Appui aux institutions : Le rôle du PNES est d'interpeller les institutions sur les attentes des usagers. En exprimant une critique constructive sur l'utilisation des ressources en eau, il participe à la mise en œuvre de la stratégie nationale de bonne gouvernance :

- organisation d'ateliers régionaux d'échanges entre acteurs du secteur de l'eau et institutions ;
- réalisation d'études approfondies (usages et besoins, cadre juridique et institutionnel) ;
- assurance-qualité sur les prestations réalisées dans les secteurs de l'hydraulique urbaine ou rurale.

9. Appui au PAGIRE. Le Sommet Mondial sur le Développement Durable, tenu en 2002 à Johannesburg, a également souligné l'importance de la contribution de la GIRE à l'atteinte des Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD). Une des recommandations fortes de ce Sommet a concerné, entre autres, l'élaboration par tous les Etats, d'un Plan d'Action de Gestion Intégrée des Ressources en Eau (PAGIRE).

En application des recommandations du Sommet de Johannesburg de 2002 et avec l'appui du Gouvernement Canadien à travers le Partenariat Mondial pour l'Eau, le Sénégal a lancé depuis le début de l'année 2004, un processus d'élaboration d'un Plan d'Action pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (PAGIRE). Le Ministère chargé de l'Hydraulique mène le processus. Il travaille en collaboration avec le Partenariat National de l'Eau du Sénégal (PNES). Le PAGIRE vise à contribuer à la mise en œuvre d'une gestion intégrée des ressources en eau du pays, adaptée au contexte national, conforme aux orientations définies par le Gouvernement Sénégalais et respectant les principes reconnus au plan international en matière de gestion durable et écologiquement rationnelle des ressources en eau.

Le PNES est membre du Comité de Pilotage pour le suivi du Plan d'Actions de Gestion Intégrée des Ressources en Eau (PAGIRE) et de la réalisation des OMD. A ce titre le PNES est impliqué dans l'élaboration du PAGIRE.

- Contribution à l'élaboration du PAGIRE à travers les experts du PNES qui interviennent au niveau du Comité de suivi et de l'Equipe pluridisciplinaire du projet
- Études et animations d'ateliers dans toutes les régions du Sénégal ;
- Implication dans le processus de validation et d'approbation du Document du PAGIRE

10. Elaboration du Plan d'Actions 2008-2011

La réunion conjointe CD/CST du 02 mai 2007 a retenu d'élaborer un plan d'actions triennal.

Le CST a mis en place des groupes de travail pour élaborer des dossiers de projets sur les thèmes suivants :

- La Gouvernance de l'eau : la promotion du « droit à l'eau » ;
- La Gestion des ressources en eau : la gestion des eaux fluorées ;
- Genre et Mobilisation des acteurs : la participation des femmes, la gestion de l'eau dans les Niayes de Pikine ;
- La Communication : plan de communication du PNES, suivi de l'actualité.

11. Axes de Coopération

Académie Nationale des Sciences et Techniques du Sénégal (ANSTS)

Au mois de novembre 2007, l'Académie Nationale des Sciences et Techniques du Sénégal (ANSTS) va abriter à Dakar, la Troisième conférence Annuelle sur l'Initiative de Développement des Académies des Sciences d'Afrique (ASADI) grâce à l'appui des Académies Nationales Américaines (US –NAS) et le CRDI. A cet effet, l'ANSTS a fortement impliqué le PNES dans les travaux de l'atelier préparatoire qui s'est tenu à Dakar du 2 au 4 mai 2007 sur le thème « Problématique du binôme Eau & Santé en Afrique au Sud du Sahara ». L'axe de collaboration entre le PNES et l'ANSTS porte sur la « Problématique du fluor ».

Programme national d'Eau Potable et d'Assainissement du Millénaire (PEPAM)

Le Sénégal, conformément aux recommandations du Sommet Mondial sur le Développement Durable de Johannesburg de septembre 2002, s'est engagé dans l'atteinte des objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD) visant à réduire de moitié, d'ici 2015, le niveau de la pauvreté.

En effet, pour la réduction de la pauvreté la Communauté Internationale s'est fixée comme objectif d'investir dans les services sociaux de base comprenant la Santé, l'Education, la Nutrition, l'Alimentation en Eau Potable et l'Assainissement dans les pays en développement. Pour y parvenir le Gouvernement du Sénégal a mis en place le Programme national d'Eau Potable et d'Assainissement du Millénaire (PEPAM), couvrant la période 2005-2015.

Dans le cadre de la mise en œuvre des mesures d'accompagnement et de renforcement des capacités de planification et d'exécution des acteurs à la base, l'appui du PNES porte sur :

- la généralisation et fédération des ASUFOR
- l'extension des Plan Locaux Hydrauliques et Assainissement (PLHA) à toutes les Communautés rurales
- Appropriation du concept Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) par les Acteurs.

Laboratoire de Chimie Minérale et Analytique -LACHIMIA / UCAD - Atelier des 6-8 juin 2007 sur l'application des technologies membranaires au traitement des eaux fluorées et salées. Les attentes du PNES sont :

- Une promotion forte d'un projet pilote d'application de la technologie (recherche appliquée sur le traitement du fluor avec le soutien à des scientifiques sénégalais) ;
- La conférence soit une occasion de tisser des liens directs entre le PNES et d'autres partenariats nationaux ;
- Les exposés abordent la question de l'incidence du fluor sur les capacités intellectuelles des enfants (enjeu sur le développement durable) et de la dimension du « droit à l'eau potable » ;
- Les résultats de la conférence soient traduits en termes opérationnels et largement diffusés auprès de décideurs, industriels et autres acteurs locaux ;
- La promotion des résultats de la recherche.

QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES CONSOMMEES PAR LES POPULATIONS AU SENEGAL

Problématique du Fluor

*Bruno **LEGENDRE***

Coordinateur du Comité Scientifique et Technique

du Partenariat National de l'Eau du Sénégal

coordonateur scientifique, Partenariat National de l'Eau du Sénégal; Global Water Partnership-west africa; tel: +221 644 72 75

E-mail: performances@arc.sn

Au Sénégal un grand nombre de forages de la partie occidentale du pays, la plus peuplée, sont salés. Les points d'eaux non salés sont souvent pollués (puits) et près d'un tiers d'entre eux présentent des concentrations en fluor très élevées (jusqu'à 10mg par litre).

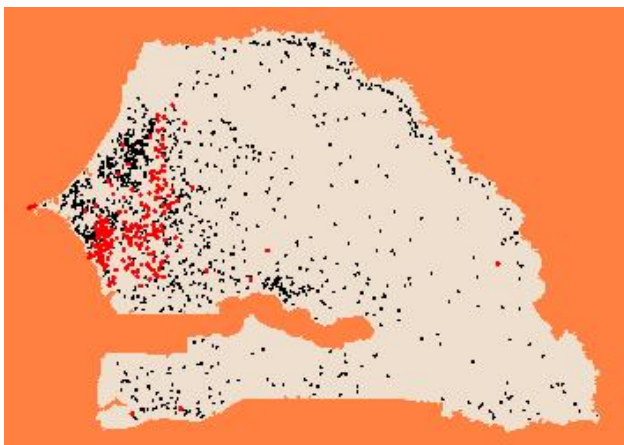
Peu de responsables locaux, élus ou personnel de santé, sont conscients du risque de santé publique lié aux conditions actuelles d'approvisionnement en eau des populations : l'eau fluorée paraît 'bonne' à ceux qui la consomment car elle n'a aucun goût, c'est à l'échelle d'une dizaine d'années que les effets du fluor sur l'organisme se font sentir, et l'impact de la consommation de ces eaux est très variable d'un village à l'autre (sans doute du fait d'une biologie complexe du fluor dans l'organisme). Et souvent le personnel de santé, non avertis, en confond les symptômes avec ceux, très proches, du rachitisme.

Pourtant, selon les estimations **entre 500.000 et un million de personnes rurales sont soumises à un risque de santé majeur.**



Au Sénégal, plus de 800 forages dépassent au moins une des limites définies par la Norme relative à la qualité des eaux destinées à la consommation des populations

Des **normes** de qualité ont été établies ; elles stipulent notamment que tout forage où les concentrations en fluor sont supérieures à 3 mg/l devrait être **fermé, sans dérogation possible**, mais elles ne sont pas appliquées parce que l'eau est une denrée de première nécessité et que l'on ne sait pas résoudre le problème de son traitement.



C'est dans la zone de plus forte concentration de population rurale que se trouvent les forages fluorés.

Pourtant les effets sur la santé sont très graves. Ils ne se limitent pas à une coloration rouge des dents (pour des concentrations de l'ordre de 0.75 mg/l), dont l'incidence n'est qu'esthétique (la résistance des dents aux caries serait même améliorée) : au-delà de 3 mg par litres on observe des **déformations du squelette** très douloureuses (nodosités aux articulations, déformation du rachis) et des études récentes réalisées en Chine font état d'une incidence négative sur les **capacités intellectuelles des enfants**.

De nombreuses solutions existent pour rendre l'eau fluorée potable, mais elles n'ont jusqu'à présent pas pu être mises en œuvre pour différentes raisons :

- Les méthodes chimiques (adsorption, électrodialyse) ou membranaires (osmose inverse) se sont révélées très coûteuses et difficiles à mettre en œuvre dans un contexte d'hydraulique rurale ;
- Les méthodes de filtration (sur os calciné notamment) ont été testées à grande échelle dans plusieurs pays ; elles ont l'avantage d'être peu coûteuses mais il a été démontré que leur taux d'appropriation par les usagers (qui doivent renouveler eux-mêmes les filtres) est très faible (inférieur à 10%). En outre, ce mode de traitement ne permet pas de réduire le niveau de salinité de l'eau, or au Sénégal plus de 60% des forages fluorés sont fortement salés.

Une autre solution, cependant, n'a pas encore été testée bien que de nombreux travaux notamment en France, au Canada **et au Sénégal** en ont largement montré l'intérêt : il s'agit de la **nanofiltration**. C'est une technologie membranaire qui a pour principales caractéristiques de pouvoir fonctionner à basse pression, de ne pas demander de reminéralisation des eaux traitées, et de pouvoir être utilisée aussi bien dans le traitement des eaux fluorées que des eaux saumâtres (550 forages présentent des concentrations en sodium supérieures à 150 mg/litre).

De nombreux spécialistes partagent aujourd'hui la conviction que l'application de la nanofiltration au traitement des eaux dans le cadre de l'exploitation systèmes de distribution d'eau en milieu rural est **viable à la fois sur le plan technique et sur le plan économique**.

La problématique du fluor dans les eaux consommées par les populations rurales n'est pas inconnue des institutions.

- En 1993 l'Ecole Supérieure Polytechnique avait organisé, avec l'appui de la SONEES, une conférence sur le sujet, où déjà l'intérêt de la nanofiltration avait été souligné
- En 2000 une étude a été réalisée dans le cadre du Projet Sectoriel Eau et avait fait l'objet d'une concertation entre le Ministère de l'Hydraulique et le Ministère de la Santé. Une cartographie des risques liés à la consommation des eaux souterraines a alors été élaborée et présentée au Ministre chargé de l'Hydraulique, puis en 2001, cette problématique a été identifiée comme l'une des trois priorités majeures de la stratégie nationale de gestion des ressources en eau.
- En 2005, le projet PARPEBA (financement belge) était le premier programme qui inscrivait dans sa convention de financement qu'il s'interdit l'équipement de forages présentant une concentration élevée en fluorures.

Malgré cela ni l'Etat des Lieux de l'approvisionnement en eau potable réalisé dans le cadre du PEPAM, ni le Plan d'Action pour une Gestion Intégrée des Ressources en Eau en cours d'élaboration, qui constituent les deux sources importantes d'orientation de la politique nationale en matière d'hydraulique rurale pour les 10 années à venir, ne font qu'évoquer cette question de qualité des eaux et ne la traitent pas comme une préoccupation prioritaire.

La principale difficulté à laquelle se heurtent les institutions est l'ampleur même du problème à traiter : plus de 500.000 personnes sont touchées par un risque majeur que l'on sait mal définir (deux villages voisins avec la même qualité d'eaux souterraines présentent des taux de prévalence de la fluorose osseuse très différents) et que l'on ne sait pas aujourd'hui résoudre de façon efficace.

Le Partenariat National de l'Eau du Sénégal, dans son plan d'action 2008-2011, se propose d'apporter son appui au développement des capacités nationales à répondre à cet enjeu de la gestion des ressources en eau à travers deux axes principaux :

- Un appui à l'identification des priorités d'action : l'objectif est de réduire l'envergure du problème à traiter à court terme, en définissant mieux et le plus tôt possible le risque auquel sont soumises les populations.
Le PNES se propose de soutenir des travaux de recherche sur la biologie du fluor dans l'organisme (quels sont les facteurs environnementaux qui contribuent à réduire le risque de fluorose ?) et sur des techniques de diagnostic précoce de la fluorose chez les jeunes enfants (existe-t-il une corrélation entre l'excédent de fluor dans les urines, dont la mesure pourrait être réalisée facilement à grande échelle, et l'apparition de fluorose osseuse ?)
- Un appui au développement d'une solution opérationnelle, qui soit techniquement et économiquement viable dans un contexte d'hydraulique rurale.

Le PNES se propose de soutenir les capacités scientifiques nationales existantes, reconnues au niveau international, pour le développement d'une solution basée sur la technologie de nanofiltration.

Le Partenariat National de l'Eau du Sénégal assurera par ailleurs une promotion active des résultats de ces travaux de recherche auprès de l'ensemble des acteurs du secteur de l'eau afin qu'ils aient un impact opérationnel effectif.

PROCÉDÉS MEMBRANAIRES POUR LE TRAITEMENT D'EAU POTABLE

REVUE DES TECHNOLOGIES ET ESTIMATION DES COÛTS

*Yvan **POUSSADE**, Jean-Christophe **SCHROTTER***

Veolia Environnement, Centre de Recherche sur l'Eau, chemin de la Digue - 78603 Maisons Laffitte – France

E-mail : Yvan.POUSSADE@veolia.com

E-mail : Jean-Christophe.SCHROTTER@veolia.com

Résumé

Face aux contraintes réglementaires dans les pays industrialisés, la raréfaction de l'eau dans un certain nombre de pays, le groupe Veolia Environnement fait de plus en plus appel aux techniques membranaires aussi bien pour le traitement de l'eau potable, des eaux résiduaires que pour le recyclage des eaux usées municipales et industrielles. Ces technologies permettent en effet de dépasser les performances obtenues par les filières conventionnelles, notamment en termes de clarification, désinfection, élimination de la matière organique, des pesticides, de l'azote, du phosphore...

Au terme d'une longue phase de recherche et développement, ces procédés sont aujourd'hui disponibles pour des applications à grande échelle et la compétition entre les fabricants a favorisé une réduction significative des coûts. Ainsi, au cours des dix dernières années, de nombreuses installations ont été construites et sont exploitées par le groupe Veolia à travers le monde.

L'objectif de cette présentation est d'apporter un regard global sur les technologies membranaires pour la production d'eau potable et une estimation de leur coût en fonction des qualités d'eaux brutes et des objectifs de traitement.

Introduction

Depuis le milieu du XXème siècle et les premiers exemples d'utilisation de membranes d'osmose inverse pour la production d'eaux industrielles, les procédés de séparation membranaires n'ont cessé de se développer par le biais d'améliorations techniques induisant une réduction des coûts de fabrication et d'exploitation. Ces technologies s'adressent aujourd'hui dans une large gamme à la production d'eau potable à partir d'eaux souterraines, d'eaux de surface douces ou saumâtres, d'eau de mer, ainsi qu'indirectement ou directement à partir d'eaux résiduelles épurées.

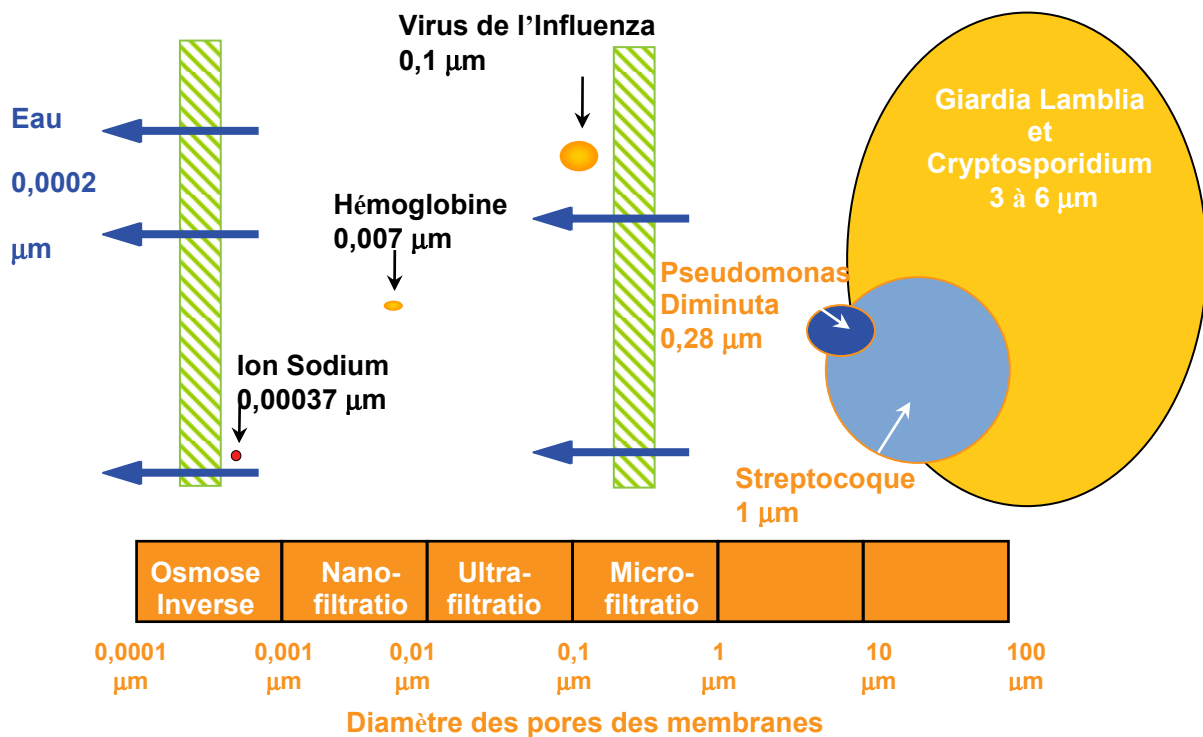
Le milieu des années 80 a vu le développement des premières usines utilisant des membranes pour la production d'eaux dédiées à la consommation humaine (MEMCOR, AQUASOURCE). Ces usines de petite capacité utilisent alors des membranes pour la filtration d'eaux relativement propres. Mais c'est en 1993 que les procédés membranaires vont connaître un réel essor à la suite d'une contamination de la rivière Milwaukee par des *Cryptosporidium* provoquant plus d'une centaine de morts, principalement parmi les jeunes enfants ou les personnes immunodéficientes. Les procédés conventionnels n'apparaissent désormais plus comme suffisants pour prévenir certaines contaminations bactériennes.

Le marché n'a cessé de croître depuis lors avec l'apparition de nombreux concurrents sur le marché (ZENON, X-FLOW, HYDRANAUTICS, PALL, IONICS, ...). Aujourd'hui les procédés membranaires apparaissent sur de multiples installations de potabilisation d'eau, de taille très variable et avec des objectifs de traitement allant de la simple clarification au dessalement d'eau de mer, en passant par la désinfection ou encore l'élimination de micropolluants ciblés.

Les différents procédés et leur mise en œuvre

Les procédés de filtration sur membranes sont principalement différenciés par leur porosité ou seuil de coupure. On distingue ainsi 4 catégories de membranes classées suivant un seuil de coupure décroissant :

- Micro-Filtration (MF);
- Ultra-Filtration (UF);
- Nano-Filtration (NF); et
- Osmose Inverse (OI)



Le choix du procédé à mettre en œuvre sur une usine de potabilisation d'eau se fera selon la qualité d'eau brute à traiter et des objectifs de traitement.

Qualité d'eau	Objectif de traitement	Procédé
Eau souterraine karstique	Turbidité	MF
	Turbidité	MF
Eau de surface	Virus	UF
	Pesticides/Matière Organique	MF/UF + CAP/CAG
	Nitrates, Matière Organique	NF
Eau saumâtre /eau de mer	Sels	NF/OI

Les pressions d'alimentation des membranes sont croissantes alors que le seuil de coupure diminue. Les membranes MF et UF sont ainsi alimentées avec des pressions allant de 0,2 bar à quelques bars, alors que les membranes OI sont alimentées à quelques dizaines de bars.

La mise en œuvre des modules de filtration basse pression est très variable selon les fabricants. Les membranes sont souvent assemblées en faisceaux de fibres creuses au sein de modules en carter pour un fonctionnement sous pression ou sans carter pour un fonctionnement en dépression de modules immergés. Il n'y a aucun standard permettant l'échange de modules d'un fournisseur avec un autre, chaque fournisseur a sa mise en œuvre propre. A contrario, les modules de NF et OI sont généralement des modules spiralés (membranes planes enroulées autour d'un collecteur central) de 8'' de diamètre. Un certain nombre de fournisseurs commencent à travailler sur des modules 16'' pour gagner en coût de fabrication, mais au détriment de la facilité de manutention. L'agencement des ces modules se fait généralement sur plusieurs étages de filtration (3 à 4 étages), voire plusieurs passages, afin d'améliorer les rendements hydrauliques et les qualités d'eau produites.

On distingue deux modes de filtration : frontal ou tangentiel. Dans le premier cas, tout le flux est envoyé au contact de la membrane pour filtration alors que dans le second, le flux d'alimentation est séparé en deux :

- Un filtrat qui passe au travers de la membrane
- Un concentrat qui est évacué du système sans avoir été filtré

Les procédés tangentiels sont par conséquent plus consommateurs en énergie, mais assurent un régime turbulent à la surface de la membrane, permettant une limitation des phénomènes de colmatage. Ils produisent également une phase liquide plus chargée que l'eau d'alimentation (concentrat), qui selon les contraintes environnementales, peut nécessiter un traitement supplémentaire avant retour dans le milieu naturel.

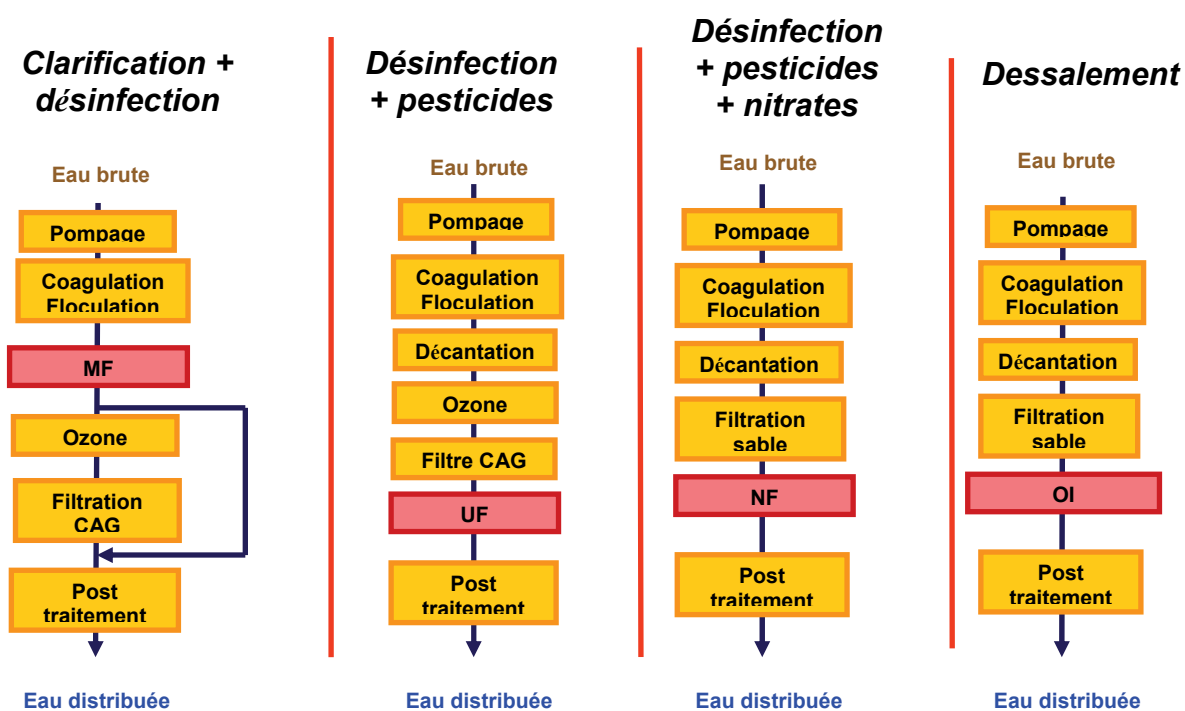
Le maintien des performances hydrauliques reste un facteur primordial dans le fonctionnement des procédés membranaires. Il existe différents types de colmatage des membranes et différentes réponses peuvent y être apportées :

- Décolmatages hydrauliques : aération, rétrolavage pour l'élimination des dépôts particuliers (MF-UF seulement)
- Nettoyages acides : élimination des dépôts de précipités et carbonate de calcium
- Nettoyages caustique ou javel (selon nature de la membrane) : élimination de dépôts de matière organique en profondeur, contrôle de biofilm, ...

Ces différents types de nettoyages sont fonction de la nature de la membrane, de sa mise en œuvre, mais surtout de la qualité d'eau d'alimentation et par conséquent du prétraitement apporté en amont des membranes. Aussi lorsque l'on considère l'utilisation de procédés membranaires sur les usines de production d'eau potable, il ne faut pas se limiter à l'étape de filtration, mais il faut considérer la filière dans son ensemble.

Les procédés membranaires au sein des filières de potabilisation

Chaque filière se doit de répondre le mieux possible aux exigences de traitement à apporter en fonction des caractéristiques de l'eau brute à traiter. Le choix d'un procédé membranaire implique des solutions de prétraitement adaptées tant aux membranes sélectionnées (seuil de coupure, matériau, mise en œuvre, ...) qu'à la qualité d'eau brute. Le diagramme suivant représente schématiquement quelques filières de production d'eau potable utilisant différents procédés membranaires.



Le groupe VEOLIA construit et exploite des usines de production d'eau potable utilisant des procédés membranaires depuis la fin des années 1980. Il possède donc une excellente connaissance de ces procédés, notamment par le biais du centre d'expertise ARAMIS basé au Centre de Recherche sur l'Eau de Maisons-Laffite. Parmi les usines exploitées par le groupe, on peut notamment citer les quelques exemples ci-dessous :

- St Maurice les Châteauneufs (France), MF céramique, 1989, 2 000 m³/j
- Yvetot (France), MF fibres creuses pression, 1997, 5 000 m³/j
- Mery/Oise (France), NF spiralée, 1999, 140 000 m³/j
- Clay Lane (UK), UF fibres creuses pression, 2000, 160 000 m³/j
- Coliban (Australie), MF fibres creuses immergées, 2002, 126 000 m³/j
- Ashkelon (Israël), OI dessalement, 2005, 326 000 m³/j

Estimation des coûts de traitement des procédés membranaires

Le coût global de production d'eau doit tenir compte des six paramètres suivants :

- Construction (généralement sur 20 ans d'amortissement);
- Énergie;
- Main d'œuvre;
- Réactifs chimiques;
- Remplacement des membranes;
- Réparation et maintenance.

Même pour une filière donnée, le coût de traitement peut varier du simple au double en fonction de la qualité d'eau entrante (et par conséquent du prétraitement à mettre en œuvre) et de la taille des ouvrages. Les coûts représentés dans le tableau ci-dessous ne sont donnés qu'à titre indicatif. Il est en général très souhaitable de passer par une étape d'essais pilote pour la réalisation de toute nouvelle usine de potabilisation par filtration membranaire de manière à correctement caractériser la qualité d'eau d'alimentation et optimiser la filière par rapport aux objectifs de production et de qualité d'eau.

Qualité d'eau	Procédé	Estimation des coûts
Eau de surface	MF / UF	0,05 à 0,20 €/m ³
Eau de surface	NF	0,20 à 0,40 €/m ³
Eau saumâtre	NF / OI	0,20 à 0,35 €/m ³
Eau de mer	OI	0,50 à 1,30 €/m ³

FLUOR ET POTENTIALITE HYDROGEOLOGIQUE AU SENEGAL

Abdoulaye FAYE

Département de Géologie, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop ;

tel : +221 825 02 02

E-mail : abdoulayefaye2000@yahoo.fr

I - Introduction

Des teneurs élevées en fluor (plus de 7 mg.l^{-1}), et donc toxiques pour les hommes, ont été mises en évidence dans différents systèmes aquifères du Bassin du Sédimentaire du Sénégal. La présence de cet élément dans les nappes d'eau exploitées pour l'alimentation en eau potable dans les grands centres urbains et en milieu rural crée des contraintes extraordinaires pour la gestion des ressources disponibles dans des zones déjà fortement défavorisées par la mauvaise qualité des eaux. L'absence d'autres ressources conduit à envisager des solutions variées pour ne pas mettre en péril les investissements importants faits pour la mise à disposition des populations d'une eau potable.

Par ailleurs, l'association eaux-salées-eaux riches en fluor impose la prise en compte d'un schéma conceptuel des écoulements dans le bassin. Ce schéma qui indique clairement une zonation géographique dans les nappes, notamment en ce qui concerne l'hydrochimie, est importante d'acquisition de la minéralisation globale des eaux en général et du fluor en particulier.

Ainsi, la nappe captive profonde du Sénégal, communément appelée « nappe maastrichtienne » et utilisée pour les adductions en eau (AEP) présente trois zones bien distinctes. La zone orientale et occidentale formées de sédiment sablo-gréseux plus ou moins argileux contiennent une eau relativement douce (résidu sec de l'ordre de 10 à 200 mg.l^{-1}) alors que la zone centrale (à l'ouest de méridien $15^{\circ}30'$) est relativement chargée (résidus secs supérieurs souvent à 2 g.l^{-1}). C'est dans ce domaine que l'on trouve les concentrations les plus élevées en fluorures (7 mg.l^{-1}). Il coïncide avec le maximum de la transgression de l'Eocène. Les sédiments phosphatés résultant de la sédimentation de cet étage seraient à l'origine de ces teneurs élevées.

A priori, on peut déconseiller l'emploi des eaux de cet aquifère pour l'alimentation en eau potable et préconiser l'utilisation des nappes superficielles. Cependant ces nappes sont parfois de qualités chimique et bactériologique précaires et souvent très insuffisantes en quantité. La solution de ces AEP doit donc être trouvée dans les techniques de gestion et de défluoration.

II - Analyse des eaux souterraines

II. 1 - Données générales

Le Sénégal est caractérisé par deux grands ensembles géologiques et structuraux formés par le bassin sédimentaire sénégal-mauritanien et le socle volcano-sédimentaire et métamorphique ancien (Fig.1)

Le Bassin sédimentaire est formé par des couches d'épaisseur variable qui se sont déposées depuis l'ère secondaire (Lias-Trias) jusqu'au Quaternaire et qui ont subies différentes phases tectoniques. La lithostratigraphie influencée par les successions de transgressions et

régressions est à dominantes détritiques à l'Est durant le Crétacé et le Quaternaire et carbonaté à l'Ouest, durant le Tertiaire.

Le socle ancien est constitué de formations détritiques consolidées, éruptives et métamorphiques dans la partie orientale du Sénégal.

Cette configuration géologique, permet de distinguer deux grands ensembles hydrogéologiques. La majeure partie du bassin est occupée par des aquifères de porosité primaire auxquelles il faut ajouter les aquifères carbonatés souvent Kartsifiés. Dans le socle, les aquifères sont de type discontinu à semi-continu .



source : MH/SGPRE, 2001

Fig.1– Carte hydrogéologique du Bassin sénégalais

II. 2 Différents aquifères

II. 2.1 Les nappes du socle

Les paramètres hydrauliques, généralement médiocres, ne permettent le plus souvent l'exhaure que de débits limités à quelques m^3/h . La qualité des eaux est aussi tributaire de la localisation des endroits favorables.

II. 2.2 Les nappes du Complexe terminal et du système intermédiaire

Malgré des débits spécifiques faibles et des profondeurs de puisage très variable, ces aquifères renferment des ressources parfois considérables notamment dans l'Oligo-Miocène où l'on peut tirer des débits estimés à $850.000 m^3/j$ (Travi, 1993), $50.000 m^3/j$ dans le « Continental Terminal » (Rapport sectoriel sur l'hydraulique; (MH/SGPRE, 2001) et $20.000 m^3/j$ dans les différentes nappes alluviales.

Si ces chiffres permettent de considérer que ces aquifères satisfont les besoins en eau des populations rurales et la maintenance de la végétation au Sud et à l'Est du pays il se posent souvent des problèmes quand à leur renouvellement. En effet, la recharge est assurée en partie par l'infiltration des eaux de pluie (nappe du quaternaire) et en partie par la percolation *per ascensum* ou *per descensum* des eaux des nappes adjacentes.

Ce mode de recharge influe alors très fortement sur la qualité des eaux et leur potabilité.

La qualité chimique de l'eau est généralement bonne sauf dans les deltas et les estuaires où l'eau est fortement minéralisée (delta du fleuve Sénégal ; delta du sine et du saloum ; delta du fleuve Casamance).

Le système aquifère intermédiaire regroupe les formations calcaires et marno-calcaires de l'Eocène et du Paléocène. Plus de 900 ouvrages captent ces assises. Dans ces formations, l'existence d'une ressource en eau exploitable est liée à la présence de karsts, ce qui leur confère leur caractéristique de nappe en réseau.

L'alimentation de la nappe des calcaires éocènes est due essentiellement à l'infiltration des eaux de pluie, donc fortement tributaire des fluctuations climatiques.

La nappe des calcaires paléocènes montre quand à elle des épaisseurs faibles pouvant toutefois atteindre à certains endroits 100 m.

Les données d'exploitation montrent que les ressources peuvent être importantes. La qualité chimique des eaux est en général acceptable hormis une partie de la zone centrale (Diourbel, M'backé et M'bour) où les eaux présentent des taux en sel élevés (parfois plus de 2 g/l) avec des minéralisations particulières en fluor (supérieur à la limite admissible de 1,5 mg/litre) ou en bore (3 mg/l)

II. 2.3 Le système aquifère profond du Maastrichtien

L'aquifère Maastrichtien est caractérisé, dans sa partie occidentale, par la présence d'eau salée en profondeur - voir de véritables "saumures" pouvant atteindre des concentrations supérieures à 100g/l. La limite de l'interface eau douce /eau salée est très variable de même que sa forme, ce qui rend difficile les estimations de volume et de sens d'écoulement des eaux.

