

Séminaire International
« Sciences et Technologies à Membranes »
STM 9

*"Energies Renouvelables pour le Traitement de
l'Eau - Opportunités et Défis"*

Co-organisé par :

*Chaire UNESCO SIMEV Montpellier
Programme Energies Renouvelables, UNESCO
Association VERSeau Développement*

Thèmes

Energies Renouvelables (solaire photovoltaïque et éolien)
Aspects énergétiques du traitement de l'eau
Etudes de cas et retours d'expériences

En collaboration avec

*Division de l'Enseignement Supérieur UNESCO
Division des Sciences Fondamentales et des Sciences de l'Ingénieur UNESCO*

Avec la participation

du Conseil général Hérault
de la Commission Nationale Française pour l'UNESCO

Les 12, 13, et 14 Mai 2009
Château d'O - Montpellier, France

Motivation

Le Forum Mondial de l'Eau tenu à Istanbul en mars 2009, a rappelé les principes de durabilité, intégrés au développement de l'eau et de l'énergie, dans un contexte mondial de crise alimentaire et de coût croissant de l'énergie. Les participants ont reconnu qu'aussi bien l'eau que l'énergie, sont essentielles au développement socio-économique dans les décennies à venir et que de nouvelles politiques doivent être développées, afin de prendre en compte l'interrelation de l'eau et de l'énergie.

Répondre à une demande sans cesse croissante en eau, exige des efforts à la fois pour améliorer la qualité et la quantité d'eau disponible. Transférer l'eau pour la rendre potable, utiliser les eaux usées à différentes finalités, dessaler l'eau de mer et les eaux saumâtres... toutes ces techniques dépendent fortement de l'énergie actuellement produite, essentiellement à partir de combustibles fossiles.

Or certaines régions manquent de cette énergie pour permettre à la population d'avoir un accès durable à l'eau, moyen stratégique de lutte contre la pauvreté.

Ce Séminaire International a eu pour but d'informer (puis par des cycles ultérieurs, de former) des spécialistes du traitement de l'eau (décideurs, enseignants du supérieur, ingénieurs, techniciens de l'eau) comment utiliser les nouvelles technologies de production d'énergie (limitées cette fois-ci au photovoltaïque et à l'éolien).

Ce Séminaire s'est déroulé sous la forme de conférences assurées, pour l'essentiel, par des industriels des deux domaines (énergies renouvelables et traitement de l'eau) donnant tout son sens au Développement Durable. Des expériences probantes en ce domaine ont été présentées pour des petites, moyennes et grandes installations.

A l'issue de ces journées une publication a été préparée, dupliquée à plus de 250 exemplaires, à la fois sous forme papier et sous forme C.D. Ce document servira de premier appui, pour la formation des étudiants. Le lecteur y trouvera les textes des conférences présentées durant les 3 jours et les principales références qui s'y rapportent...

Comité d'Organisation :

Louis CALMELS – Association VERSeau Développement
Monique PETARD – Conseil général de l'Hérault
Sébastien FONBONNE – Association VERSeau Développement
Serge MIQUEL – Conseil général de l'Hérault
Tom SOO – Association VERSeau Développement
Cathy SCOGNAMIGLIO – Secrétariat Chaire UNESCO SIMEV
Cécile AFFOIGNITODE – Association VERSeau Développement

Comité Scientifique :

Co-chairmen :

Osman BENCHIKH – UNESCO Paris
Louis COT – Chaire UNESCO SIMEV Montpellier

Membres :

Pr. A. AYRAL – I.E.M. Montpellier (France)
Pr. R. BEN AMAR – Faculté des Sciences – Sfax (Tunisie)
Pr. C. DIAWARA – Faculté des Sciences et Techniques - Dakar (Sénégal)
Pr. A. GRASMICK – Polytech – Montpellier (France)
Pr. A. ELMIDAOUY – Faculté des Sciences et Techniques - Kénitra (Maroc)
Dr. R.I. ORTIZ BASURTO – Univ. Polytechnique Tecamachalco (Mexique)
Pr. M. RAFIQ – Doyen Faculté des Sciences et Techniques- Mohammedia (Maroc)
Pr. G. RIOS – I.E.M. – Montpellier (France)
Pr. J. ROMERO – Université Santiago du Chili (Chili)
Pr. Ch. WISNIEWSKI – Université Montpellier I (France)

Lieu du Séminaire :

Le Domaine d'Ô

Théâtre d'Ô - Rond point du Château d'Ô (par l'avenue des moulins)
34090 Montpellier cedex, France



TABLE DES MATIERES

	Page
• <i>Préambule</i> : L. COT – Responsable Chaire UNESCO SIMEV - IEM – Montpellier - France -	1
• <i>Allocution de bienvenue</i> : F. ROIG – Vice Président du Conseil général de l’Hérault - Montpellier – France -	3
• <i>Energie et Eau, vitales pour l’homme – Conditions d’un développement durable</i> F. GUINOT, Président honoraire de l’Académie des Technologies – Paris – France -	8
• <i>Solaire photovoltaïque : aspects fondamentaux. Situation actuelle et perspectives</i> P. SAINT GREGOIRE – Université de Nîmes – France -	16
• <i>Gisement solaire et problématique des différentes technologies photovoltaïque.</i> D. MENCARAGLIA – LGEP Supelec – Gif sur Yvette – France -	28
• <i>Caractéristiques d’un projet éolien et photovoltaïque</i> P. ALEXANDRE – Directeur des Etudes, Mesures, Systèmes d’Information et d’Innovation La Compagnie du Vent / GDF SUEZ - Montpellier – France -	29
• <i>Les énergies renouvelables au Maroc : potentialités dans le domaine de la production de l’eau potable et de l’assainissement</i> M. HAFSI – Institut International de l’eau et de l’assainissement de l’ONEP – Rabat – Maroc	35
• <i>Energies renouvelables et hydraulique rurale ; expériences existantes</i> B. CHEVALLEY - Apex - BP Solar – St Mathieu de Tréviers – France -	39
• <i>Contribution du MEDRC dans le développement et l’application des énergies renouvelables dans le traitement des eaux</i> N. GHAFPOUR – MEDRC – MUSCAT – Oman -	43
• <i>Conception d’une unité de micro et d’ultrafiltration fonctionnant à l’énergie solaire</i> M. FARCY – Société Pall – St Germain en Laye – France -	49
• <i>Les traitements d’eau potable – Aspects énergétiques</i> J-C. SCHROTTER – Véolia – Paris - France -	55
• <i>Contribution des services d’eau et d’assainissement à la maîtrise de l’énergie et la lutte contre le changement climatique</i> J-P MAUGENDRE – La Lyonnaise des Eaux – Paris – France -	61
• <i>L’ ultrafiltration pour la production d’eau potable : l’énergie dans le coût d’exploitation</i> C. BRARD – Polymem – Toulouse – France -	62
• <i>Canary Islands Institute of Technology experiences in desalination with renewable energies</i> J.A. de la FUENTE – ITC – Las Palmas – Canaries – Espagne -	63
• <i>Dessalement de l’eau de mer et eaux saumâtres - Comparaison énergétique avec d’autres procédés non conventionnels</i> A. MAUREL – Expert – France -	72
• <i>New sea water pretreatments for desalination</i> P. RUBIO – Agbar- Cetaqua – Dow Water Solutions – Barcelone – Espagne –	77
• <i>Multiple-effect drying & condensation (MEDC) : an innovative and efficient desalination technology</i> A. GOURDON - Directeur du Développement – Société 3MW – France –	84

• <i>Study of a brackish water greenhouse desalination unit powered by geothermal energy : a case study from algeria</i> H. MAHMOUDI et A. OUAGUED – Université Chlef – Algérie -	89
• <i>Wastewater treatment in small settlements : selection, dimensioning and costs</i> I. MARTIN – Fondation Centre des Nouvelles Technologies de l'Eau Séville – Espagne -	95
• <i>Filtres plantés de roseaux et optimisation de l'énergie – Exemple de l'utilisation du photovoltaïque</i> J. ESTADIEU et L. CANAVESE – Epur-Nature – Caumont sur Durance – France	101
• <i>Biogas as automovile fuel : AMEB project</i> D. MARTÍNEZ, J.C. TORRES, M. SÁNCHEZ, M. MARTÍN. Murcia, Spain	106
• <i>Allocution de conclusion :</i> J-P REGNIER – Secrétaire Général adjoint de la Commission Nationale Française pour l'UNESCO - Paris – France -	114
• Conclusions concernant de la 9° Ecole STM9	116
• <i>Compte rendu de la réunion des partenaires de la Chaire UNESCO SIMEV</i> L. COT - Institut Européen des Membranes – Université Montpellier II – France -	118

PREAMBULE

Professeur Louis COT

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

Ce séminaire s'inscrit dans les Objectifs du Millénaire pour un Développement Durable lié à l'eau et à l'assainissement. Ils visent à réduire de moitié d'ici 2015 le pourcentage des personnes n'ayant pas accès à l'eau potable (actuellement près de 1 milliard), mais aussi celles qui ne bénéficient pas d'un système d'assainissement de base (là elles sont plus de 2,4 milliards).

Il est clair que pour répondre à une demande sans cesse croissante en eau, il faut améliorer à la fois sa quantité mais aussi sa qualité.

Il faut savoir que l'insalubrité de l'eau tue 5 millions de personnes par an soit 14 000 personnes par jour, ce qui équivaut à la chute quotidienne de 25 boeings 747 remplis de passagers.

L'eau est la source de toute vie possible ; elle est le moteur de tout développement économique durable.

Mais transférer l'eau, procéder à son traitement, récupérer les eaux usées, dessaler l'eau de mer et les eaux saumâtres ...exigent de l'énergie qui, pour l'instant, est essentiellement produite à partir de combustibles fossiles.

De plus certaines régions manquent de cette énergie. L'eau, mais aussi l'énergie, sont des ressources capitales pour l'amélioration des conditions de vie, le Forum Mondial de l'Eau à Istanbul en Mars dernier, l'a rappelé. On peut même affirmer que "Eau-Energie-Alimentation" sont les 3 piliers indispensables pour un futur développement.

Les sources d'énergie sont nombreuses. L'électricité nous semble une source évidente. N'oublions pas que 2 milliards d'habitants vivent éloignés d'un réseau électrique. D'autres énergies que l'on qualifie de renouvelables, durables, propres, vertes, sont plus limitées mais sont actuellement développées à des niveaux divers : solaire photovoltaïque, éolien, hydraulique, géothermie, biocarburant...