La recharge s'effectue aux limites orientale et septentrionale du bassin, indirectement à travers les sables éocènes ou les alluvions du fleuve Sénégal en continuité hydraulique avec le maastrichtien.

Les données bibliographiques (hydrodynamiques, hydro chimiques) indiquent comme hypothèse jusque là admise que le seul exutoire possible de la nappe serait assuré par les flux verticaux à travers son toit vers les formations aquifères sus jacentes.

La distribution spatiale des caractéristiques géochimiques, alliée aux relations élémentaires, conduit à la délimitation de trois unités géochimiques d'orientation globalement méridienne.

la « Zone Est », à l'Est du méridien 15°30', est caractérisée par de faibles salinités, inférieures à 50 mg/l, croissant lentement vers l'Ouest où elle atteint 350 à 750 mg/l. La « zone centrale salée, axé N-S partant de l'embouchure du Sine Saloum jusqu'au lac de Guiers, est caractérisée par la présence d'eaux à minéralisation élevée (750 à 3500 mg/l). La "zone Ouest", à l'Ouest de la falaise de Thiès (au niveau du Horst de Ndiass) est caractérisée par des eaux faiblement minéralisées mais, pouvant être localement contaminée avec les intrusions marines.

II.3 – Les fluorures dans les aquifères du bassin

La distribution spatiale des concentrations en fluorures (Figure 3), basée sur un total de 626 échantillons fait apparaître une disposition globalement méridienne.

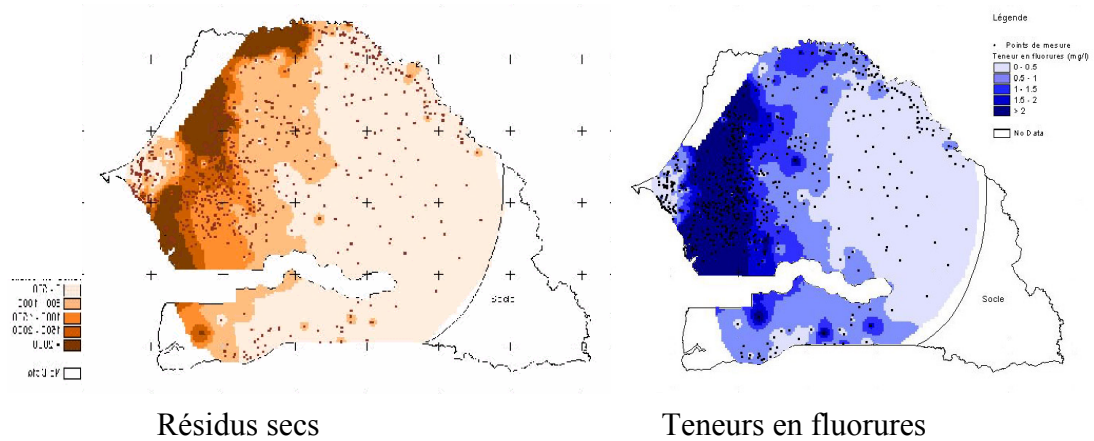


Fig. 2 Carte de répartition des du résidu sec et des teneurs en fluorure dans le Bassin du Sénégal .

Les teneurs en fluorures les plus élevées sont localisées dans une bande méridienne qui coïncide avec la zone à fortes teneurs en chlorures. La concentration en fluorures de ce secteur du bassin est de l'ordre de 1 à 7 mg/l.

D'après Travi (1988), ces fortes teneurs en fluorures ne proviendraient ni d'eau marine résiduelle ni de l'influence marine actuelle comme cela peut être le cas pour les chlorures. Ils proviendraient sans doute de l'interaction eau/roche à partir de minéraux fluorés associés à des sédimentations phosphatées (fluor apatite notamment).

Cette origine du fluor dans les grandes nappes exploitées pour l'alimentation en eau est donc liée à la présence des sédimentations phosphatées mentionnée uniquement dans les couches éocènes. Les Teneurs élevées dans le réservoir du Maastrichtien impliqueraient la présence de communications hydrauliques effectives et de flux salins descendants dans les secteurs à hautes teneurs en fluorures. Ces flux peuvent être actuels et/ou passés, fonction des gradients de charge hydraulique entre les deux aquifères.

L'exploitation des eaux souterraines dans les régions où les eaux sont les plus concentrées requiert donc des précautions particulières et exige notamment le traitement et/ou la dilution de ces eaux avec des eaux moins chargées.

Bibliographie

Travi, Y (1988) – Hydrogéologie et hydrologie isotopique des aquifères fluorés du bassin du Sénégal. Origine et condition de transport du fluor dans les eaux souterraines. *Thèse Sciences*, Univ. Paris -Sud

Travi, Y (1993) – Hydrogéologie et hydrochimie des aquifères du Sénégal. Hydrochimie du fluor dans les eaux souterraines. *Mem. Sc. Géol., Univ. Louis Pasteur Strasbourg et CNRS*.

Travi (1988)

MH/SGPRE, 2001 – Etude Hydrogéologique de la nappe profonde du Maastrichtien. Annexe 4 , Synthèse des données hydro chimiques, *Document de travail*

PROJET NDI AFFATE

*Frère Luc-Marie **PERRIER**, prieur de la communauté des carmes de Kaolack
B.P. 214 Kaolack – Sénégal,
Tél. : 00 221 638 26 28 (portable) ou 00 221 942 10 72 (fixe).*

E-mail : lucmarieperrier@arc.sn

1 – Un projet diocésain et carmélitain

Le projet Ndi affate, né en 2003, est réalisé en partenariat avec la congrégation des carmes, venus de Montpellier en 2002 à la demande de Monseigneur Benjamin Ndiaye évêque de Kaolack. Le terrain destiné à l'implantation du projet se situe en plein cœur du Sine Saloum, non loin du bras de mer, à 15 km au sud de Kaolack sur la route de Sokone, dans le secteur de Ndi affate. (Photo 1) Il occupe une surface de 30 hectares, de forme rectangulaire, par 300 mètres de large, sur 1000 mètres de longueur. Il a été clôturé en 2004. Le paysage est subsaharien, assez désertifié sous l'action de l'harmattan, un vent chaud et sec pouvant atteindre 44 °C. L'harmattan est un agent érosif très actif de l'écosystème. À son influence négative, s'ajoutent les défrichements sévères liés à la culture intensive de l'arachide dans les années soixante-dix ainsi que la forte demande en bois de chauffe. Vivre en ces lieux est difficile et représente un véritable défi.

Ce projet Ndi affate ne s'isole pas ; bien au contraire, il prend en compte la réalité concrète des sept villages situés à l'est et au nord-est du terrain. Il s'agit de Goundiour Saloum, Keur Gallo Diawo, Kossi Tiamene, Keur Diarra Peul, Keur Diarra Bambara, Bill Peul, Bill Bambara (Photo 2). Il est bien évident que ces populations pourront bénéficier des infrastructures du projet. Ce dernier se veut au service du développement, une base de départ pour relancer la vie et les activités économiques du secteur. C'est là tout l'intérêt de cette implantation religieuse dont la vocation est aussi à caractère humanitaire.

2 – Un forage

Le Sine Saloum est une région semi-désertique qui ne dispose que de trois mois de mousson, ce qui représente une moyenne de 600 mm de pluie par an. Dans un tel contexte climatique, le projet Ndi affate ne pouvait pas se développer sans disposer d'un forage. Trouver et capter de l'eau fut donc dès le départ, une priorité et une nécessité, non seulement pour la centaine de personnes appelées à vivre sur le site, mais aussi pour les 1639 habitants du secteur et leurs 1975 têtes de bétail. Au mois de février 2006, le chantier du forage s'est ouvert. Les villages étant les principaux bénéficiaires, la Coopération française a gracieusement offert le financement de des travaux jusqu'à 75 % du budget total. Nous verrons plus loin que la subvention ne s'est pas limitée au forage, mais a englobé également son équipement, la construction du château d'eau et du réseau d'adduction d'eau. La foration a été réalisée au

tricône par une Jaswell J 1200. La technique adoptée fut la foration à la boue. Le contexte géologique du secteur est bien connu (Photo 3). En surface nous avons le Continental Terminal constitué de sables argileux latéritiques. C'est dans cette couche que les villageois creusent leurs puits, généralement à 15 mètres de profondeur. Mais l'eau y est insuffisante et devient très rapidement insalubre. En dessous nous avons l'Éocène constitué de calcaires et de marnes. L'eau de cette couche est salée et ne présente aucun intérêt. À partir de 140 mètres de profondeur, on entre dans le Paléocène où l'eau est à nouveau salée, parfois saumâtre. Puis enfin le Maestrichtien à - 260 mètres de profondeur. Il s'agit d'une nappe fossile constituée de sables, de marnes et d'argiles.

L'eau est en quantité abondante. C'est dans cette couche géologique que le captage a été effectué. Les sables maestrichtiens constituent un aquifère important exploité de Sébikotane jusqu'au méridien de Tambacounda. Le rapport d'exécution du forage fait état d'un niveau statique de l'eau à - 10 mètres de profondeur. Le plafond de pompage lors du développement atteint 60 m³/h. Mais le forage ne sera exploité qu'à 25 m³/h du fait des 26 m de rabattement.

L'arrivée de l'eau à la mi-août 2006 fut accueillie avec beaucoup de joie par les religieux et les villageois (photo 4). C'est un progrès considérable pour la communauté rurale. En effet, sur les 161 puits du secteur, seulement 64 d'entre eux sont en activité. Ces abandons sont liés à la contamination saline du bras de mer qui avance d'année en année, ainsi qu'à l'assèchement de la nappe phréatique. Le forage du projet Ndiaffate va permettre à la population de disposer de l'eau en quantité suffisante. Bactériologiquement pure, elle permettra l'éradication des maladies hydriques liées à l'insalubrité. Autre progrès :

la réduction de la surcharge des travaux domestiques, la scolarisation des jeunes filles, et à terme, la diminution de l'exode rural. Enfin, l'équipement hydraulique aura pour effet de faciliter l'élevage car les puits sont trop éloignés et de faible capacité. L'élevage est un des secteurs les plus importants de l'économie locale.

Au Sénégal, selon l'EPPS, l'incidence de la pauvreté varie entre 72 % et 88 % en milieu rural, alors qu'elle serait de 44 % à 55 % en milieu urbain. Si nous mettons ces chiffres en corrélation avec ceux de la répartition de l'eau potable, c'est-à-dire 78 % en milieu urbain et 35 % en milieu rural, le lien apparaît très clairement : l'arrivée de l'eau contribue au recul de la pauvreté. Le progrès serait très considérable si la qualité de l'eau était bonne. Or ce n'est pas le cas. Les eaux du Maestrichtien dans la région du Sine Saloum affichent des taux en fluor excessifs (couramment au dessus de 5 mg/L) qui constituent une véritable menace pour la santé. L'excès de fluor occasionne des fluoroses dentaires chez les enfants, en perturbant le fonctionnement des cellules responsables de la formation de l'émail. Les dents sont alors teintées d'une couleur rouge et marron pour toute la durée de l'existence. La fluorose osseuse correspond à une accumulation excessive de fluor dans les os, entraînant des changements de structure qui les rendent fragiles et cassants, ainsi qu'un certain nombre de pathologies

annexes telles que l'arthrose, les rhumatismes articulaires, le rachitisme... Au fil des années, les os parfois se déforment et provoquent de véritables handicaps moteurs. Le stade terminal ou "fluorose osseuse invalidante" correspond à la calcification des ligaments, l'immobilité, la perte de muscles ainsi que des problèmes neurologiques liés à la compression de la moelle épinière. De surcroît, on a remarqué dans les régions où la population est contaminée par l'effet du fluor, des cas de débilité et de très nettes déficiences intellectuelles chez les enfants. Le forage du projet Ndiaffate accuse un taux de 4,5 mg par litre, c'est-à-dire trois fois plus que les recommandations de l'OMS pour l'eau de boisson. Ce résultat nécessite un projet de filtration. S'il parvient à se concrétiser, ce sera une première dans le Sine Saloum. En effet, à l'heure actuelle, ni les 7 forages du secteur ni ceux des secteurs avoisinants ne filtrent leurs eaux. La réalisation d'une station de ce type serait une initiative pionnière non seulement pour la région, mais également pour tout le Sénégal. L'enjeu est de taille. En effet, à l'heure actuelle, l'eau fluorée des 800 forages concernés au Sénégal n'est pas reconnue par les autorités civiles comme une cause de maladie hydrique. Elle ne donne lieu à aucune législation, aucune surveillance. Dans certains pays comme le Maroc, lorsque le taux de fluor dépasse 3 mg par litre, les eaux du forage sont interdites à la consommation. Le problème est trop vaste. Le Sénégal est en quelque sorte devant une équation insoluble, car les populations ont un cruel besoin d'eau et le traitement de celle-ci représente un investissement financier de trop grande ampleur. **Il ne s'agit pas seulement de financement ; il s'agit aussi d'une capacité de maintenance et de suivi des installations.** L'entreprise est de grande ampleur. Si bien que la tendance générale est à la résignation et au fatalisme.

Le projet Ndiaffate veut relever ce défi et montrer qu'une porte de sortie peut s'ouvrir. À partir de la création d'une unité de filtration tout peut démarrer tant au niveau de la mobilisation de l'opinion qu'au niveau de la mobilisation des O.N.G. et des forces politiques du pays. Il suffirait d'une démonstration concluante pour que la situation se débloque et puisse déboucher graduellement sur une solution à cet empoisonnement qui affecte les populations de la région. Cette ambition est crédible car les religieux et les diocésains qui vont vivre sur place pour de nombreuses décennies seront en mesure d'assurer la pérennité des futures installations et leur entretien. Après avoir fait ses preuves, cette station de filtration pourrait représenter un précédent pour les autres réalisations du même type : une école d'apprentissage pratique pour ceux qui seraient appelés à assimiler puis maîtriser le fonctionnement d'une station de filtration.

3 – Adduction d'eau

Pour atteindre les populations des 7 villages et favoriser leur développement, le projet du forage s'est doublé simultanément d'un projet d'adduction d'eau. Sur 10 km de rayon, les travaux ont commencé dès le mois d'avril 2006.

La stratégie du projet est fondée sur la participation de la population. Depuis le début des opérations, les villageois se montrent très engagés dans la réalisation de ce réseau d'adduction d'eau. Ils ont travaillé avec beaucoup d'ardeur et de force pour creuser les tranchées à 50 cm de profondeur, dans une terre durcie par la sécheresse (photo 5). La générosité et l'engagement n'ont pas manqué. Sous la direction vigilante et compétente de l'association Caritas, qui est maître d'ouvrage, ils ont également participé à la pose des tuyaux PVC (photo 6). Ils étaient également présents lors de la confection des bornes fontaines et des auges pour le bétail (photo 7). Toutes les étapes de réalisation se font de concert avec eux. Ils ont choisi eux-mêmes les emplacements des points d'eau et ont fourni 95 % de la main-d'œuvre. Ainsi, les populations seront desservies directement par le forage, sur la place centrale du village. Cela concerne 92 personnes à Goundiour Saloum pour un cheptel de 174 têtes, 152 personnes à Keur Gallo Diawo pour un cheptel de 250 têtes, 273 personnes à Kossi Tiamene pour un cheptel de 269 têtes, 328 personnes à Keur Diarra Peul pour un cheptel de 637 têtes, 266 personnes à Keur Diarra Bambara pour un cheptel de 135 têtes, 218 personnes à Bill Peul pour un cheptel de 307 têtes, 210 personnes à Bill Bambara pour un cheptel de 203 têtes.

Le groupe électrogène est déjà en place, ainsi que la pompe immergée à 75 mètres de profondeur (photo 8). Mais le réseau d'adduction d'eau ne pourra fonctionner qu'une fois le château d'eau achevé. Celui-ci est actuellement en construction. Il aura une capacité de 150 m³ à 20 mètres de hauteur.

4 – Un réseau d'irrigation

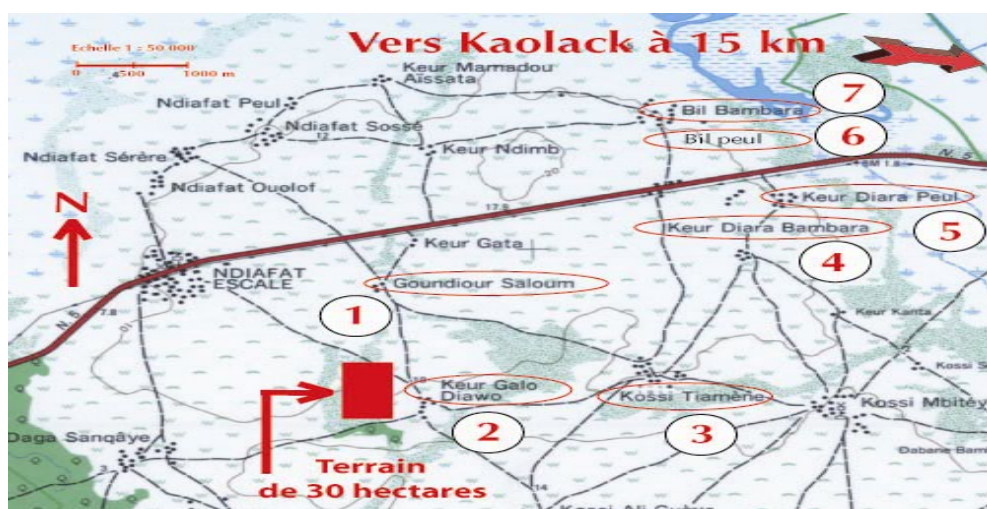
En attendant l'achèvement de la construction du château d'eau, les carmes ont développé un grand réseau d'irrigation sur leur parcelle, directement connecté sur la sortie du forage (photo 9). Il a permis de traverser la saison sèche 2006-2007 sans encombre. Le réseau primaire du réseau d'irrigation est vaste (photo 10). Il est constitué de 4 lignes de PVC enterrés à 50 cm de profondeur, pour un total de 1,5 km linéaires. En surface, 10 km de lignes en polyéthylène, diamètre 32 mm, percées de 4000 goutteurs, serpentent le long des arbres. Aucun plant n'est oublié (photo 11). Le système du goutte à goutte irrigue quotidiennement les plants à raison d'une demi-heure par jour. Les résultats sont sensibles car la plupart des spécimens ont grandi de 50 cm à 1 mètre en trois mois. Cependant, l'eau est un peu trop salée pour permettre le maraîchage et l'exploitation d'arbres fruitiers. C'est là une raison supplémentaire qui justifie la création d'une unité de filtration.

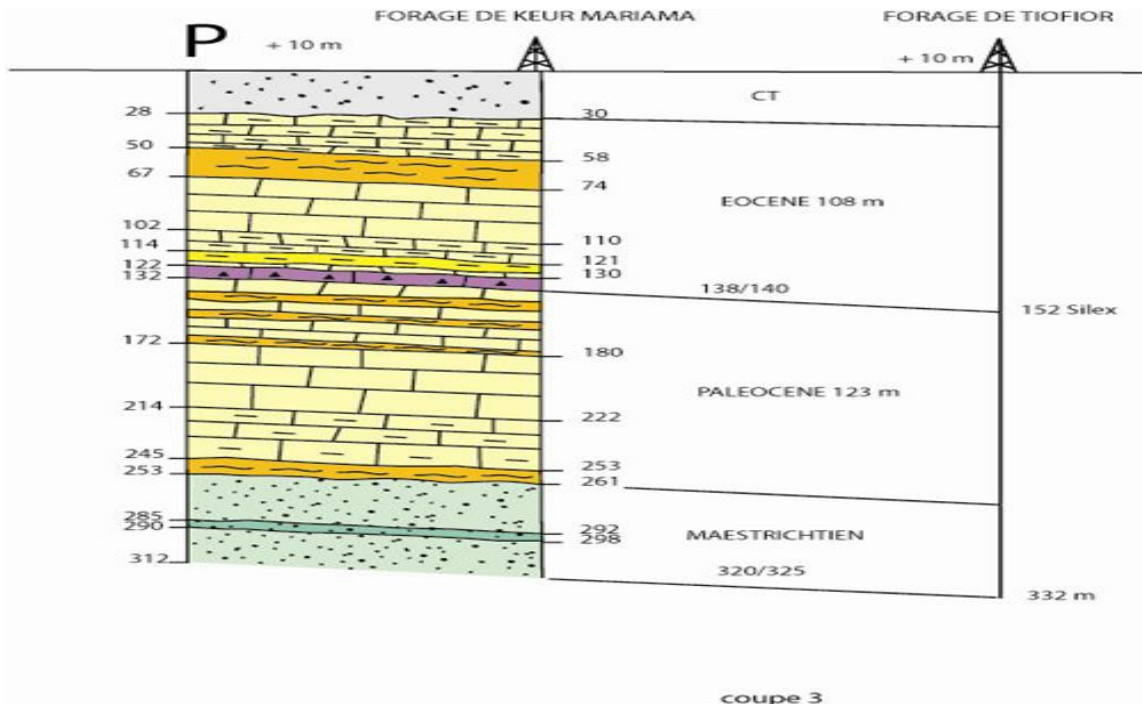
Conclusion

Il est indispensable d'apporter un correctif à la composition des eaux du forage de NdiAffate pour des raisons de santé et de développement. Aucun argument financier n'est dirimant. La santé des populations doit être une priorité absolue et constitue une raison suffisante pour s'engager dans ce sens, quels que soient les efforts que cela peut supposer.

La filtration des eaux fluorées est aujourd'hui techniquement faisable. L'étude des différentes solutions disponibles permet d'affirmer que la nanofiltration, déjà testée sur des eaux saumâtres et fluorées du bassin du Sénégal, apparaît comme la plus performante des techniques de traitement à grande échelle alors que les autres techniques utilisant des matériaux locaux adsorbants (phosphate de calcium, attapulgite, terre cuite, charbon végétal ou animal) ne sont envisageables qu'à l'échelon familial dans des conditions de mise en œuvre fastidieuses et encore sans réussir à éliminer simultanément de façon sélective et partielle la salinité et le fluor. Cette filtration est également compatible avec l'environnement économique local. En apportant la mise de fonds, moyennant des subventions qui sont à solliciter, les carmes et le diocèse de Kaolack peuvent permettre la construction du pilote. L'entretien et la pérennité de ce dernier pourront être assumés par un surcoût de l'eau qui ne devrait pas dépasser les 100 fcfa le mètre cube.

Il va sans dire que l'expérience acquise à Ndiafatte pourra s'appliquer aux autres districts dont les eaux sont trop chargées en sel et fluor, au Sénégal et plus généralement en Afrique sahélienne. C'est un sujet capital quant au mieux vivre des populations.









LES FLUORURES DANS LES EAUX CONTROLEES ET DISTRIBUEES PAR L'ONEP. ETAT DES LIEUX ET POTENTIALITES DE TRAITEMENT

*M. HAFSI * ; L. LARAKI* ; A. EL MIDAOUI***

**Office National de l'Eau Potable - Direction Contrôle de la Qualité des Eaux*

E-mail : mhafsi@onep.org.ma – llaraki@onep.org.ma

*** Université Ibn Tofail, Faculté des Sciences – Kénitra*

E-mail : elmidaouiazzedine@hotmail.com

Résumé

Avec la raréfaction des ressources et l'accroissement de la demande en eau potable, les producteurs d'eau ont de plus en plus recours à la mobilisation de ressources fortement contaminées par la présence de certains paramètres tel que les nitrates et les fluorures.

Parmi les ressources contrôlées par l'ONEP 1,4 % présentent des dépassements de la VMA pour les Fluorures, soit 1,2 % des centres d'intervention ONEP. Il s'agit de centres où soit la ressource est unique, soit toutes les ressources disponibles présentent des dépassements de la VMA. La concentration maximale en fluorure enregistrée dans ces eaux étant de 3 mg/l.

Pour la mise en conformité des eaux produites à partir de ces ressources avec la NM et les directives de l'OMS, deux options ont été adoptées :

- Mélange des ressources contenant les fluorures à des doses excessives avec d'autres ressources de meilleures qualités, ramenant la concentration finale en fluorures en dessous de la VMA. Cette option n'est envisageable que lorsque les Fluorures ne sont pas présentes à des concentrations toxiques.
- Le traitement spécifique d'élimination du fluorure destiné à doter l'ONEP du savoir faire et des indicateurs de choix de la technologie d'élimination des fluorures la mieux adaptée au contexte marocain.

Les deux techniques membranaires étudiées par l'ONEP, en collaboration avec la Faculté des Sciences de Kénitra, en l'occurrence l'électrodialyse et la nanofiltration, ont permis d'un part cerner les conditions de faisabilité et de maîtrise de ces deux techniques et d'autres part de dégager des indicateurs de coût susceptible d'être mis à profit pour le choix technologique à faire par l'ONEP.

Dans le présent papier le point sera fait sur la situation des fluorures dans les eaux contrôlées par l'ONEP, la stratégie adoptée pour conformer les eaux distribuées aux exigences de la NM, suite à quoi seront détaillées les principaux résultats des études d'élimination des fluorures par électrodialyse et par nanofiltration.

L'introduction

Dans les eaux souterraines, la concentration normale du fluor dépend des caractéristiques géologiques, chimiques et physiques de la couche aquifère, de la porosité et de l'acidité du sol et les roches, de la température, de l'action d'autres éléments chimiques, et de la profondeur des puits. En raison de ces variables, les concentrations en fluor en eaux souterraines peuvent s'échelonner de moins de 1 mg/l à plus de 35 mg/l comme en Inde et le Kenya où des concentrations jusqu'à 38.5 et 25 mg/l ont été rapportées.

L'effet nocif d'une consommation à long terme d'eau potable avec une concentration élevée en fluorure est bien connu. La concentration acceptable maximum du fluorure recommandée par OMS est de 1.5 mg/l. Une étude par UNICEF prouve que le fluorose est endémique dans au moins 27 pays à travers le globe. Au Maroc la Concentration de fluor dans quelques régions dépasse la Valeur Maximale Admissible fixée par la Norme Marocaine relative à l'eau destinée à l'alimentation humaine. Dans le plateau de Benguerir (centre du Maroc, région phsphatière) où le travail a été conduit, le fluorose dentaire, est surtout développée parmi la populations alimentées directement à partir de puits particuliers.

Ainsi, l'Office National de l'Eau Potable, organisme assurant environ 80 % de la production nationale de l'eau potable, et en prévision du recours à l'élimination des fluorures pour assurer la production d'eau potable, a lancé des études, en collaboration avec la Faculté des Sciences de l'Université Ibn Tofail de Kénitra pour étudier deux technologies d'élimination du fluor : l'Electrodialyse et la Nanofiltration.

A noter qu'actuellement pour rester conforme aux exigences de la norme marocaine pour les eaux destinées à l'alimentation humaine pour le fluore (< 1,5 mg/l) l'ONEP procède, lorsque les ressources sont disponibles à des dilutions.

II. Etude de l'élimination des fluorures par procédés membranaires

II.1 Electrodialyse

Les essais d'élimination du fluor par électrodialyse ont été effectués avec deux membranes échangeuses d'anions de type NEOSEPTA ACS et AXE 01 couplées à une membrane échangeuse de cations la CMX NEOSEPTA de TOKUYAMA Corp,. Le pilote, fourni par EURODIA Co. a été exploité en mode continu avec inversion de polarité chaque 20 minutes, avec périodiquement des lavages à l'acide chlorhydrique pour réduire l'impact du colmatage minéral.

Dans les compartiments de dilution et de concentration circulent les solutions d'eau brute, alors que dans le compartiment de rinçage circule une solution d'acide sulfamic. Les échantillons ont été prélevés périodiquement pour analyses des paramètres indicateurs des performances de l'électrodialyse.

Les essais de traitement par électrodialyse ont été conduit sur une eau souterraine de N'zalat Laadem (Centre à proximité de la ville de Marrakech) dont les principales caractéristiques sont présentés dans le tableau 1 ci-après

Tableau 1. Caractéristiques des eaux brutes du centre N'zalat Laadem

Temperature (°C)	23	Ca ²⁺ (ppm)	84.8
pH	7.54	Mg ²⁺ (ppm)	39.88
Conductivity (µS/cm)	1486	NO ₃ ⁻ (ppm)	44.3
TDS (ppm)	1127.19	SO ₄ ²⁻ (ppm)	67.29
TH (meq/l)	7.52	Cl ⁻ (ppm)	301.75
TA (meq/l)	0	F ⁻ (ppm)	1.8
TAC (meq/l)	6.5	Langelier Index	-0.17
HCO ₃ ⁻ (ppm)	396.5		

Les résultats des obtenus suite à ces essais de traitement sont synthésés à travers les suivi des paramètres indicateurs reportés les graphes des figures 1à 4 ci-après :

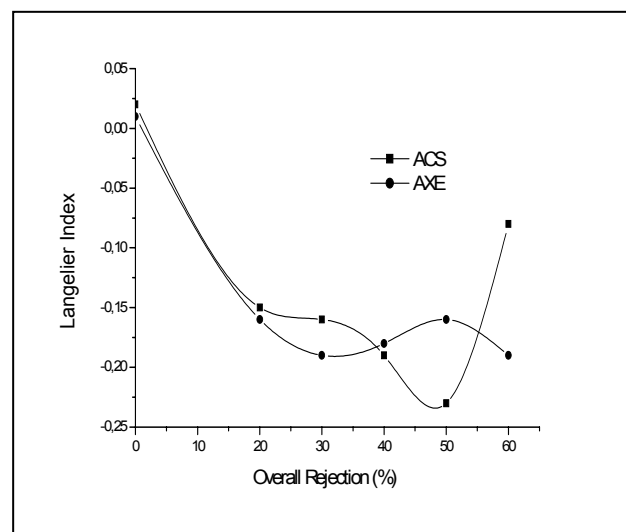
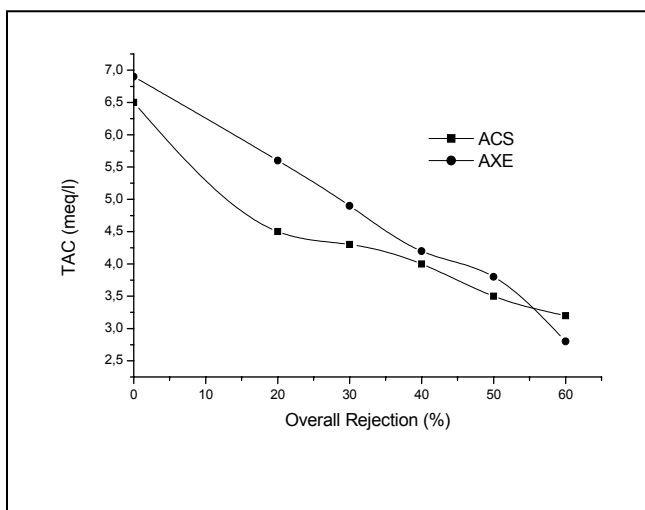
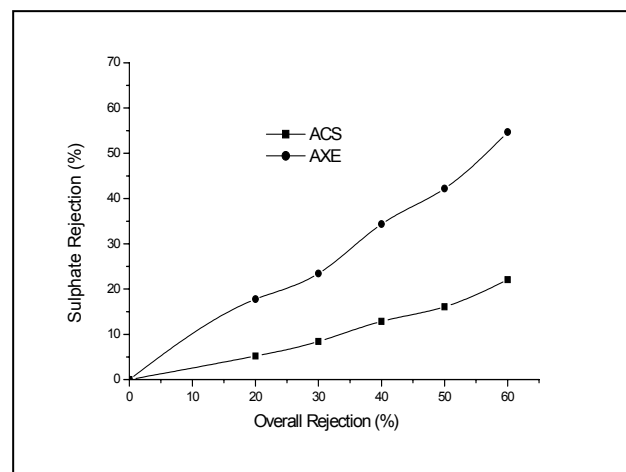
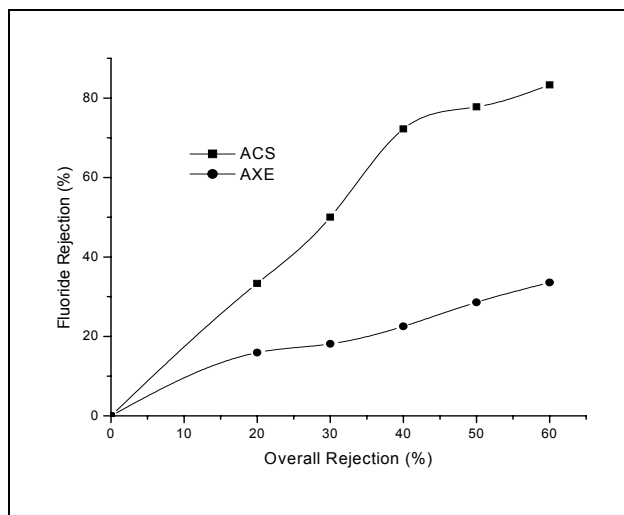


Figure 1-4. Suivi des paramètres F⁻, SO₄²⁻, TAC et LI lors de l'essai de traitement par Electro dialyse.

Conclusion sur les essais d'élimination des fluorures par électrodialyse

Les essais d'élimination du fluor par électrodialyse ont permis de réduire les teneurs en fluor présents dans les eaux du centre Nzalat Laadam à des taux conformes aux exigences de la norme en vigueur pour l'eau potable.

Simultanément avec l'élimination du fluor, la salinité totale des eaux traitées a été réduite. La faible consommation en réactifs chimiques, l'élimination sélective des fluorures sont autant d'avantages qui ont été mis en relief lors de cette étude.

II.2 Nanofiltration

Les essais d'élimination du fluor ont été menés sur un pilote NF/OI (E 3039) fourni par la Société TIA- France. Le pilote est équipé de deux modules de membranes spiralées, identiques, fonctionnant en série. Ci-après le schéma du pilote de nanofiltration sur lequel les essais ont été menés.

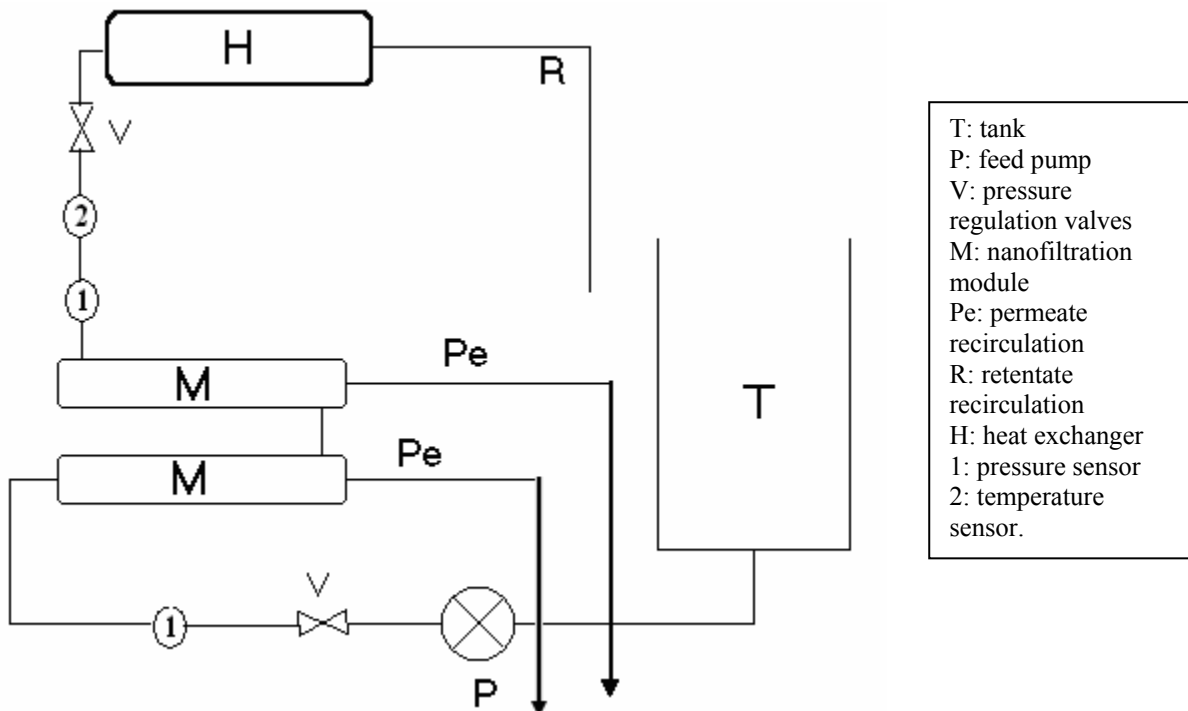


Figure 5: Montage du pilote de Nanofiltration

Les trois types de membranes, dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau 2 ci-après ont été utilisées pour les tests

<i>Membrane</i>	<i>Cutt off (Daltons)</i>	<i>Surface (m²)</i>	<i>material</i>	<i>manufacture</i>
NF90 40×40	90	7.6	Polyamide	Filmtec Dow
NF270 40×40	270	7.6	polyamide	Filmtec Dow
TR60 40×40	400	6.8	polyamide	Toray

Ces essais ont été menés en deux étapes :

- Essais au laboratoire pour la sélection de la membrane la plus performante
- Essais sur terrain, sur pilote industriel pour valider les résultats laboratoire et compléter l'étude, notamment par les données d'exploitation.

Les graphes des figures 6 et 7 synthétisent les résultats des performances de la nanofiltration en fonction du type de la membrane et des concentrations initiales en fluor dans l'eau.

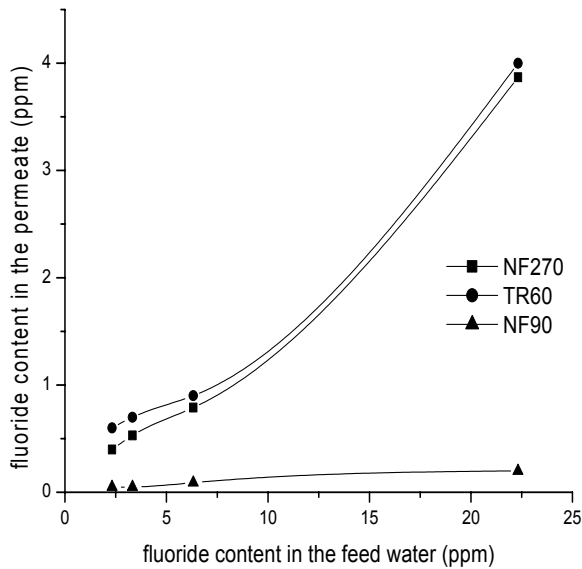
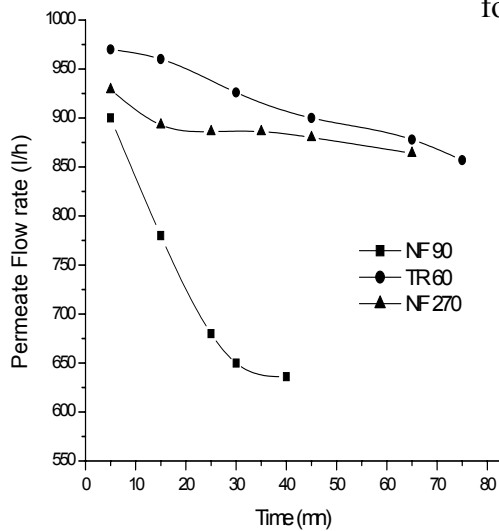


Figure 6 et 7 : Evolution de l'élimination des fluorures en fonction de la nature des membranes.

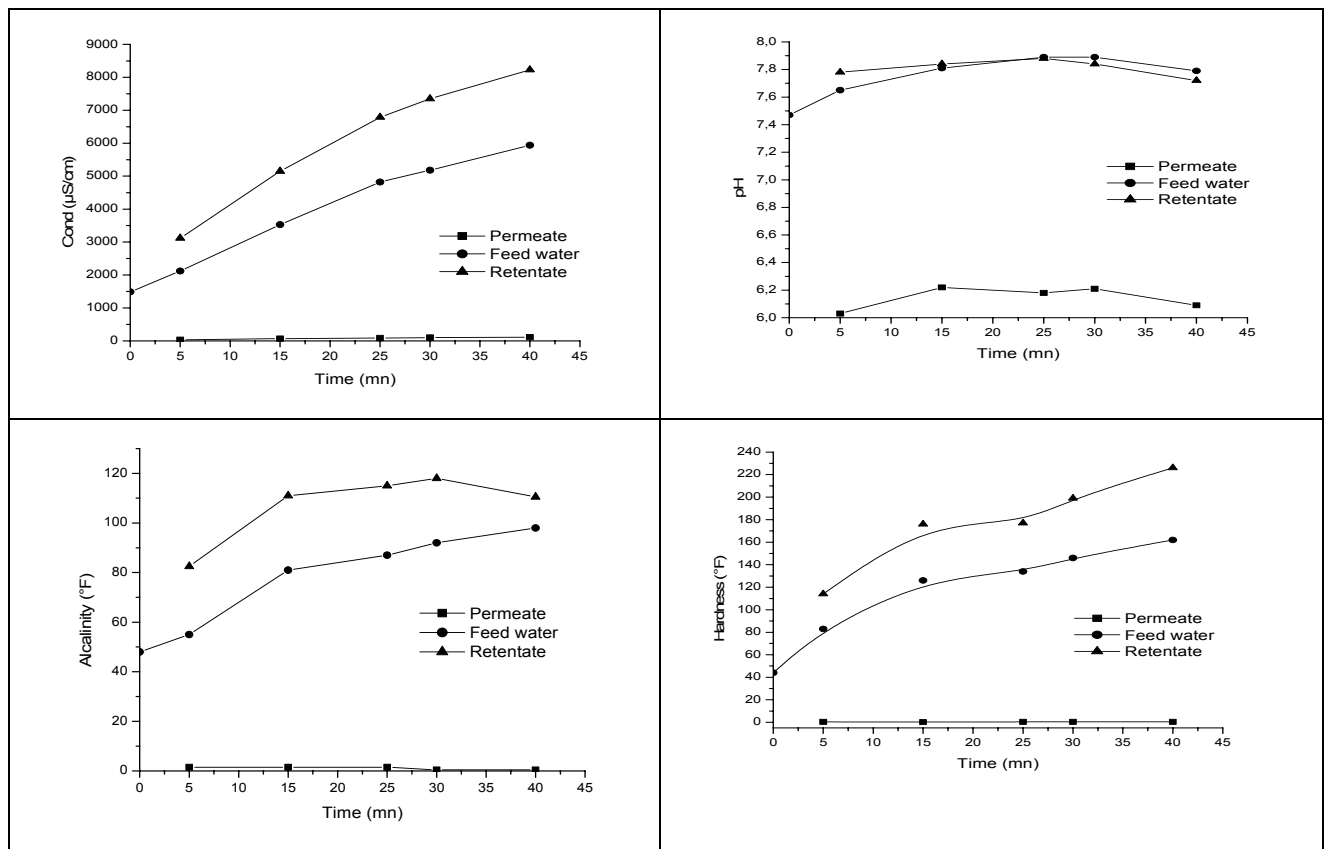


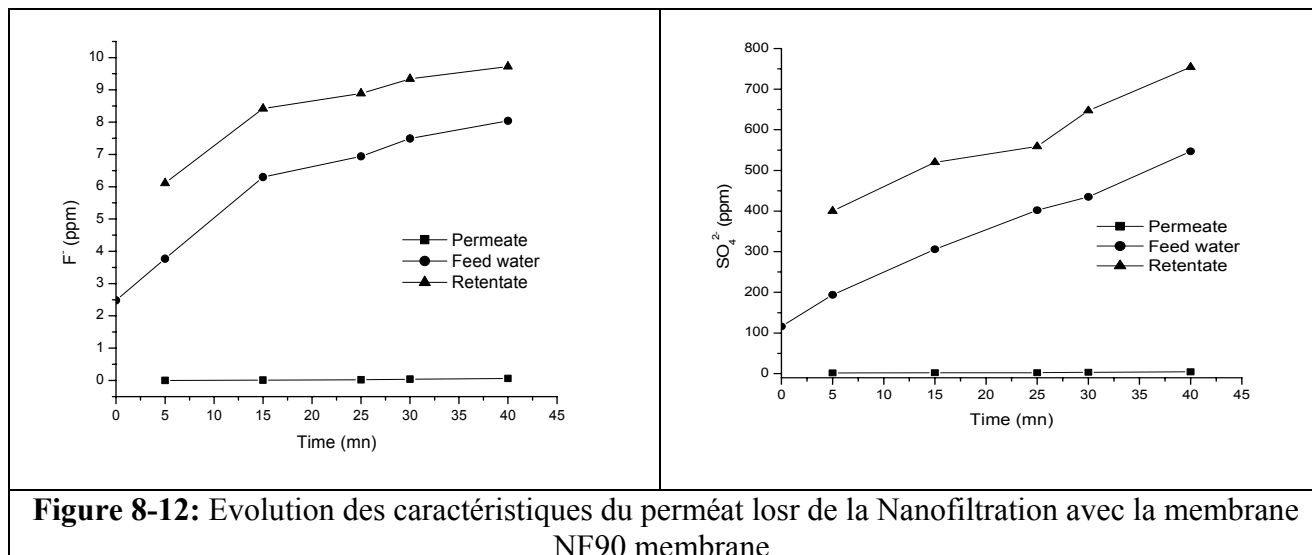
Il ressort des ces graphes que les performances d'élimination des fluor par nanofiltration sont tributaires des seuils de coupure des membranes utilisées. La membrane NF 90 (seuil de coupure de 90Daltons) ayant permis d'atteindre les performances les plus élevées en rejet de fluor (98 à 99 %), avec toutefois une chute de débit du perméat plus précoce pour la NF 90 par rapport aux autres membranes, conséquence directe d'une plus grande sensibilité au colmatage minéral.

Sur la base des résultats ainsi obtenus, il a été retenu de caractériser les performances de la nanofiltration utilisant la membrane NF 90 pour l'élimination d'autres composants d'une eaux dont les principales caractéristiques sont données par le tableau 3.

Temperature (°C)	29
Conductivity (µS/cm)	1492
pH	7.41
TH (°F)	44
TAC (°F)	32
NO ₃ ⁻ (ppm)	20
Cl ⁻ (ppm)	560
F ⁻ (ppm)	2.32
SO ₄ ²⁻ (ppm)	116

Tableau 3:
Principales caractéristiques de l'eau brute.





Les graphes de 8 à 12 rendent compte des résultats de ces essais ainsi menés.

De l'examen de ces résultats il ressort que parallèlement à l'élimination du fluor, une déminéralisation partielle a lieu, traduite par une chute de la minéralisation totale, exprimée dans les graphes en terme de conductivité, mais également terme de dureté et d'alcalinité.

Conclusion

A travers les études menées par l'ONEP en collaboration avec la Faculté des Sciences de l'Université Ibn Tofail de Kénitra, sur deux technologies membranaires, l'électrodialyse et la nanofiltration, la faisabilité techniques de l'élimination du fluor présent en excès dans les eaux a été clairement mis en exergue sur des eaux marocaines.

Cette élimination, non sélective permet également de déminéraliser partiellement ces eaux, répondant ainsi aux besoins réels de traitement qu'exigeraient généralement les eaux contaminées par le fluore et présentant une forte minéralisation, comme c'est le cas au Maroc et au Sénégal.

Cette étude technique a été complétée par une étude technico-économique et qui a conclu, pour les cas étudiés, à une équivalence entre l'électrodialyse et la nanofiltration. Toutefois, il y a lieux de retenir que les spécificités des cas à traiter exigent pour l'optimisation des choix aussi bien de le technologie que des types de membranes, le passage par une étape d'essais pilotes.

MICROFILTRATION MEMBRANAIRE ET DEFLUORATION DE L' EAU POTABLE DANS LES VILLAGES

Michel FARCY

PALL France, 3, rue des Gaudines – B.P. 5253 78175 Saint Germain-en-Laye Cedex France

E-mail : Michel_Farcy@europe.pall.com



Water Processing

Plan de la présentation

- ✓ Pall en quelques mots
- ✓ Microfiltration membranaire adaptée aux petites communautés
 - ✓ Technologie de microfiltration Pall Aria™
 - ✓ Petites unités villageoises Pall Aria™ AX
 - ✓ Exemple du village de Pranon, Thaïlande
- ✓ Utilisation avec des Techniques de défluoration
- ✓ Conclusion

Filtration. Separation. Solution.sm

60 années de développement technologique



**Dans le
domaine de
la purification
des fluides**

PALL leader dans la purification des fluides

Santé 41% du C.A.	Fluides procédé 34% du C.A.	Machines 25% du C.A.
Protection du patient	Raffinage	Fluides de puissance
Transfusion sanguine	Petrochimie	Lubrifiants
Fluides intraveineux	Chimie	Réfrigérants
Filtres d'arrêt des leukocytes	Centrales Electriques	Aéronautique
Agroalimentaire	Polymères	Navires
Produits pharma steriles	Microélectronique	
	Eau Industrielle et Municipale	

Technologies Pall pour tous besoins en eau

- **Eaux de surface** Rivières, lacs, réservoirs.
- **Effluents secondaires** Eaux usées municipales/industrielles traitées biologiquement
- **Eaux usées de zones industrielles**
- **Eaux souterraines** Eaux de puits
- **Eau de mer**
- **Eau potable** Municipalités
- **Lixiviats de déchets** Décharges publiques d'ordures

www.pall.com

Année fiscale 2006

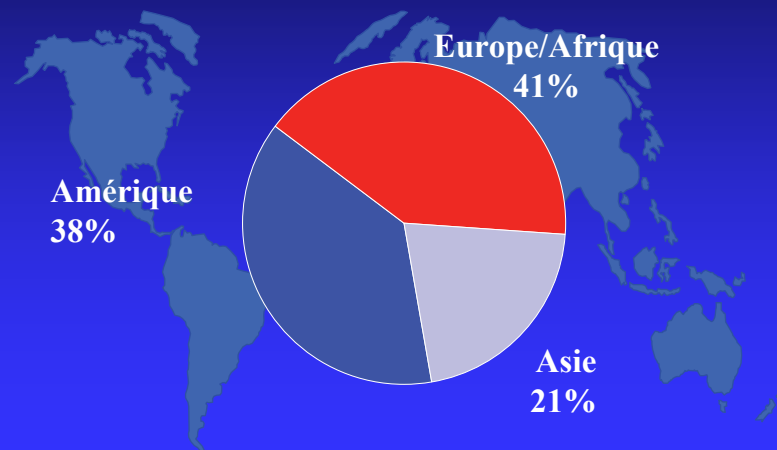
- Chiffre d'affaire : 2 milliards de dollars
- Bureaux et usines dans 40 pays
- 11000 Employés
- Coté en bourse NYSE (PLL)

www.pall.com/profile



www.pall.com

Répartition géographique des ventes (FY 2005)



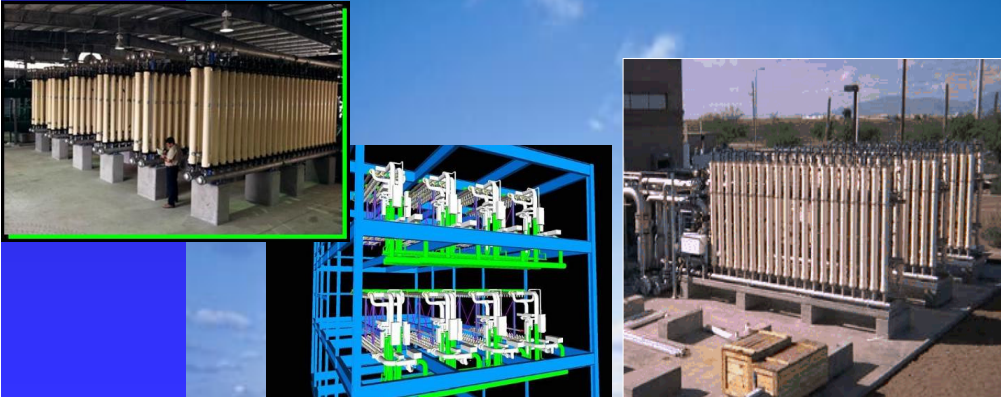
Bureaux et usines

www.pall.com/world

Afrique du Sud
Allemagne
Argentine
Australie
Autriche
Belgique
Brésil
Canada
Chine
Corée
Dubai
Espagne
Etats Unis
France
Grande Bretagne
Hong Kong
Inde
Indonesie
Irlande
Italie
Japon
Malaisie
Mexique
Norvège
Nouvelle Zélande
Pays Bas
Pologne
Puerto Rico
Russie
Singapour
Suède
Suisse
Taiwan
Thaïlande
Venezuela



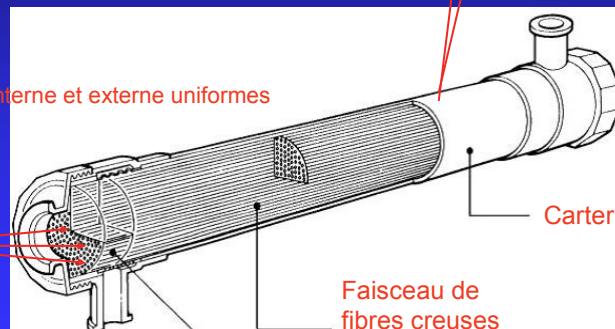
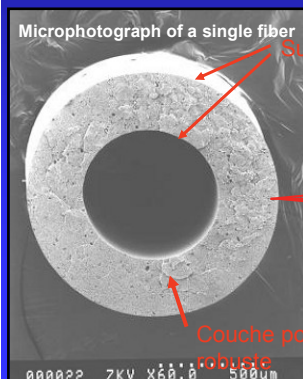
Technologie de microfiltration Pall Aria™



Technologie de microfiltration Pall Aria™

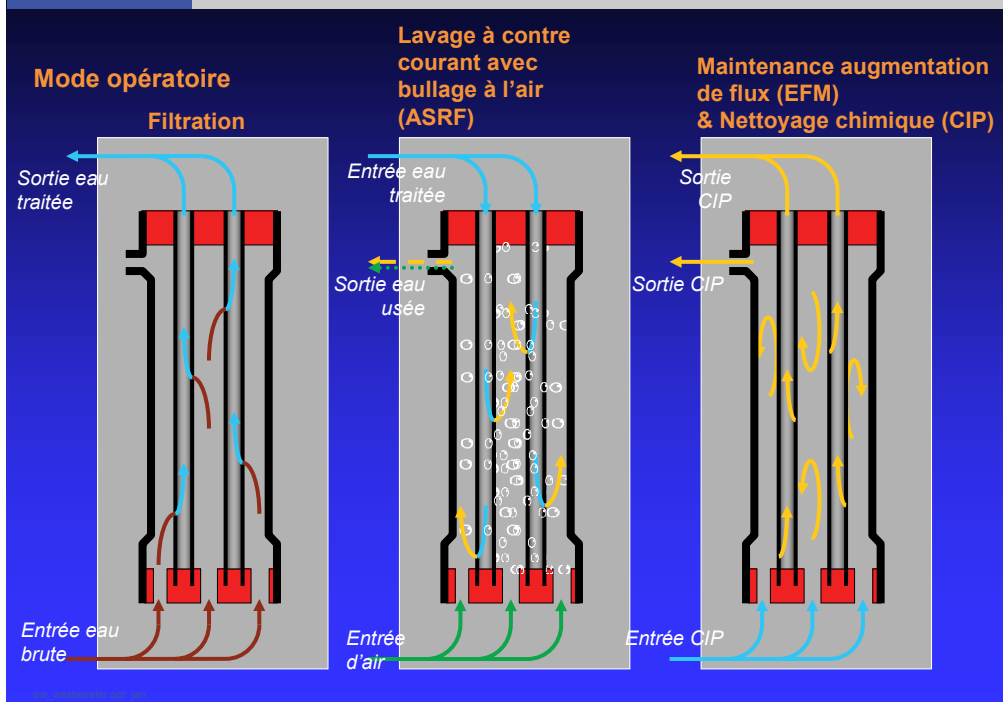
Technologie membranaire MF Microza® MF (Pall ARIA®)

- Technologie de microfiltration à 0.1µm
- Membrane à fibres creuses 100% PVDF
- Filtration frontale



Sections de tenue des fibres

Technologie de microfiltration Pall Aria™



Technologie de microfiltration Pall Aria™

- **Rétention particulaire**
 - Turbidité < 0.1 NTU
 - SDI < 2 (protection osmose inverse)
- **Rétention microbienne**
 - *Cryptosporidium, Giardia* > 6 log
 - *Virus* 0,5-3 log
 - Amibes et autres parasites
- **Rétention des substances organiques**
 - COT (Carbone Organique Total), SON (Substances Organiques Naturelles), Coloration, Goût & Odeur, avec traitement chimique amont
- **Rétention des substances inorganiques**
 - F, Fe, Mn, As avec traitement chimique amont

San Patricio MWD, TX – 30 000 m3 par jour



www.veolia.com

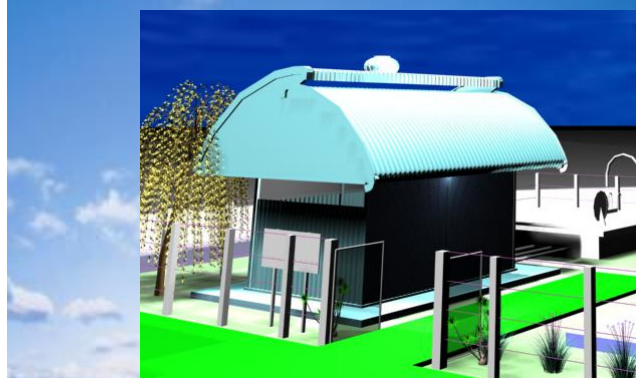
Ville d'Abilene, TX – 30 000 m3 par jour



www.veolia.com



Petites unités villageoises Pall Aria™ AX



Petites unités villageoises Pall Aria™ AX

Spécifications des systèmes Pall Ariasm AX

Composants standards :

1 à 25 modules, réservoir et pompe d'alimentation, vannes manuelles tout ou rien et vannes automatiques, capteurs de pression, système de contrôle automatisé du bullage d'air

Conditions opératoires

Pression de service maximale: 3 Bar
Température de service maximale : 40° C
Consommation électrique : 50-100 Wh par m³ **

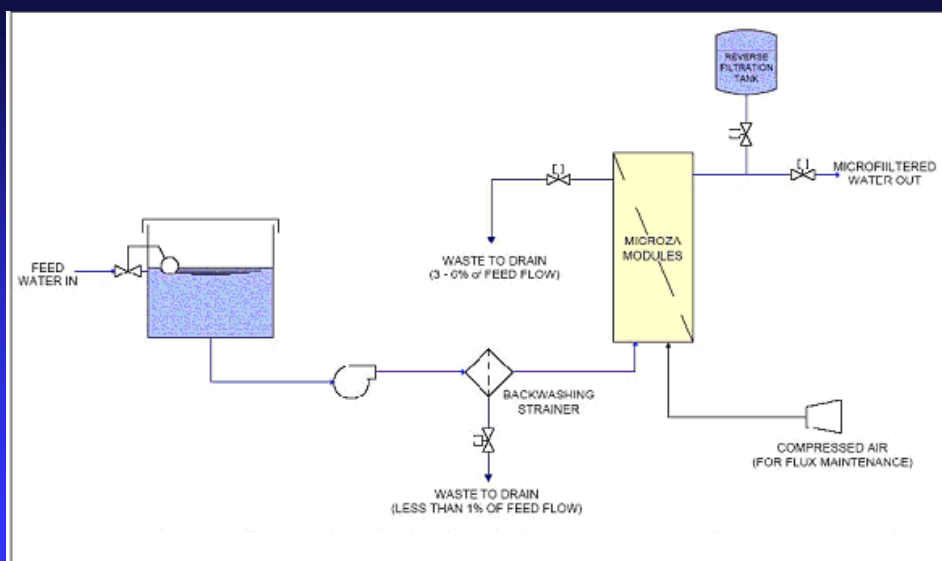
** la consommation électrique dépend de la qualité de l'eau d'entrée. Valeurs mesurées sur unités AX-1 en condition réelle

Spécifications des skids de filtration standard

Référence	Nombre de modules maximum	Débit Maximum [m ³ /hr]	Dimensions hors toute L x W x H (m)
AX-1	3	5	1.8 x 0.9 x 3.0
AX-2	8	10	2.4 x 1.2 x 3.0
AX-3	10	20	3.0 x 2.1 x 3.1 *
AX-4	36	50	7.3 x 2.1 x 3.3

* Dimensionnement particulier. Les dimensions exactes peuvent varier

Petites unités villageoises Pall Aria™ AX



Petites unités villageoises Pall Aria™ AX

Utilisation et entretien de l'installation (Exemple de la Thaïlande)

- Les skids sont fabriqués localement
- Offre complète de service auprès des villages et municipalités
 - Remplacement des membranes
 - Produits chimiques de nettoyages
 - Une visite d'entretien mensuelle
 - Service d'intervention d'urgence
- Tous les coûts sont compris dans le contrat, seule l'électricité est en sus (<0,01€/m³)
 - Le coût total pour les villageois est d'environ 0,1€ par m³ (Amortissement de l'unité, main d'oeuvre, eau de javel/chlore pour les nettoyages)

Note: Pour rentabiliser le service il convient d'assurer l'entretien de 25 systèmes dans un rayon de 50 kilomètres

Petites unités villageoises Pall Aria™ AX

Compétences requises pour le suivi et l'entretien

- Contrôle de la qualité d'eau (alimentation et perméat)
- Modules
 - Test d'intégrité
 - Démontage et remontage
 - Nettoyage chimique
- Entretien des éléments auxiliaires
 - Pompe
 - Compresseur d'air
 - Strainer
- Contrôle de l'instrumentation
 - Vannes
 - Niveaux

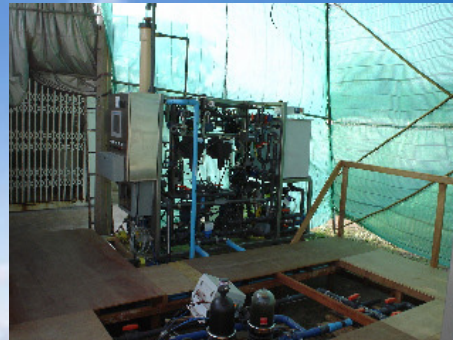
Le personnel peut être employé, formé et certifié localement

Petites unités villageoises Pall Aria™ AX

Références

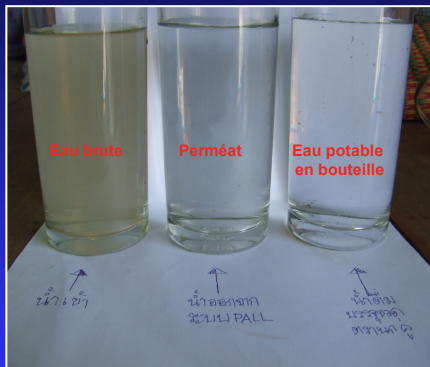
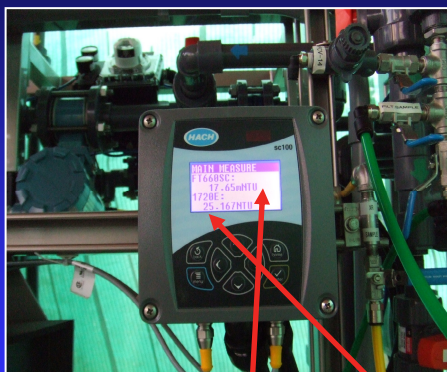
- 18 unités en construction
 - Fabricant local
 - Démarrage prévu en juillet
- 3 unités installées
 - Validation du service
 - Nettoyage chimique des modules en atelier central

Exemple du village de Pranon, Thaïlande



Exemple du village de Pranon, Thaïlande

Qualité de l'eau mesurée en continue



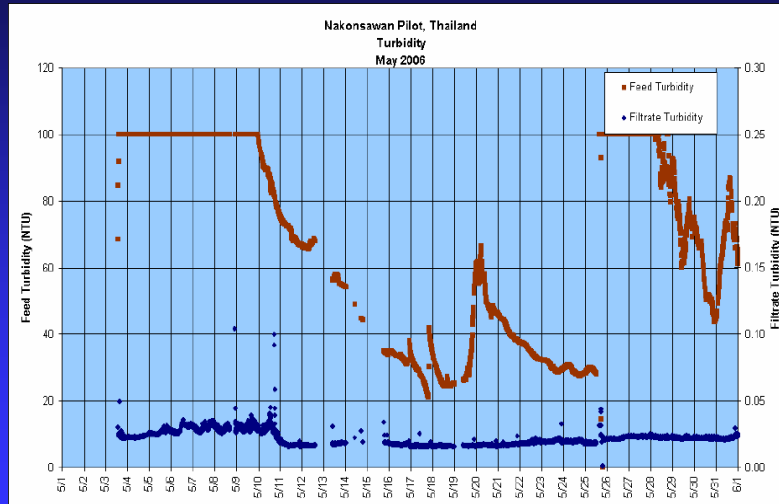
- Turbidité
 - Eau de surface alimentation = 25 NTU
 - Eau filtrée = 0.018 NTU

Norme TISI 257, Eau potable

Turbidité max : 5 NTU

Exemple du village de Pranon, Thaïlande

Données enregistrées en temps réel



Filtration. Separation. Solution. sv

Exemple du village de Pranon, Thaïlande

Analyse eau – Mai 2006

Parameter	unit	Raw water	After MF water	TISI 257 Drinking water Reg.
Taste & Odor	-	Not objectionable	Not objectionable	Not objectionable
pH	-	7.4	7.4	6.5-8.5
Color	Pt-Co	680	29	5
Turbidity	NTU	36.6	2	5

Parameter	Unit	After MF water	TISI 257 drinking water reg.
Total plate count	CFU/ml	50	< 500
Coli form bac.	MPN/ 100 ml	<2	<2.2
<i>E.coli</i>	MPN/ 100 ml	nil	<2.2

Cu	mg/l	0.002	<0.001	1
Zn	mg/l	<0.005	<0.005	5
Ca	mg/l	21	20	75
Mg	mg/l	6.5	5.9	50
As	mg/l	<0.014	<0.014	0.05
Cd	mg/l	<0.001	<0.001	0.01
Cr6+	mg/l	0.003	<0.002	0.05
Pb	mg/l	<0.01	<0.01	0.05
Se	mg/l	<0.01	<0.01	0.01
Hg	ug/l	<0.04	<0.04	0.1

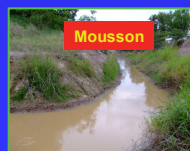
Filtration. Separation. Solution. sv

Exemple du village de Pranon, Thaïlande

Analyse eau – Avril à juillet 2006

Parameter	Raw water	After MF water	TISI 257 Drinking water reg.
Turbidity (NTU)	1.2 - 2,007	0.001-0.1	5
Fe (mg/l)	3.3 - 0.9	<0.004	0.5
Mn (mg/l)	0.18- 0.6	0.1-0.2	0.3
Color (Pt-Co unit)	25 -1,258	2 - 29	5

(min – max)



Filtration, Separation, Solution, sa

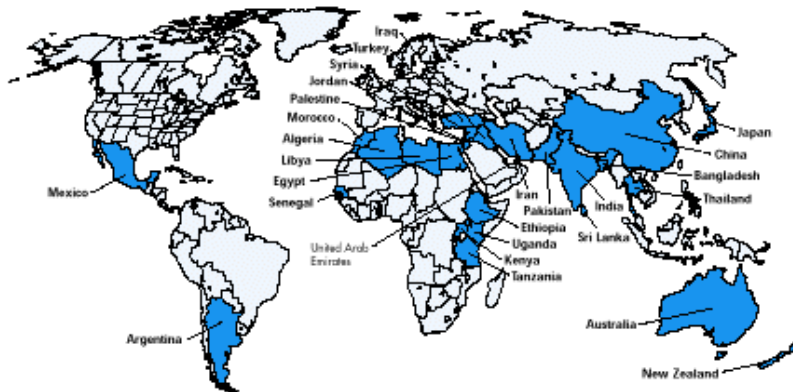
Exemple du village de Pranon, Thaïlande

Paramètres de fonctionnement

Débit	2,3 m ³ /h
Flux	45,4 l/mh
Ratio Perméat/Alimentation	94,5% *
Durée des cycles de filtration	30 mn
Débit d'air pendant bullage	5 sm ³ /h
Débit d'eau pendant bullage	1,8 m ³ /h
Durée du bullage à l'air	60 s
Débit filtrat pendant lavage	3,6 m ³ /h
Durée du lavage	30 s
* Pendant une inondation le Ratio Perméat/Alimentation a baissé à 89,2%	