Au cours de ce Séminaire, nous nous sommes limités aux Energies Renouvelables issues de l'énergie solaire directement (photovoltaïque en fort potentiel de croissance) ou indirectement (l'éolien déjà largement implanté).

Ce sont des énergies exploitées depuis très longtemps, mais qui bénéficient actuellement de tous les progrès technologiques qu'ont amené la science et la technologie grâce aux travaux remarquables des chercheurs et des ingénieurs.

Le succès du couplage "irrigation localisée – pompe solaire" a été largement publié. De même on connaît de nombreux exemples où l'électricité solaire ou éolienne est un des facteurs du développement rural : pompage de l'eau, éducation à distance, éclairage, centres de santé

(réfrigération des remèdes et des vaccins).... Ce type d'énergie a permis de freiner l'exode rural en créant de l'activité économique locale.

Ce Séminaire, par les nombreux témoignages qu'ont apporté les conférenciers, veut ouvrir une réflexion sur la possibilité de l'utilisation des énergie renouvelables., d'une part pour la production d'eau potable, d'autre part pour le traitement des eaux usées. Est-ce possible pour les petites, moyennes ou grandes installations ?

Dans ce cadre l'Agence Internationale de l'Energie (créée en 1974 par l'OCDE) a récemment mis en place un groupe de réflexion sur ce thème, mais aucune publication n'a encore été produite.

Tout ne sera pas dit en 3 jours ! D'autres sessions seront nécessaires pour aborder les nombreux problèmes qui se posent : au niveau technique mais aussi dans la recherche des stratégies efficaces de bonne gouvernance, en tenant compte des aspects socio-culturels, du contexte environnemental, de l'éthique individuelle et collective, des aspirations légitimes des pays.

Pour les chercheurs et enseignants-chercheurs, il y a là, en liaison avec les industriels et les pays concernés, des programmes pluridisciplinaires passionnants, regroupant énergie et eau.

Comme le disait Pasteur *"il n'y a pas de science appliquée – il y a la science et les applications de la science liées entre elles comme le fruit à l'arbre qui l'a porté"*. Il poursuivait *"le savoir est le patrimoine de l'humanité"*.

Tout cela se rattache à la mission fondamentale de l'UNESCO que nous essayons de mettre en réalité, au-delà des mots, à travers cette Chaire UNESCO : *"Contribuer au maintien de la paix et de la sécurité, en resserrant, par l'éducation, par la science et la culture, la collaboration entre les nations."*

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. Je formulerai le souhait que cette réunion d'information par des mots, nous en fassions un avenir de création par des actes avec le soutien et la confiance de vous tous.

ALLOCUTION DE BIENVENUE

Frédéric **ROIG**

Vice-Président du Conseil général de l'Hérault
délégué au développement économique, à l'emploi et à l'insertion

Hôtel du département – 34087 Montpellier Cedex 4 – Téléphone : 04.67.67.67.67.

C'est pour moi un très grand plaisir de vous accueillir aujourd'hui en France, à Montpellier, dans cette ville méditerranéenne empreinte de culture et d'histoire.

Monsieur André Vezinhet, notre Président du Conseil général de l'Hérault, m'a demandé d'introduire votre Séminaire en terre héraultaise par un message de bienvenue et d'amitié.

Il vous fait part de tout son intérêt pour le sujet abordé « Eau et Energies », au regard duquel sont concernées aussi bien nos problématiques locales, que nos actions à l'international.

Le récent Forum Mondial de l'Eau, tenu à Istanbul au mois de mars dernier, et auquel il a participé, l'a conforté dans sa vision prospective de l'importance vitale de l'accès à l'eau pour tous, dont l'une des réponses concrètes pour les populations du monde sera, et ce encore plus demain qu'aujourd'hui, garantie par une approche conjointe avec les énergies renouvelables.

C'est tout l'intérêt de ce Séminaire et je ne doute pas que vos travaux nous permettront à nous, femmes et hommes politiques, d'avoir à notre disposition les outils technologiques les plus performants, fiables et aux meilleurs coûts, pour impulser nos politiques publiques.

Ainsi Mesdames et Messieurs, vous comprendrez pourquoi lorsque le Professeur **Louis Cot**, l'initiateur et la cheville ouvrière de cette manifestation, nous a proposé de parrainer et d'accueillir cette manifestation sous le label de l'**UNESCO**, avec l'appui de l'**Association Verseau Développement**, nous n'avons pas hésité !

En effet, il est important pour nous d'être à l'écoute et ouvert sur le Monde, et donc de savoir matérialiser notre adhésion pour des opérations dont nous percevons la légitimité et dont l'atteinte des objectifs assurera une contribution concrète au bien-être des populations et ce dans un contexte de changement climatique.

Vous me permettrez de profiter de cette rencontre pour vous présenter brièvement notre Collectivité Territoriale, ses enjeux territoriaux et ses missions locales et internationales.

Conseil général de l'Hérault - France -

Le Département de l'Hérault est une collectivité territoriale de proximité, dont la principale ville est Montpellier; il est situé au sud de la France, dans la région Languedoc Roussillon. Le département de l'Hérault couvre une superficie de 6000 Km², pour une population d'un million d'habitants. Le Département agit pour la protection de l'enfance, l'insertion, l'accompagnement des personnes handicapées, l'autonomie des personnes âgées, le développement économique, la construction des collèges et des routes, le logement, la préservation de la ressource en eau et des espaces naturels, la culture, le sport et la jeunesse.

Trois axes spécifiques de notre politique publique sont concernés par votre Séminaire international :

Le Domaine de l'eau

En relation avec sa compétence d'aménagement du territoire, le Département s'investit depuis plus d'une vingtaine d'années dans une politique publique de l'eau volontariste, qu'il mène en étroite partenariat avec les acteurs locaux, nationaux et internationaux. Nous intervenons plus précisément dans les domaines suivants: gestion intégrée par bassin versant, assistance technique et financière auprès des communes, acquisition et valorisation de la connaissance sur l'eau, lutte contre les inondations et gestion des ouvrages hydrauliques, actions à l'international. Le budget consacré à l'eau est d'environ 20 millions d'euros / an.

Sa protection constitue aujourd'hui l'un des axes forts de l'action engagée par notre Département dans la bataille de l'eau.

A cet égard, « **l'Or bleu constituera l'une des préoccupations majeures qui s'incarne dans l'un des Huit Défis pour le triennat qui s'annonce** ». Cf. M. André Vezinhet – Président du Conseil général de l'Hérault.

La politique de l'eau est une action clairement affirmée par l'Assemblée Départementale.

Une autre spécificité de notre département est une **croissance démographique forte** (environ 1200 habitants supplémentaires par mois).

Enfin, les spécificités du **climat méditerranéen** engendrent des conditions hydrographiques extrêmes : aux étages sévères peuvent succéder des pluies excessives.

Ces particularités ont incité le Département à mettre en oeuvre des actions concrètes pour une gestion durable des ressources en eau.

Afin de prévenir des risques possibles de pénurie de la ressource en eau, le Conseil général de l'Hérault mène une **politique de l'eau volontariste** dont les axes principaux en matière de maîtrise de la ressource sont :

- anticiper les événements, connaître notre patrimoine eau, aider les collectivités, diversifier les ressources.

L'eau, bien vital, est notre patrimoine commun. Il faut la protéger, l'économiser et assurer son juste partage. Face à ces enjeux pour la population héraultaise, il paraît important de réaffirmer la nécessité d'une **gestion patrimoniale de la ressource** et d'assurer les conditions d'une démarche solidaire et cohérente entre tous les acteurs dans ces domaines.

Ainsi, le Conseil général a développé sur le thème de la ressource en eau **un ensemble de partenariats** avec les collectivités, les organismes financiers et les acteurs institutionnels, les Organismes de Recherche et les Associations. Ils se traduisent sous forme de contrats, de conventions et de procédures concertées.

Engagé dans une démarche volontariste et **visionnaire**, le Conseil Général déploie sa politique de l'eau sous des postures de maître d'ouvrage, d'animateur ou de partenaire.

Il est bien évident que pour répondre aux demandes sectorielles d'une manière pertinente et durable, l'approche des problématiques doit, impérativement, être globale. Le Département a ainsi adopté cette logique dans ses politiques publiques de l'eau, aussi bien locales qu'au travers de :

sa participation dans des **réseaux de partenaires internationaux**

et de son action dans le cadre de la **coopération européenne et internationale**

Dans ce cadre, le Département intervient dans l'Arc Latin, participe aux programmes communautaires Interreg III, intervient dans les programmes LIFE, est opérateur technique dans

le cadre de la Coopération Décentralisée (Chili, Maroc, Tunisie), est partenaire du programme Unesco HELP sur le fleuve Hérault ...

à l'occasion du récent Forum Mondial de l'Eau d'Istanbul (mars 2009) pour lequel le Conseil général a été sélectionné pour présenter sa politique de Coopération Décentralisée (Maroc – Chili – Colombie).

Notre plan d'actions nécessairement maîtrisable, progressif et partenarial est éclairé par :

- **l'Agenda 21** départemental: participation citoyenne, pour une politique de l'eau décentralisée,
- le déploiement concret du projet territorial **Hérault Avenir**, sur trois territoires,
- le défi "**Gagner la bataille de l'eau**",
- le programme spécifique d'intervention pour « **Economiser l'eau** ».

Telles sont à notre avis les clés de la réussite, pour la maîtrise des usages de l'eau en tant qu'enjeu stratégique local et international.

Le Domaine de l'Energie et des Energies renouvelables

Les problèmes liés à la consommation d'énergie ont conduit le Département, depuis 3 ans, à mettre en œuvre une politique volontaire visant d'une part **la maîtrise des consommations d'énergie et le développement des Energies Renouvelables** et d'autre part **l'aménagement énergétique du territoire**.

Dans le domaine des économies d'énergie, le Département s'est engagé à accompagner la maîtrise des consommations des Communes en renforçant son **partenariat avec le Syndicat Hérault Energies**, notamment sur le volet « Conseil en économie partagé ».

Le Département lui-même, s'est lancé dans un vaste diagnostic thermique de l'ensemble des bâtiments dont il a la charge, dans le but de réduire considérablement leurs consommations électrique et de chauffage.

Par ailleurs, le règlement départemental, voté par l'Assemblée, a favorisé le développement de **la filière bois énergie avec des financements de projets**, ainsi que le développement du **solaire thermique**.