Filtration, Separation, Solution, sa

Utilisation avec des Techniques de défluoration



Countries with endemic fluorosis due to excess fluoride in drinking water

Utilisation avec des Techniques de défluoration

Méthodes	Capacité / dose	pH	Interférences	Avantages	Inconvénients	Coût relatif
Précipitation						
Sulphate d'aluminium (Alun)	150 mg / mg F	pas spécifique	-	Procédé rodé	Production de boues Acidification Présence Al résiduel Rejet de boues	Moyen - Elevé
Chaux	30 mg / mg F	-	-	Procédé rodé	Alcalinisation	Moyen - Elevé
Alun + Chaux (Nalgonda)	150 mg alun + 7 mg chaux / mg F	pas spécifique optimal 6,5	-	Procédé rodé Faible technicité	Rejet de boues Quantité de réactifs Présence résiduelle Al	Moyen - Elevé
Gypse + fluorite	5 mg gypse + < 2 mg fluorite / mg F	pas spécifique	-	Simple	Formation du personnel Faible efficacité Présence de Ca, SO4	Faible - Moyen
Adsorption / échange ionique						
Charbon actif	Variable	< 3	Nombreuses	-	Modifications importantes du pH avant et après traitement	Elevé
Carbone végétal	300 mg F / kg	7	-	Disponible localement	Nécessite trempage dans de l'hydroxyde de potassium	Faible - Moyen
Zéolites	100 mg F / kg	pas spécifique	-	-	Faible capacité	Elevé
Defluoron 2	360 g F / m3	pas spécifique	Alcalinité	-	Débouchés pour les produits utilisés lors de la régénération de la résine	Faible - Moyen
Argiles	80 mg F / kg	pas spécifique	-	Disponible localement	Faible capacité Lent	Faible - Moyen
Alumine activée	1200 g F / m3	5,5	Alcalinité	Chimique Procédé rodé	Formation du personnel Réactifs pas toujours disponibles	Moyen
Os	900 g F / m3	> 7	Arsenic	Disponible localement	Pas toujours localement accepté	Faible
Autres						
Electrodialyse	Grande	pas spécifique	Turbidité	Peut éliminer d'autres ions Utilisé pour salinité élevée	Personnel qualifié Coût élevé Pas très utilisé	Très élevé
Osmose inverse	Grande	pas spécifique	Turbidité	Peut éliminer d'autres ions Utilisé pour salinité élevée	Personnel qualifié Coût élevé	Très élevé

Tableau de synthèse des techniques d'élimination du Fluor (British Geological Survey et Wateraid, 2002)

Utilisation avec des Techniques de défluoration

Coût comparé des techniques "Nalgonda" et Adsorption sur alumine activée

Defluoridation methods	Cost of material, Rs./ kg	Capacity mg/g	Raw water treated, liters	Treatment cost, Rs./lit	Efficiency	Residual Aluminium
Nalgonda technique	25-30 *	9-10	2000-2100	0.012-0.015	85-90%	yes
Activated Alumina	50-60 **	1-2	300-400	0.125-0.15	95-99%	no

0,2€/m³

0,3€/m³

2€/m³

3€/m³

Notes : Coûts pour une eau de surface contenant 5 ppm de fluor, une conductivité de 2000-2300 μ mho/cm and pH of 7.8-8
Taux Roupie/Euro: 56 (4/6/2007)

* Coût de la chaux et du sulfate d'aluminium hydraté

** Régénération de l'alumine prise en compte

Extrait de "Decontamination of Drinking Water Using Rice Husk Ash Based Water Filter"
(TATA Research, Development and Design Centre)

Utilisation avec des Techniques de défluoration

Description de la technique Nalgonda

- Coagulation floculation
 - $3 \text{ Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{ H}_2\text{O} + \text{NaF} + 9 \text{ Na}_2\text{CO}_3 \longrightarrow [5 \text{ Al}(\text{OH})_3, \text{ Al}(\text{OH})_2\text{F}] + 9 \text{ Na}_2\text{SO}_4 + \text{NaHCO}_3 + 8 \text{ CO}_2 + 45 \text{ H}_2\text{O}$
- L'"alum" est un coagulant courant en traitement d'eau
- La chaux, carbonate ou bicarbonate de sodium sont utilisés comme floculant
- Mode Opératoire
 1. 5 minutes de temps de séjour en bac agité
 2. 1 heure de sédimentation
 3. Filtration de l'eau traitée
 - La séparation rapide et complète eau/boue est essentielle pour prévenir la contamination de l'eau traitée par l'aluminium (toxique) et pour éviter la dissociation du fluor et des floccs d'hydroxide d'aluminium pendant le stockage.
 - Les unités Pall Aria™ AX sont bien adaptés à cette application
 - Filtration frontale (régime laminaire)
 - Barrière absolue

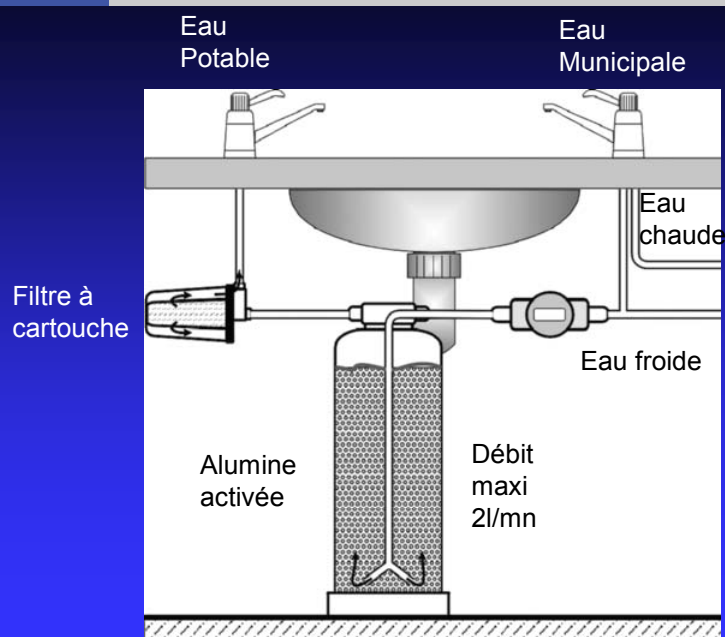
Avantages de la technique Nalgonda

- Coût modéré (0,2€ par m³)
 - Système centralisé meilleur marché que les systèmes de défluoration domestiques sur alumine activée
- Technique la plus reconnue
- Largement utilisée dans les villes et villages indiens

Inconvénients de la technique Nalgonda

- Demande une bonne organisation communautaire
- Volume de boues contaminées important
- Dosage Aluminium
 - Doit être précis pour éviter les excès
 - Ajusté en fonction de la teneur en fluor
 - Inconvénient minimisé par une unité Pall Aria™ AX en aval

www.veolia.com



Un système d'adsorption sur et pratique pour la défluoration. Avec 8 kg d'alumine activée, il est censé traité 2000 l d'eau contenant 5 ppm de fluor.

www.veolia.com

Conclusion

- Microfiltration membranaire
 - Technologie adaptée au besoin en eau de haute qualité microbienne dans les villages et petites villes
 - Part importante de l'industrie locale dans la fabrication
 - Entretien et suivi assurés par du personnel formé et qualifié rayonnant sur plusieurs sites
 - Coût du mètre cube d'eau traitée inférieure à 0,1 € (y compris pour une eau de surface de qualité médiocre)
- Association avec les techniques de défluoration
 - Technique Nalgonda
 - largement utilisée
 - coût modéré (0,2€/m³)
 - Efficacement complétée par la microfiltration membranaire
 - Absorption sur alumine activée
 - Coût au moins 10 fois supérieur à la technique Nalgonda
 - Limité à l'eau de boisson et de cuisson

USAGE DES TECHNOLOGIES MEMBRANAIRES AU QUOTIDIEN

Patrick TRESSIERES, Caroline DUMONT
Société Le Bioepurateur
4 voie Domitienne - 34500 BEZIERS – France

Téléphone : 00 33 (0) 563 576 018 ou Mobile : 00 33 (0) 683 837 005

E-mail : contact@lebioepurateur.com

Site Web : www.lebioepurateur.com

HISTORIQUE

La naissance du Bioépurateur en février 2002 est l'aboutissement de 5 années de R&D menées par Patrick TRESSIERES dans le domaine du traitement des effluents domestiques, industriels et agricoles.

Ces développements ont essentiellement ciblé les petits débits (< 40 Equivalents Habitants pour les effluents domestiques, < 25 m³/jour pour l'industrie.) Avec une prédilection pour les tout petits débits (< 10 EH pour les effluents domestiques, 5m³/jour pour l'industrie.).

QUELQUES REALISATIONS

En Recherche et Développement :

- Etude sur le traitement des lisiers de veaux en batterie (2002).
- Etude sur la séparation de particules de silice d'une phase aqueuse en présence d'hydrocarbures (effluents spécifiques d'un procès en verrerie). (2002).
- Etude en caractérisation fine et traitement des effluents de carénage de bateaux de pêche et de plaisance (2000 à 2004). Réalisation d'un pilote à l'échelle 1, puis fabrication de 3 installations pour chantiers navals (2 en 2003, 1 en 2007).
- Etude et réalisation pour le dégraissage (séparation) amont du procédé de traitement des eaux grises de la station Antarctique Concordia. (2004).
- Etude sur la bio digestion aérobie des lisiers de porc.
- Etudes sur traitements bios en très petit débit avec économie maximum d'énergie (applications WC autonome embarqué pour bateau de plaisance). 1 prototype est en cour de test (couplage : bio digestion aérobie, substrat adsorbant, filtration UF). Le suivi porte sur 14 paramètres en acquisition de données informatisé et une veille analytique sur les paramètres conventionnels (MES, DBO₅, DCO, COT, Nitrates, O₂, ...)
- Etude sur le traitement d'eaux grises de douche et de lavabo en vue de leur réutilisation pour le même usage. 1 Prototype à l'échelle 1 est en test, veille analytique sur les paramètres des eux traitées (eaux d'hygiène selon le standard de l'ESA).
- Traitement des effluents des bateaux et péniches habitées à l'année (prototype en cours de réalisation).
- Traitement des effluents domestiques dans le cadre de l'Assainissement Non Collectif. La mise en validation est en cours sur le site de Pignan de la Communauté d'Agglos de Montpellier. Le comité de suivi est constitué de l'AE RCM, la Région LR, Le CG 34, le Satese de l'Hérault, VersEau, le CSTB, Simop. Les laboratoires sollicités pour le suivi analytique sont Technomembranes, le laboratoire de génie d'élaboration de bio produits de l'université Montpellier II.

En produits industrialisés et commercialisés :

Traitement des effluents domestiques dans le cadre de l'assainissement Non collectif :

Mise au point et industrialisation du module compact de traitement LE BIOEPURATEUR (voir photos ci-dessous). Actuellement le parc de bioépurateur est de 11 appareils installés chez des particuliers en milieu diffus. Ce parc est en veille technologique depuis 5 ans. Une démarche pour obtention d'un avis technique en vue d'une homologation est en cours.

Traitement des effluents de carénages de bateaux :

Mise au point et industrialisation d'un procédé sans rejet au milieu naturel et recyclage total des eaux traitées pour une réutilisation en boucle par les appareils de nettoyage haute pression. (voir photos ci-dessous). Ce procédé a fait l'objet entre 2002 et 2003 d'une validation officielle avec comité de suivi, constitué de : l'Agence de l'Eau Rhône-Corse-Méditerranée, l'IFREMER, l'ADEME, Le SMNLR, Le Conseil Général de l'Hérault, l'ensemble coordonné par le Syndicat Mixte pour l'Aménagement Touristique de la Région Languedoc – Roussillon dans le cadre de l'Opération Ports Propres. Cette validation de procédé a été co-financée par la Région Languedoc-Roussillon et l'entreprise dans le cadre d'une convention de Programme de Transferts de Technologie (Mission de Développement Technologique). Les partenaires associés à cette mission sont Le Laboratoire Génie des Procédés d'Elaboration de Bioproduits de l'université Montpellier II et le laboratoire Techno membranes spécialisé depuis plus de 17 ans dans la recherche fondamentale et appliquée liée à la filtration membranaire. Actuellement 3 installations fonctionnent dans des chantiers navals privés.



Traitement complet pour effluents de carénage de bateaux



Modules de traitement en maintenance



Matériel technique contenu



Équipement d'un module pour contrôle des

dans un module de traitement

paramètres de fonctionnement.

Dispositif de dégraissage et de séparation de graisses et d'hydrocarbures mono ou bi-bac.



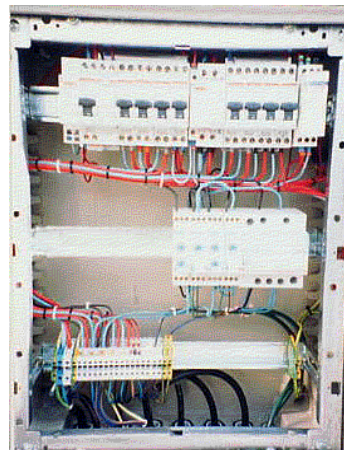
Unité de séparation en tête pour la station Antarctique « Concordia » (eaux grises)

➤ **Postes de relèvement compact pour petits débits :**

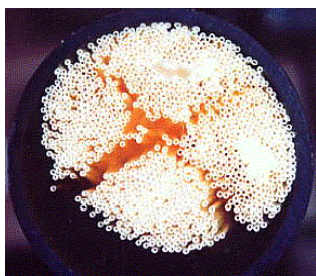


Postes mono et bi pompes pour des débits de relevage compris entre 1 et 15 m³/h.

➤ **Divers :**



Câblages d'armoires électriques pour procédés de traitement d'effluents industriels.



Faisceau de fibres creuses d'un module UF de filtration tangentielle.

RECYCLAGE DES EAUX EPUREES ET MEMBRANES

Philippe **GENSSE**

Société SAUR - Resp. de Projet R&D 1 rue Antoine Lavoisier

78064 St QUENTIN EN YVELINES

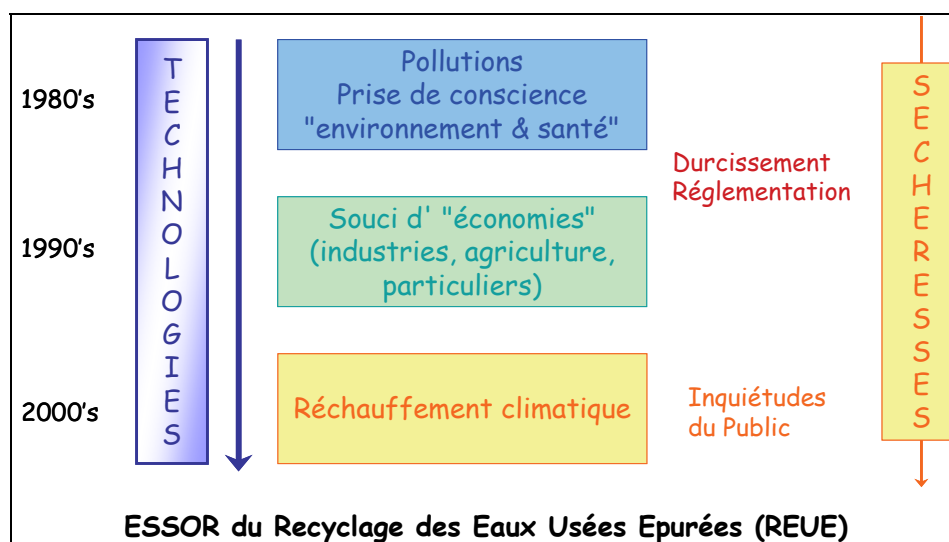
Téléphone : 01 30 60 16 61 - E- mail : hdarras@saur.fr ou pgensse@stereau.fr

Le groupe SAUR

Avec 12000 collaborateurs dans le monde et 1,4 milliards de CA en 2005, le groupe SAUR est un leader de la profession des métiers de l'eau, de la propreté et de l'environnement. Avec sa filiale COVED, il assure aux collectivités et aux industriels, la traçabilité, le traitement et la valorisation de leurs déchets, dans le respect des normes environnementales en vigueur. STEREAU, filiale ingénierie du Groupe, assure la conception et la construction d'importantes stations d'épuration et d'usines de production d'eau potable (Lyon, Saint-Etienne, Paris-Région Parisienne...). Elle oriente son développement vers les technologies innovantes comme le traitement membranaire des eaux usées avec le procédé exclusif Aqua-RM[®], l'ultrafiltration d'eau potable avec CarboRM[®], la réduction du volume des boues par un procédé mycélien avec MycET[®] ou de séchage solaire avec Héliocycle[®]. A l'international, Saur est implantée dans de grandes villes, desservant plusieurs millions d'habitants dans des pays aussi différents que l'Espagne, l'Argentine, la Pologne...

Pourquoi la REUE ?

Les chiffres le montrent, la quantité d'eau disponible tend à diminuer de part le monde, alors que la quantité d'eau consommée ne fait qu'augmenter. La demande mondiale en eau a en effet été multipliée par 6 au cours du 20^{ème} siècle. A ce rythme, en 2050, c'est près de 4 milliards d'habitants qui auront des difficultés d'approvisionnement en eau potable, voire des pénuries, soit 54 pays touchés.



Au cours du 19^{ème} et du 20^{ème} siècle, une forte prise de conscience environnementale, le durcissement des réglementations sur l'eau ainsi que les perturbations climatiques entraînant la raréfaction de l'eau entraînent une forte mobilisation pour la réutilisation des eaux usées épurées. Heureusement, les évolutions technologiques ont pris les devants et des procédés nouveaux sont prêts à satisfaire les demandes des consommateurs, collectivités ou industriels, qui souhaitent recycler leurs eaux traitées.

Contextes réglementaires : moteur ou frein ?

La Californie est une des premières régions du monde à mettre en place une réglementation spécifique pour le recyclage des eaux usées épurées, dans les années 70. L'OMS, s'inspirant de cette législation, rédige des recommandations à cette même époque. Malheureusement, ces « guidelines » sont trop limitantes pour être exploitées par tous les pays du monde. L'OMS les modifie donc en 1989 et les rend ainsi plus accessibles. Le texte ainsi modifié sera ensuite repris par de nombreux pays du monde, qui l'adapteront en fonction de leur contexte local. Depuis septembre 2006, l'OMS a porté de nouvelles recommandations à la connaissance du public. Elles se basent sur des données épidémiologiques (probabilité de présence de pathogènes, mortalité des microorganismes dans l'environnement), et permettent d'adapter plus précisément les modes de traitement et les qualités souhaitées en fonction de l'usage qui est fait de l'eau recyclée (lavage de légumes consommés crus, cuisine industrielle, céréales cuites...)

Quels traitements pour quelles pollutions ?

Les 2 tableaux suivants présentent les filières aujourd'hui bien maîtrisées et permettant un recyclage des eaux. Elles sont séparées en 2 types de traitements, choisis en fonction de l'usage final de l'eau.

Traitements de base indispensable (irrigation en agriculture, arrosage d'espaces verts, zones de baignade...)

Traitement biologique	Séparation Solide / Liquide	Filtration
BA	Décantation	filtres à sable (+UF)
BA	Décantation	filtres AMIAD (μm)
Biofiltration		
BAM		

*BA = Boues Activées

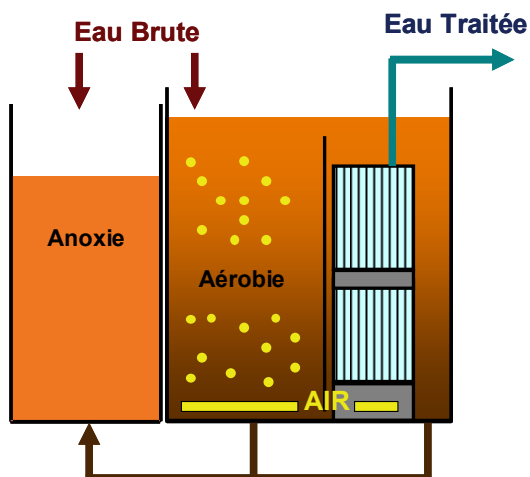
Affinage complémentaire pour des utilisations plus délicates (recharge de nappe, production d'eau potable...)

Filtration poussée	Affinage micropolluants	Désinfection
NF / OI + Chlore résiduel		
-	Charbon Actif	UV + Chlore résiduel
-	Oxydations avancées	Chlore résiduel

+

AQUA-RM[®] : un atout pour la ReUse

Il s'agit d'un procédé de traitement des Eaux Usées par séparation des phases liquide et solide à travers des membranes plaques immergées KUBOTA dans le réacteur de traitement biologique. Ce procédé, très modulable, est utilisable par de très petites collectivités (Compact-RM[®]) ou par de grandes agglomérations (Quiberon) pour le traitement poussé de leurs eaux usées (de 800 à 800 000 EH). Il est particulièrement apprécié dans les zones littorales, les zones de baignade et les zones touristiques pour sa modularité face aux variations saisonnières et pour la qualité de l'eau traitée qu'il produit.

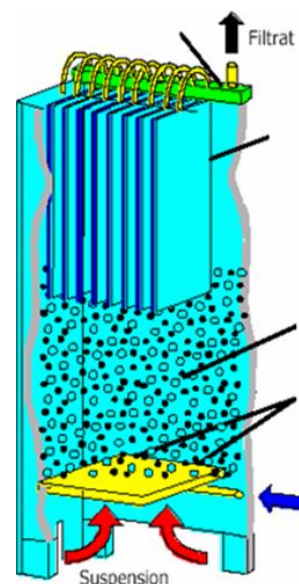


Caractéristiques techniques

- ▶ [MES] = 8 – 20 g/l
- ▶ Traitement CNP
- ▶ Aérations
 - > biologique
 - > et membranaire
- ▶ Production d'eau traitée
 - > aspiration
 - > ou gravité
- ▶ Pas de clarificateur
- ▶ Possibilité de réutiliser des ouvrages existants

Le décolmatage permanent des plaques est assuré par une injection d'air sous les modules, qui érode le gâteau de boue en formation.

Pour une plaque	
Hauteur	0,95 m
Largeur	0,44 m
Epaisseur	8 mm
Surface membranaire	0,8 m ²
Paramètres de fonctionnement	
Débit d'air	5-10 l/(min.plaque)
Flux d'eau spécifique	10 - 50 LMH
Perméabilité à 20°C	200 - 400 LMHB
Seuil de coupure des pores	0,1 - 0,4 µm
Seuil de coupure réel	0,01 µm



La forte concentration en boue admise sur le procédé autorise une diminution notable de la taille de la station (divisée par 3 au minimum) et permet un traitement biologique poussé du carbone, de l'azote et du phosphore. Les plaques filtrantes permettent de retenir les matières en suspension ainsi que les microorganismes présents dans les eaux usées.

Données issues du retour d'expériences SAUR en France	
Abattement virus (MS2)	> 3,3 log
Présence d'œufs d'Helminthes	non
Abattement bactérien	6 log
Résultats obtenus par Kubota aux USA pour l'agrément Title 22	
Coliformes totaux	≥ 6 log
Coliformes fécaux	≥ 5 log



Conforme aux futures normes européennes sur eaux de baignade
 Conforme à « State of California Water recycling Criteria title 22 »

Le traitement biologique avancé couplé à la filtration membranaire permet d'obtenir une eau de qualité destinée au recyclage direct (irrigation, nettoyage des voiries, chauffage par plancher chauffant et pompe à chaleur, préparation de réactifs sur la STEP...) ou indirect après ajout d'une étape supplémentaire de filtration membranaire (ex : Osmose Inverse pour retenir les sels présents dans l'eau traitée).



Des tests pilote ont été réalisés afin de valider la faisabilité d'un traitement d'affinage sur l'eau de sortie de l'Aqua-RM[®], eau présentant des SDI (indice de colmatage) tout à fait favorables à une filtration complémentaire sur membranes spiralées d'Osmose Inverse (SDI moyens \approx 3). Les performances du procédé ont été évaluées sur des micropolluants présents dans les eaux usées de la région de test (organostaneux, hormones, phénols). Les conclusions sont claires : l'Aqua-RM[®] abat à lui seul environ 95% des polluants, le reste étant retenu à plus de 99% par la membrane d'OI. En sortie d'OI, les micropolluants ne sont plus détectés. Un test de toxicité a également été réalisé sur les eaux traitées par l'Aqua-RM et l'OI. Ce test, utilisé lors de demande d'agrément en eau potable, est particulièrement révélateur des performances de la filière :

Cytotoxicité		NB : L'échantillon d'eau à tester est mis en contact avec des cellules humaines. On mesure le % de synthèse d'ARN, donc le % de cellules encore vivantes après environ 5 jours de contact
Entrée STEP	8,5%	
Sortie STEP	90%	
Perméat OI	100%	

Adaptation d'une filière existante

Il est également possible d'ajouter à une station classique existante (type boues activées par exemple) une étape supplémentaire de nanofiltration pour affiner, en une seule étape, la totalité ou une partie du débit traité et le recycler. Installée sur un site balnéaire expérimental, une unité pilote de nanofiltration par fibres creuses NORIT a mis en exergue les performances de cette filière sur les polluants classiques, sur les microorganismes et également sur des micropolluants.

Alimentation de la NF	Eau traitée STEP + Préfiltration de sécurité à 100 μ m
Membranes fibres creuses	fine pellicule de polyamide / polyéthersulfone diamètre intérieur : 1,5 mm
Modules NORIT	surface unitaire par module : 20 m ² pH \approx 4 – 10 filtration de l'intérieur vers l'extérieur (filtration tangentielle)
Conditions opératoires	Flux instantané = 15 – 20 LMH Pression = 3 – 5 bars Taux de conversion = 60 – 70% Contrôle du Biofouling = Lavage à la soude + Rinçage acide



Résultats obtenus :

PARAMETRES	Influent	Rendement (%)	PARAMETRES	Influent	Rendement (%)
Concentration moyenne			Teneur maximale		
Turbidité.....	10 NFU	> 99	Coliformes totaux... 600000 /100 ml		> 6 log
Solides en suspension	20 mg/l	> 99	Enterocoques..... 24000 /100 ml		> 4 log
Conductivité.....	1650 μ S/cm	14	Bactér. sulfito-red..... 1000 /20 ml		> 3 log
Dureté totale.....	280 mg/l	30	**Virus (phages).....		> 6 log
Sulfates.....	110 mg/l	73	**Estrone	1.24 μ g/l	97
COT.....	19 mg/l	80	**Estradiol	0.13 μ g/l	93
DCO	85 mg/l	72	**Ethinylestradiol.....	0,26 μ g/l	> 98
Métaux lourds	ND		(**après dopage)		
*Aluminium.....	120 μ g/l	> 90	Nonylphenols	1.35 μ g/l	80
*Manganèse.....	57 μ g/l	46	Diuron	1.55 μ g/l	32
(*Métaux dissous)			Glyphosate	1.15 μ g/l	63

Conclusions & Perspective

La mise en place d'une filière de REUE peut passer par 2 approches différentes :

- Soit l'adaptation d'une filière existante pour assurer le recyclage d'une partie ou de la totalité du débit d'eau traitée.
- Soit l'intégration de la demande « Recyclage des eaux » dès la rédaction du cahier des charges pour la construction, l'extension ou l'optimisation d'une nouvelle STEP.

Quelque soit la filière choisie, il est important de noter les facteurs qui vont influencer la mise en place d'une filière de REUE.

- L'existence d'une réglementation spécifique
- La viabilité économique
- L'existence de financements
- L'opinion publique
- Et surtout, la volonté politique. En effet, le choix des autorités locales de faire face aux pénuries d'eau a toujours été un facteur déclenchant de la mise en place d'installations de REUE.

Enfin, il est indispensable de penser la filière de REUE en fonction des usages finaux qu'ils seront faits de l'eau et ce, afin d'atteindre un optimum économique durable.



DESSALEMENT ET ÉNERGIE

Alain MAUREL Consultant

E-mail : alain.silva.maurel@wanadoo.fr

Après une comparaison des consommations d'énergie actuelles des différents procédés de dessalement, l'exposé traitera deux cas particuliers de sources d'énergie :

- l'énergie nucléaire qui est envisagée pour les unités de dessalement de grande capacité ;
- les énergies renouvelables (solaire et éolien) qui peuvent être utilisées pour l'alimentation de petites unités sur des sites isolés.

1 Énergie de dessalement

La conversion de l'eau de mer ou des eaux saumâtres en eau douce implique une consommation d'énergie : thermique dans le cas des procédés de distillation, électrique dans le cas de l'électrodialyse, purement mécanique dans le cas de l'osmose inverse. Si ces procédés fonctionnaient de façon réversible, l'énergie nécessaire au dessalement de l'eau de mer serait identique pour chacun deux et égal à $0,7 \text{ kWh/m}^3$ ou $1,1$ ou $1,8 \text{ kWh/m}^3$ selon que le taux de conversion a pour valeur 0 ou 50 ou 80 %.

Dans la pratique les quantités d'énergie consommées sont très supérieures et ceci pour deux raisons principales :

- le fonctionnement d'une unité de dessalement dans les conditions de réversibilité entraînerait une surface d'échange (chaleur ou matière) infinie. Il est nécessaire de trouver un optimum économique entre le coût des investissements et le coût des dépenses d'énergie ; (figure 1)
- en plus de l'énergie propre au procédé de dessalement, il faut de l'énergie pour le fonctionnement des auxiliaires notamment pour le pompage.

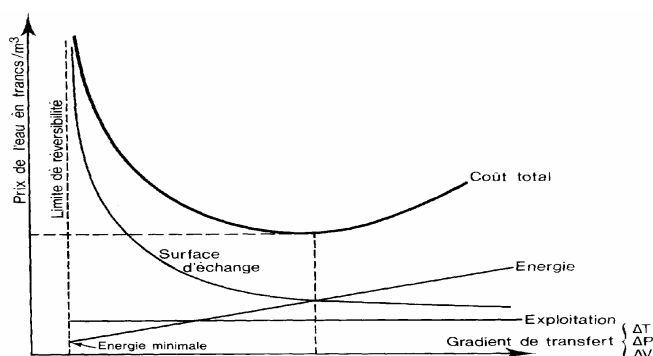


Figure 1 – Optimisation d'une unité de dessalement

Dans le cas des procédés de distillation consommant de l'énergie thermique (FLASH, LTV, HTME) la plus grande partie de l'énergie nécessaire est utilisée à un niveau relativement

bas : en effet, pour des raisons technologiques (problèmes d'entartrage en particulier) la température de l'eau de mer ne doit pas dépasser 110-120 °C. Il est donc tout naturel d'utiliser de la chaleur dégradée et de coupler la distillation avec une usine de production d'énergie quand les demandes d'eau et d'électricité sont compatibles.

Un tel couplage peut être réalisé avec un moteur diesel, une turbine à gaz ou une turbine à vapeur.

Le Tableau 1 donne un ordre de grandeur des consommations d'énergie des différents procédés de dessalement.

Pour chaque procédé nous avons indiqué deux valeurs de rendement auxquelles correspondent deux valeurs différentes des investissements.

Certains procédés nécessitant de l'énergie thermique à bas niveau, d'autres de l'énergie électrique, nous avons, pour faciliter la comparaison, supposé que l'énergie primaire était du fuel et adopté les hypothèses suivantes :

- fuel à 42 MJ/kg (10 000 kcal/kg)
- rendement du générateur de vapeur égal à 85 %,
- rendement du générateur d'électricité égal à 40 %

soit un rendement global de 10,5 MJ/kWh_e (2 500 kcal/kWh_e).

Tableau 1 - Comparaison des consommations d'énergies des différents procédés de dessalement. Cas où la source d'énergie primaire est du fuel.

PROCÉDÉS DE DESSALEMENT		Énergie nécessaire par m ³ d'eau douce MJ (10 ³ kcal)+ kWh _e	Quantité de fuel kg/m ³	
			unité à simple fin	unité à double fin
PROCÉDÉS DE	MULTIFLASH Ratio 8	293 (70) + 4	9,2	3,7
	MULTIFLASH Ratio 10	230 (55) + 5	7,7	3,4
	MULTIPLES EFFETS - 7 effets	376 (90) + 2	10,4	4
	MULTIPLES EFFETS - 12 effets	209 (50) + 3	6,25	2,7
DISTILLATI ON	Compression de vapeur ⁽¹⁾ - Δt ≠ 5 °C	0 + 16	4	4
	Compression de vapeur ⁽¹⁾ - Δt ≠ 3 °C	0 + 12	3	3
PROCÉDÉS À MEMBRAN ES	OI ⁽²⁾ eau de mer sans récupération	0 + 8	2	2
	OI ⁽²⁾ eau de mer avec récupération	0 + 4	1	1
	OI ⁽²⁾ eau saumâtre à 2,5 g/l	0 + 2	0,5	0,5
	ED ⁽³⁾ eau de mer	0 + 30	7,50	7,50
	ED ⁽³⁾ eau saumâtre à 2,5 g/l	0 + 3	0,75	0,75

(1) 1 Effet (2) OI Osmose Inverse (3) ED Electrodialyse

2 DESSALEMENT NUCLÉAIRE

Il n'y a pas à proprement parler de dessalement « nucléaire ». Dans les procédés de dessalement, le coût de l'énergie représente une part importante du coût de l'eau dessalée. Peu importe pour le procédé de dessalement, l'origine de l'énergie, conventionnelle ou nucléaire. On parle de dessalement « nucléaire » uniquement parce que à grande échelle, l'avantage économique du nucléaire pourrait permettre la production de grandes quantités d'eau douce.

Les centrales nucléaires et les usines de dessalement ont une caractéristique en commun : toutes les deux exigent des frais de premier établissement importants. Cela signifie qu'un mode opératoire économique exige un fonctionnement en charge de base (pleine charge autant que possible) pour les deux types d'installations.

2.1 L'installation de dessalement nucléaire de CHEVTCHENKO

CHEVTCHENKO (AKTAU actuellement) est un port situé en KAZAKHSTAN à l'extrémité de la presqu'île de MANGUYCHLAK sur la côte est de la Mer Caspienne. La mise en valeur de richesses naturelles locales dans cette région semi-désertique a pu se faire grâce d'une part à l'énergie nucléaire et d'autre part au dessalement de l'eau de mer de la Caspienne dont la salinité est d'environ 13,5 g/l .

- Réacteur Nucléaire BN 350

Le réacteur nucléaire BN 350 est un réacteur rapide refroidi par du sodium liquide, mis en service le 29 novembre 1972. Il a été conçu pour produire 1000 MWatt thermique, 150 MWatt électrique et 120 000 m³ /jour d'eau douce mais n'a jamais fonctionné dans ces conditions

Le réacteur a été arrêté en 1995 par suite de problèmes dus à une remontée du niveau des eaux résultant de mouvements tectoniques de la Caspienne.

- Unités de dessalement

Huit installations de dessalement ont été construites entre 1963 et 1973 pour une capacité de production légèrement supérieure à 100 000 m³/jour.

Toutes les unités de dessalement utilisent la germination comme système de prévention de l'entartrage : des germes de carbonate de calcium (craie broyée au départ) sont injectés dans l'eau de mer à une concentration de l'ordre de 10-12 kg/m³ afin d'éviter les dépôts de CaCO₃ et Mg(OH)₂ sur les parois des évaporateurs. Les germes sont récupérés dans des décanteurs et recyclés. A la sortie du décanteur, les germes sont constitués par 50 à 60 % de CaCO₃ et le complément de Mg(OH)₂. La concentration est alors de 300 kg/m³.