Enfin, en liaison avec le BRGM, une étude a été lancée dont les résultats en 2009 permettront d'évaluer sur l'Hérault les ressources réelles et les contraintes d'utilisation de **la géothermie**.

Autre aspect, la **Mission Bois Energie 34**, créée à l'initiative du Département, dans le cadre d'un partenariat avec l'ADEME et la Région, a permis de structurer la filière dans notre département

Le Département accompagne aussi l'élaboration des **Zones de Développement de l'Eolien (Z.D.E)**, outil local d'aménagement de l'éolien imposé par la loi et généralement porté par des communautés de communes.

Enfin le Département participe, au côté des services de l'Etat, de l'Ademe et de la Région, à l'élaboration d'une stratégie de développement des fermes photovoltaïques dans l'Hérault.

Les enjeux liés à l'énergie sont tels aujourd'hui au niveau mondial, que le Département ne pouvait pas, à son échelle, ne pas être acteur.

Le Domaine du développement économique et des entreprises

Si l'Aménagement Durable de notre territoire est l'un de nos objectifs majeurs, sa mise en œuvre reste complexe dans un contexte de crise économique, de perte d'emplois et de précarité sociale.

Cela nous incite à être plus performant dans plusieurs secteurs phares du domaine économique :

Tout d'abord l'aide à la création d'entreprises

Nos interventions se concentrent sur « les Boutiques de Gestion », organisées en réseau national, et qui aident les entreprises à structurer leurs projets de développement.

Par ailleurs, nous accompagnons la Plate-Forme de Création d'Activité (PFCA 34), qui met en place une veille économique, pour permettre les échanges d'expériences et le partage d'information.

□Autre volet, celui de l'animation économique

La démarche prospective engagée par le Département de l'Hérault donne la priorité en matière d'animation économique aux actions collectives par filière et par territoire, avec des secteurs prioritaires comme la santé, l'agroalimentaire, l'eau, l'environnement, les technologies de l'information.

Le Département est à l'origine de la création de groupements d'entreprises sur les métiers de l'aquaculture, du cosmétique, de la plasturgie, de l'éco-construction.

Le Département a prolongé son partenariat avec le Club des Ambassadeurs du Sud (40 grandes entreprises).

□Le Département développe aussi sa présence sur les salons

Le Département de l'Hérault, partenaire de la Chambre de Commerce et d'Industrie de Montpellier, a été partenaire du 9ème forum des entreprises qui s'est tenu au Corum de Montpellier.

□Innovation, Recherche et Développement Technologique (IRDT)

Le Département de l'Hérault a toujours été conscient du rôle essentiel de la recherche et met en oeuvre des politiques d'innovation pour conforter ses atouts compétitifs et renforcer les partenariats économie, emploi et territoire qui sont destinés à créer de l'emploi, au travers le développement des entreprises.

Le Département soutient ainsi dans ses investissements la construction d'un Ecotron (Plate-forme de recherche pour l'étude des écosystèmes), et dans la création d'une plate-forme végétale sur le site du CIRAD Montpellier.

Le Département est intervenu aussi dans la valorisation des savoirs par le soutien à des congrès scientifiques, par l'accompagnement de structures de création et développement d'entreprises innovantes, et par la poursuite de son partenariat dans 6 Pôles de Compétitivité, donc celui de Derbi, consacré aux énergies renouvelables.

Je vous prie de m'excuser pour ce développement un peu long, mais il me paraissait important que vous connaissiez mieux votre hôte et le cadre de son intervention.

Notre intérêt pour ce séminaire ne vous aura donc pas échappé !

Et puis, quelle formidable ambition que de construire ensemble cette passerelle « eau – énergie » à même d'impulser un nouvel élan salutaire dans les Pays où l'accès à l'eau et donc à la vie est essentiel !

La qualité du programme avec les interventions des experts que j'y ai perçues, laissent augurer de bons échanges et une haute valeur au bilan que vous ne manquerez pas de dresser et surtout de diffuser largement.

Pour terminer je voudrais remercier tout particulièrement nos amis étrangers, qui ont fait ce long déplacement à Montpellier.

Au cours de ces quelques jours, nous essayerons de leur témoigner toute notre amitiés et surtout d'être à la hauteur de l'accueil fraternel qu'ils savent toujours nous procurer dans leur pays.

Mesdames et Messieurs les Organisateurs, Mesdames et Messieurs les Congressistes, bon travail à tous, bon Séminaire et à très bientôt.

Je vous remercie de votre attention.

ENERGIE ET EAU : VITALES POUR L'HOMME, PRIMORDIALES POUR LE DEVELOPPEMENT DURABLE

François **GUINOT**

Président Honoraire de l'Académie des technologies

*Académie des Technologies - Grand Palais des Champs Elysées - Avenue Franklin D. Roosevelt
- Porte C - 75008 Paris*

Tél : 01.53.85.44.44 - Fax : 01.53.85.44.45

E mail : olga.allard@academie-technologies.fr

Monsieur le Président du Conseil Général,
Monsieur le Professeur, Cher Louis Cot,
Mesdames et Messieurs les Professeurs et Directeurs,

Une fois encore, je réponds avec plaisir à l'aimable invitation du Prof. Louis Cot à participer à une manifestation de la chaire UNESCO-SIMEV qu'il anime avec talent et passion.

Avec plaisir, parce que ses travaux s'inscrivent parfaitement dans le concept de développement durable que nous défendons et qui se veut modèle de développement en rupture avec celui que nous avons désiré jusqu'ici.

Avec plaisir, parce qu'ils s'intéressent à des problèmes pratiques et cruciaux, comme ceux de l'accès à l'eau potable, à des systèmes d'assainissement, à des systèmes d'irrigation et aux problèmes des énergies adaptées à de tels besoins.

Avec plaisir enfin, parce que la chaire SIMEV a intégré dès l'origine la multiplicité des acteurs qui doivent nécessairement intervenir afin de trouver à ces problèmes des solutions convenables.

Le développement durable ne saurait être réduit à une mode écolo-bobo, fut elle très « tendance ». Il exige d'une espèce humaine devenue hyperdominante qu'elle change ses comportements.

Avec bientôt 9 milliards d'êtres humains, il n'existe plus un seul recoin, un seul écosystème sur notre planète qui ne porte directement ou indirectement l'empreinte de l'homme.

Nature, cultures et technologies sont désormais indissociables. La prédation destruction exercée par l'espèce humaine sur les ressources naturelles et les autres espèces est telle qu'un profond changement s'impose dans la relation avec ces espèces et la planète qui les porte.

Sinon, les conditions même de sa survie seraient remises en cause. Il ne s'agit pas de « sauver la planète ». Elle a déjà vécu l'essentiel de son existence sans l'espèce humaine. Elle survivra à la disparition de l'humanité. Il s'agit de bâtir avec elle et les autres espèces, une nouvelle relation, de repenser un progrès qui assure à l'espèce humaine une autre destinée que son suicide par une surconsommation, qui de toute façon, ne pourra jamais cristalliser ses aspirations profondes et durables.

Après deux millions d'années consacrées à une émergence difficile, la toute fragile espèce humaine avait atteint son premier million d'individu à l'ère néolithique.

C'est alors que pour la première fois, elle redéfinit ses relations avec la Nature. De nomade, elle devient sédentaire. Le chasseur devient éleveur ; le cueilleur, agriculteur.

Par sa capacité d'invention, par l'outil qui démultiplie ses forces physiques, l'espèce a émergé et entrepris sa domination sur les autres espèces végétales et animales.

Ère néolithique marquée par un florilège d'inventions : métier à tisser, polissage des roches, roue, fours etc, et bientôt les premiers éléments de la métallurgie.

12000 ans plus tard, 7000 fois plus nombreuse, démultipliant de manière phénoménale ses capacités cérébrales collectives par les technologies, l'espèce humaine prend conscience des dangers engendrés par sa puissance, par sa domination et la manière dont elle l'exerce.

Son avenir devient la question la plus brûlante de son présent.

Chaque organisme vivant, vous le savez, construit sa niche écologique. Il imprime des transformations à son environnement et, réciproquement, il s'adapte aux pressions qu'exerce sur lui cet environnement modifié. Ces interactions nouvelles provoquent des effets bénéfiques ou néfastes.

Les groupes humains, organismes vivants à la démographie explosive, dotés de moyens de transformation de leur environnement de plus en plus puissants, modifient leurs niches écologiques dans des proportions et à un rythme sans précédent dans l'histoire de la vie sur terre. Cela n'a plus rien de darwinien.

Cette déconnexion entre, d'une part, les rythmes d'évolution des espèces et des cycles naturels de la planète et, d'autre part, ceux que leur impose l'espèce humaine constitue l'essence même des problèmes soulevés par notre mode actuel de développement.

Les dangers de cette déconnexion imposent à l'homme de réduire la prédation-destruction, puis de l'abandonner progressivement pour tendre vers un modèle nouveau. Vers une ère nouvelle qu'en écho à l'ère néolithique et avec la même exigence d'une redéfinition des relations homme nature, j'appelle ère symbiotique. Pourquoi ?

Parce que la symbiose se définit comme « l'association durable d'espèces différentes, avec bénéfice mutuel ». Parce qu'elle est l'un des comportements les plus répandus, les plus naturels. Ainsi la symbiose apparaît elle comme la vision la plus achevée du développement durable.

Déjà DARWIN remarquait que le trèfle rouge n'est pollinisé que par les bourdons, les abeilles étant incapables d'atteindre le nectar. « Nous pouvons donc considérer comme très probable que si le genre bourdon venait à disparaître ou devenait rare en Angleterre, le trèfle rouge deviendrait aussi rare ou disparaîtrait complètement. » Et le nombre de bourdons dépend du nombre des mulots qui détruisent leurs nids et leurs réserves de miel. Mais le nombre de mulots dépend de celui des chats.

DARWIN en tire la conclusion que la présence d'un chat puisse dans une certaine zone déterminer l'abondance de ces plantes en raison de l'interaction entre chat, souris et bourdons.

Nous prenons depuis peu conscience que chacun de nous porte en lui et sur lui dix fois plus de cellules bactériennes qu'il n'a de cellules humaines. Ces milliards de micro-organismes vivent en symbiose avec nous, en particulier dans nos fonctions digestives. Les gènes de ces cellules codent pour 100 fois plus de protéines que ceux du génome humain. Le réductionnisme de ceux qui pensaient tout expliquer par ce génome risque d'apparaître assez vite très outrancier.

La biodiversité dans laquelle certains, dans un réflexe prédateur dépassé, ne voyaient que la source de produits exploitables est avant tout l'expression de la complexité des équilibres subtils

de la vie. Sa valeur est symbiotique, bien plus que marchande. Un manque dans une cascade d'interventions, la disparition d'un maillon dans une de ses chaînes peut perturber un cycle naturel.

Entrer dans l'ère symbiotique suppose une approche de la complexité dont la maîtrise viendra de nouvelles avancées scientifiques et technologiques.

Cependant, valeur symbiotique et valeur marchande ne devraient plus s'opposer et ce sera l'un des objectifs du développement durable de les réconcilier, en intégrant dans l'économie les externalités négatives que l'on refusait de voir et les externalités positives que l'on découvrira de mieux en mieux.

Les insectes pollinisateurs – je reprends cet exemple – sont des ouvriers de la biodiversité.

Les abeilles en plus de leur importance dans le maintien de la biodiversité de la flore sauvage, jouent un rôle essentiel dans les productions agricoles alimentaires. Il vient pour la première fois d'être chiffré à plus de 150 milliards d'euros annuels.

Le syndrome d'effondrement des colonies d'abeilles est bien plus qu'un problème économique. L'espèce humaine porte sans aucun doute une responsabilité dans ce syndrome (transhumance des ruches, mondialisation de microorganismes ou d'acariens comme le VERROA, mondialisation du commerce des reines, abus de pesticides, nourriture artificielle des abeilles, insémination artificielle des reines, ...).

Les abeilles ont besoin de fleurs (nectar et pollen). Les fleurs ont besoin des abeilles (pollinisation). La nature et l'homme ont besoin de fleurs fécondées (productions agricoles, miel, biodiversité).

Désormais les abeilles ont besoin des hommes sans lesquels elles ne peuvent survivre. Bel exemple de symbiose. A suivre, car si cette symbiose à trois, abeille – fleur – homme, s'impose, c'est uniquement à cause de l'hyperdomination de l'espèce humaine. Auparavant la symbiose abeille – fleur fonctionnait sans l'implication de l'homme pour la soutenir. La co-évolution harmonieuse homme – abeille est devenue une nécessité. Elle relève désormais de la responsabilité de l'homme. La symbiose comme nécessité, comme intérêt, comme responsabilité de l'espèce humaine, dessine un avenir possible, et participe de la refondation du Progrès.

Ce chemin vers la symbiose, il ne suffit pas de le rêver. Il faut l'organiser en partant de réalités, dans lesquelles s'inscrit si justement votre séminaire international et de manière générale les actions de la chaire UNESCO-SIMEV.

J'évoquerai trois de ces réalités, la démographie, la consommation d'énergie, la consommation d'eau et leur évolution d'ici à 2050.

La démographie. 2 millions d'années avaient été nécessaires pour que l'humanité parvienne à son premier million d'individus. 12000 ans auront suffi pour passer de ce million au premier milliard en 1800.

En 1900 : 1,6 milliards. En 1950 : 2,6. En 2000 : 6,1. En 2050 9,2.

Les hommes de ma génération auront vécu ce phénomène inouï d'un triplement du nombre des humains !

Actuellement, nous vivons un phénomène doublement inédit : notre espèce s'accroît au rythme jamais connu antérieurement d'un milliard tous les quinze ans et dans le même temps, et pour la première fois, la génération suivante ne remplacera pas la précédente.

Ce phénomène paradoxal en apparence tient à l'allongement de la durée de la vie. Il recouvre des situations très différentes selon les pays, en fonction de leur pyramide des ages.

D'ici à 2050 :

- les pays industrialisés d'aujourd'hui resteraient aux environs de 1 à 1,2 milliards.
- Amérique latine et Moyen Orient regrouperaient 2 milliards environ
- Les chinois seraient 1,5 milliard, alors que le reste de l'Asie de l'Est et du Sud Est rassemblerait 500 millions de personnes.

- L'Afrique verrait sa population doubler de 800 millions à 1,7 – 1,8 milliard. Par exemple, l'Ouganda – 6 fois plus petit que le Japon en 1990 – serait au même niveau, à 100 millions, en 2050 !
- Les indiens seraient 1,6 milliard ; les pakistanais 300 millions dans un sous continent indien de 2,5 millions d'habitants.

Ces chiffres annoncent par eux même des évolutions géopolitiques troublantes. Ils montrent que 95% de la croissance de l'espèce humaine viendra des pays aujourd'hui les plus pauvres.

Ils ne disent cependant pas un autre grand mouvement en cours : en 2008, pour la première fois dans l'histoire de l'humanité, le nombre des urbains a rattrapé celui des ruraux.

Au point qu'en 2030, 5,3 milliards d'êtres humains seront dans les villes, soit 60% de la population mondiale. 4 de ces 5 milliards vivront dans des concentrations urbaines de PVD. Déjà, 5 des 7 villes de plus de 15 millions d'habitants se trouvent dans le tiers-monde.

Réfléchissons – nous qui sommes si enclins à porter des jugements sans appel – aux difficultés de la gestion de telles migrations historiques : 300 millions de ruraux chinois, 250 millions d'indiens des campagnes deviendront citadins dans les 20 ans à venir.

Avons-nous, par exemple, conscience qu'une ville comme DEHLI s'est accrue – chaque année de puis vingt cinq ans – de 350 000 habitants ?

Ce mouvement fait dire que « l'avenir de la multitude des miséreux n'est plus celui des villages à l'écart de tout, mais celui des bidonvilles poussiéreux des grandes mégapoles du Sud ».

Ainsi se dessinent peut être des orientations additionnelles pour la chaire SIMEV.

Non seulement tournées vers des groupes humains isolés mais aussi vers ces agglomérations à la croissance chaotique, sans infrastructures générales.

La consommation d'énergie. Elle va immanquablement doubler d'ici à 2050 de 9 à 16-20 gigatep (milliards de tonnes, d'équivalent-pétrole).

Et ce doublement repose sur des hypothèses raisonnables :

- le milliard des pays développés réduirait sa consommation d'énergie aux alentours de 4 tep/h/an (tonne équivalent pétrole par habitant et par an).
- Les 8 milliards des autres pays parviendraient à un niveau de 1,5 à 2 tep/h/an.

Le niveau de 4 tep/h/an est reconnu comme l'optimum tant pour ce qui concerne la réduction de la mortalité infantile que la capacité de développement.

Ce doublement laisserait donc 8 sur 9 des humains en dessous de cet optimum.

Et s'il réduit les écarts constater aujourd'hui, il ne les supprime pas, tant s'en faut.

Un américain brûle aujourd'hui 8/tep/an ; un indien 20 fois moins avec 0,4 tep/an ; un chinois six fois moins avec 1,3 tep/an, après deux décennies de très forte croissance.

Les chinois construisent une centrale thermique de 900 MW par semaine et ont extrait 2,7 milliards de tonnes de charbon en 2007. Le charbon représente la source de 80% de l'électricité, contre 66% en Inde. La réalité est là et elle s'inscrit dans la durée.

Ces chiffres ne sont que le reflet d'autres réalités : 57 voitures pour 100 habitants aux Etats-Unis ; 45 en Europe ; 2 en Chine ; 1 en Inde. 50 ordinateurs en Europe, 3 en Chine, ...

D'ici à 2030, la Chine se dotera d'une puissance supplémentaire de 1300 gigawatt, à peu de chose près équivalente à la puissance installée aux Etats-Unis aujourd'hui. L'Inde investira dans 400 mégawatt supplémentaires, puissance à peu près identique à la puissance installée additionnée du Japon, de la Corée et de l'Australie...

1,5 milliards d'êtres humains, essentiellement en Afrique et en Asie du Sud, n'ont aucun accès à l'électricité.

Le recours au bois, au fumier, aux résidus agricoles, à un mauvais charbon pour se chauffer et cuisiner entrave leur capacité de développement et fragilisent leur santé. Au-delà des problèmes humains immédiats que provoque cette situation, elle entraîne des conséquences sur la désertification, l'épuisement des sols, les émissions de GES, conséquences qui concernent évidemment l'ensemble de l'humanité.

En bref, et en dehors de toute considération morale, du seul point de vue de l'intérêt commun de l'espèce, la persistance de la misère chez d'énormes masses humaines ou l'alignement d'autres masses humaines sur nos « standards de vie » actuels sont également inacceptables. Et nos standards de vie doivent changer.

Le « trop peu » comme le « toujours plus » condamnent le modèle actuel.

L'événement de l'ère symbiotique suppose la concrétisation d'une solidarité de l'espèce humaine avec ceux de ses membres les plus démunis.

Sans véritable engagement dans cette voie, la symbiose doit être rangée au rayon des utopies naufragées.

Le bois, le fumier, les résidus agricoles sont des énergies renouvelables. Mais la pression démographique provoque une surexploitation qui en détruit le caractère renouvelable et entraîne de fâcheuses conséquences : le temps perdu, la fatigue, la déscolarisation - surtout des filles – due à la recherche de bois (et de l'eau), en plus de la désertification, de l'appauvrissement des sols, etc...

Les galettes de poudre de charbon, compactées avec de l'argile, si répandues encore en Chine ont des effets désastreux sur les émissions de GES et de particules, et sur la santé.

Rendre plus propres les centrales thermiques au charbon, séquestrer le CO₂ qu'elles émettent, développer l'énergie nucléaire et le potentiel hydroélectrique (Chine-Afrique) : tout ceci relève de grands investissements, de grandes infrastructures, de grands problèmes que la chair SIMEV ne prétend pas aborder.

Il en va, bien entendu tout autrement des technologies solaires et éoliennes que vous allez travailler durant ces trois jours.

Elles autorisent des degrés de complexité très divers. Elles s'adaptent à une habitation isolée ou à de petites communautés, à un usage très localisé ou à de petits réseaux.

Elles ont évidemment un grand avenir, associées souvent aux problèmes d'accès à l'eau, de sa purification ou de l'irrigation.

La consommation d'eau.

Voilà encore une ressource renouvelable, abondante sur la planète ; si l'on met à part de rares aquifères fossiles comme l'immense aquifère saharien exploité sans retenue par la Libye.

Mais sa de distribution géographique et temporelle limite les avantages de son caractère renouvelable.