2.2 SITUATION ACTUELLE ET PERSPECTIVES

Des études ont été engagées par l'AIEA en 1990 sur le dessalement nucléaire à la demande des pays riverains de la Méditerranée du Sud (Algérie, Egypte, Libye, Maroc et Tunisie). L'objectif est de comparer l'intérêt de l'énergie nucléaire aux autres énergies pour produire de l'eau potable à faible coût en réponse aux besoins importants de cette région. Plusieurs organismes ou sociétés dont notamment le CEA, Siemens, Wangnick Consultant (Allemagne) et General Atomics (USA) ont participé à ces études. Un code de calcul baptisé DEEP (Desalination Economic Evaluation Programme) a été élaboré en vue d'effectuer une comparaison technique et économique des systèmes de dessalement utilisant soit l'énergie nucléaire soit des énergies fossiles.

Rappelons succinctement les avantages de l'énergie nucléaire :

- compétitivité économique en particulier dans les régions ne disposant pas de ressources fossiles,
- présentation des ressources fossiles,
- protection de l'environnement par réduction des émissions de CO₂, SO₂, NO_x,
- stabilité des prix compte tenu de la part prépondérante des charges financières dans le coût du kWh.

En fonction du procédé de dessalement, deux cas peuvent être envisagés :

a) Dessalement par osmose inverse

Ce procédé ne nécessite que de l'énergie électrique (environ 3 à 4 kWh/m³). Le coût énergétique le plus faible sera obtenu par un réacteur électrogène standard type PWR 900. Si un tel réacteur était utilisé uniquement pour dessaler de l'eau de mer, la quantité d'eau douce obtenue serait, avec un facteur de charge de 90 %, égale à :

$$\frac{900.10^3 \text{ kwatt} \times 24^{\text{h}} \times 90 \%}{4 \text{ kwh} / \text{m}^3} \# 5 \text{ millions de m}^3/\text{jour}$$

L'interconnexion des réseaux électriques des pays méditerranéens prévus dans les années à venir devrait faciliter cette solution.

b) Dessalement par distillation multiples effets

Ce procédé de distillation présente par rapport au procédé FLASH des consommations énergétiques plus faibles. On peut en effet se baser sur les valeurs suivantes : 60 à 70.10³ kcal/m³ pour le chauffage de l'eau de mer et 1 à 2 kWh/m³ pour le pompage de l'eau.

Cette énergie pourrait être fournie de deux façons différentes :

- Soit par un réacteur nucléaire classique PWR 900 avec soutirage partiel de la vapeur nécessaire au dessalement (avec diminution de la production d'électricité).
- Soit par un réacteur HTR (High Temperature Reactor) couplé à une turbine à gaz. Outre son rendement élevé (48 %) dû à la température élevée de la source chaude (850 °C), ce type de réacteur conduit à une température de rejet à la source froide pouvant atteindre 110-120°C, ce qui pourrait procurer une source d'énergie « gratuite » pour des applications de chauffage urbain ou de dessalement d'eau de mer.

Une étude faite par CEA/FRAMATOME a montré qu'un réacteur HTR de 600 MW_{th} couplé à une unité de distillation multiples effets serait susceptible de produire 284 MW_e d'électricité et 42.000 m³/jour d'eau douce à 0,43 \$/m³.

3 Distillation solaire directe

3.1 Principe

Soit une serre fermée et exposée au soleil à l'intérieur de laquelle se trouve une lame d'eau de mer ou d'eau saumâtre de quelques centimètres d'épaisseur. L'air à l'intérieur de la serre est surchauffé et saturé de vapeur d'eau (douce) qui se condense au contact de la paroi relativement froide du verre. Les gouttes d'eau douce peuvent être recueillies en bas du vitrage dans une gouttière par exemple (*Figure .2*)

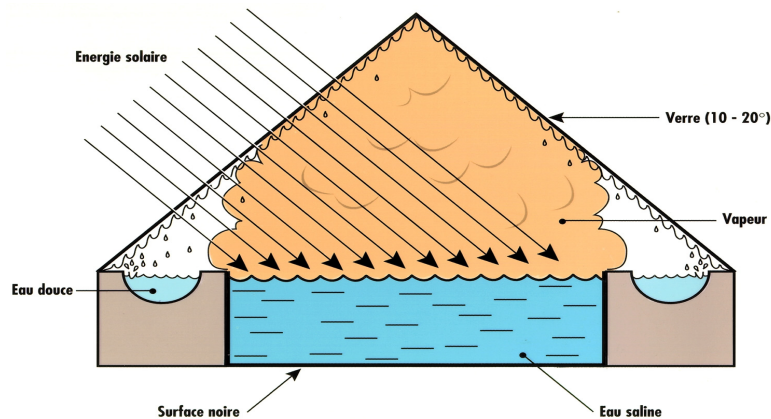


Figure 2- Principe du distillateur serre

3.2 Performances des appareils

On définit l'efficacité E d'un distillateur solaire par le rapport de l'énergie utilisée effectivement pour la production d'eau douce à l'énergie solaire incidente :

$$E = \frac{P \cdot L}{I}$$

où P est la production d'eau douce en $\text{kg/m}^2/\text{jour}$
 L la chaleur latente de vaporisation en kJ/kg
 I le rayonnement solaire incident en $\text{kJ/m}^2/\text{jour}$.

En général E est compris entre 0,30 et 0,60 ce qui signifie que 40 à 70 % de l'énergie incidente est dissipée en pertes thermiques. Sachant que I dans une région bien ensoleillée est de l'ordre de $20\,000 \text{ kJ/m}^2/\text{jour}$ et que L est de l'ordre de $2\,500 \text{ kJ/kg}$, on en déduit :

$$P = 3,6 \text{ litres/jour/m}^2$$

en se basant sur une efficacité de 45 % ce qui est relativement élevé.

Sur le plan technique, l'efficacité augmente lorsque :

- l'épaisseur de la lame d'eau diminue,
- la distance lame d'eau-toit diminue,
- la température de fonctionnement augmente,
- la vitesse du vent augmente,
- la couverture est refroidie,
- la pente du toit a sa valeur optimale, valeur optimale qui dépend des conditions climatiques (latitude),
- on peut récupérer la chaleur de condensation,
- on permet au distillateur de poursuivre son fonctionnement la nuit par utilisation des techniques de stockage d'énergie.

3.3 Perspectives de la distillation solaire directe

Les possibilités de ce procédé fort simple sont toutefois très limitées. En effet la productivité ne peut dépasser 4 à 5 litres d'eau douce par jour et par m^2 de bassin et l'on arrive très vite à des surfaces de serres très importantes.

Selon une estimation, le prix d'un distillateur serre se situe entre 50 \$/m² et 100 \$/m², suivant le coût de la main d'œuvre.

Si l'on admet une durée de vie de 15 ans (ce qui paraît élevé) une production spécifique de 4 litres/jour/m², soit environ 1,2 m³/m²/an et si l'on suppose un taux d'intérêt de 10 %, le coût du m³ d'eau douce est compris entre 5 et 10 \$/m³ en ne considérant que les charges financières. On peut considérer en effet, que l'exploitation et l'entretien sont assurés par de la main d'œuvre familiale considérée comme gratuite.

Contrairement à une idée largement répandue le coût du dessalement par distillateur serre est élevé compte tenu des performances relativement modestes obtenues.

4 ASSOCIATION DES ÉNERGIES RENOUVELABLES AVEC DES PROCÉDÉS DE DESSALEMENT CONVENTIONNELS

Une autre possibilité est d'utiliser les énergies renouvelables avec des procédés de dessalement conventionnels à haut rendement. Il faut toutefois tenir compte de deux caractéristiques essentielles des énergies renouvelables : leur coût élevé et leur discontinuité.

- **Le coût élevé des énergies renouvelables** est dû en particulier aux rendements de captation en général faibles et aux conditions climatiques souvent hostiles (atmosphère marine, températures torrides, éventuellement cyclones...). Ce coût élevé de la source d'énergie va impliquer l'utilisation de procédés de dessalement à très hautes performances.
- **L'énergie solaire est discontinue** et ceci à double titre : d'une part l'alternance régulière jour/nuit et d'autre part les aléas climatiques plus arbitraires. En effet, compte tenu du coût élevé des installations de dessalement, il est indispensable économiquement de faire fonctionner de telles installations 24 h/24. L'alternance régulière jour/nuit va nécessiter un stockage limité. Quant aux aléas climatiques ils nécessiteront un stockage plus important si l'on veut assurer une production nominale en tout temps.

De nombreuses opérations de démonstration ont vu le jour durant les années 1980 dont plusieurs pilotées par le CEA :

- projet PITHON (Prototype Industriel à Tubes Horizontaux Noyés) : distillation à multiples effets associée à des capteurs plans,
- unités d'osmose inverse alimentées soit par des aérogénérateurs, soit par de photopiles,

4.1 Procédés de distillation et énergie solaire

A priori les procédés de dessalement par distillation semblent les plus aptes à être couplés avec l'énergie solaire. En effet, pour son fonctionnement une installation de distillation nécessite pour la plus grande part de l'énergie thermique afin d'assurer le chauffage de l'eau de mer : de 170 à 420 MJ (40 à 120 thermies) par m³ d'eau produite suivant le rendement de l'installation. De plus cette énergie thermique doit être fournie à un niveau de température relativement faible en général inférieure à 100 - 110 °C pour éviter les problèmes d'entartrage. Dans ces conditions, l'énergie thermique d'une installation de dessalement par distillation peut très bien être fournie soit par des capteurs plans si l'unité de dessalement fonctionne à basse température (60-70 °C) soit par des capteurs à concentration si l'unité fonctionne à plus haute température (90-110 °C).

Une unité de dessalement appelée PITHON (Prototype Industriel à Tubes Horizontaux Noyés) a été conçue et réalisée par le Service des Transferts Thermiques du Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble. Ce distillateur à effets multiples de conception nouvelle, est bien adapté au couplage à l'énergie solaire.

Plusieurs étages d'évaporation, appelés « effets », sont empilés. Un vide préalable est créé, puis maintenu par une extraction permanente des incondensables.

L'énergie thermique est amenée dans l'effet de tête par un fluide chaud venant d'un champ de capteurs solaires ou d'un stockage thermique. Cette énergie est cédée à l'eau salée à travers un faisceau de tubes horizontaux immergés. Une fraction de l'eau s'évapore et la vapeur ainsi formée va se condenser en eau douce à une température légèrement inférieure dans le faisceau de tubes immergés de l'effet suivant.

L'énergie thermique libérée par la condensation est alors cédée à l'eau salée de ce deuxième effet (l'eau salée s'écoule par gravité d'un effet à l'autre). Cette énergie est sensiblement égale, aux pertes et irréversibilités près, à celle introduite au premier effet.

Ce processus se poursuit jusqu'au dernier effet, dont la température devient proche de celle de l'eau salée d'alimentation. La vapeur produite dans le dernier effet se condense sur un dernier échangeur (condenseur final).

Ce distillateur à multiples effets offre un certain nombre de caractéristiques remarquables :

- souplesse de fonctionnement,
- simplicité,
- rendement élevé,
- faible consommation d'énergie mécanique.

Les principales caractéristiques du prototype mis en service en 1981 à la station expérimentale du CEA à Toulon sont les suivantes : (figure 3)

- température de fonctionnement		70 °C
- nombre d'effets	12	
- capacité de production		1 m ³ /h
- consommation d'énergie calorifique		293 MJ (70 thermies)/m ³
- consommation d'énergie mécanique	1 kWh/m ³	

Le fonctionnement à relativement faible température (70 °C) présente de nombreux avantages :

- possibilité d'utiliser des capteurs plans couramment commercialisés,
- limitation des problèmes d'entartrage et de corrosion.

Associé à un stockage d'énergie permettant un fonctionnement 24h/24 (eau chaude par exemple) la capacité de production de cette installation est d'environ 25 m³/jour.

A la suite de cette expérimentation, une installation multiples effets à faisceaux arrosés de 72 m³/jour a été mise en service en juillet 1988 à ALMERIA en Espagne pour la société française ENTROPIE. L'installation de dessalement de capacité nominale 3 m³/h comporte 14 effets. La production nominale est de 72 m³/jour pour une température d'eau de mer de 25 °C et une température maximale de saumure de 69 °C. Les capteurs solaires sont des capteurs paraboliques à concentration.

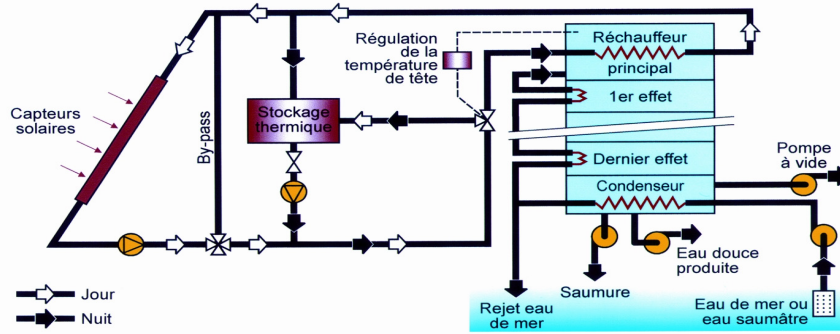


Figure 3- Distillateur à effets multiples associé à des capteurs solaires et un stockage thermique

4.2 Osmose inverse et Énergie solaire

Le procédé d'osmose inverse utilise de l'énergie mécanique qui peut être fournie soit par un générateur photovoltaïque soit par un moteur solaire de type thermodynamique. Par rapport aux autres procédés, l'osmose inverse présente certains avantages :

- le procédé est très simple (une pompe haute pression) et il n'y a pas d'auxiliaires consommateurs d'énergie parasite,
- la pression de fonctionnement qui dans le cas des eaux saumâtres est de l'ordre de 30 bars peut être réduite de manière importante (d'un facteur 2 ou plus) sans poser trop de problème. La diminution de la sélectivité des membranes avec la pression peut être en effet rattrapée en diminuant le taux de conversion.
- l'énergie hydraulique du circuit haute pression à la sortie de l'unité d'osmose inverse (rejets) peut être récupérée au moyen d'une turbine Pelton par exemple au lieu d'être perdue dans une vanne de détente comme cela se fait actuellement dans les installations courantes.

On peut ainsi pour une eau saumâtre à 2,5 g/litre avoir une consommation d'énergie voisine de 1 kWh/m³ (au lieu de 3 dans une installation classique).

Le Commissariat à l'Énergie Atomique a expérimenté en 1978 une unité d'osmose inverse associée à une pompe solaire Sofretes. Le principe de la pompe solaire consiste à utiliser la chaleur émise par le soleil comme source chaude et l'eau pompée comme source froide. Entre ces deux sources de chaleur, d'après le principe de Carnot, il est possible d'obtenir de l'énergie mécanique en utilisant un moteur à piston ou une turbine.

Le fluide utilisé est le butane ou le fréon. Un tel système a évidemment un rendement très faible : cela tient à la nature même du moteur thermique mais la robustesse de l'ensemble et ses très faibles exigences d'entretien lui confèrent un intérêt considérable. Les capteurs solaires employés sont des capteurs plans du même type que ceux qui sont utilisés pour le chauffage des locaux. Ils contiennent un liquide caloporteur, généralement de l'eau, qui collecte la chaleur produite, la transporte et la cède au butane au fréon en provoquant son évaporation. La pression ainsi obtenue permet d'actionner un convertisseur thermodynamique à expansion, moteur à piston ou à turbine. Le fluide, après sa détente dans le convertisseur, est liquéfié dans un condenseur, lui-même refroidi par l'eau pompée.

Une unité prototype a été testée durant l'été 1978 sur le site de Cadarache dans le Sud de la France. Cette unité qui avait une capacité de production de 15 m³/jour d'eau douce à partir d'eau saumâtre à 2 000 mg/l était couplée à un moteur thermodynamique de 3 kWatts.

Une installation plus importante associée à un moteur solaire Sofretes de 10 kWatts a été mise en service en mars 1981 sur le site d'El Hamrawin en Egypte (*Figure.4*). Le site d'El Hamrawin est situé sur les bords de la Mer Rouge à environ 600 km du Caire et à la même latitude que Louxor.

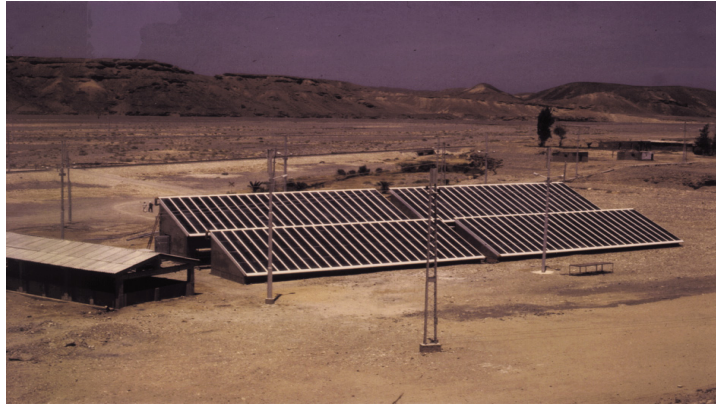


Figure 4- Capteurs plans solaires (384 m²) assurant le fonctionnement d'une unité de dessalement par osmose inverse à El Hamrawin (EGYPTE)

Par suite de difficultés technologiques (corrosion, étanchéité...) le générateur solaire thermodynamique SOFRETES a été remplacé par un générateur photovoltaïque

4.3 Association de l'osmose inverse avec des photopiles

Unité d'EL HAMRAWIN (Egypte)

Dans le cadre d'une convention avec l'AFME (Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie) et en collaboration avec la Société PHOTOWATT, le CEA a effectué la conception, le montage et la mise en service en Décembre 86 d'une unité de dessalement d'eau saumâtre par osmose inverse alimentée par un générateur photovoltaïque sur le site d'EL HAMRAWIN en ÉGYPTE.

Cette unité dont la capacité de production est d'environ 10 m³/h avec une eau saumâtre à 4,4 g/l est alimentée en énergie électrique par deux générateurs photovoltaïques fournis et mis en place par la Société PHOTOWATT :

- Un générateur principal pouvant fournir 19,84 KW crête sous 104 Volts (496 panneaux PWP 400) destiné à l'alimentation de la pompe haute pression,
- Un générateur secondaire pouvant fournir 0,64 KW crête sous 24 Volts destiné à l'alimentation des circuits de contrôle-commande et des vannes motorisés.

Un stockage d'énergie (2 000 Ah x 104 Volts = 208 kWh) permet d'assurer une autonomie de 3 jours environ en cas de non ensoleillement. Une des spécificités de cette unité est sa faible consommation énergétique à savoir moins de 1 kWh/m³ d'eau douce produite produite.

Unité d'Hassi-Khebi (Algérie)

HASSI-KHEBI est un village Algérien d'une centaine de familles, situé à 400 km environ au Sud de BECHAR. Les habitants de ce village sont confrontés depuis quelques années à un problème d'eau potable. En effet, les seules eaux disponibles provenant d'un forage ont une salinité de 3,2 g/l et sont de plus très magnésiennes. De ce fait, un camion citerne alimente en eau potable le village à partir d'un point d'eau situé à 200 km.

Partant de là, le Centre Algérien de Développement des Energies Renouvelables en relation avec le Centre de Cadarache a décidé d'implanter une unité d'osmose inverse associée à un générateur photovoltaïque.

Le générateur photovoltaïque réalisé par la partie Algérienne est constitué de 72 modules AEG de 36 Watt crête chacun (à 25 °C) soit une puissance installée de 2,59 KW crête.

Un stockage d'énergie par batteries d'accumulateurs (500 Ah x 120 Volts = 60 kWh) permet une autonomie de 3 jours environ.

L'unité d'osmose inverse fournie par le Centre de CADARACHE comporte 6 modules d'osmose inverse spirales type FILMTEC BHR-10/100. Une turbine PELTON placée sur le circuit saumure à la sortie des modules permet une récupération d'énergie d'environ 300 Watts.

Le coût du m³ d'eau produite sur la base d'un amortissement sur 20 ans a été estimé à 6 \$ /m³. Ce chiffre qui peut paraître élevé est à comparer au coût du transport par citerne sur une distance de 400 km qui est d'environ 160 \$ pour 5 m³ soit 32 \$/m³.

4.4 Association de l'osmose inverse avec l'Énergie Éolienne

Il existe de nombreuses îles ou des régions isolées en bordure de mer qui ne peuvent se développer favorablement par suite du manque d'eau douce. Ce sont souvent par contre des régions fortement ventées disposant de cette énergie toujours renouvelée, l'énergie éolienne qu'il est possible d'utiliser pour dessaler l'eau de mer.

Rappelons que la puissance maximale que l'on peut extraire du vent par un dispositif de surface S est donnée par la loi de BETZ :

$$P = 0,37.S.V^3$$

P en Watt, S en m², et V la vitesse du vent en m/s.

Pour une hélice de diamètre D, la limite de BETZ est égale à :

$$P = 0,29 D^2V^3$$

D étant le diamètre de l'hélice en mètre

Pour les aérogénérateurs actuellement commercialisés, le rendement en énergie électrique varie entre 30 et 50 % de la limite de BETZ.

Des expérimentations de dessalement d'eau de mer par énergie éolienne ont été effectuées par le CEA durant les années 1980. Ces essais étaient basés sur une fourniture d'énergie électrique (380 Volts - triphasé) par un aérogénérateur AEROWATT constitué d'une hélice bipale de 9,20 m de diamètre tournant autour d'un axe horizontal fixé sur un mât de 15 m de hauteur. Cet aérogénérateur est caractérisé par sa puissance nominale $P_n = 4$ kWatt pour une vitesse de vent $V_n = 7$ m/s.

L'unité de dessalement avait une capacité de production de 0,5 m³/h et nécessitait une puissance légèrement inférieure à 4 kWatt. Deux systèmes de couplage avec l'aérogénérateur ont été testés :

a) - Couplage direct

Ce système de couplage le plus simple, consiste à utiliser l'énergie délivrée aux bornes de l'aérogénérateur sous forme de courant alternatif 380 V directement dans le récepteur, en l'occurrence l'unité de dessalement.

Le fonctionnement au fil du vent par couplage direct de l'aérogénérateur avec l'unité de dessalement présente plusieurs avantages :

- grande simplicité,
- rendement optimal,
- utilisation de matériel standard,
- investissement minimal.

L'expérimentation que nous avons faite sur l'île du PLANIER près de MARSEILLE en 1982, soit sur des îles du PACIFIQUE en 1983 nous a montré les inconvénients du système en particulier dans le cas de certains sites où le vent fluctue par rapport à la vitesse nominale V_n .

b) - Couplage avec batterie et unité de dessalement en courant continu

Ce schéma est simple et utilisé dans la technique des énergies renouvelables. Il consiste à redresser le courant alternatif en sortie d'aérogénérateur et d'alimenter l'unité de dessalement en courant continu :

- soit directement si $V > V_n$,
- soit indirectement par l'intermédiaire d'un stockage d'énergie sur batteries si $V_i \leq V \leq V_n$.

Ce système que nous avons testé d'abord près de MARSEILLE (site de FARAMAN) ensuite sur une île du PACIFIQUE présente de nombreux avantages :

- Récupération quasi complète de l'énergie produite par l'aérogénérateur en particulier pour $V_i \leq V \leq V_n$.
- Réduction du nombre de démarrages-arrêts d'où augmentation de la fiabilité du matériel.
- Simplification de l'armoire électrique de commande et de contrôle.
- Possibilité de faire fonctionner une unité de dessalement de puissance différente de celle de l'aérogénérateur.

Il présente toutefois quelques inconvénients :

- Coût élevé des moteurs à courant continu et du stockage d'énergie.
- Rendement énergétique du système relativement faible dû aux pertes dans le redresseur et le stockage.

Dans le cas du site de TAKAROA (PACIFIQUE), cette deuxième solution s'est avérée la plus intéressante du point de vue économique. Le prix de revient du m^3 d'eau douce était d'environ 45 Francs/ m^3 pour de l'eau de mer et 8 - 10 Francs/ m^3 pour de l'eau saumâtre à 3 g/litre et ceci pour des capacités de production de 5 - 6 m^3 /jour dans le cas de l'eau de mer et de l'ordre de 50 m^3 /jour pour l'eau saumâtre.

4.5 CONCLUSIONS SUR LE DESSALEMENT PAR ÉNERGIES RENOUVELABLES

De ces expérimentations effectuées pendant plus de 10 ans sur des sites aussi variés que le Sud de la FRANCE, l'Algérie, la Tunisie, l'Égypte ou les îles du Pacifique, les conclusions suivantes peuvent être tirées :

- Le problème le plus important qui limite le développement du dessalement par énergies renouvelables est celui du coût élevé des investissements à la fois de la source d'énergie (générateur photovoltaïque ou aérogénérateur) ainsi que de l'installation de dessalement à haut rendement.
- Dans le cas du solaire, la compétitivité de l'énergie photovoltaïque par rapport aux énergies conventionnelles (Diesel par exemple) n'étant assurée actuellement que pour des demandes en énergie inférieures ou égales à 10 - 12 kWh/jour seules des unités de dessalement photovoltaïque ayant des capacités de production inférieures ou égales à 10 -

12 m³/jour sur eau saumâtre et de l'ordre de 2 m³/jour sur eau de mer sont économiquement envisageables.

- Dans le cas de sites ventés, l'énergie éolienne présentant des coûts inférieurs à ceux de l'énergie photovoltaïque des unités ayant des capacités de production nettement plus importantes peuvent être envisagées. Ainsi une usine flottante de dessalement d'eau de mer par osmose inverse (capacité 2 millions de m³/an) alimentée par un aérogénérateur de 2,5 MW doit être mise en service en 2006 pour alimenter la ville de MURCIE (Espagne). L'eau sera transférée par des conduites vers la côte, distante de quelques kilomètres.

L'entretien et le suivi d'installations de dessalement associés aux énergies renouvelables nécessitent un minimum de technicité de la part de l'exploitant (par exemple pour le nettoyage périodique des membranes).

D'autre part, si l'on veut éviter des difficultés de fonctionnement les installations doivent être les plus simples et les plus fiables possibles compte tenu d'un environnement souvent difficile :

- environnement climatique (températures élevées, humidité, vents de sable),
- environnement humain (faible niveau technologique).

Dans certains cas particuliers, des unités de dessalement solaire ou éolien de petite capacité bien conçues et exploitées correctement peuvent permettre d'alimenter en eau de bonne qualité des sites isolés à des coûts inférieurs aux techniques conventionnelles.

ACTIVITÉS DE L'ITC EN AFRIQUE DANS LE CADRE DE LA COOPÉRATION INTERNATIONALE

DIVISION RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT TECHNOLOGIQUE



SONSOLES FERNANDEZ DE LA PUENTE GONZALEZ

Assistante Technique pour l'ITC en Mauritanie

Tel : 00 222 750.72.18.

E-mail : itcmauritania@itccanarias.org

Playa de Pozo Izquierdo, s/n
35119 Santa Lucía - Las Palmas
928 727 500 928 727 517 (Fax)

Plaza de Sixto Machado, 3
38009 Santa Cruz de Tenerife
922 568 900 922 568 901 (Fax)

www.itccanarias.org
itc@itccanarias.org

INTRODUCTION

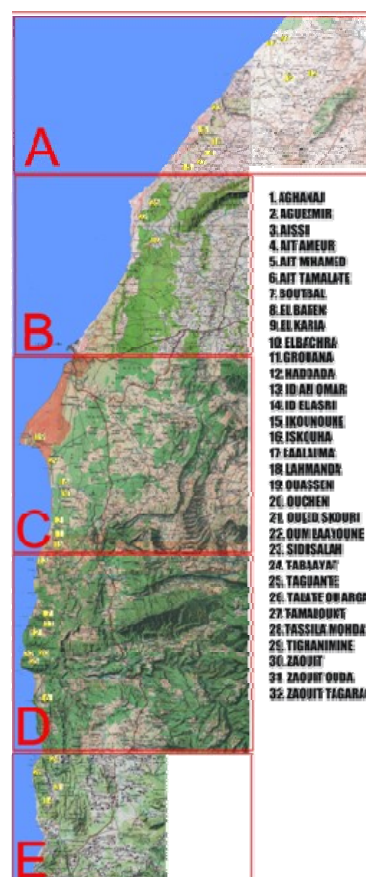
La situation des Iles Canaries comme point d'union tricontinental, la direction politique des Iles Canaries dans les régions ultra-périphériques atlantiques et la nécessité de développer une politique de coopération internationale pour le développement, s'appuyant sur les capacités technologiques des Iles Canaries, ont placé à l'ITC dans une situation privilégiée de par son expérience dans les secteurs technologiques comme l'Énergie, l'Eau et les Télécommunications.

L'ITC dispose d'un savoir-faire technologique suffisant qui a permis d'effectuer un remarquable transfert de technologie dans des pays en développement avec l'idée de produire des niches patronales et de limiter l'immigration illégale, en contribuant au développement d'une économie productive dans ces pays.

Historiquement, l'ITC a développé une série d'initiatives dans des pays africains proches (le Maroc, la Mauritanie, le Sénégal, la Tunisie) et a maintenu beaucoup de contacts et de collaborations avec des institutions d'autres pays (l'Algérie, l'Égypte, Territoires palestiniens, la Jordanie....) dans le but de transférer ses connaissances dans des secteurs qui sont d'une grande importance pour les programmes de coopération pour le développement. Il existe une grande connaissance dans le développement de projets intégraux de transfert de technologie et de formation dans le domaine du traitements d'eaux (économie, purification et réutilisation, pompes avec énergie solaire photo-voltaïque), principalement orientés vers des zones isolées ou éloignées qui manquent d'infrastructure énergétique et d'eau (petites communautés jusqu'à 2000 habitants).

ACTIONS EFFECTUÉES AU MAROC

Étude de l'électrification rurale au Maroc (1998 - 2000) Durant cette période on a effectué une étude de viabilité technico-



économique pour l'électrification rurale par l'utilisation d'énergies renouvelables dans 32 villages du sud de la province d'Essaouira.



Vue de l'unité MORENA installée en Ouassen

Électrification rurale dans le peuple d'Ouassen (2001-2003): Au cours de ce projet on a effectué la conception et l'installation d'une unité d'électrification rurale MORENA (produit ITC) dans le village d'Ouassen, appartenant à la province d'Essaouira. Le système est composé d'un container qui comporte un système hybride éolien - photovoltaïque - diesel.

Installation d'usines de dessalement (d'eau de mer et saumâtre) autonomes, alimentées par des énergies renouvelables dans des environnements ruraux de pays MENA¹ (projet ADIRA, ME8 /AIDCO/ 2001/0515/59610) (2003-2008): Ce projet européen à l'initiative d'EURO-MEDA de coopération dans des pays africains et asiatiques de la Méditerranée, et qui est cofinancé par le Gouvernement Canarien, est entamé en 2003. L'Institut Technologique des Iles Canaries avait l'objectif d'installer tout au long de 2006 quatre unités de dessalement d'eau saumâtre dans des régions défavorisées du sud du Maroc et de superviser l'installation de deux autres. Ce projet permettra de fournir de l'eau potable à plus de à 2.000 personnes du pays qui vivent principalement de l'agriculture et du bétail et qui ont vu que le phénomène de l'émigration a négativement affecté la survie de leurs peuples. Exécuteur au Maroc : Institut Technologique des Iles Canaries (ITC) et Fondation FM21 (Maroc).

Différentes vues du village Tnine Amellou où on effectuera l'installation d'une des quatre unités de dessalement d'eau saumâtre avec énergie solaire photovoltaïque - Projet ADIRA (Maroc)



¹ Pays méditerranéens et du Nord de l'Afrique



Installation de systèmes de distillation d'eau de mer énergétiquement autonomes et de bas maintien, basés sur des membranes de distillation pour son application dans des pays de la Méditerranée (projet SMADES, ICA3-CT-2002-10025) (2003-2006).

Projet européen à l'initiative d'ICA3 qui a installé entre 2003 et 2005 quatre installations réparties sur le Maroc, l'Égypte et la Jordanie. La contrepartie locale a coopéré dans la sélection du village et dans le développement de la technologie à installer.

Plan de Promotion des Énergies Renouvelables du Maroc (2003-2005):

Projet de la coopération espagnole où l'ITC collabore avec le CDER (Centre pour le Développement des Énergies Renouvelables du Maroc) dans la réalisation d'une stratégie qui prétend instaurer un cadre réglementaire adéquat pour le développement à une grande échelle des énergies renouvelables et des mesures d'efficacité énergétique dans le pays. On prétendait d'un côté définir un ensemble de mesures favorables à l'intervention des opérateurs et la mise en marche de fonds de garantie et de l'autre côté l'évaluation des ressources naturelles disponibles, l'implantation mesures réglementaires et la configuration d'un système de dispositions fiscales sur les produits en rapport avec les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique.



Réseau de coopération scientifique- technique entre les Iles Canaries, l'Afrique et l'Amérique Latine (REDCAL) (2003-2006):

Projet à l'initiative d'INTERREG IIIB MAC avec des pays tiers, a pour but de stimuler la création de relations et d'alliances scientifico-technologiques de longue durée entre les Iles Canaries, l'Afrique et l'Amérique Latine, par la conformation d'un Réseau de Coopération Transrégionale, qui promeut l'intégration et l'interaction entre les agents productifs, les Systèmes Régionaux Science et Technologie et les Administrations Publiques. Pendant cette période on a fini le projet, et on a effectué toute la documentation relative aux conclusions et aux résultats avec des techniciens marocains au sein de l'ITC. En plus, 4 bourses ont été adressées à des diplômés marocains qui souhaitent effectuer des stages dans des projets que développe l'ITC, mis en rapport avec des technologies susceptibles d'être transférées au marché marocain. Ils ont souscrit leur participation comme associés de REDCAL à l'Université de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC), à l'Université de la Laguna (ULL) et à l'Institut Astrophysique des Iles Canaries (IAC), et on dénombre comme membres du consortium transnational 11 organisations du cadre public et privé du Maroc, de la Tunisie, du Chili, du Venezuela, de Cuba et de l'Argentine.

ACTIONS EFFECTUÉES EN MAURITANIE

Mise en marche, gestion et maintien de 4 unités de dessalement d'eau de mer dans le Parc National de Banc d'Arguin (PNBA) (2000 - 2009): Ce projet consiste en l'approvisionnement d'eau potable à quatre villages du Parc National de Banc d'Arguin. Ce projet a pour but de favoriser le niveau de vie de plus de 1.500 habitants du Parc National, en maintenant l'activité de pêche qui est vitale dans cette zone. Au cours du projet on effectue une importante tâche de sensibilisation locale sur l'utilisation rationnelle de l'eau et de son économie (Coopération espagnole - Canarienne) Exécuteur : Institut Technologique des Iles Canaries (ITC). Les unités sont opérationnelles depuis août 2006. À cette date on a commencé la phase de gestion et de transfert des installations à la contrepartie locale, avec une durée de 33 mois.