- 23 pays disposent des 2/3 des ressources mondiales en eau ; 10 pays disposent de 50%
- 1100 millions d'hommes n'ont pas un accès suffisant à l'eau potable : un tiers en Afrique noire, une moitié en Asie du Sud et de l'Est
- dans une vingtaine de pays – dont 10 en Afrique subsaharienne – la majorité de la population connaît cette situation
- 2500 millions d'hommes n'ont pas d'installations sanitaires décentes

- les maladies hydriques sont la première cause de mortalité au monde et entraînent directement ou indirectement 25 000 morts par jour
- la Chine avec 21% de la population mondiale ne dispose que de 7% des ressources en eau. Deux sur trois des 600 premières villes chinoises manquent d'eau
- le réchauffement climatique, tel que modélisé par le GIEC, s'accompagnerait d'une pluviométrie accrue ; malheureusement pas mieux distribuée : il pleuvrait plus sur les pays déjà abondamment arrosés et moins sur les pays secs. La distribution de la démographie accentuerait le problème puisque deux tiers des humains vivent dans des régions qui reçoivent le quart des pluies annuelles.

Cette ressource renouvelable, abondante et si mal distribuée temporellement et géographiquement va voir sa consommation doubler d'ici à 2050 ! Je fais référence aux chiffres publiés par l'ONU et par la FAO.

Pourquoi la FAO ? Parce que l'utilisation de loin la plus consommatrice d'eau est l'agriculture. Quand nous utilisons 50l/h/j pour boire et pour les nécessités de l'hygiène, il en faut 3500l/h/j pour produire un régime alimentaire de 3000kcal/j. Or la composition de ce régime a une grande influence : 13000l d'eau sont nécessaires pour produire un kilogramme de viande de bœuf ; 100l pour produire un kilogramme de pomme de terre. On constate en Chine aujourd'hui, une augmentation très forte de la consommation de viande rouge, corrélée à la croissance du niveau de vie, comme ce fut le cas chez nous.

Le problème majeur de la consommation d'eau est l'agriculture, et en particulier l'irrigation. Celle-ci représente 70% de la consommation mondiale d'eau douce.

Déjà, à cause des prélèvements qu'on y opère, un dixième des plus grands fleuves du monde n'arrivent plus jusqu'à la mer pendant certaines périodes de l'année : c'est le cas du Colorado, du Yang-Tsé, du Gange ... L'irrigation est de plus en plus nécessaire. Mais si elle reste aussi consommatrice, elle deviendra impossible, au moment où l'on devra nourrir 3 milliards d'êtres humains supplémentaires avec des surfaces arables qui se réduisent.

Le problème n'est pas théorique. Vous avez sans doute observé que des pays comme la Chine ou l'Arabie Saoudite achètent actuellement des milliers d'hectares de terres agricoles en dehors de leurs frontières...

Combien d'eau gaspillée aujourd'hui ? Combien d'eau potable utilisée dans des usages qui se contenteraient d'autres qualités ?

Des travaux montrent que, pour le pourtour du bassin méditerranéen, 25% de la ressource soit 70 km³ sur les 280 km³ de consommation totale pourrait être économisée.

Ici, 64% de la ressource vont à l'agriculture : 45% au Nord du bassin – 82% au Sud et à l'Est.

- 65% de l'économie pourraient venir de l'amélioration de la performance de l'irrigation.
- 22% viendraient de l'industrie par un meilleur taux de recyclage (porté à 22%)
- 13% viendraient de l'eau potable en réduisant de 15% les pertes de transfert, et de 10% les fuites.

Au vu de tous ces chiffres, la vision optimiste consiste à dire : les technologies existent qui devraient permettre, par une meilleure gestion de la ressource, de faire face à la croissance de la demande.

La vision réaliste consiste à affirmer : les technologies se sont bien, en dehors d'un contexte culturel et socio-économique qui autorise leur mise en œuvre. C'est une autre manière de dire que nature, culture et technologies sont indissociables.

Les conditions naturelles que l'on rencontre en une région donnée, au sein d'un groupe humain donné, déterminent avec leur culture, les conditions socio-économiques qui rendent ou non, opératoire et acceptable toute nouvelle technologie.

Il y a quelques semaines, j'ai visité les universités d'Israël. J'ai vu dans le désert les technologies les plus avancées en matière d'énergie solaire, de traitement des eaux, d'irrigation. Dans l'entretien qu'il nous a accordé à la Présidence à l'issue de cette mission, SHIMON PERES a eu cette phrase : « notre agriculture aujourd'hui est faite de 5% de terre et d'eau, et de 95% de science, de technologie et de formation ».

En l'écoutant, j'avais en mémoire une discussion avec Mme Ben KHADRA, Ministre de l'énergie, de l'eau, des mines et de l'environnement du Royaume du Maroc. Elle disait son inquiétude sur les disponibilités en eau du Sud Marocain ; les puits à plus de 300m, fragilisés par la surexploitation, les intrusions salines ; elle disait les conflits d'usage. Elle insistait sur le gaspillage provoqué par les méthodes ancestrales d'irrigation. Comment introduire des technologies économes de la ressource ? Combien de temps, quelles formations pour y parvenir ?

J'avais aussi en mémoire les problèmes rencontrés par le gouvernement chinois dans le Nord-Est. Le choix entre un vaste programme de formation des paysans à de nouvelles technologies d'irrigation et l'apport d'eau par des transferts massifs sur des centaines de kilomètres a fait l'objet d'un arbitrage. Les transferts sur longue distance ont été retenus. Les chinois craignaient de n'avoir pas le temps de réaliser les formations nécessaires avant de rencontrer de grands problèmes de ressources alimentaires.

On touche là à une seconde déconnexion. A côté de celle qui fait des technologies un facteur d'évolution non darwinien imposé par l'homme aux évolutions darwiniennes des autres espèces, la différence – qui s'aggrave – entre la constante de temps rapide de l'évolution des technologies et celle, beaucoup plus lente, des comportements humains est un grave problème de notre temps. Elle marque – différemment certes, mais fortement – pays développés et pays en voie de développement.

L'outil technique, prolongement du corps humain, démultipliait les performances physiques individuelles. Les technologies démultiplient, avec des ordres de grandeur bien supérieurs, les performances cérébrales collectives. Cette fracture entre la dimension personnelle de l'outil, son lien charnel avec le corps, et la dimension cérébrale collective des technologies n'est neutre ni psychologiquement ni sociologiquement. Elle ne peut se réduire que par l'éducation, la formation.

Cela justifie pleinement à mes yeux la présence de l'UNESCO dans la chaire qui promeut les technologies membranaires.

Cela justifie pleinement, comme l'indique le paragraphe « motivation » qui accompagnait le programme de ce séminaire qu'elle se donne pour but d'informer puis de former.

Cela justifie pleinement que l'on cesse de parler de transferts de technologie.

Les greffes ne prennent pas entre des tissus incompatibles. Des environnements culturels et socio-économiques très différents ne peuvent accepter des greffes de technologies par transfert de l'un vers l'autre. C'est bien un concept de co-développement qu'il convient d'approfondir. Cessons de parler des autres, de ce qui devrait leur convenir. Parlons plutôt avec les autres et mettons ensemble les expériences des uns et des autres pour définir ce co-développement.

C'est aussi ce que tente la chaire UNESCO SIMEV et je vois avec plaisir combien des entreprises s'engagent auprès d'elle dans ce concept de co-développement.

Oui, il me semble qu'il y a là quelque chose à approfondir. Scientifiques, technologues, sociologues, ethno psychologues, économistes, managers, doivent y travailler ensemble.

L'Académie des technologies – la plus jeune des grandes académies nationales – a été, aux côtés de l'Académie des Sciences, fondatrice du Groupement inter académique pour le Développement (GID).

Dans ce groupement, l'Académie des technologies a pris la responsabilité des domaines liés à l'énergie et à l'eau. L'Afrique est le lieu privilégié de ses actions. Ce qu'a fait la chaire UNESCO-SIMEV avec les pays africains de l'Ouest, le réseau qui a été formé, animé par notre ami le Prof. DIAWARA est pour nous un bon exemple à suivre. Les actions concrètes qui en résultent, comme la création d'un pilote de défluoration de l'eau au Sénégal avec le soutien de l'AIRD et de la société PALL, sont pour nous un modèle à imiter.

De même le GID a été le premier à organiser au sein de l'Union pour la Méditerranée les premières réunions scientifiques et technologiques de 17 pays en juin 2008. L'Académie des sciences a créé le réseau PARMENIDES pour rassembler les scientifiques. J'ambitionne de créer le réseau TECHMED (technologies pour les méditerranéens). Déjà l'Egypte, la Tunisie, Israël, le Maroc, l'Espagne ont marqué leur accord de principe.

J'invite la Chaire SIMEV, j'invite l'UNESCO, j'invite tous ceux qui, ici, seraient intéressés à se joindre à nous.

Le GID est ouvert (l'Académie des sciences et des technologies du Sénégal, l'Académie Hassan II des sciences et des technologies du Maroc, ... en font partie). Et la notion de méditerranée est large.

Vous qui, avec la chaire SIMEV, faites vivre le concept de co-développement, soyez sûrs que vous serez les bienvenus dans ce mouvement.

ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE : ASPECTS FONDAMENTAUX, SITUATION ACTUELLE, ET PERSPECTIVES DANS LE CADRE DE LA PROBLEMATIQUE DE L'EAU

Pierre SAINT-GREGOIRE

Université de Nîmes, Département Sciences et Art
30021 NÎMES cedex 01

E mail : pierre.saint-gregoire@unimes.fr ; stgreg@ferroix.net
et

Institut Charles Gerhardt, 34095 MONTPELLIER cedex 05

Après une introduction historique, nous présentons les semiconducteurs pour rappeler le principe de fonctionnement des dispositifs photovoltaïques. Nous passons ensuite en revue les grandes étapes des origines à nos jours, en nous attardant sur les réalisations pratiques et leurs caractéristiques principales, que ce soit pour les installations diffuses isolées, pour celles connectées au réseau, ou pour les installations plus importantes, comme les centrales solaires photovoltaïques.

Pour montrer l'évolution des idées dans ce domaine et introduire les perspectives, nous distinguons les cellules solaires de première, deuxième, et troisième génération. Dans chaque cas, nous présentons non seulement les grandes lignes des aspects scientifiques, mais aussi les tendances aux niveaux économique, technologique, et productique.

Enfin, nous discutons de la pertinence de l'utilisation d'installations photovoltaïques comme source d'énergie dans le cadre de la problématique de l'eau.

En conclusion, nous situons les systèmes photovoltaïques des diverses générations dans le cadre des autres sources possibles d'énergie renouvelable, en insistant sur la nécessité d'analyser la réalité du terrain avec une pluralité d'approches.

Historique

Pour introduire l'effet photovoltaïque, il est nécessaire de remonter jusqu'à la découverte de l'effet photoélectrique, faite en 1839 par Becquerel [1]. Ce dernier avait alors observé une influence de la lumière sur le courant électrique, dans des dispositifs comprenant électrodes et électrolyte : lorsque de la lumière d'une fréquence convenable éclaire une des deux électrodes, le courant en est modifié. Plus tard, ce sont les travaux de Hertz [2] qui font progresser les connaissances dans ce domaine. On sait que ce dernier avait concentré ses travaux sur les ondes électromagnétiques, prédites plus tôt par Maxwell, et avait mis en évidence ces dernières, en montrant l'analogie de leur comportement avec la lumière. En étudiant l'influence d'un faisceau lumineux sur une plaque de zinc chargée électriquement, Hertz s'est également aperçu que la plaque se déchargeait si la fréquence de la lumière était suffisamment élevée (dans le domaine de l'ultraviolet (UV)) : connecté à un électromètre à feuilles d'or (on mesure la charge à partir de l'angle entre les deux feuilles, dû à la répulsion électrostatique découlant de la loi de Coulomb), on observe la diminution immédiate sous éclairage UV, de l'angle entre les deux feuilles, et la décharge totale dans un laps de temps qui dépend de l'intensité du rayonnement.

Si les travaux de Hertz ont remarquablement confirmé toutes les prédictions découlant des équations de Maxwell en ce qui concerne les propriétés des ondes électromagnétiques, ils ont, dans le domaine photoélectrique, montré les limitations de la théorie dite classique de

l'électromagnétisme : l'existence d'un seuil en fréquence dans l'effet photoélectrique, ne peut en aucun cas être expliqué par les équations établies par Maxwell pour décrire les phénomènes électromagnétiques.

Plus tard, après la découverte de l'électron par J.J. Thomson, Hertz et Hallwachs, puis Lenard, reprennent les travaux sur l'effet photoélectrique [3]. Lenard propose alors une explication, en terme d'émission d'électrons par la cathode, sous l'effet des rayons lumineux. Parallèlement, le dispositif expérimental utilisé pour étudier l'effet photoélectrique, était devenu plus sophistiqué : la cathode était placée dans une ampoule fermée par une fenêtre de silice (pour laisser passer le rayonnement UV) dans laquelle régnait un vide primaire, et les électrons émis étaient récupérés par un collecteur, objet métallique concave situé en avant de la cathode. Il était possible dans ce dispositif, de faire varier la tension entre cathode et collecteur, entre des valeurs négatives et des valeurs positives. Avec ce dispositif, Lenard a pu mesurer en 1902 avec une bonne précision le rapport e/m entre la charge et la masse de l'électron, et surtout mettre en évidence les propriétés fondamentales de l'effet photoélectrique, qui ont eu une importance cruciale par la suite dans l'explication apportée par A. Einstein en 1905 [4]. Millikan reprendra l'expérience en 1914.

Les nouvelles études confirment qu'il ne se passe rien en dessous d'une fréquence seuil de la lumière éclairant la cathode. Au dessus de la fréquence seuil (qui dépend de la nature du métal composant la cathode), on observe que si le collecteur est porté à un potentiel électrique positif, il apparaît un phénomène de saturation dans le courant : l'explication en est naturellement que tous les électrons émis par la cathode sous l'effet de l'éclairement, sont récupérés au niveau du collecteur si le potentiel du collecteur (qui attire ici les électrons) est suffisant. Si le potentiel V est répulsif (polarité inversée), on observe que le courant s'annule pour une valeur précise V_a appelée potentiel d'arrêt ; l'interprétation en est que les électrons ont alors perdu toute leur énergie cinétique avant d'atteindre le collecteur, et (eV_a) correspond ainsi précisément à l'énergie cinétique des électrons à leur sortie de la cathode. Or la loi montrant la dépendance de cette quantité (ou tout simplement de V_a) en fonction de la fréquence n de la lumière, est linéaire et la droite $V_a = f(n)$ coupe l'axe des abscisses en n_0 : l'énergie cinétique des électrons est donc proportionnelle à $(n - n_0)$.

Les propriétés observées, à savoir que l'illumination n'a aucun effet en dessous de la fréquence seuil n_0 quelle que soit l'intensité de la lumière incidente, soulignait un point que l'approche classique de l'électromagnétisme de Maxwell ne pouvait prendre en compte. C'est Einstein qui eut l'idée d'appliquer à l'effet photoélectrique une formule que Planck avait utilisée pour rendre compte du spectre d'émission du corps noir (à savoir $E = hn_0$ où h est la constante de Planck – $h \approx 6,62 \times 10^{-34}$ dans le système MKSA) : il venait de confirmer que les échanges d'énergie entre lumière et matière ne pouvaient se faire de façon continue, mais par quantités infractionnables, les « quanta » hn , appelés photons.

De Becquerel à Einstein en passant par Hertz, Thomson, Lenard, Planck, l'effet photoélectrique s'est situé à la charnière entre la physique classique et la physique moderne, et a largement contribué à l'avènement de la mécanique quantique. En effet, l'idée que la lumière, dont la nature ondulatoire ne pouvait être contestée dans nombre d'expériences, possédait aussi une nature corpusculaire, a été suivie de la réciproque, à savoir que des particules pouvaient avoir un comportement ondulatoire. C'est ce que fit Louis de Broglie en associant une onde aux électrons, appelée onde de de Broglie, dont il montra que la longueur d'onde devait prendre la valeur h/mv (m et v étant respectivement la masse et la vitesse de l'électron). Ceci permit de comprendre les formules empiriques de Bohr concernant l'atome d'hydrogène, et surtout, de proposer l'équation de base de la mécanique quantique, l'équation de Schrödinger.

Matériaux semiconducteurs, et effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque dont il est question ici, se produit dans des matériaux dits semiconducteurs [5],[6],[7], mis en évidence par Faraday en 1833, qui observe qu'il existe une catégorie de matériaux dont la conductivité est plus faible que celle des métaux, et dont le comportement thermique est différent : à l'inverse des conducteurs, la conductivité des semiconducteurs augmente avec la température.

Par la suite, il fallut attendre les travaux de Wilson en 1931, qui, dans le cadre de la mécanique quantique, jeta les bases de la théorie des semiconducteurs : il montra que l'énergie des électrons dans ces matériaux ne peut varier de façon continue, mais doit avoir une valeur comprise dans des limites permises (« les bandes d'énergie ») ; il existe ainsi des valeurs inaccessibles (« les bandes interdites »), entre la bande de valence et la bande de conduction qui sont séparées par un « gap » énergétique de l'ordre de 1 à 3 eV dans les semiconducteurs usuels. Les isolants sont caractérisés par le fait que le gap y est supérieur à cette dernière valeur (typiquement autour de 9 eV), alors que les bandes de valence et de conduction se recouvrent dans les conducteurs.

Dans les semiconducteurs, un électron, qui sous l'effet d'une excitation passe de la bande de valence à la bande de conduction, laisse dans cette dernière un défaut de charge, qui peut être décrit comme une charge positive : le trou. Dans les semiconducteurs, la conduction implique ainsi les électrons et les trous.

Le développement scientifique et technique sur les semiconducteurs après ces travaux se fait ensuite de façon intense et rapide. En 1948, on découvre l'effet transistor, puis on produit les premières cellules solaires « photovoltaïques » en 1954, cellules qui sont ensuite perfectionnées principalement dans le cadre de la conquête spatiale.

Les cellules photovoltaïques

Pour en comprendre le fonctionnement [8], rappelons les résultats des travaux sur l'effet photoélectrique : dans le semiconducteur, il est possible de communiquer, à partir de lumière, une énergie aux électrons de la bande de valence. Pour que l'électron passe de la bande de valence à la bande de conduction, il est nécessaire que le photon incident ait une énergie $h\nu$ supérieure au « gap », à la différence d'énergie au sein de la bande interdite du matériau. Cependant, l'électron ainsi passé dans la bande de conduction n'en devient pas pour autant « utilisable » ; il est en effet encore indispensable de l'empêcher de se recombiner avec un trou, et d'orienter sa trajectoire au sein du matériau. Cela se fait en créant un champ électrique E , qui déplacera électrons et trous dans des directions opposées du fait de la loi de Coulomb $\mathbf{f} = q \mathbf{E}$ ($\mathbf{f}$ est la force qui s'applique à la charge électrique q du fait du champ électrique $\mathbf{E}$), et du signe de la charge qui est contraire pour les électrons et les trous. De ce fait, il apparaîtra ainsi une différence de tension entre les deux faces du semiconducteur qui sont perpendiculaires au champ.

S'il est possible de créer un champ interne, c'est en raison d'une propriété très importante pour les applications, dont jouissent les semiconducteurs, à savoir le dopage, qui consiste à introduire un certain type d'impureté. Un semiconducteur « dopé N » contiendra plus d'électrons libres (charges négatives) que s'il n'est pas dopé, alors que l'on aura moins d'électrons libres que dans le semiconducteur pur dans le cas d'un « dopage P ». En dopant différemment deux zones, on réalise ce que l'on appelle une « jonction $P-N$ » (qui est une diode semiconductrice) qui est caractérisée par l'existence du champ électrique interne recherché : les cellules solaires dites de première génération, fonctionnent sur ce principe. Pour comprendre la nature fondamentale du phénomène, on peut se représenter la situation en partant de la création de cette jonction $P-N$. Initialement, les électrons libres de la zone dopée N , attirés par les trous (charges positives) de la zone dopée P , entrent dans cette dernière et se recombinent avec les trous. Ils laissent ainsi des

trous dans la zone N , et il en résulte une charge positive dans la région dopée N au voisinage de la jonction. Cette zone, appelée « zone de charge d'espace » (ZCE) est le siège d'un champ électrique dirigé de la zone N vers la zone P (puisque dans la ZCE , les charges positives sont situées du côté dopé N). Du fait de ce champ électrique, les électrons subissent une force qui les fait passer de la zone dopée P vers la zone dopée N alors que les trous subissent une force dans la direction opposée.

Dans le cas du silicium Si qui reste encore de nos jours le matériau majoritairement utilisé (cependant dans l'espace, les cellules sont souvent à base d' $AsGa$ en raison de meilleures propriétés mécaniques et d'une meilleure résistance aux irradiations), le dopage N se fait en introduisant des impuretés de Phosphore, chaque atome de phosphore P libérant un électron au sein du matériau, alors que le dopage P se fait par l'introduction d'un atome de Bore B auquel il manque un électron comparativement au Silicium pur.