Vue générale de l'installation d'une unité de dessalement dans le village de Ten Alloul

Parc thématique « Iles Canaries » (1996 - 2000): L'ITC mène à bien, par demande de Promotions Extérieures des Iles Canaries (PROEXCA), la réalisation du Parc thématique en collaboration avec la Faculté Sciences et Technologie de l'Université de Nouakchott. Ce Projet est composé d'un système de génération, de transport et de distribution électrique formé par deux aérogénérateurs, seize panneaux solaires photovoltaïques, un groupe électrogène et les équipements nécessaires pour la connexion de ceux-ci entre eux. Cette génération d'énergie permet d'alimenter une unité de dessalement par osmose inverse, un système de suivi et d'acquisition de données, l'éclairage et d'autres charges. Le Projet inclut un panneau solaire thermique et une installation d'irrigation par goutte à goutte. Le but du projet est de favoriser la recherche et de promouvoir au sein de l'Université de Nouakchott la divulgation des développements espagnols dans le domaine des énergies renouvelables dans l'ensemble de la société mauritanienne.



Création et consolidation du « Centre de Recherche appliquée aux Énergies Renouvelables, de l'Eau et du Froid » (CRAER) (2004-2007): Création et consolidation d'un Centre de Recherche Appliquée aux Énergies Renouvelables, de l'Eau et du Froid (CRAER) qui bénéficie des installations existantes dans le Parc d'Énergies Renouvelables de la FST et où on profite de l'expérience acquise par le personnel enseignant qui a travaillé sur le projet.

Durant cette dernière année, on a travaillé sur la création au sein du CRAER d'une PLATE FORME D'ESSAI MODULES ET SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES afin de former le personnel universitaire et d'offrir des prestations de services dans un futur proche. Cette action n'implique aucun risque pour l'ITC puisqu'elle s'appuie sur l'expérience acquise au cours des travaux effectués sur les installations de Pozo Izquierdo (Gran Canaria) qui comportent les mêmes caractéristiques.



ACTIONS EFFECTUÉES EN TUNISIE

Approvisionnement en eau potable à la population de Ksar Ghilène (2003-2009): Avec le financement de l'Agence espagnole de Coopération Internationale (AECI) et la Direction Générale de Relations avec l'Afrique (DGRA) du Gouvernement des Iles Canaries, se crée ce projet démonstratif et stratégique pour le pays. L'objectif est de garantir l'approvisionnement en eau potable à la population de Ksar Ghilène, au sud de la Tunisie, à partir du dessalement de l'eau saumâtre, par l'utilisation d'une unité de dessalement de production nominale 50 m³/jour alimentée exclusivement par énergie solaire photovoltaïque. Le projet, d'une durée de deux années, comprend les études nécessaires de la zone, la conception et l'installation des équipements nécessaires et ainsi le suivi et l'évaluation du projet pendant neuf mois après la mise en marche. On a commencé à produire en juin 2006, ce projet profitera à plus de 300 habitants et favorisera le développement touristique du village puisque c'est une zone de passage entre la Tunisie, la Libye et l'Algérie.



Vue du bâtiment qui abrite l'installation du projet en Ksar Ghilène

SYSTEME POTABILIS®
L'ACCES A L'EAU EN ZONE ISOLEE
SYSTEME OSMOSE INVERSE / ENERGIES RENOUVELABLES

Jean Jacques MARCHAND
Association POTABILIS
87, avenue du Littoral
F-44380 PORNICHET

- *Energie et hydraulique : Jean-Jacques Marchand ; Tél/Fax : 33 2 40 78 54 86*
E-mail : cera.bourine@wanadoo.fr
- *Electrotechnique et automatismes : Jean-Pierre Raymondi ; Tél : 33 2 40 15 43*
E-mail : jp.raymondi@wanadoo.fr
- *Génie chimique : Francis Quémeneur ; E-mail : francis.quemeneur@univ-nantes.fr*
 - *Gestion et Site : Christian Gallienne ; E-mail : christian.gallienne@freesbee.fr*



*Partenaires : entreprises S.M.C.O. et Eaux
Claires*

*Plate Forme Technologique Nazairienne
IUT et Lycée A.Briand de St. Nazaire
Ecole Polytechnique de Nantes*

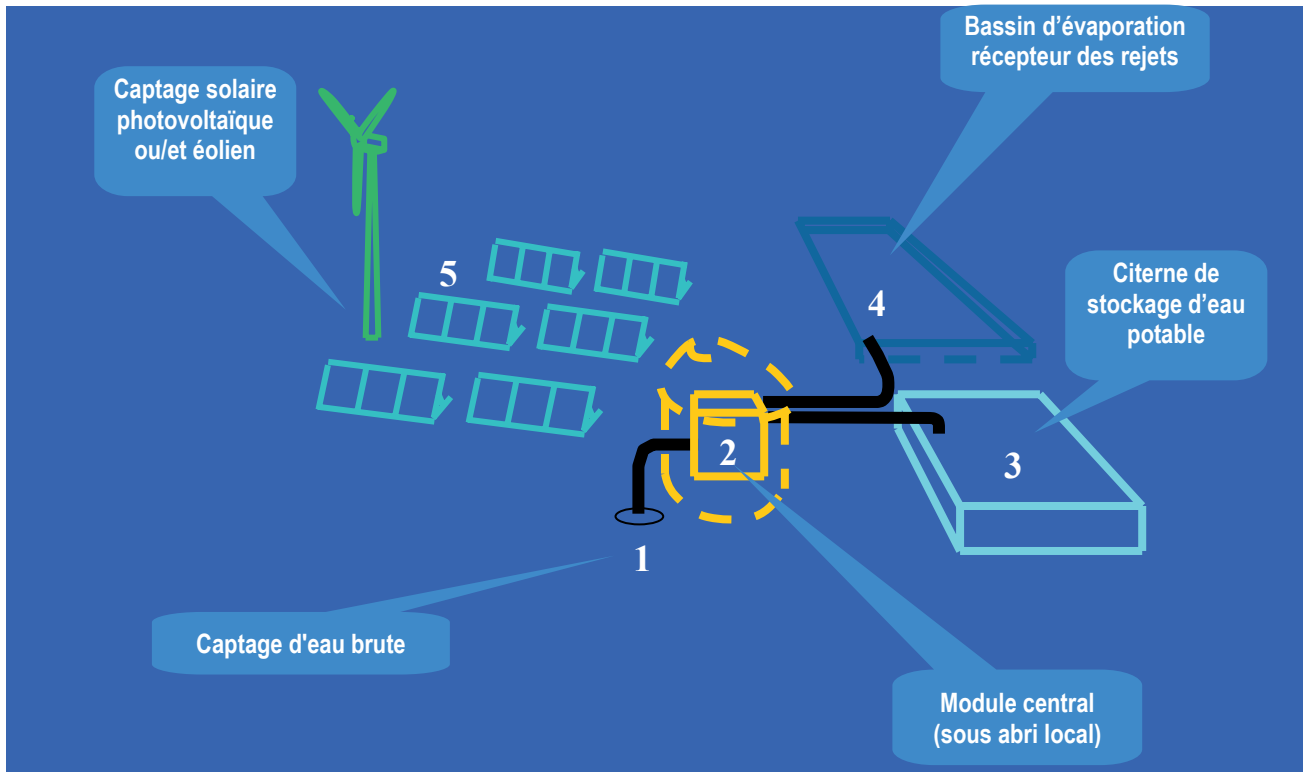
*Subventions : Région des Pays de la Loire
ANVAR; ADEME; TENESOL;
Education nationale*

En 2003 l'ONG France Kazakhstan expose les besoins en eau potable à partir d'eau saumâtre pour des villages dépourvus de réseau d'électrification. Suite à un repérage de situation dans des villages de la région de la mer d'Aral, **une équipe nazairienne de l'Education Nationale** s'est constituée pour définir un **système autonome de potabilisation.**



Après avoir évalué différentes solutions : distillation solaire ; collecte des eaux de pluie...

Un système fondé sur l'association des techniques membranaires avec l'énergie photovoltaïque ou éolienne s'avéra être la meilleure réponse à ce type de besoin, notamment pour éliminer simultanément les sels et les pollutions.



La disponibilité aléatoire dans le temps de l'énergie solaire ou éolienne et la robustesse indispensable de tout système en site isolé, ne pouvaient être satisfaites par une simple juxtaposition d'une filtration classique sur membrane avec un captage photovoltaïque ou éolien. Ceci tant sur le plan des matériels à utiliser que des modes de fonctionnement à mettre en œuvre.

Une étude d'optimisation et des essais en vraie grandeur était indispensables pour la conception du système.

En 2005 le Projet POTABILIS est lancé avec des partenaires et des financements.

iUT de Saint-Nazaire UNIVERSITE DE NANTES

Région PAYS DE LA LOIRE

Cera

Génie des Procédés Environnement Agroalimentaire GEPEA UMR-CNRS 6144

PFTN

Association POTABILIS

LYCÉE Aristide BRIAND Un parcours pour chacun

ADEME

École polytechnique de l'université de Nantes

TENESOL

oseo Pour financer et accompagner les PME

PLATE FORME TECHNOLOGIQUE NAZAIRIENNE

COMMISSION EUROPÉENNE Fonds social européen

Les 3 finalités du projet

- **Humanitaire** pour répondre aux besoins des habitants éloignés des ressources en eau potable et en énergie électrique.
- **Didactique** pour mettre un outil de recherche appliquée à la disposition des étudiants et de stagiaires.
- **Industrielle** pour les petites et moyennes entreprises.

Les capacités du système

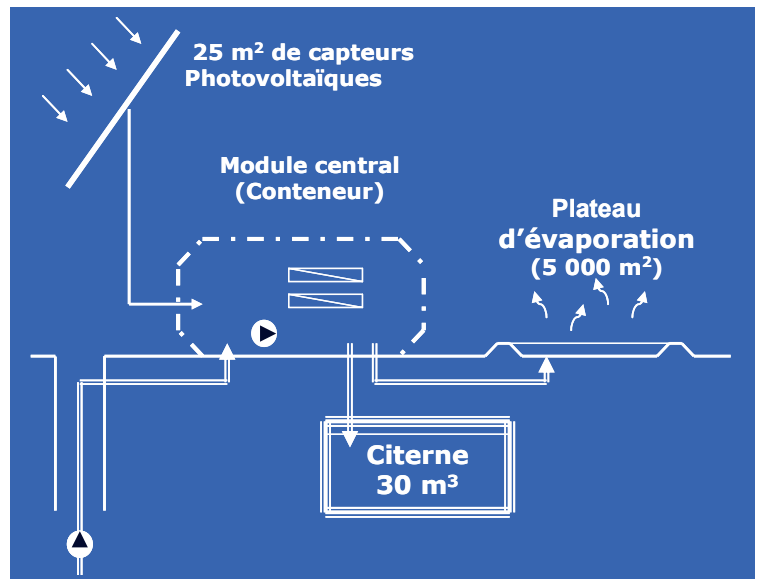
Exemple pour un site en Asie centrale et pour une eau brute à 5 grammes de sel par litre.

Puissance installée : 3 kW

Productions :

- 5,5 m³/jour pour le mois le plus favorable (juillet)
- 1,9 m³/jour pour le mois le plus défavorable (décembre)

Consommation : 3 kWh / m³



Le Banc d'Essai Industriel, un outil "flexible"



Il a été conçu pour être aisément modifiable, les tuyauteries sont amovibles, les appareils sont interchangeables, il est ainsi adaptable pour divers montages de systèmes membranaires avec des options : lavage automatisé, injections de produits ...

Il est utilisé pour valider en vraie grandeur les choix des matériels, les différentes configurations de fonctionnement hydraulique, les automatismes, les performances.

40 m² de capteurs photovoltaïques vont être installés fin 2007 pour son fonctionnement en conditions réelles.

Ce projet a déjà permis 11 000 heures de formation pour les élèves du Lycée A Briand, de l'IUT, de l'école d'ingénieur "Polytechnique"

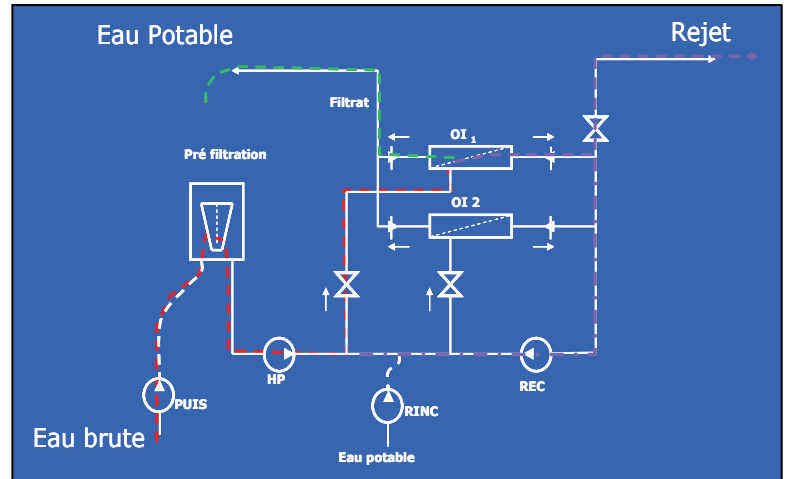


Les 9 étudiants de BTS électrotechniques participant au projet cette année

Les objectifs techniques

Robustesse et facilité de maintenance impliquent une hydraulique simple.

- Une seule membrane en fonction, une autre en secours (2 membranes en série rejet si les rejets doivent être limités).
- Une microfiltration en amont précédée si besoin d'une clarification.



Optimisation du couplage Membranes / Energies renouvelables

Différents types de matériels et différentes configurations de fonctionnement sont comparés dans leur impact sur le coût global du système ainsi que sur le coût du m³ d'eau produit par la relation d'actualisation qui implique :

- l'investissement engendré
- le coût de la maintenance (intégrée dans le taux d'actualisation)
- la durée de vie

Standardisation

Les mêmes matériels de base sont utilisés pour traiter de l'eau saumâtre dans une gamme de TDS (grammes de sel par litre) de 0 à 10 g/L, seule la programmation de l'automate est changée.

Pré installation en conteneur de toute l'hydraulique et de l'électrotechnique au départ usine.

Conditionnement des rejets sur bassin d'évaporation

Un logiciel de dimensionnement des bassins a été conçu. Il utilise les données climatologiques statistiques mois par mois d'un site (données NASA via Retscreen).

Objectifs

Réaliser un logiciel pour dimensionner le bassin d'évaporation qui doit éliminer sur les 12 mois de l'année, les apports en concentrat du système, en fonction des conditions extérieures locales, sans aucune technologie.

L'évaporation

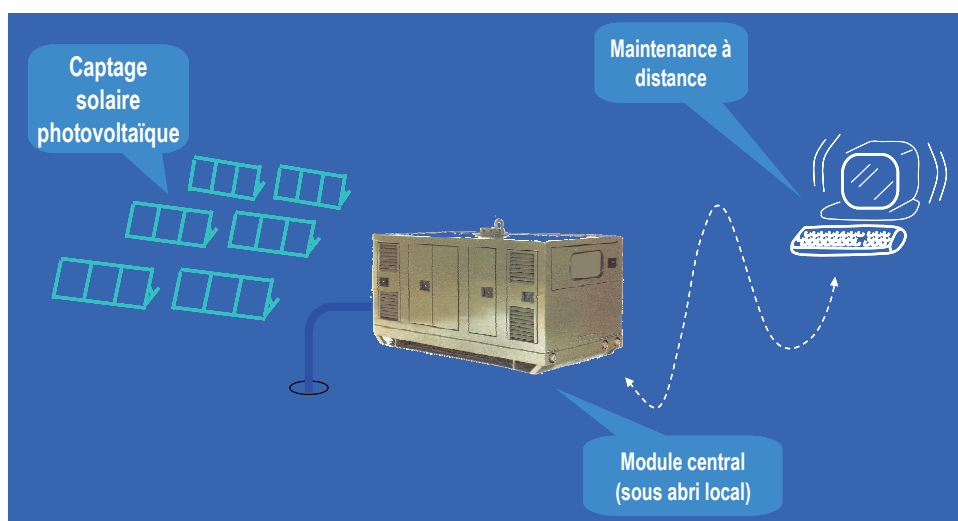
Les paramètres intervenant sur le phénomène

Le problème consiste à déterminer

$$m_{ev} = \frac{(1,906 + 1,67.V) \cdot (P_{sat.eau}(T_{eau}) - P_{sat.air}(T_{air}))}{100000}$$

Les innovations (brevets)

- **Le concept de production "au fil du soleil"**
Le débit d'eau potabilisée varie selon l'intensité du rayonnement solaire ou de la vitesse du vent. Ainsi la capacité de la batterie d'accumulateurs est réduite au strict minimum.
- **Le concept "ROME"** (Régimes Optimisés à Minima d'Énergie) ; les paramètres de fonctionnement sont régulés pour une consommation minimale d'énergie quelque soit le niveau de production d'eau. Un logiciel a été développé pour programmer l'automate.
- **La surveillance à distance par serveur WEB** avec commutation sur membrane de secours permet de corriger d'éventuelles dérives de fonctionnement et d'écartier ainsi les interventions de maintenance.



Les coûts

Bien que relativement élevés ces coûts pourront diminuer sensiblement avec l'effet de série, néanmoins, pour les pays défavorisés, **la solidarité internationale (UNESCO ; Banque mondiale ; fondations ...)** devra intervenir pour concrétiser le "Droit à l'Eau".

- Module Central de base + 25 m² photovoltaïques ≈ 75 000 €
- Mise sur site ≈ 22 000 €
- Maintenance : matériels + déplacement technicien/an ≈ 4600 € / an
- Le mètre cube d'eau produit :
 - En fonctionnement : 3,1 € / m³
 - Coût global actualisé : 6,6 € / m³ (Amortissement + maintenance)

MEMBRANES MULTIFONCTIONNELLES COUPLANT SEPARATION ET PHOTOCATALYSE - CONCEPT ET APPLICATIONS POTENTIELLES AU TRAITEMENT DE L'EAU

André **AYRAL**

Chaire UNESCO « Science des Membranes Appliquée à l'Environnement »

Institut Européen des Membranes, UMR n° 5635 CNRS-ENSCM-UM2,

CC047, Université Montpellier 2, Place Eugène Bataillon,

F-34095 Montpellier cedex 5, France

E-mail : Andre.Ayral@iemm.univ-montp2.fr

1. Introduction

De nombreuses études fondamentales ou appliquées sont consacrées à l'utilisation d'oxydes semi-conducteurs photoactifs pour la dégradation photocatalytique par oxydation ou réduction de composés chimiques. C'est en particulier le cas avec la photooxydation de composés organiques présents dans l'air ou contenus dans des solutions aqueuses. L'oxyde de titane, TiO_2 , s'avère, à ce jour, l'oxyde le plus performant pour les applications photocatalytiques.

Après quelques rappels sur la photocatalyse hétérogène et la présentation du concept de couplage direct séparation membranaire et photocatalyse, cet article expose des résultats récents sur la préparation et la caractérisation des propriétés fonctionnelles de membranes photocatalytiques à base d'oxyde de titane.

2. Rappels sur la photocatalyse hétérogène

Les matériaux photoactifs utilisés en photocatalyse hétérogène sont formés de solides semi-conducteurs. La photoexcitation du photocatalyseur résulte de son irradiation par un faisceau lumineux de longueur d'onde inférieure à son gap. Le processus complet de séparation de porteurs de charge et d'oxydoréduction à la surface du photocatalyseur est résumé sur la figure 1. Les radicaux OH^\bullet sont des espèces oxydantes très puissantes susceptibles de conduire à la minéralisation complète en CO_2 et H_2O de polluants organiques.

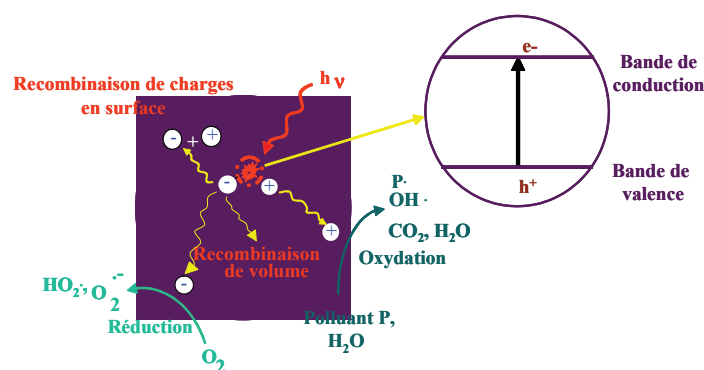


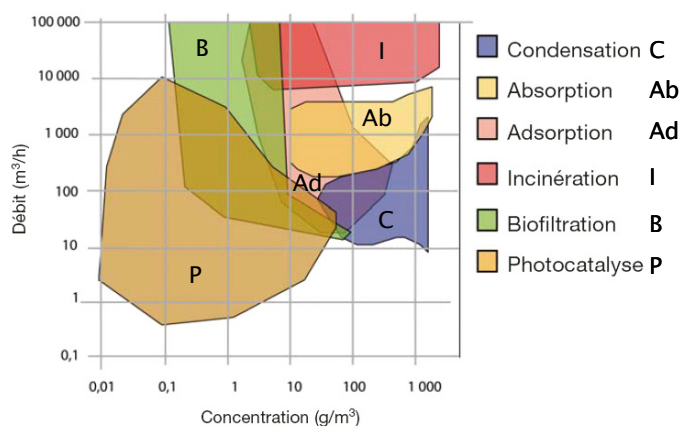
Figure 1 : Représentation schématique de la création des porteurs excités dans une particule de semi-conducteur et des réactions d'oxydoréduction de molécules adsorbées à la surface du photocatalyseur (adapté d'après [1]).

Différents types de solides semi-conducteurs présentent des propriétés photocatalytiques. Pour les applications, les oxydes simples ou mixtes sont les principaux candidats. C'est l'oxyde de titane qui présente des propriétés photocatalytiques très attractives sous rayonnement UV. Les principales formes cristalline de TiO_2 , l'anatase et le rutile, sont photoactives. Le gap de l'anatase est de 3,23 eV (384 nm) alors que le gap du rutile vaut 3,02 eV (411 nm). La forme anatase est connue pour être la plus photoactive. Par ailleurs des mélanges des phases anatase et rutile comme, par exemple, dans le cas de la poudre référence P25 (produite par Degussa, 80% d'anatase et 20 % de rutile) permet de limiter la recombinaison des charges du fait du gap plus faible du rutile mais

leur activité photocatalytique dépend des composés à dégrader [2, 3]. Dans le cas de l'anatase, la taille optimale des cristallites est de 6-10 nm correspondant au meilleur compromis entre vitesse de recombinaison électron-trou et accessibilité à la surface des cristallites [4-6]. Il faut enfin noter que le dopage de TiO_2 ou l'adsorption d'espèces permettent de déplacer le gap vers le visible et d'augmenter l'efficacité photocatalytique sous rayonnement solaire.

Diverses applications technologiques de photocatalyse par TiO_2 existent déjà [7]. Elles concernent principalement la purification d'effluents tels que des eaux usées, la purification de l'air dans des espaces clos (élimination d'odeurs ou de gaz toxiques), les matériaux auto-nettoyants ou auto-stérilisants. La photocatalyse présente de nombreux avantages par rapport aux technologies habituellement utilisées pour le traitement de l'eau et de l'air (précipitation, adsorption sur charbon actif, oxydation chimique,...). Elle peut en effet être réalisée à température ambiante, ne nécessite pas l'ajout d'agents chimiques oxydants (O_3 , H_2O_2 ,...) et permet l'utilisation de l'énergie solaire directe ou de l'éclairage artificiel. Le dioxyde de titane est de plus un solide stable, non toxique, bon marché, que l'on peut utiliser soit sous forme de poudre en suspension, soit déposé en sous forme de couches sur des supports tels que des fibres de verre, des tissus, des panneaux de verres,... Pour le traitement d'effluents, la photocatalyse est bien adaptée aux domaines des faibles débits et des faibles concentrations en polluant (figure 2).

Figure 2 : Domaines d'applications de la photocatalyse et des méthodes conventionnelles de purification de l'air (d'après [8]).



3. Couplage photocatalyse hétérogène et membranes

Différents dispositifs de réacteurs photocatalytiques utilisant des membranes et du TiO_2 en suspension ou immobilisé sur support ont été étudiés. Généralement, la fonction catalytique et la séparation membranaire sont séparées comme dans l'exemple présenté sur la figure 3.

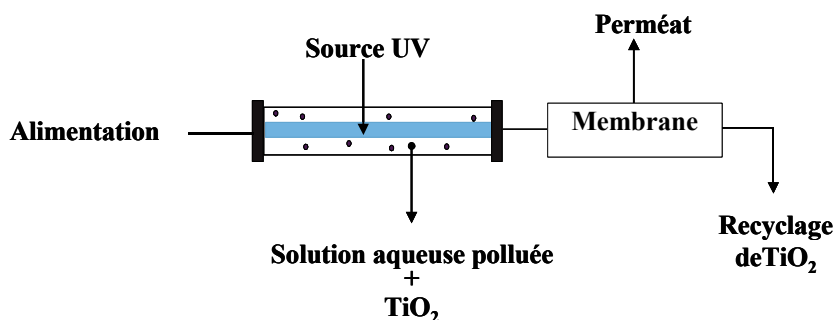


Figure 3 : Réacteur photocatalytique utilisant une membrane d'ultrafiltration pour séparer les particules de dioxyde de titane en suspension de la solution traitée (d'après [9]).

Le couplage de deux opérations telles que la séparation membranaire et l'oxydation photocatalytique dans un procédé donné de purification ou de décontamination d'effluents aqueux est intrinsèquement intéressant d'un point de vue technico-économique. Seulement quelques articles ou brevets ont jusqu'à présent traité de l'élaboration ou de la mise en œuvre de membranes photocatalytiques [10-16]. Pour le couplage direct séparation membranaire et réaction

photocatalytique, deux types différents de configurations peuvent être définis. La première configuration correspond à la réalisation d'une couche séparative photoactive microporeuse (pores inférieurs à 2 nm) ou mésoporeuse (pores de taille comprise entre 2 et 50 nm). Avec de telles tailles de pores dans la barrière filtrante, la probabilité pour qu'une molécule organique à photooxyder soit en contact du solide photoactif est très élevée. Dans ce cas, l'irradiation doit être appliquée du côté de la couche séparative, généralement au contact de la solution d'alimentation (figure 4a). Une seconde configuration peut également être considérée. Elle consiste à utiliser une membrane céramique asymétrique conventionnelle sans couche séparative photoactive mais pour laquelle la surface des grains du support poreux est revêtue d'un dépôt photoactif (figure 4b). Dans ce cas, l'irradiation doit être appliquée sur le côté opposé de la membrane, en contact avec le perméat. Une telle configuration peut par exemple être utilisée pour le traitement final d'eaux usées par une membrane d'ultrafiltration basse permettant la rétention de colloïdes et de macromolécules et pour laquelle les molécules non retenues tels que les composés organiques volatils (COV) sont photooxydés lors de leur sortie sur la face opposée, photoactive, de la membrane (figure 5).

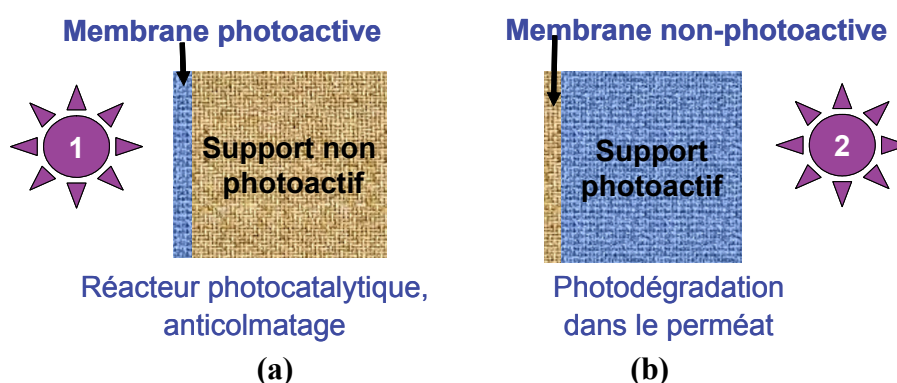


Figure 4 : Principe du couplage direct séparation / photocatalyse via une membrane céramique poreuse asymétrique ; (a) configuration 1: la couche séparative de surface est photoactive. (b) configuration 2 : le support poreux est photoactif.

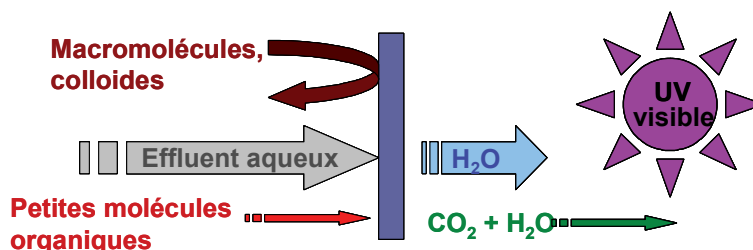


Figure 5 : Représentation schématique pour l'utilisation potentielle de la configuration 2 dans le cas de l'ultrafiltration comme traitement final d'eaux usées.

4. Exemple d'élaboration et de caractérisation de membranes photocatalytiques à base de TiO₂ anatase

Différents travaux doctoraux ou post-doctoraux ont été menés ces dernières années à l'Institut Européen des Membranes de Montpellier sur la mise au point de membranes photocatalytiques [17-22]. A titre d'illustration sera présenté ici l'exemple de l'élaboration et de la caractérisation fonctionnelle de membranes photocatalytiques à base de TiO₂ anatase [20].

Une méthode sol-gel développée pour la préparation de couches d'anatase à mésoporosité ordonnée, dénommées par la suite P70 et F67, [18, 19] a été appliquée pour l'élaboration de dépôts et de couches séparatives photoactives. Des images en microscopie électronique à balayage de sections de membranes sont montrées sur la figure 6.

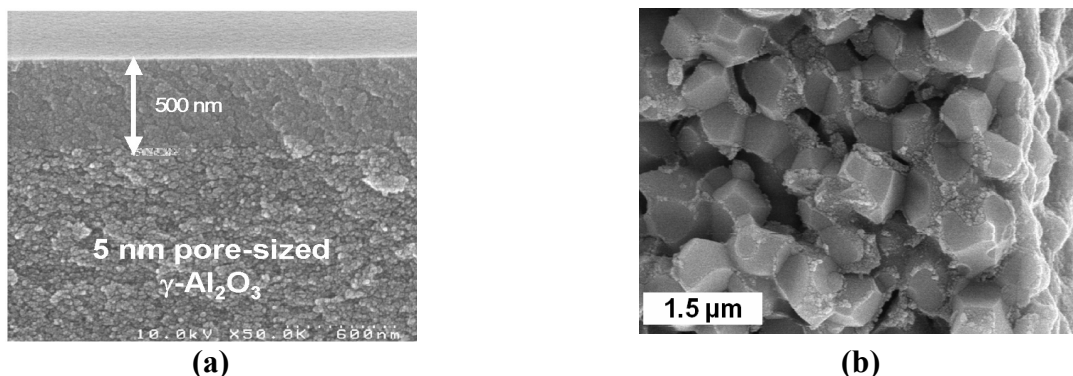
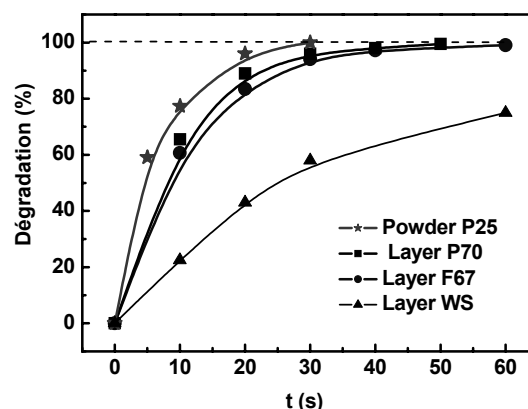


Figure 6 : Images en coupe par microscopie électronique à balayage de dépôts P70 sur différents types de supports poreux en alumine. (a) film mince déposé sur la couche de surface à taille de pores 5 nm d'un support asymétrique en alumine (couche séparative photoactive sur support poreux non photoactif : configuration 1), (b) dépôt sur les grains d'alumine d'un support macroporeux de taille de pores 1,8 μ m (un tel dépôt permet d'obtenir un support poreux photoactif comme cela est requis dans la configuration 2).

L'activité photocatalytique des matériaux synthétisés a été évaluée à partir d'expériences de photodégradation du bleu de méthylène (BM) en solution aqueuse sous irradiation UV (figure 7). Les poudres à mésoporosité ordonnée P70 et F67 présentent une photoactivité élevée, comparable à celle de la poudre référence P25 et nettement supérieure à celle d'une couche obtenue par voie sol-gel conventionnelle (notée WS sur la figure 7).

Figure 7 : Dégradation en fonction du temps de solutions de BM (10 mL, $C_0 = 5 \text{ mg L}^{-1}$) en contact avec différents échantillons (résultats normalisés pour une même masse de solide). 100% de dégradation correspond à une décoloration complète de la solution.



Membranes mésoporeuses d'anatase - Configuration 1

La perméabilité des membranes mésoporeuses (de l'ordre de 10^{-20} m^2) a pu être déterminée à partir des mesures de perméabilité à l'eau présentées sur la figure 8a. Ces valeurs expérimentales obtenues sont en bon accord avec les valeurs calculées à partir de caractéristiques de la porosité de la couche [20].

Le seuil de coupure de la membrane, évalué à partir des courbes de rétention de la figure 8b, est de l'ordre de 1,5 kDa. Ceci classe cette membrane dans la catégorie de membranes d'ultrafiltration basse.

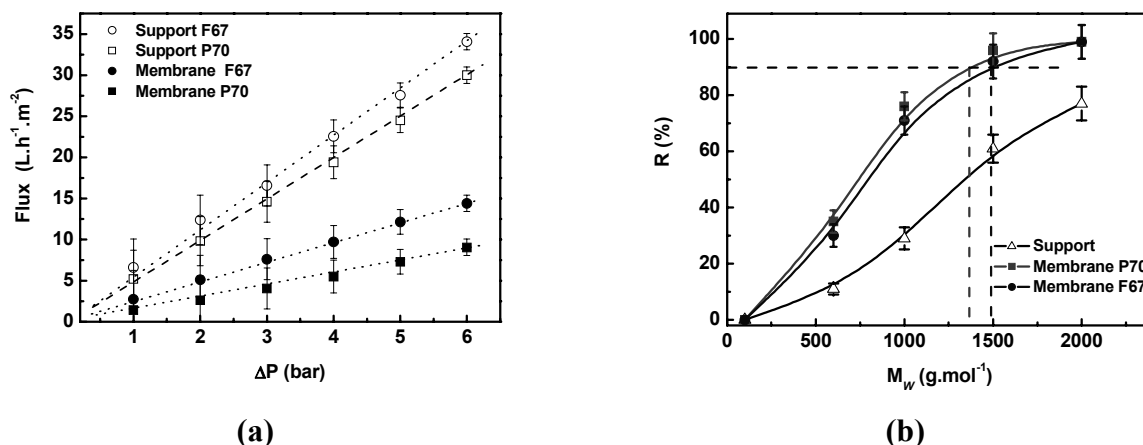


Figure 8 : (a) Flux d'eau en fonction de la pression transmembranaire; (b) Taux de rejet en fonction de la masse moléculaire du polyéthylène glycol en solution aqueuse.