La structure des premières cellules solaires comprend ainsi une couche de Si dopée N , orientée vers la source de lumière, d'une épaisseur de 1 à 2 mm, reposant sur un substrat de Si dopé P . Les paires électron-trou sont engendrées par effet photoélectrique dans la cellule, les électrons étant ensuite accélérées par le champ électrique interne vers la zone N (« pôle négatif ») alors que les trous le sont vers la zone P (« pôle positif ») ; le circuit peut être fermé extérieurement sur une charge : il est pour cela indispensable de déposer un contact métallique sur la face inférieure (non exposée à la lumière, ce contact peut être opaque), alors que la face supérieure est recouverte d'une grille métallique pour collecter les charges. Pour maximiser les propriétés de la cellule, une couche anti-réflexion peut être déposée sur la face supérieure et la ZCE peut avoir une géométrie non plane. L'épaisseur totale de la cellule doit être optimisée, en particulier du fait qu'une trop grande épaisseur amènerait à une trop grande probabilité de recombinaison électron-trou ; elle est de quelques dixièmes de mm, environ 0,3 mm. Les cellules ainsi constituées sont assemblées dans des panneaux, recouverts d'un revêtement protecteur.

Les premières cellules de ce type avaient un rendement – que nous définirons plus loin - de l'ordre de 4 %. Actuellement, le rendement est bien plus élevé, en raison des améliorations qui ont peu à peu été apportées à divers niveaux, et notamment à celui du matériau lui-même : on utilise le silicium sous forme amorphe, polycristalline, ou monocristalline, et la couche supérieure peut avoir une structure rugueuse de façon à pouvoir emprisonner le plus possible le rayonnement lumineux.

Les cellules sont caractérisées, sous éclairement, par les courbes « courant - tension » $I - U$ au niveau du circuit extérieur : arbitrairement, le courant I y est porté en ordonnée, et la tension U en abscisse. Les courbes ainsi obtenues présentent une partie plate, où le courant ne dépend pas de la tension, et au delà d'une tension de l'ordre de 0,4 V, I diminue pour s'annuler rapidement. La puissance étant définie comme le produit UI , nous voyons qu'elle varie suivant le point considéré sur la courbe $I - U$: il existe un point sur lequel cette quantité est maximale et atteint la valeur P_{max} ; le rendement η est défini comme le rapport entre P_{max} et la puissance lumineuse incidente. Etant donné que les caractéristiques des cellules dépendent de la longueur d'onde de la lumière incidente, il est intéressant, puisqu'il s'agit de convertir de la lumière d'origine solaire en électricité, de se rapporter dans les données, à une source ayant les mêmes caractéristiques spectrales que le rayonnement solaire, et éventuellement la même puissance par unité de surface. En dehors et à la limite de l'atmosphère terrestre, la puissance de la radiation solaire, appelée constante solaire notée D_0 , est d'environ 1353 W/m^2 . Naturellement, en traversant l'atmosphère, cette radiation est affaiblie en raison de divers facteurs (absorptions et diffusions). On trouve pour définir quelques conditions spécifiques d'éclairement, les notations $AM0$, $AM I$ ou $AM 1.5$.

AM est l'abréviation pour Atmospheric Mass, et le nombre quantifie l'épaisseur d'atmosphère traversée. Ainsi $AM0$ correspond à la radiation extraterrestre, applicable aux satellites en orbite autour de la Terre, $AM1$ à une incidence verticale de la lumière solaire au niveau du sol et à l'équateur, et $AM1.5$ à un rayonnement solaire ayant traversé une épaisseur atmosphérique égale à 1,5 fois la distance du cas précédent ($AM1$) ; cela correspond à une position du Soleil à $41,8^\circ$ au dessus de l'horizon.

Dans la terminologie des panneaux solaires photovoltaïques, on trouve aussi pour la puissance, les termes « Watt peak » W_p ou « Watt crête » W_c : l'un est issu du vocabulaire anglosaxon, le second est sa traduction en français. Il s'agit en fait de la puissance maximale que peut donner un panneau photovoltaïque sous un éclairement solaire maximal. Naturellement, un panneau solaire de $100 W_c$ fournira une puissance moyenne d'autant plus faible qu'il sera installé dans une zone à faible irradiation solaire ; il faut pour estimer sa production journalière ou annuelle moyenne, multiplier cette puissance nominale par un coefficient qui caractérise l'ensoleillement et dépend donc de la localisation du panneau.

Cellules solaires de première génération : aspects financiers et environnementaux

Depuis la découverte des semiconducteurs et la mise au point des premières cellules solaires, de grands progrès ont été réalisés. On distingue actuellement plusieurs générations de cellules solaires [9] : la première concerne les cellules classiques, telles qu'elles sont décrites ci-dessus : basées sur une jonction $P - N$, elles ont pu être améliorées en optimisant le matériau, sa géométrie, et en minimisant les pertes par exemple par réflexion.

Ces cellules ont pu atteindre des rendements optimaux grâce à l'emploi de couches anti-réfléchissantes, ou en structurant la surface supérieure du semiconducteur de façon à optimiser la lumière effectivement impliquée dans l'effet photoélectrique.

Pour ces cellules, on estime que 70 % du coût provient du matériau semiconducteur, ce qui les laisse largement dépendantes du marché du silicium, dont on sait que le cours a présenté de grandes variations dans ces dernières années. Actuellement, le prix des cellules de première génération se situe en dessous de $5 \$ / W_c$.

Le coût actuel ne permet cependant pas un développement spontané, basé sur les lois du marché, du photovoltaïque pour la production d'électricité : aussi en France, le tarif de rachat d'électricité solaire photovoltaïque est – il fixé à 55 c€ / kWh pour des panneaux solaires intégrés aux constructions, alors qu'il est de 30 c€ / kWh si les panneaux sont au sol. Avec de tels tarifs de rachat, pourtant largement supérieurs aux tarifs que pratique EDF à la vente, le retour sur investissement est de l'ordre de 10 ans, au delà desquels la production continue à être achetée à tarif préférentiel pendant la dizaine d'années restante, ce qui est cohérent avec la durée de vie des panneaux, ces derniers étant la plupart du temps garantis pendant 25 ans. Dans les divers pays de l'Union Européenne, les conditions de rachat sont différentes pour les tarifs bruts, mais les paramètres d'amortissement sont sensiblement souvent identiques, en raison de l'ensoleillement différent d'un pays à l'autre.

Pour que le solaire photovoltaïque soit considéré par les investisseurs financiers comme rentable et attractif, il est indispensable que les coûts d'installation, d'entretien, et de fonctionnement, en soient considérablement abaissés. Néanmoins, pendant une première période, la production

photovoltaïque d'électricité ne sera rendue possible qu'en imposant aux grandes compagnies nationales, comme *EDF* en France, un tarif de rachat largement supérieur au marché.

Si l'amortissement financier est ce qu'il est compte-tenu des choix, politiques, de subvention à travers des tarifs de rachat fixés, il est intéressant de se poser la question sur les impacts environnementaux de cette filière souvent qualifiée « d'énergie propre », et d'analyser les différentes étapes de la production des panneaux solaires photovoltaïques de silicium [8].

Le silicium *Si* est le deuxième élément le plus abondant à la surface de la Terre, après l'oxygène. Il existe majoritairement sous forme de silice SiO_2 (quartz, sables siliceux type « sable de Fontainebleau » utilisé dans l'industrie verrière), et peut être extrait du quartz par carboréduction suivant l'équation chimique $SiO_2 + 2C \rightarrow Si + 2CO$, ce qui se fait en pratique en portant le mélange à haute température (aux environs de $1700^\circ C$) dans un four électrique à arc. La production de silicium brut, de qualité dite « métallurgique », implique ainsi l'émission d'un gaz à effet de serre, le monoxyde de carbone, toxique, et consomme une grande quantité d'énergie pour porter le mélange à haute température : pour obtenir 1 tonne de *Si*, la consommation est de 11000 à 14000 *kWh* électrique, et l'émission est d'environ 5000 m^3 de *CO*. Le silicium ainsi obtenu n'est pas encore de pureté suffisante (il contient 1 à 2 % d'impuretés), et doit encore être purifié, par exemple suivant un processus mis au point par Siemens en 1950, qui implique plusieurs étapes : 1) la production de trichlorosilane en faisant réagir le silicium métallurgique avec de l'acide chlorhydrique ($Si + 3HCl \rightarrow SiHCl_3 + H_2$), 2) la distillation du trichlorosilane, et 3) l'obtention de silicium polycristallin par « CVD » (Chemical Vapor Deposition) suivant l'équation $SiHCl_3 + 2H_2 \rightarrow 3Si + SiCl_4 + 8HCl$. Le silicium ainsi obtenu peut être très pur (1 impureté pour 10^{10} atomes), et peut être fondu sous forme de lingots poly- ou mono-cristallins par méthode de Czochralski (méthode de fusion avec tirage lent). Les lingots sont ensuite sciés en fines tranches (les « wafers ») qui doivent encore être dopées, ce qui se fait le plus souvent par diffusion à haute température (voir [9] et ref qu'il contient).

Le processus de fabrication des panneaux solaires au silicium est donc, on le voit, complexe et coûteux pour l'environnement : production de *CO*, gaz toxique à effet de serre, consommation de grandes quantités d'énergie pour les différents cycles thermiques à hautes températures, et enfin processus polluants impliquant de grandes quantités d'acides.

L'estimation, basée sur le standard mondial pour la production d'électricité (en France, où l'électricité est majoritairement d'origine nucléaire, la situation est moins favorable au photovoltaïque), indique qu'un panneau solaire situé en zone moyennement ensoleillée, aura produit la quantité d'électricité ayant été nécessaire à sa fabrication et aura compensé l'émission de gaz à effet de serre correspondante, après un fonctionnement pendant environ 8 ans.

C'est de la nécessité d'abaisser les coûts, que sont nées les deuxième et troisième générations de cellules solaires photovoltaïques.

Cellules solaires de première, deuxième, et troisième générations.