Supports photoactifs – configuration 2

Des expériences préliminaires de couplage direct séparation et photodégradation ont été réalisées sur un dispositif simplifié représenté schématiquement sur la figure 9a. Des résultats d'expériences sont donnés sur la figure 9b. En absence d'irradiation UV, on observe une augmentation de la concentration en BM dans le compartiment récepteur par effet de diffusion simple. Sous irradiation UV continue de la face de la membrane en contact avec la phase réceptrice, la concentration en BM de celle-ci est quasi-nulle du fait de la photodégradation du colorant. A partir d'expériences complémentaires [20], il a été déterminé que la quantité de BM détruite par unité de temps et de surface de membrane est de l'ordre de $1,0 \cdot 10^{-7} \text{ mol s}^{-1} \text{ m}^{-2}$, pour un enrobage des grains du support par un dépôt P70 ou F67. Ce paramètre est très important pour permettre le dimensionnement de futurs photoréacteurs membranaires par rapport à un cahier des charges d'application.

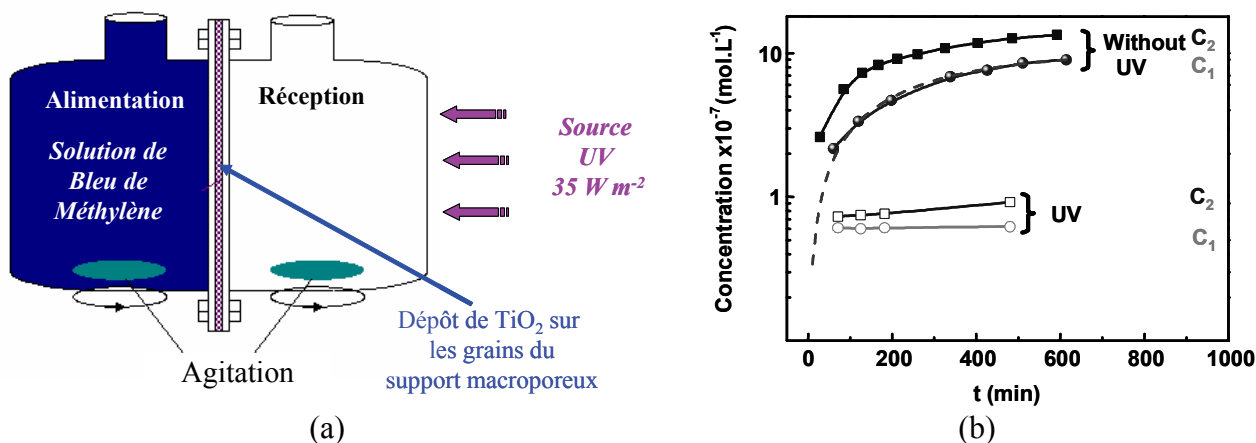


Figure 9 : (a) Dispositif expérimental pour des expériences préliminaires de couplage direct séparation et photodégradation ; (b) Concentration en BM en fonction du temps dans le compartiment de réception pour un enrobage des grains de support avec un dépôt de type P70 et deux concentrations initiales en BM dans le compartiment source : $C_1^{a,0} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$ et $C_2^{a,0} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$.

5. Conclusion et perspectives

Les membranes céramiques poreuses à base de matériaux photocatalytiques sont potentielles utilisables pour un couplage direct séparation membranaire et photodégradation. Deux types de configurations ont été définies. La première configuration correspond à la réalisation d'une couche séparative photoactive microporeuse ou mésoporeuse. Une seconde configuration correspond à

l'utilisation d'une membrane céramique asymétrique conventionnelle sans couche séparative photoactive mais pour laquelle la surface des grains du support poreux est revêtue d'un dépôt photoactif.

Des couches mésoporeuses à base de TiO₂ anatase ont été préparées. Elles présentent une activité photocatalytique élevée. Les propriétés fonctionnelles des membranes résultant de la mise en œuvre de ces couches ont été évaluées. Elles peuvent maintenant être utilisées pour le dimensionnement de dispositifs de purification avec couplage direct séparation et photodégradation.

Des applications technologiques pour des opérations de recyclage d'eau industrielle au point d'utilisation nécessiteront de développer des systèmes membranaires compacts (fort rapport surface sur volume). Ceci peut être envisagé en utilisant des fibres creuses pour la séparation et des fibres optiques pour la distribution de lumière [23]. Une étude récemment publiée sur un réacteur photocatalytique à fibre optique unique [24] a confirmé la faisabilité d'un tel dispositif. Un autre exemple d'application très attractif est celui du traitement final d'eaux usées d'origine domestique ou industrielle et leur ré-utilisation pour l'irrigation de cultures agricoles à partir de dispositifs à base de membranes photocatalytiques utilisant le rayonnement solaire pour la photo-dégradation de polluants organiques.

Références

- [1] *Photocatalysis - Science and Technology*, M. Kaneko and I. Okura (Eds), Kodansha and Springer, Tokyo and New York, **2002**.
- [2] B. Sun, P.G. Smirniotis, *Catal. Today* 88, **2003**, 49.
- [3] T. Ohno, K. Sarukawa, K. Tokieda, M. Matsumura, *J. Catal.* 203, **2001**, 82.
- [4] Z. Zhang, C.-C. Wang, R. Zakaria, J.Y. Ying, *J. Phys. Chem. B* 102, **1998**, 10871.
- [5] S.-S. Hong, M.S. Lee, C.-S. Ju, G.-D. Lee, S.S. Park, K.-T. Lim, *Catal. Today* 93–95, **2004**, 871.
- [6] P. Panagiotopoulou, D.I. Kondarides, *J. Catal.* 225, **2004**, 327.
- [7] *TiO₂ Photocatalysis, fundamentals and applications*, A. Fujishima, K. Hashimoto, T. Watanabe (Eds), BKC, Inc., Tokyo, Japan, **2001**.
- [8] P. Le Cloirec, *Les composés organiques volatils dans l'environnement*, Lavoisier, Paris, **1998**.
- [9] D.F. Ollis, *Ann. NY Acad. Sci.* 984, 2003, 65.
- [10] R. Molinari, M. Borgese, E. Drioli, L. Palmisano, M. Schiavello, *Catal. Today* 75, **2002**, 77.
- [11] R. Villacres, S. Ikeda, T. Torimoto, B. Ohtani, *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.* 160, **2003**, 121.
- [12] L. Rivas, I.R. Bellobono, F. Ascari, *Chemosphere* 37, **1998**, 1033.
- [13] T. Tsuru, T. Kan-no, T.o. Yoshioka, M. Asaeda, *Catal. Today* 82, **2003**, 41.
- [14] B.L. Bischoff, D.E. Fain, J.A.D. Stockdale, *US Patent* 5,862,449, **1999**.
- [15] H. Choi, E. Stathatos, D.D. Dionysiou, *Applied Catalysis B: Environmental* 63, **2006**, 60.
- [16] H. Choi, E. Stathatos, D.D. Dionysiou, *Desalination* 202, **2007**, 199.
- [17] F. Bosc, thèse de doctorat, Université Montpellier 2, France, **2004**.
- [18] F. Bosc, A. Ayrat, P.-A. Albouy, C. Guizard, *Chem. Mater.* 15, **2003**, 2463.
- [19] F. Bosc, A. Ayrat, P.-A. Albouy, L. Datas, C. Guizard, *Chem. Mater.* 16, **2004**, 2208.
- [20] F. Bosc, A. Ayrat, C. Guizard, *J. Membr. Sci.* 265, **2005**, 13.
- [21] L. Naszályi, F. Bosc, A. El Mansouri, A. van der Lee, D. Cot, Z. Hórvölgyi, A. Ayrat, *Sep. Purif. Technol.*, acceptée et disponible en ligne, **2007**.
- [22] F. Bosc, P. Lacroix-Desmazes, A. Ayrat, *J. Colloid Interf. Sci.* 304, **2006**, 545.
- [23] A. Ayrat, A. Julbe, C. Guizard in *Chemical processing of ceramics*, second edition, B.I. Lee and S. Komarneni (Eds), Taylor and Francis Group, Boca Raton, USA, **2005**, pag. 629-666.
- [24] A. Dannion, J. Disdier, C. Guillard, F. Abdelmalek, N. Jaffrezic-Renault, *Applied Catalysis B: Environmental* 52, **2004**, 213.

***PROCEDES A MEMBRANES EN AQUACULTURE ET
POUR LA VALORISATION
DES EFFLUENTS DE TRANSFORMATION DES PRODUITS DE LA MER***

*Pascal JAOUEN**, *Anthony MASSÉ*** et *Patrick BOURSEAU****

** Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Nantes / UMR CNRS GEPEA*

Directeur du Pôle « Mer et littoral » de l'Université de Nantes,

E-mail : pascal.jaouen@univ-nantes.fr

*** Maître de conférences à l'IUT de Saint –Nazaire / UMR CNRS GEPEA*

GEPEA / CNRS, CRTT, Boulevard de l'Université, 44600 Saint-Nazaire, France

**** Professeur à l'Université de Bretagne Sud de Lorient,*

LET2E, Rue de Saint Maude, BP 92116, 56321 Lorient, France

I : Introduction

L'exploitation des ressources marines est un pôle d'activité important de la façade de l'Ouest Atlantique. A elles seules les trois régions Bretagne, Pays de la Loire et Poitou-Charentes cumulent les 2/3 de la production nationale (pêche et aquaculture).

Cette grande région est également la 1^{ère} zone française en matière de transformation des produits de la mer (conserveries, colloïdes techniques...).

On dénombre dans l'Ouest Atlantique quelques 150 entreprises de transformation, deux centres techniques spécifiques (ID-MER, CEVA) et plusieurs structures et groupements de recherche publique orientées "mer" (IFREMER, PML-Université de Nantes, IUEM Brest, Goëmar, GEPEA / CNRS, ENITIAA, UBS Lorient-Vannes, Université de La Rochelle, Collège de France Concarneau, Laboratoire Antiox Quimper, GDR SEA^{pro}...).

L'un des axes de recherches de l'Unité CNRS 6144 GEPEA de l'Université de Nantes s'intitule "Bioprocédés et séparations en milieu marin". Les procédés à membranes y sont particulièrement étudiés et utilisés dans différentes applications liées à des substrats d'origine marine (co-produits de la pêche, aquaculture, algues, eaux naturelles salées). Les procédés à membranes, utilisés seuls ou en combinaison, permettent souvent d'apporter des réponses efficaces et originales pour la valorisation et le traitement des effluents de transformation des produits de la mer.

La présentation qui suit donne un aperçu synthétique du génie des procédés de séparation par membranes appliqué :

- au traitement et au recyclage de l'eau en aquaculture et en biotechnologies marines,
- à la dépollution et à la valorisation d'effluents spécifiques de l'industrie de transformation des produits de la mer.

Quelques exemples de recherche menés dans ces domaines, à la fois à l'Université de Nantes et à l'IFREMER ainsi qu'à l'Université de Bretagne Sud, en liaison avec le milieu industriel dans un contexte national ou européen sont donnés.

II : Traitement et recyclage de l'eau en aquaculture et biotechnologies marines

II-1: Circuits semi-fermés d'aquaculture

Les procédés à membranes sont potentiellement intéressants pour différentes applications spécifiques :

- Recyclage de l'eau dans les bassins d'aquaculture (membranes / filtres à tambour) avec élimination des matières en suspensions telles que les excédents de nourriture et les fécès qui peuvent être à l'origine "d'eaux jaunes", de pathologies et de l'inhibition de la croissance de mollusques, etc.,
- Protection des bassins contre les blooms d'efflorescences d'algues toxiques. Différents procédés de filtration des composés dissous et particuliers peuvent être envisagés (membranes immergées, filtration tangentielle sur membranes filtre à sable + UV, filtre à diatomées). La faisabilité technico-économique et les problématiques de changement d'échelle des procédés sont à aborder,
- Contrôle des rejets aquacoles lors de la production en masse de micro-algues ou l'élevage d'huîtres afin de valoriser les surnageants de culture ou stériliser les eaux de rejets.

Le laboratoire GEPEA est impliqué sur ces thématiques dans deux programmes : (i) le programme GERRICO (Gestion Globale des Ressources marines et des Risques dans les espaces COtiers) (ii) le programme COMSAUMOL (maintien de la COMmercialisation par la SAUvegarde et la détoxification des MOLlusques).

II-2: Valorisation des constituants dissous des eaux naturelles salées

Les techniques à membranes (électrodialyse + nanofiltration) sont utilisées et étudiées pour la valorisation des eaux naturelles salées (eaux "mères" des marais salants, eaux souterraines). L'objectif est en général de réaliser une modification de la composition des eaux sans apport de réactifs chimiques exogènes (préparation d'eau isotonique pour utilisations biomédicales : spray nasal, gouttes à action céruménolitique, diététique médicale, préparation de milieu de culture, cosmétique). L'opération consiste le plus souvent en un dessalement sélectif c'est-à-dire un ajustement et un contrôle de la composition de l'eau [teneur en NaCl à diviser par 5, cations divalents et oligoéléments (Zinc, Sélénium,...) à concentrer].

II-3 : Dessalement : "biofouling", pouvoir colmatant de l'eau de mer

Depuis les années 1970, le dessalement de l'eau de mer ou d'eaux saumâtres par le procédé d'osmose inverse connaît un développement accru. Néanmoins, des diminutions de performances, en terme de productivité ou de sélectivité, apparaissent au cours de la filtration : le colmatage des membranes se met en place. Les phénomènes et l'intensité du colmatage dépendent en grande partie des caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques de l'eau de mer à dessaler. La contribution notamment des microorganismes photosynthétiques dans le "biofouling" reste inexplorée et peu connue. Quels sont alors les prétraitements à envisager en amont de l'osmose inverse ainsi que les stratégies de lutte contre le colmatage ? L'industrie du dessalement se doit donc de développer (i) des outils plus

précis pour anticiper et mieux évaluer les risques de colmatage ("fouling index"), et (ii) de meilleures pratiques d'exploitation visant à limiter ces phénomènes et à restituer les performances des systèmes d'osmose inverse lors des épisodes de colmatage, par exemple via des procédures de nettoyage chimique adaptées au colmatage rencontré.

III: Dépollution et valorisation d'effluents spécifiques de l'industrie de transformation des produits de la mer

Les techniques à membranes ont trouvé un certain nombre d'applications dans la filière alimentaire et celle des co-produits associés. Un large panel d'applications potentielles est actuellement à l'étude.

Le développement des techniques à membranes bénéficiera à court terme de la croissance du secteur "produits de la mer" (exemple des produits à base de surimi + 600% depuis 1994).

Par ailleurs, le contexte environnemental et législatif de plus en plus contraignant concernant les rejets liquides et solides favorisera probablement à l'avenir l'émergence de nouvelles applications.

D'une façon générale on peut noter que pour que les techniques à membranes soient économiquement rentables dans ce secteur il est souhaitable d'associer deux aspects : dépollution d'effluents et valorisation de sous produits.

Différents exemples d'études et d'applications des membranes dans ce domaine sont déclinés dans ce paragraphe pour la récupération et le fractionnement de protéines solubles du procédé surimi, d'arômes, de peptides, d'hydrolysats, de lipides et de polysaccharides.

III-1: Protéines solubles du surimi

Le "surimi" est un concentré de protéines myofibrillaires de poisson (bâtonnets constitués de surimi, sels, amidon et arômes). Il est en général élaboré à partir de poissons maigres même si un nouveau procédé, plus adapté aux contraintes spécifiques des poissons gras, est à l'étude notamment à Ifremer.

Le procédé surimi, du fait des lavages répétés de la chair de poisson, est à l'origine d'une forte consommation d'eau, d'une perte en protéines (6g/L perdus dans les eaux de lavage) et d'un rejet polluant (DCO de plusieurs dizaines de g/L d'effluent). L'ultrafiltration peut alors être envisagée pour récupérer mais également fractionner (à basse température) les protéines sarcoplasmiques perdues dans les eaux de lavage. Cette technique peut être utilisée seule ou en combinaison avec d'autres techniques telles que la centrifugation et la coagulation.

III-2: Arômes des jus de cuisson

Un exemple de procédé à membranes appliqué aux arômes de jus de cuisson est décrit dans ce paragraphe. L'objectif de la filtration membranaire est double : récupération des matières valorisables et dépollution des effluents (jus de cuisson).

Ce travail récent (2001-2004) s'inscrit dans le cadre général du traitement des effluents des industries de transformation de produits de la pêche, afin de réduire la charge polluante rejetée, de réutiliser l'eau et de récupérer des molécules valorisables. Ainsi, l'effluent considéré ici, un jus de cuisson de moules (*Mytilus edulis*) contient des arômes utilisables dans les industries agroalimentaires. Une méthodologie de travail intéressante a été mise en œuvre :

- caractérisation et développement de techniques analytiques du jus de cuisson par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CPG-SM) et par analyse sensorielle,

- étude de la faisabilité technique à dessaler, abattre la charge polluante de l'effluent rejeté et produire un concentré d'arôme par des techniques membranaires,
- modélisation des performances,
- dimensionnement d'un pilote,
- évaluation économique.

Le travail a été réalisé dans le cadre d'une thèse interrégionale Bretagne et Pays de la Loire (Université de Bretagne Sud et Université de Nantes), en partenariat étroit avec des industries de transformation des produits de la mer (groupe « produits de la mer » d'Intermarché) et de fabricants d'ingrédients alimentaires (SPI-DIANA, Berric, 56 ; Atlantic Seafood, La Baule, 44).

III-3: Quelques exemples de couplage hydrolyse + membranes pour la valorisation de co-produits (fractionnement sur membranes)

Les travaux présentés concernent la valorisation, par couplage entre un réacteur enzymatique et des techniques à membranes, de molécules (peptides, phospholipides, polysaccharides) issues généralement de co-produits. Ces procédés intégrés nécessitent l'optimisation des paramètres opératoires de l'hydrolyse enzymatique (nature de l'enzyme, degré d'hydrolyse, température, pH, rapport enzyme/substrat) et ceux liés au fractionnement sur membranes. La détermination des activités de l'hydrolysats et des différentes fractions de poids moléculaires est ensuite réalisée.

III-3.1 Peptides

Le travail présenté est actuellement réalisé dans le cadre du programme européen SEAFOODplus (6^{ème} PCRDT). Il s'agit de valoriser les co-produits générés par la transformation de différentes espèces provenant de pêches en Océan Atlantique, Mer du Nord, Mer Baltique (*Cod*, *Blue whiting*, *Plaice*, *Shark*, *Sardina*, *Saithe*...). L'association (couplage ou cascade) "hydrolyse enzymatique + membranes" constitue le cœur du procédé de valorisation de ces déchets (mélange solide / liquide) et des excédents de pêche. Différents partenaires industriels sont impliqués dans ce programme : CTPP (Boulogne), Marinova (DK), Primex et IFL (Iceland). Une thèse est en cours sur le sujet.

Après hydrolyse et fractionnement des hydrolysats par UF (4kDa) et NF (0,3kDa), 4 fractions "raffinées" sont obtenues et présentent des activités différentes (*antioxydante*, *antiproliférative*, *antivirale*, *antibactérienne*). Les membranes sont comparées sur le plan de leurs performances: flux, sélectivité, nettoyabilité, qualité des fractions obtenues.

III-3.1 Petits pélagiques gras : phospholipides

Le travail de thèse de Justine Dumay s'inscrit dans le cadre d'une collaboration avec Ifremer et European Seafood Trading. L'objectif est d'évaluer le potentiel des membranes en aval d'une hydrolyse enzymatique (alcalase, protamex, flavourzyme) pour extraire des phospholipides à partir des têtes (20% de la masse des co-produits) et viscères (13% de la masse des co-produits) de sardines (*Sardina pilchardus*).

III-3.2 Céphalopodes

Les travaux présentés sont actuellement réalisés dans le cadre de la thèse d'Emna Soufi-Kéchaou. Un programme de collaboration franco-tunisienne (Université de Nantes, Université de Sfax, Société Calambo, Ifremer) a été mis en place afin de répondre aux questions de

gestion des ressources en eau non conventionnelles grâce à des procédés de traitement pour la réutilisation des eaux. Par ailleurs, étant donné, l'évolution probable de la législation allant vers une interdiction des rejets en mer des co-produits de la pêche sans leur traitement préalable à bord des bateaux, l'étude porte également sur la valorisation des co-produits des industries de transformation de la pêche. Les travaux réalisés concernent plus particulièrement :

- la valorisation par hydrolyse enzymatique + membrane des déchets issus de céphalopodes,
- la dépollution des eaux de lavage de seiche ayant une forte salinité et une forte charge organique,
- le fractionnement des constituants de l'encre de seiche ainsi que la recherche d'activité spécifique.

III-3.3 Extraction de polysaccharides (Raie)

L'exemple choisi concerne l'extraction, la concentration et la purification de la chondroïtine sulfate à partir de cartilages de raie par combinaison hydrolyse enzymatique + ultrafiltration (Université de Bretagne Sud + partenaire industriel). Les conditions opératoires de chaque procédé (réacteur enzymatique et procédé d'ultrafiltration) et les applications potentielles des molécules extraites sont présentées.

III-3.4 Macroalgues

Parmi les 65000 tonnes de macroalgues récoltées par an, 80% sont utilisés pour la synthèse de colloïdes techniques (alginates, carraghénanes, agar...) et 20% en farines. Les principales préoccupations des industriels des phycocolloïdes portent sur :

- la réduction des coûts de production (en particulier énergie et solvants),
- la réduction des rejets,
- l'amélioration de la qualité des produits.

Dans ce secteur, les membranes sont surtout utilisées en valorisation, notamment des principes actifs, et peu en dépollution d'effluents. Elles peuvent être utilisées pour concentrer et clarifier des extraits (amélioration de la qualité des produits) mais surtout pour minimiser les quantités de solvant utilisées. Récemment ont été publiées des études portant sur la valorisation des principes actifs provenant de macroalgues pour les industries cosmétiques, diététiques et pharmaceutiques.

III-4 Exemples : membranes pour le traitement des effluents et jus de procédés à forte salinité

III-4.1 Jus de cuisson de thon

Des travaux ont été initiés, entre l'Université de Sfax et le GEPEA, sur la dépollution et le dessalement de jus de cuisson de thon par un procédé membranaire novateur d'osmose inverse très haute pression.

III-4.2 Recyclage des saumures

Dans les Industries Agro - Alimentaires (salaisonneries, conserveries ...), le traitement des saumures est important car leur concentration en sel est trop élevée pour qu'elles soient rejetées directement sans traitement. Les technologies actuelles pour le traitement de solutions

salines très concentrées (9 à 10% pour les eaux de réfrigération, 18% à saturation pour les saumures de congélation) ne sont, sauf cas particuliers ni adaptées, ni maîtrisées pour l'application.

Dans le secteur de la salaisonnerie des produits de la mer, des saumures complexes sont utilisées. Celles-ci ne peuvent pas être utilisées indéfiniment car elles se chargent progressivement en matières organiques et leur concentration en sels diminue. Leur recyclage partielle est alors mis en place et consiste en une élimination des MES par techniques à membranes et un réajustement de la teneur en sels. Quelques travaux mentionnent également la valorisation des saumures lorsque les techniques à membranes sont utilisées pour la récupération d'arômes, de colorants et de composés dissous.

III-4.3 Bioréacteurs à membranes (Biosep®) de Granville (Bréville sur mer), dépollution d'un effluent coloré à forte salinité et forte charge organique

Les bioréacteurs à membranes couplant une oxydation biologique de la matière à une séparation physique des molécules sont intéressants pour la dépollution, à faible coût énergétique, d'effluents. Un bioréacteurs à membranes immergées (Biosep®) fonctionne avec succès à Granville pour le traitement d'effluents hypersalins (35 g/L) issus des activités de mareyage de la région (pétoncles, coquilles saint-jacques, seiches, daurades, bulots) ; Le bioréacteur à membranes permet de maintenir des performances épuratoires constantes malgré de fortes variations de charges polluantes.

IV: Conclusion et perspectives

Les applications industrielles des techniques à membranes en milieu marin sont relativement nombreuses et assez originales que ce soit pour traiter des micro ou des macro-algues, des eaux naturelles salées, des hydrolysats ou des jus de procédé contenant des arômes ou des peptides. Cependant peu d'information est disponible puisqu'il s'agit souvent de niches d'application impliquant des entreprises familiales ou des entreprises positionnées sur un créneau fortement concurrentiel.

On notera le bon potentiel de développement des membranes en tant que procédés rustiques pour des applications impliquant de gros volumes à traiter (eau des bassins d'aquaculture par exemple). Dans ce cas les membranes immergées qui présentent l'avantage d'une consommation énergétique modérée semblent particulièrement appropriées.

Concernant des procédés plus sophistiqués, ceux ci peuvent être utilisés pour la dépollution d'effluents spécifiques (fortes salinitées et charge organique) ou pour la production de molécules ou d'extraits à partir de "co-produits" de poissons, d'algues ou d'eaux naturelles salées (réacteurs à membranes, bio-productions contrôlées, fractionnement, raffinage).

Sont associés à cette présentation : M. Chaplain-Derouiniot, J. Pruvost et J. Fleurence (U. Nantes), JP Bergé/ J. Haure / JP Baud / J. Hussenot (Ifremer) E. Kéchaou (doctorante U.Nantes / U. Sfax / Ifremer), L. Vandanjon (UBS), A. Chabeaud (doctorante UBO / UBS), J. Dumay (post-doctorante U.Nantes), C. Arnoult et R. Rauffet (Master 2 U.Nantes), J. Leparc (Veolia), K. Walha et R. Ben Amar (U. Sfax), C. Diawara (UCAD)

LA GESTION DE L'EAU DANS L'INDUSTRIE ALIMENTAIRE: APPORT DES OPERATIONS A MEMBRANE

Georges **DAUFIN**

Directeur de Recherche en retraite

Institut National Recherche Agronomique, INRA

Station de Technologie du lait et de l'œuf, STLO, Rennes, France

Membre du Bureau du Club Français des Membranes, CFM

E-mail : gadaufin@orange.fr

1. Introduction

Les procédés alimentaires conciliant **sécurité alimentaire, productivité et respect de l'environnement** doivent impérativement intégrer le produit fini, les co-produits, l'énergie, l'eau, les fluides techniques (solutions de nettoyage, saumures,...) et les effluents. Dans les procédés alimentaires **sûrs, propres et sobres**, la gestion de l'eau et des effluents aqueux passe par deux approches complémentaires. La première, **préventive**, repose sur des moyens pertinents, d'une part, pour réduire la production d'effluents, puis d'autre part, pour traiter, à la source, ceux qui restent inévitablement produits. La seconde, **curative**, consiste à traiter les eaux résiduaires globales à l'aide de procédés performants de dépollution.

Les effluents et eaux résiduaires industrielles, ERI issus des procédés alimentaires représentent un fort potentiel de pollution (par exemple, volume de 0,2 – 11 l ERI / l lait transformé ; charge polluante de 0,2 – 100 g/l de demande biologique en oxygène, DBO principalement due aux pertes de matières premières (0,5 – 10% du produit transformé). Simultanément, en dépit d'une amélioration significative ces dix dernières années, la consommation d'eau reste encore élevée. Le prix de l'eau municipale continue de s'accroître (1,2 – 5,7 €/m³ en France) et les ressources de qualité appropriée tendent à se raréfier. Jusqu'à maintenant, l'épuration des ERI est effectuée dans des stations de traitement biologique, majoritairement aérobie (Moletta, 2002). Par exemple, pour une laiterie de capacité moyenne (10⁶ l lait /jour), les rejets sont des boues habituellement épanchées en zones agricoles (1 – 3 t de matière sèche) et de l'eau épurée rejetée dans les rivières (0,3 x 10⁶ – 3 x 10⁶ l). L'accroissement régulier des taxes, de la sévérité sur les normes de composition des rejets et les réglementations de l'Union Européenne (2002 : déchets ultimes seuls autorisés en décharge ; 2004 : épandage interdit en zones sensibles pendant certaines périodes et des durées variables) pèsent fortement sur l'industrie alimentaire. Le comportement industriel est en train de changer : de “ traiter ou payer ” jusqu'à présent, il devient “ traiter ou fermer ” !

L'eau est un fluide tout particulier : c'est un composant parfois quantitativement dominant des aliments, présent naturellement ou après ajout à des fins technologiques, et qui peut en être extrait par voie thermique ou membranaire ; c'est aussi un solvant qui peut être utilisé pour le nettoyage des produits ou des équipements (consommation : 0,2 – 18 l/l ou kg de produit alimentaire). Quelques chiffres disponibles pour la production mondiale des boissons suggère une consommation globale d'eau d'environ 2 milliards de tonnes d'eau par année.

Cet article vise à compléter et actualiser les informations globales rapportées récemment par Cheryan (1998) et Daufin *et al.* (1998) en donnant une revue sommaire des procédés récents et émergents comportant des opérations de séparation à membrane pour le traitement des effluents à la source et des ERI dans le but d'épurer et de produire de l'eau réutilisable. Les possibilités et le type de réutilisation de l'eau dépendent non seulement des procédés d'obtention mais aussi et surtout des normes imposées par la réglementation.

2. Action préventive

L'approche préventive consiste à réduire la consommation d'eau en revisant les schémas de procédés et en triant à la source les effluents individuels avant de les traiter. Ainsi,

2.1. Dans de nombreuses filières (**céréales, pommes de terre, abattoirs, poisson, produits de la mer, olive,...**) des cascades avec de l'ultrafiltration, UF ou de la nanofiltration, NF ou de l'osmose inverse, OI, fonctionnent pour simultanément récupérer des concentrés de protéines,... et produire de l'eau épurée aux usages spécifiques : rinçage, nettoyage, chaudière, refroidissement,... Dans le domaine de **l'élevage de poissons et de la pêche**, les membranes trouvent plusieurs applications : valorisation des eaux d'élevage et des hydrolysats de protéines de poisson ; en **raffinerie de sucre de canne**, une étape de décoloration est obligatoire des lors que l'utilisation de résines échangeuses d'anions produit des éluats polluants qui sont des saumures colorées. La nanofiltration pour séparer les colorants et les sels réduit la consommation d'eau et de sel de 50 à 80% et le volume d'effluents par 3 à 10 (Théoleyre *et al.*, 1998)

2.2. Les pertes non accidentelles de **lait** et de **produits laitiers** arrivant à l'égoût représentent 1 à 3% du lait transformé. Elles contribuent significativement aux 0,25 – 10 g DCO/l de la charge totale des eaux résiduaires industrielles, ERI ("end – of – pipe") à traiter en station d'épuration (Daufin *et al.*, 2000). La majeure partie de cette charge polluante provient des opérations de démarrage, d'interruption et d'arrêt des équipements au cours desquelles les produits laitiers sont dilués dans l'eau et dirigés vers la station d'épuration ou les zones d'épandage. Afin de valoriser ces eaux, appelées eaux de procédés usées, EPU (eaux de pousse et eaux de premier rinçage, encore appelées "eaux blanches"), on peut simultanément concentrer les composés laitiers et produire de l'eau épurée (Blanchard, 1991 ; Delbecke, 1981 ; Polyanskii et Radianova, 1991 ; Chmiel *et al.*, 2002). De fait, une cascade d'opérations unitaires de UF ou NF ou OI et une étape de " finition " d'OI sont nécessaires pour la concentration des composants du lait simultanément à la production d'eau avec une composition chimique et bactériologique satisfaisant aux normes en vigueur pour la réutilisation spécifique de l'eau (Vourch, 2004 ; Sage, 2005).

2.3. Dans l'industrie de la **pêche** et des **produits de la mer**, plusieurs types d'effluents tels que les eaux de procédés (pressage, rinçage, cuisson, etc...) et l'eau de lavage du surimi peuvent être traités par UF et OI combinés à un prétraitement physique ou physico-chimique avec les 2 objectifs de concentration de protéines et d'épuration de l'eau (Daufin *et al.*, 1998).

2.4. L'utilisation des membranes pour d'autres applications telles que la réutilisation des **condensats** est aujourd'hui mûre (Int. Dairy Fed., 1998). Par exemple, dans les productions **d'aliments concentrés ou en poudre**, une énorme quantité de vapeur est utilisée pour les besoins de l'évaporation et les condensats récupérés en sortie des évaporateurs sont à la fois chauds et relativement purs. Ces caractéristiques les rendent idéaux pour fabriquer de l'eau pour les chaudières. Afin d'éliminer les contaminants organiques, les équipements d'OI sont équipés de membranes d'OI résistant à la chaleur et de systèmes sophistiqués de nettoyage en place, NEP quotidien. De tels procédés industriels de traitement – réutilisation de condensats existent :

- dans l'industrie **sucrière** (Lameloise *et al.*, 2003).
- en **distillerie** (Decloux & Bories, 2002), où des alcools, des dérivés benzéniques et furaniques doivent être éliminés des **condensats de vinasse de distillerie** car ce sont des inhibiteurs potentiels de fermentation alcoolique présents dans tous les types de condensats (Morin *et al.*, 2003).
- lors de la production de **poudre de lait et de lactosérum**, le condensat récupéré est à la fois chaud (40 – 60°C) et relativement pur (dérivés acide du lactose,...) (Int. Dairy Fed., 1998). Avec une charge de 10 à 1000 mg DCO / l, il peut être traité à l'aide de membranes thermo-résistantes en cascade avec un prétraitement optionnel de UF ou MF (rétention des matières en suspension et des colloïdes) (Horton, 1997). L'osmosat produit (taux de conversion > 90%) peut être réutilisé comme eau de " qualité alimentaire " pour le rinçage et le nettoyage et même comme eau de boisson (" bottled water "), aux USA.

2.5. La finition par osmose inverse est appliquée industriellement aux traitements des **perméats d'OI, NF et UF** qui sont produits quotidiennement lors de la transformation du lait et du lactosérum en concentrés de protéines contenant plus ou moins de lactose et de sels minéraux (Daufin *et al.*, 2000). L'effluent à " polir " ne contenant pas de matières en suspension ou colloïdales (excepté en

cas de fuite des membranes OI, NF, UF en amont) l'osmose inverse de finition opère à des flux élevés (quelques dizaines de l/h/m²).

La qualité et la quantité générale d'osmosat en font une eau d'alimentation pour les chaudières. Par ailleurs, ces osmosats ainsi que ceux provenant du traitement par OI des condensats peuvent être post-traités pour produire de l'eau "potable" qui, dans certains cas, peut être vendue en bouteille par une laiterie ou une usine de production pourvu qu'elle réponde aux normes réglementaires en vigueur (Int. Dairy, Fed., 1998).

2.6. Le recyclage des **solutions concentrées utilisées pour le salage, la déshydratation, la conservation et la formulation des produits alimentaires solides** commence à participer à la limitation des rejets. Par exemple, les saumures de salage en fromagerie (300 g Na Cl / l) sont épurées par MF ou UF qui sont à préférer au traitement thermique de pasteurisation pour réduire la contamination bactérienne (Osterland et Silkeborg, 1998).

2.7. **Les solutions de nettoyage chimique (alcalines, acides)** qui se polluent progressivement par les composés provenant de l'élimination de l'encrassement des équipements "chauds" et "froids" de l'industrie alimentaire sont rejetés périodiquement (usage unique, réutilisation) dans les eaux résiduaires industrielles traitées en station d'épuration. Face à des solutions alcalines ou acides industrielles de nettoyage en place de composition en contaminants très variable qualitativement et quantitativement, MF, UF et NF sont rapportés pour être des séparations à membrane performantes pour la récupération de soude et d'acide phosphorique (Dresch, 1998 ; Dresch *et al.*, 2000 ; Alvarez, 2003). Des dizaines d'équipements sont utilisés dans l'industrie laitière mondiale (Horton, 1997). Le filtrat obtenu (MF, UF, NF) est une solution de nettoyage régénérée clarifiée et dont la faible tension superficielle pourrait être exploitée avec succès en raison de l'augmentation de la constante de vitesse de nettoyage qu'elle engendre (Alvarez *et al.*, 2003).

3. Action curative : épuration des eaux résiduaires ; réutilisation de l'eau au point d'utilisation (Judd et Jefferson, 2003).

L'approche curative consiste à opérer le traitement d'épuration des eaux résiduaires industrielles de façon à améliorer la qualité de l'eau épurée et à réduire la production de boues biologiques (réglementation européenne de plus en plus contraignante) (Arros – Alilèche *et al.*, 2002). Différents types de réacteurs aérobies ou anaérobies à membrane participent efficacement à la réalisation de ces 2 objectifs simultanés. Cependant, à partir des résultats rapportés à ce jour sur le traitement des ERI de l'industrie laitière et alimentaire, les bioréacteurs à membrane ne montrent pas de performances significativement améliorées comparés à des procédés concurrents ; mais, quelques avantages sont indiqués tels que : meilleure qualité de l'eau épurée (matières en suspension, MES et DCO réduites) comparée à celle issue d'un traitement sans opération à membrane ; concentration en biomasse active plus élevée autorisant des équipements d'épuration hautement compacts (Stephenson *et al.*, 2000).

Les industries alimentaires et des boissons ne réutilisent ni ne recyclent généralement pas l'eau qui est utilisée comme ingrédient ou qui vient au contact de produit alimentaire ou de la boisson. Cependant, comme une quantité significative de l'eau n'entre pas au contact du produit, de nombreuses occasions existent pour la réutilisation de l'eau et la norme de qualité exigée pour l'utilisation de l'eau dans le produit ne s'applique normalement pas pour le recyclage. Cependant, la qualité demandée pour nettoyer le produit ou les équipements de traitement ou transformation est habituellement de norme destinée à la consommation humaine ("potable") et il y a encore une réticence sérieuse à utiliser de l'eau recyclée même pour ces usages. L'eau recyclée doit être réutilisée sur le lieu de point d'utilisation initiale afin d'éviter toute contamination additionnelle ou recyclée lors d'usages non alimentaires, tels que, habituellement, la production de vapeur, dans les échangeurs de chaleur et le lavage. Heureusement, comme les procédés alimentaires laitiers et de brasserie sont de forts consommateurs d'énergie, la consommation d'eau comme fluide technique

en chaudière et refroidisseur est très élevée et peut demander jusqu'à 2 fois plus d'eau que le procédé de production alimentaire primaire.

3.1. Produits surgelés (tels plats chinois ou japonais) : équipements de traitement d'eau résiduaires et équipement de recyclage (Japon) (Judd and Jefferson, 2003).

Au total, 140 tonnes d'eaux résiduaires non traitées sont collectées et traitées par contacteurs biologiques rotatifs préexistants avant de passer dans une cuve d'aération primaire et ensuite dans un bioréacteur biologique aérobie à membranes immergées. Le permeat (40 t/j) est désinfecté et stocké dans le tank d'eaux grises d'où il est soit pompé pour l'utilisation directe en tour de refroidissement et dans le système de lavage, soit dirigé vers un équipement d'osmose inverse pour traitement d'épuration-finition préalablement à l'utilisation comme eau d'alimentation de chaudière.

3.2. Production de légumes surgelés (Judd et Jefferson, 2003).

Pasfrost, à Passchendale à l'est de la Belgique, est une compagnie qui produit 65 000 t de légumes surgelés par an. Maintenir la production et autoriser des extensions et développements futurs exigent tout à la fois économies et réutilisations de l'eau : la réutilisation partielle de l'eau de lavage (120 g DCO/l) pour les applications à faible qualité d'eau a réduit la consommation spécifique globale de 5 à 3,5 m³/t de légumes ; épluchage à la vapeur au lieu d'épluchage alcalin pour réduire la consommation de sel dans l'eau résiduaire ; prétraitement anaérobie et extension du traitement aérobie pour produire un effluent plus stable approprié pour traitement ultérieur et réutilisation. Après sédimentation, l'effluent est traité en 2 étapes en série de filtration en profondeur continue. Le fluide sortant est pompé soit directement après chloration pour des opérations secondaires telles que le lavage des machines ou le refroidissement, soit vers une installation à membrane de 2 étages : ultrafiltration semi-frontale à fibres creuses (50kg/mol) ; osmose inverse à membranes spirales en 2 étages (70% de rendement) ; après stérilisation UV, l'effluent final est ensuite mélangé à de l'eau de forage puis dirigé vers le procédé de production. Le rétentat d'OI est rejeté avec l'écoulement en excès.

La production annuelle est actuellement de 150 000 m³, ce qui représente une économie de 24 000 € comparée aux prévisions de conception initiale.

3.3. Réutilisation d'eau via 3 étapes successives.

- i) Un bioréacteur aérobie couplé à des membranes immergées (40 mn) prétraite l'eau usée d'une usine de production de jus de fruits (DCO 1,8 – 6,6 g/L) afin d'éliminer les matières en suspension et la plupart des matières organiques solubles ainsi que les micro-organismes. A un flux stable de 14 l/h/m², l'abattement de DCO supérieur à 0,95 conduit à une eau purifiée avec environ 120 mg/l de carbone organique total. Le coût spécifique du bioréacteur à membrane est dans la plage 1,50 - 2,00 €/ m³.
- ii) Equipement de nanofiltration à 2 étages pour éliminer les impuretés inorganiques et organiques résiduelles. L'eau récupérée (rendement 0,72) est en conformité avec les normes pour l'eau potable : conductivité de l'ordre de 1 mS/cm ; COT < seuil de détection. Le rétentat du 1^{er} étage est recyclé dans le bioréacteur à membrane et le perméat du 1^{er} étage est utilisé pour le rétrolavage des membranes immergées (lorsque COT < 200 mg/l). Le rétentat du 2^{ème} étage est rejeté.
- iii) Désinfection aux UV afin d'assurer que l'eau traitée finale est conforme aux normes bactériologiques réglementaires de l'eau potable.

4. Besoin de recherche pour des procédés alimentaires sûrs, propres et sobres intégrant des membranes.

Loin d'être devenus des séparations classiques, les procédés à membrane sont vraisemblablement des outils extraordinaires pour une transformation alimentaire respectueuse de l'environnement et pour accroître les profits. En effet, l'une des préoccupations majeures de l'industrie alimentaire est de concilier 4 objectifs antagonistes : productivité comme critère industriel majeur mais aussi sécurité alimentaire, traçabilité et respect de l'environnement exigés par la société des consommateurs-citoyens. Dans ce contexte, l'avenir appartient clairement aux procédés sûrs, propres et sobres.

- i) **Procédés alternatifs.** Les opérations à membranes permettent de réduire le nombre d'étapes d'un procédé. Par exemple, l'électrodialyse ou la chromatographie pourra remplacer le chromatographie frontale d'échange d'ions, pour la déminéralisation ou la désacidification en **production de jus de fruit, de sucre et dérivés,...**
- ii) Recyclage et réutilisation des effluents et des rejets, en particulier en imaginant des **valorisations des composés** qu'ils contiennent (**industrie laitière** : Gésan-Guiziou *et al.*, 2001 ; Gézan-Guiziou *et al.*, 1999 ; Sage, 2005). Il sera intéressant de se pencher sur la récupération et la purification de **protéines ou peptides végétaux ou de céréales**, mineurs mais à valeur ajoutée potentielle en raison de leurs activités biologiques particulières, alors qu'ils sont couramment rejetés actuellement.
- iii) Procédés de **désodorisation** par l'extraction sélective des composés organiques volatiles, COV des **effluents alimentaires odorants et valorisation de leur potentiel aromatique**. Pendant un procédé de fabrication, une perte d'arômes peut intervenir, produisant des effluents odorants (condensats d'évaporation, jus de cuisson, gaz de fermentation,...). Dans certains cas, les industriels doivent rajouter des arômes aux produits finaux de façon à renforcer la note aromatique perdue. De plus, des défauts d'arôme ou d'odeur peuvent apparaître, qui pourraient être éliminés par un procédé propre, sûr et sobre de désodorisation. Ainsi, il paraît judicieux de proposer un traitement non destructif de l'effluent odorant initial combiné à une valorisation de l'extrait aromatique obtenu. L'extraction pourrait être réalisée par pervaporation ou contacteur à membrane liquide-liquide ou liquide-gaz. En outre, il serait possible de réutiliser l'effluent purifié dans le procédé pour réduire la consommation d'eau.
- iv) Réduction de la production de boue d'épuration, par l'insertion d'opérations à membrane appropriées (MF, UF, NF, OI), en couplage ou en cascade, avec des bioréacteurs aérobies ou anaérobies.

5. Conclusion

Depuis plusieurs décennies, les opérations à membrane contribuent à la révision des schémas de procédés alimentaires avec comme résultats la sécurité alimentaire, des produits et des procédés innovants et une productivité améliorée. En outre, elles fournissent à l'industrie alimentaire d'excellents outils pour réduire sa consommation d'eau et sa production de rejets. A moyen terme, chaque procédé alimentaire comportera au moins une opération à membrane, comme c'est déjà le cas en production d'eau potable.

6. Références

- Arros-Alilèche S., Gésan-Guiziou G., Daufin G., Mérin U. (2002). What is the membrane role in an anaerobic membrane bioreactor, In "Membranes in drinking and industrial water production", Mülheim (Germany) 22-26 sept.
- Alvarez N., (2003). Rationalisation du nettoyage en place : temps, pertes de matière. PhD Thesis ENSA Rennes-Université Rennes 1.
- Blanchard B.D. (1991). Plant effluents dairy waste streams recovery. Dairy Food Environ. Sanit. 11 (9), 494-496
- Cheryan, M. (1998). Ultrafiltration and microfiltration handbook. Lancaster PN, USA, Technomic publishing Company. 349- 484.
- Chmiel H., Kaschek M., Bloecher C., Noronka M., Mavrov V. (2002). Concepts for the treatment of spent process water in the food of beverage industries, Desalination, 152, 307-314.
- Daufin, G., René, F., Aimar, P. (1998). Les séparations à membrane dans les procédés de l'industrie alimentaire. Lavoisier Tech & Doc, France. 282-572.
- Daufin G., Gésan-Guiziou G., Boyaval E., Buffière P., Lafforgue C., Fonade C. (2000). Minimisation des rejets liquides de l'industrie laitière par traitement des effluents à l'aide de procédés à membrane. Tribune de l'eau, (600/4), 25-33.

- Decloux M., Bories A. (2002). Stillage treatment in the French alcohol fermentation industry, *Int. Sugar J.*, 104 (1247) 509-
- Delbecke R., (1981). Recovery of milk by hyperfiltration, *Milchwissenschaft*, 36 (11), 669-672.
- Dresch, M. (1998). Procédés à membrane de régénération des solutions de nettoyage de l'industrie laitière. Ph. D. Thesis, Ecole Nationale Supérieure Agronomie Rennes, France.
- Dresch M., Daufin G., Chaufer B., 2000, Integrated Membrane Regeneration Process for Dairy Cleaning – in – Place, *Sep. Purification Technol.*, Special Issue.
- Gésan-Guiziou, G., Daufin, G., Timmer, M. & Allersma, D., Van der Horst, C. (1999) Process steps for the preparation of purified fractions of alpha-lactalbumin and beta-lactoglobulin from whey protein concentrates. *J. Dairy Res.*, 66(2), 225-236
- Gésan-Guiziou, Boyaval E., Guillevic S., Merin U., Morgoun S., Petitpain F., Daufin G. (2001), Membrane operation for concentrating milk components from dairy effluents at source, membrane technology for Wastewater Reclamation and Reuse- International Conference, Tel Aviv (Israel)
- Horton B.S. (1997). Water, chemical and brine recycle or reuse – applying membrane processes. *Australian J. Dairy Technol.* 52(1) 68-70.
- Int. Dairy Fed.*, 1988, The quality, treatment and use of condensate and reverse osmosis permeate. *Bul.* 232.
- Judd S., Jefferson B. (2003). *Membranes for Industrial Wastewater Recovery and re-use*, Ed. Elsevier, Oxford, UK.
- Lameloise M.L, Richard N., Magneux L., Fargues C. (2003). Comparaison des performances de résines échangeuses de cations forte et faible pour le traitement des eaux ammoniacales de sucrerie. *9^e Congrès SFGP, St-Nazaire, septembre 2003.*
- R. Moletta, *Gestion des problèmes environnementaux dans les industries agroalimentaires*, Lavoisier Ed., Tec & Doc, Paris (2002)
- Morin E., Bleton J., Lameloise M.L., Tchaplà A., Decloux M. Analyse des condensats de distillerie en vue de leur traitement et de leur recyclage. *Ind. Alim. Agric.*, juillet-août 2003
- Osterland, N., Silkeborg, D.K. (1998). New developments in membrane processing. *Eur. Dairy Mag.*, 6, 36-39.
- Polyanskii K.K., Rodionova N.S. (1991) Reverse osmosis processing of ultrafiltrates of primary wash waters, *Pishchevaya Tekhnologiya*, **1-3**, 165-167.
- Stephenson T., Judd S., Jefferson B. and Brindle K. (2000). *Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment*. IWA Publishing, London, GB.
- Sage M., (2005) Valorisation des composants des eaux de procédés de l'industrie laitière en méthanisation et dénitrification, *Thèse Université Rennes I*
- Théoleyre M.A., Cartier S., Decloux M. (1998). Nanofiltration as an industrial alternative for used brine from decolorization resins. *Conference on Sugar Processing Research*, Savannah, Georgia, USA, 57-68.
- Vourch M. (2004) Traitement d'eaux de procédés de laiterie : production d'eau réutilisable par opérations à membranes, *Thèse Université Rennes I*

EAU ET SANTE : Problèmes émergents

*Pr Bernard Marcel **DIOP**
Faculté de Médecine, de Pharmacie, d'odontostomatologie (FMPOS)
BP 5005 – Dakar - Sénégal
Portable : 221 6385541*

E-mail : bmdiopmi@yahoo.fr

Résumé :

Pour promouvoir et développer la santé humaine, il faudrait :

1)

- **Approvisionnement en eau:** la rendre exempte de contaminants nocifs tout en assurant 20 à 50 litres d'eau/j/h
- **Assainissement du milieu:** faire passer le taux de couverture de 49% actuellement dans nos pays, à celui de 98% des pays développés
- **Inondation :** interdire toute habitation en zone inondable, améliorer le système de drainage des eaux de pluie, revaloriser les espaces urbains (tout-à-l'égout, gestion des ordures...)

2)

Politiques rigoureuses

- Approvisionnement en eau potable
- Assainissement du milieu
- Aménagement du territoire

3)

Implication des populations

- Information
- Communication
- Changement de comportement

4)

Application de ces stratégies

- Réduction des problèmes émergents liées à l'eau
- Economie des budgets
- Développement durable du pays
- Disparition du stress liées à l'eau
- Bonheur des populations

Risques infectieux (Tableaux récapitulatifs)

Agents bactériens	Source	Modes de transmission	Maladies
<i>Vibrio cholerae</i>	Hommes Réservoirs aquatiques	Direct : mains sales Indirect : Aliments souillés	Epidémie de choléra
<i>Vibrio para hemolyticus</i>	Mer souillée Sources halieutiques	Indirect par les fruits de mer, aliments souillés par les mains	Dysenterie bacillaire
<i>Samonella sp</i>	Hommes Animaux Mollusques Eaux usées	Direct Indirect : aliments souillés, mollusques	Fièvre Typhoïde Intoxications alimentaires (œufs, lait et dérivés, volailles...)
<i>Shigella sp</i> <i>Campylobacter jejuni</i>	Hommes Eaux usées	Direct Indirect	Dysenterie bacillaire
<i>Helicobacter pylori</i> 50% de la population	Hommes Eaux usées	Direct mains sales Indirect : oro fécal	Ulcère gastro-duodéal

Agents viraux	Source	Modes de transmission	Maladies
<i>Norovirus</i> Potentiel infectieux élevé (à faible inoculum, résistant au chlore <i>Rotavirus</i>	Hommes Eaux usées	Direct : mains sales Indirect : aliments souillés	Gastroentérites de l'enfant et du sujet âgé
<i>Poliovirus</i> <i>Entérovirus</i>	Hommes Bassins Eaux usées	Direct Indirect	Poliomyélite Gastroentérites de l'enfant
<i>Adénovirus</i> <i>Calcivirus</i> <i>Astrovirus</i>	Hommes Stations d'épuration	Direct Indirect : aliments souillés	Gastroentérites du sujet âgé et du sujet immunodéprimé, SIDA
<i>Virus des Hépatites virale</i> (VHA, VHE)	Hommes Eaux usées	Direct Indirect	Diarrhées Hépatites

Agents parasitaires	Source	Modes de transmission	Maladies
<i>Cryptosporidium</i>	Hommes Réservoirs aquatiques	Direct : mains sales Indirect : animaux, aliments souillés	Diarrhée chronique au cours du SIDA et immunodépress.
<i>Giardia intestinalis</i>	Hommes Réservoirs aquatiques	Direct Indirect par les fruits de mer, les mains sales	Dysenterie bacillaire
<i>Entamoeba histolytica</i>	Hommes Animaux Hommes	Direct rare Indirect : aliments souillés	Amibiase intestinale, extra intestinale (foie, rate...)
<i>Schistosoma haematobium</i> <i>S. mansoni</i>	Barrage de <i>Diama</i> Construction de canaux <i>Richard Toll</i>	Baignades	Hématurie, Cancer de la Vessie Diarrhée, Dysenterie

LE PROGRAMME INTERNATIONAL FRANCOPHONE PROMATINTER, UN EXEMPLE DE COOPERATION UNIVERSITAIRE TRIANGULAIRE NORD-SUD-SUD UTILISANT LE TELEENSEIGNEMENT

André AYRAL et Louis COT

Chaire UNESCO « Science des Membranes Appliquée à l'Environnement »

&

Institut Européen des Membranes, UMR n° 5635 CNRS-ENSCM-UM2,

cc047, Université Montpellier 2, Place Eugène Bataillon,

F-34095 Montpellier cedex 5, France

E-mail : Andre.Ayral@iemm.univ-montp2.fr

Le programme PROMATINTER est un programme international de coopération universitaire francophone de niveau master, utilisant le téléenseignement. Il a été mis en place par l'Université Montpellier 2 et est soutenu par la Chaire UNESCO « SIMEV / Science de Membranes Appliquée à l'Environnement ». Il a démarré lors de l'année universitaire 2005-2006.

1. Objectifs visés

Les objectifs sont nombreux. Par la mise en place de ce programme, il s'agit principalement de :

- diversifier l'offre de formation des différentes universités en permettant l'accès, via l'enseignement à distance, à des unités d'enseignement (UE) spécialisées ;
- favoriser les échanges d'étudiants dans le cadre de stages industriels à l'étranger ;
- renforcer et élargir le partenariat entre les équipes pédagogiques, les laboratoires universitaires et les entreprises.
- améliorer les programmes d'enseignement en terme d'adaptation aux besoins des secteurs porteurs et favoriser ainsi l'insertion professionnelle des diplômés ;
- mettre en œuvre de nouveaux outils pédagogiques pour améliorer les méthodes d'enseignement ;
- mettre en place des formations modulables et évolutives.

2. Description du projet

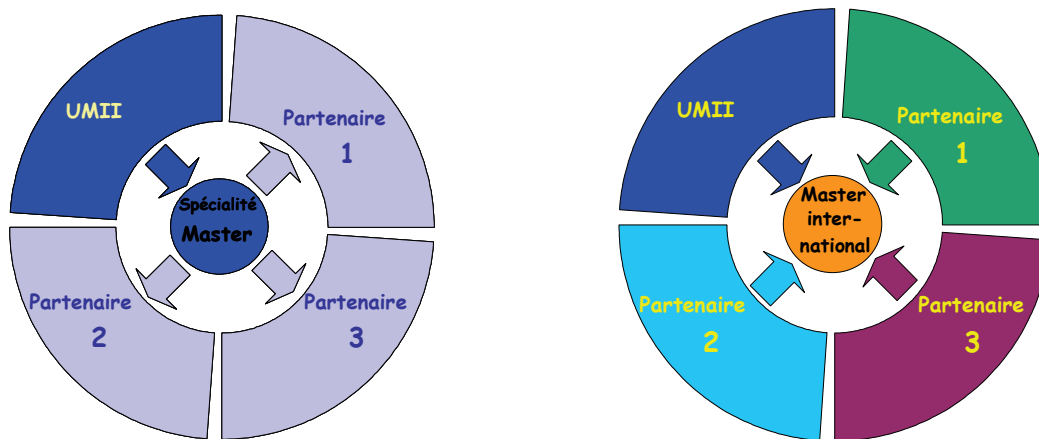
Dans une première étape (figure 1a), ce programme consiste à utiliser les nouveaux outils de la formation à distance pour permettre à des étudiants, inscrits à la fois dans une des universités partenaires et à l'Université Montpellier 2, d'accéder, à un coût réduit, à un enseignement de spécialisation performant et adaptatif ainsi que, dans des conditions bien définies, à un double diplôme de master.

Chaque année universitaire, des étudiants des universités partenaires sont sélectionnés en deuxième année de Master Matériaux ou de formation Matériaux équivalente. Les conditions de sélection et d'obtention du double diplôme sont explicitées dans des conventions bilatérales de partenariat universitaire.

Au terme d'un processus progressif d'adaptation des contenus pédagogiques dans les universités partenaires, la formation de base en science des matériaux (année M1 et tronc commun de l'année M2) pourra être validée, via une procédure de validation des acquis, par une commission mixte.

Les unités d'enseignement de spécialisation proposées dans le cadre de ce master sont suivies et validées par enseignement à distance. Dans un premier temps, l'expérience porte sur la spécialisation "MAPSODI – Ingénierie des Matériaux Poreux et des Solides Divisés" et plus précisément sur 3 UE de 25 heures, soit, au total, 75 heures d'enseignement théorique. Il est programmé, en 2007-2008, une extension du programme aux autres UE de spécialisation du master PROMAT.

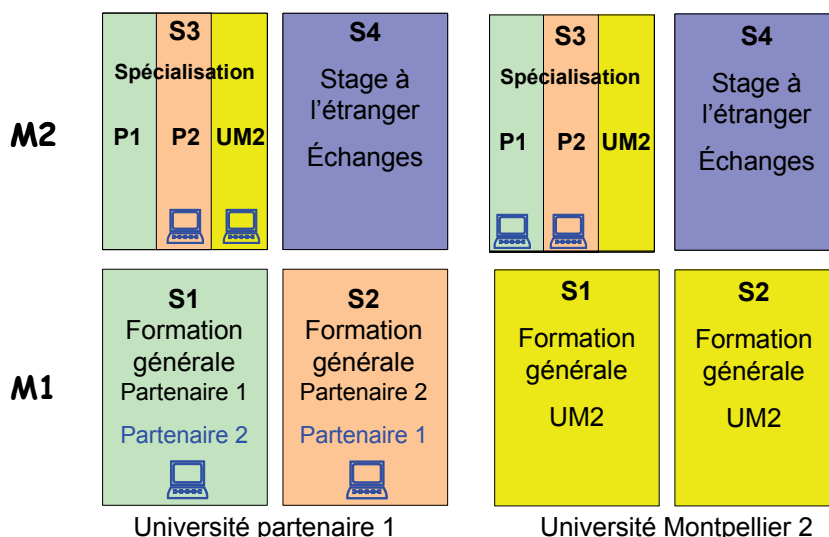
Il est également prévu l'élargissement progressif du programme en intégrant de nouvelles unités d'enseignement produites par l'Université Montpellier 2 et/ou par les universités partenaires, pour conduire à la mise en place d'un Master international (figure 1b). Un schéma de principe d'une coopération universitaire triangulaire Nord-Sud-Sud sur la base d'un master commun, avec mutualisation de cours en années M1 et M2 via les moyens du téléenseignement, est présenté en figure 2.



a) *Etape 1 : Partenariat interuniversitaire*
Utilisation de la formation à distance pour l'offre de spécialisations de l'Université Montpellier 2 et l'accès à des doubles-diplômes.

b) *Etape 2 : Master international*
Utilisation de la formation à distance pour la mise en place d'une formation à la carte basée sur l'offre de formations de tous les partenaires.

Figure 1 : Représentation schématique du projet PROMATINTER



 téléenseignement

Figure 2 : Schéma de principe d'une coopération universitaire triangulaire Nord-Sud-Sud sur la base d'un master commun avec mutualisation de cours en années M1 et M2 via les moyens du téléenseignement.

3. Modalités pédagogiques

Les cours réalisés devant les étudiants présents à l'Université Montpellier 2, sont enregistrés puis mis à disposition des autres étudiants via une plateforme de téléformation, pour un suivi en différé. Ce mode de fonctionnement ne nécessite pas l'utilisation très coûteuse des systèmes de connexion requis pour le fonctionnement en visioconférence. Il offre de plus l'avantage d'une meilleure adaptabilité vis-à-vis des horaires d'enseignement de chaque université partenaire ou des contraintes d'étudiants salariés suivant les cours dans le cadre de la formation permanente. D'autres documents pédagogiques tels que des textes de cours et d'exercices, des références bibliographiques sont également disponibles via la plate-forme de téléformation. De plus, un fond bibliographique dédié sera progressivement acquis par chaque partenaire universitaire et mis à disposition des étudiants concernés.

La plate-forme permet par ailleurs l'interactivité via le forum et la correspondance électronique entre les responsables d'unité d'enseignement de l'Université Montpellier 2, leurs correspondants, enseignants dans les universités partenaires, et tous les étudiants inscrits.

Pour chaque unité d'enseignement mise en jeu dans ce programme d'enseignement à distance, un enseignant de chacune des universités partenaires est en effet désigné comme correspondant. Il assure :

- le suivi pédagogique sur le plan local,
- le renforcement du lien avec l'enseignant responsable à l'Université Montpellier 2,
- la surveillance des examens.

Un enseignant de l'Université Montpellier 2 assistera aux soutenances de projet industriel des étudiants des universités partenaires postulant au double diplôme.

4. Partenariat

En juin 2007, sept universités partenaires ont déjà signé une convention avec l'Université Montpellier 2. Il s'agit de :

- l'Université Hassan II - Mohammedia (Maroc),
- l'Université de Pitesti (Roumanie),
- l'Université de Sfax (Tunisie),
- l'Université de Bangui (Centrafrique),
- l'Université de Tepatepec (Mexique),
- l'Université Chouaib Doukkali d El Jadida (Maroc)
- l'Université de Dakar (Sénégal),

Deux conventions sont en cours de signature avec l'Institut National des Sciences Appliquées et de Technologie de Tunis (Tunisie) et l'Université de Bamako (Mali). D'autres conventions sont enfin en préparation avec des universités de Roumanie, d'Algérie, du Mexique, du Chili...

5. Modalités de fonctionnement pour les années 2005-2006 et 2006-2007

En attendant l'harmonisation ultérieure des contenus pédagogiques en formation de base qui est requise pour la validation des acquis et l'accès au double diplôme (labellisation associée par l'Agence Universitaire de la Francophonie - AUF), l'UM2 a créé un diplôme universitaire (DU) « Matériaux poreux et solides divisés » rendant compte de la validation des 3 UE suivies à distance (6 ECTS). Pour les étudiants suivant uniquement à distance les UE de la spécialité MAPSODI, les frais d'inscriptions se limitent aux droits d'inscription UM2.

En 2005-2006, cinq étudiants ont été inscrits et trois ont obtenu le DU « Matériaux poreux et solides divisés » dans le cadre du programme PROMATINTER. En 2006-2007, le nombre d'inscrits était de dix neuf et sept ont à ce jour validés leur DU.

6. Conclusions et perspectives

Au travers du programme PROMATINTER, il s'agit de mettre en place une coopération interuniversitaire dans le cadre d'une approche pragmatique et à faible coût, de proposer une offre de formation diversifiée et de qualité pour le plus grand nombre et de renforcer les coopérations scientifiques et pédagogiques

La volonté des différents partenaires universitaires impliqués est maintenant d'amplifier cette collaboration par une augmentation de l'offre de formation disponible à distance, l'adaptation progressive des contenus pédagogiques de façon à pouvoir délivrer, via la validation des acquis, des doubles diplômes de master et enfin la mise en place d'un master international francophone composé d'unités d'enseignement produites ou co-produites par les différentes universités.

Des actions complémentaires sont également menées afin de créer un partenariat industriel pour une aide à la mobilité internationale et à l'accueil des étudiants pour leurs stages et pour la formation permanente. Une première convention de partenariat industrielle devrait être signée en 2007-2008. Une procédure est également mise en route pour que les étudiants inscrits puissent obtenir, dans des conditions spécifiques, un label européen en ingénierie des membranes, délivré par le comité Education du réseau d'excellence NanoMemPro «Expanding membrane macroscale applications by exploring nanoscale material properties», comité incluant des représentants du club d'intérêt des industriels soutenant ce réseau.

CONCLUSIONS DE LA 4^o ECOLE STM

Coorganisée par l'Université Cheikh Anta Diop (UCAD) de Dakar et la Chaire UNESCO SIMEV (Science des Membranes Appliquée à l'Environnement), cette Ecole a réuni 93 participants dont 35 industriels, et 58 universitaires. Elle a permis de rassembler 12 pays : ceux de l'UEMOA (sauf la Côte d'Ivoire empêchée au dernier moment), la Mauritanie, le Maroc, la Tunisie, les Iles Canaries et la France.

La séance d'ouverture a été présidée par Mr le Recteur de l'Université C.A. DIOP de Dakar. Plusieurs interventions se sont succédées dont celle de L. COT, responsable de la Chaire UNESCO SIMEV ; celle de J-M GUASTAVINO au nom de l'Académie des Sciences et représentant l'Académicien A. CAPRON empêché, directeur des Relations Internationales. Dans sa conférence très documentée, il a montré comment par *l'enseignement et les actions concrètes de l'Académie des Sciences dans les PVD* (Programme WHEP, action "**Espoir pour la Santé**", et "**la Santé au Fil de l'Eau**") l'homme reste au centre des préoccupations du Développement Durable.

Monsieur F. GUINOT, Président de l'Académie des Technologies, a présenté une remarquable allocution sur "*l'Afrique dans le Développement Durable ; quelques réflexions sur le passage de la notion d'aide à celle de partenariat*".

Durant les 3 jours, les conférenciers ont présenté **25 communications de très haut niveau**. Les participants ont voulu souligner le parfait accueil fait à tous par nos amis sénégalais.

Par rapport aux 3 précédentes Ecoles, des interventions de type nouveau ont animé nos **tables rondes** du soir qui se terminaient toujours vers 19 h 30 ; par exemple :

- **le 1^o jour**, intervention de **l'Académie des Sciences, de Paris**, à travers ses actions internationales (D.R.I.) :
 - WHEP (Women Health Education) Program de l'InterAcademy Panel (IAP)
 - De l'action "La Santé au fil de l'eau" dans le bassin du fleuve Sénégal,
 - du Global Water Partnership West Africa

- **le 2^o jour**, intervention d'un **représentant de chaque pays (8) de l'UEMOA** indiquant la situation de l'eau dans chacun de leur pays.

Ces 2 tables rondes ont été des **moments forts** où chacun a montré le quantitatif et le qualitatif des problèmes à résoudre.

La réunion s'est terminée par la **création du Réseau Ouest Africain des Membranes**, qui regroupe 8 pays, et va assurer une coordination poussée dans l'enseignement ainsi que dans la R et D pour le traitement des problèmes de l'eau en liaison avec le Maghreb mais aussi les spécialistes français, via la Chaire UNESCO SIMEV.

L'ensemble des communications va être publiée et distribuée à 300 exemplaires.

Elle mentionnera à la fois les organismes qui ont patronné cette Ecole et ceux qui ont accordé leur aide financière pour sa parfaite organisation.

Remarques :

Des actions pratiques sur le terrain sont à l'étude, suite aux Ecoles d'Eté STM. Quelques exemples :

- Durant les journées de Dakar une réunion au plus haut niveau a permis **de concrétiser le projet de défluoration de l'eau** par coordination entre responsables de l'eau au Maroc et au Sénégal, mais aussi entre industriels et scientifiques sous l'impulsion de l'UCAD et de la Chaire UNESCO SIMEV, organisateurs de cette Ecole à Dakar

- Une opération de distribution d'eau de boisson à Kaolak au Sénégal pour une centaine habitants a été réalisée par une communauté religieuse et une ONG internationale (p.36). Trop chargée en F⁻, cette ONG souhaite une aide scientifique matérielle pour défluorer son eau (40 m³/j)

Bilan chiffré :

I – CONFERENCIERS

Industriels	Universitaires	ONG	Total
15	7	3	25

II – 12 PAYS REPRESENTES

A -

Pays représentés (UEMOA)	Industriels	Universitaires	ONG	TOTAL
Benin	-	1	-	1
Burkina	1	-	-	1
Guinée	-	1	-	1
Mali	3	1	-	4
Niger	-	3	-	3
Sénégal	8	35	4	47
Togo	-	1	0	1
Total	12	42	4	58

B -

Pays Invités	Industriels	Universitaires	ONG	TOTAL
France	12	10	2	24
Iles Canaries	1	-	-	1
Mauritanie	-	4	-	4
Maroc	2	1	-	3
Tunisie	2	1	-	3
Total	17	16	2	35

Total participants	Industriels	Universitaires	ONG
93	29	58	6

Comité d'organisation local	hommes	femmes
15	9	6