Après les cellules solaires de première génération, construites sur la base d'une jonction *P – N* essentiellement de silicium, les recherches ont porté sur les couches minces, pour s'affranchir du matériau, au moins en partie ; c'est ainsi qu'est née la deuxième génération de cellules photovoltaïques [10, 11, 12], comprenant les couches minces de silicium amorphe, mais aussi des couches minces impliquant d'autres matériaux semiconducteurs comme *CdTe*, *CuInSe2* et *CuInS2*... Le coût des cellules de deuxième génération a pu diminuer de façon significative, les situant autour de 3 \$ / *W_c*, alors que leur rendement n'est pas de beaucoup inférieur à celui des cellules de première génération. Ces cellules commencent à être commercialisées et sont

employées dans des installations de grande taille, mais l'emploi de matériaux sensibles comme le cadmium, le tellure, le sélénium, pose le problème de leur démantèlement et de leur recyclage, et d'autre part les éléments impliqués dans ces cellules sont peu abondants à la surface de la Terre.

Les cellules de troisième génération [13] se divisent quant à elles en deux groupes : le premier vise, à coûts de production sensiblement égaux, à atteindre des rendements élevés par rapport aux cellules de première génération ; l'idée est d'utiliser la plus grande partie possible du spectre solaire pour dépasser la valeur théorique limite (le rendement théorique maximal, donné par Shockley & Queisser, est de l'ordre de 30 % pour une jonction $P-N$). Le deuxième groupe vise à atteindre des coûts de production très bas, et à utiliser des technologies de production simples, quitte à n'avoir que des rendements modestes. Dans les deux cas, on espère diminuer le coût du watt-crête, actuellement situé aux environs de 3 \$, par un facteur de l'ordre de 5, voire plus important.

Pour ouvrir la voie des cellules du premier groupe de la troisième génération (à savoir les cellules à fort rendement), plusieurs pistes ont été explorées : cellules à spectre multiple, cellules à absorption multiple, cellules à niveaux d'énergie multiples. Pour toutes ces pistes, la technologie est plus complexe que pour les cellules de première génération (elle relève de la nanotechnologie), mais le rendement théorique est de l'ordre de 90%. Les cellules de ce type sont décrites en détail dans l'article, dans ce même volume, de M. Mencaraglia auquel nous renvoyons. Signalons simplement ici les cellules les plus fréquemment rencontrées dans cette catégorie, les « tandems » et cellules à multijonction ; il s'agit de cellules à jonctions multiples construites de telle sorte qu'un photon issu du spectre solaire, qui n'est pas absorbé dans la partie supérieure, le soit dans une des parties inférieures et donne ainsi lieu dans le volume de la cellule à l'effet photovoltaïque recherché. Les matériaux les plus fréquemment utilisés sont les solutions mixtes $Ga - As - In - P$ qui sont à « gap » modulable : une partie beaucoup plus importante du spectre solaire peut ainsi être captée dans ces cellules, et transformée en électricité.

Dans le deuxième groupe des cellules de troisième génération, on trouve essentiellement les cellules solaires organiques (« organic solar cells - OSS ») [14] et les cellules solaires à colorant (« dye sensitised solar cells - DSSC ») [15, 16, 17]. Les premières sont assez analogues aux cellules de première génération, mais sont basées sur des matériaux semi-conducteurs organiques, qui font déjà leur apparition sur le marché dans le domaine de l'éclairage. Elles restent actuellement sensibles aux dommages des radiations solaires et leur durée de vie estimée est encore très limitée.

La structure des cellules « DSSC » ou cellules de Graetzel, est plus complexe puisque dans ces dispositifs, la génération des électrons est spatialement séparée des zones de transport des charges : les cellules à colorant comprennent plusieurs parties entre deux lames transparentes (le plus souvent de verre) qui sont recouvertes d'« ITO » ou de « FTO » (oxydes dopés à l'indium ou au fluor pour devenir conducteurs) pour les rendre conductrices tout en les laissant transparentes : la première partie est une couche de TiO_2 , matériau semi-conducteur à large gap (autour de 3 eV), qui est « sensibilisée » à l'aide d'un colorant. C'est à ce niveau que se situe le siège de l'émission des électrons : lorsqu'un photon frappe le colorant, il peut, si son énergie est suffisante, exciter un électron du colorant qui passe alors au niveau excité, avant d'être injecté dans la bande de conduction du TiO_2 si cette dernière est à un niveau plus bas. L'état original du colorant peut être restauré grâce à l'électrolyte qui lui cède un électron suivant la réaction $3I^- + I_3^- + e^-$ (couple rédox I^-/I_3^-). L'électron injecté dans la bande de conduction de la couche mésoporeuse, peut être acheminé dans un circuit extérieur grâce à la couche transparente conductrice complétée par un réseau de grilles métalliques ; pour refermer le circuit, les électrons sont injectés à partir du circuit extérieur sur la contre-électrode recouverte d'une très fine couche de platine qui permet des réactions catalytiques avec l'électrolyte, résultant en la réinjection d'un électron dans la bande de plus basse énergie au niveau du colorant.

Les cellules à colorant, ont débuté avec des rendements assez faibles, mais qui ont régulièrement augmenté depuis leur découverte. Actuellement, on se situe en laboratoire avec des rendements de l'ordre de 11 %, en raison des progrès qui ont porté sur les différentes parties de la cellule. Une amélioration évidente a pu être obtenue en augmentant la diffusion de la lumière et la surface spécifique de la couche mésoporeuse de TiO_2 puisque le rendement est directement relié à l'interface du contact colorant- TiO_2 . La possibilité récente de réaliser des couches de réseaux de nanotubes de TiO_2 ayant une très grande surface spécifique, semble ouvrir la voie à des rendements sensiblement améliorés. Un énorme travail a également été mené sur les colorants, mais les colorants montrant les meilleurs résultats sont tous des complexes construits sur un noyau de ruthénium. Enfin, la course vers les meilleurs rendements a impliqué des recherches au niveau de l'électrolyte et dans le but de minimiser les recombinaisons au niveau de la base de la couche de TiO_2 , où les électrons peuvent se recombiner au sein de l'électrolyte au lieu d'être acheminés vers le circuit extérieur.

Les espoirs de diminution des coûts pour ces cellules sont grands : la technologie est simple, et les principaux matériaux sont abondants et bon-marché. Cependant, ces cellules, qui commencent déjà à être commercialisées, verront leur développement conditionné à la découverte de colorants – probablement organiques – n'impliquant pas des éléments rares et coûteux comme le ruthénium, dont on pourrait prévoir l'épuisement rapide si ces cellules devaient être utilisées massivement. L'accent est également mis, dans les recherches actuelles, sur les électrolytes, dans le but de s'affranchir des électrolytes liquides qui confèrent une trop grande fragilité aux cellules.

Pour tous les types de panneaux photovoltaïques, il est possible, du moins en principe, d'augmenter la production effective d'électricité à travers deux voies : le « tracking » et la concentration [18]. Le « tracking » [19] consiste à modifier l'orientation des panneaux pour optimiser le flux solaire. Il est aisé de comprendre que le coût de cette technologie est plus élevé si la réorientation est continue et parfaite, ce qui peut se faire soit au moyen de supports « équatoriaux » (pour emprunter un terme propre aux instruments d'astronomie) où le panneau suit la course du soleil grâce à une rotation autour d'un axe parallèle à l'axe terrestre (« axe horaire »), soit par une double rotation autour d'axes perpendiculaires (l'un étant vertical, l'autre horizontal). Une solution moins onéreuse est de ne pratiquer qu'une rotation, autour d'un axe horizontal ou d'un axe vertical. Suivant la solution employée, le gain est significatif (il peut conduire à une amélioration de l'ordre de 30%), mais naturellement le coût est plus élevé que pour un support fixe et les risques de panne sont à prendre en considération.

La concentration consiste à augmenter le flux de lumière au niveau de la cellule solaire en utilisant un miroir, une lentille, ou des systèmes optiques plus complexes. Malheureusement, un flux de lumière n fois plus important n'amène pas à une production d'électricité n fois plus élevée, principalement car le rendement des cellules solaires diminue si la température augmente. Les seules cellules qui supportent la concentration sont les cellules à fort rendement car la partie du spectre qui n'est pas utilisée dans l'effet photovoltaïque est minime dans ce cas (alors qu'elle est importante pour les autres cellules, et que c'est précisément là que se situe la cause de l'échauffement des cellules).

Avec la mission vers Mars, on a vu apparaître des cellules solaires de troisième génération (fournissant l'énergie du « Rover »), équipées de dispositifs intégrés de concentration, caractérisées par d'excellents rendements malgré la quantité réduite de semiconducteur au niveau de la cellule elle – même.

Actuellement, les rendements des différents types de cellules au silicium sont : de l'ordre de 7 % pour le silicium amorphe, de 20 % (valeur maximale) pour le silicium polycristallin, de 25 % pour le silicium monocristallin. Pour les cellules de deuxième génération (couches minces) le rendement se situe dans la fourchette 12 – 20 %. Enfin, les cellules de troisième génération à bas

coût, ont un rendement autour de 5 % pour les cellules organiques, et de 11 % pour les DSSCs. Pour ce qui est des cellules de troisième génération à fort rendement, une valeur de près de 41 % a été atteinte pour une cellule à trois jonctions.

Perspectives d'utilisation des cellules solaires des différentes générations dans la problématique de l'eau.

Même avec les meilleures perspectives d'abaissement des coûts du photovoltaïque, les cellules solaires resteront à des prix prohibitifs pour les pays du sud. La réalité est qu'une installation solaire photovoltaïque représente plus de cent ans de revenus d'une famille paysanne de la plupart des pays du Sud, ce qui signifie que l'équipement de puits avec des panneaux solaires dépendra longtemps encore d'aides extérieures.

Si les prix des panneaux de silicium continuent à baisser, ces panneaux de première génération devraient néanmoins satisfaire aux contraintes que l'on rencontre dans les pays du sud : robustesse, facilité d'emploi et d'utilisation. On peut recommander par ailleurs d'éviter l'emploi de certains panneaux de deuxième génération, en raison des problèmes environnementaux qu'ils posent par rapport à leur recyclage. Enfin, pour les panneaux de troisième génération, il semble que l'emploi de panneaux à fort rendement soit un luxe inutile et risqué : leur prix restera encore plusieurs années supérieur à celui des autres technologies, et leur faible encombrement les rendra plus aptes à être dérobés. Enfin, il faut prendre en compte que dans ces pays où généralement le flux solaire est élevé, l'encombrement des panneaux ne pose pas un problème majeur, et peut même être un avantage (source d'ombre au sol par exemple). De même, le tracking est à éviter en raison des risques de panne qui le caractérisent, tout particulièrement en milieu agressif (poussières, chaleur).

Parmi toutes les technologies, les panneaux solaires à colorants peuvent être d'un intérêt certain dans la problématique de l'eau au sud : leur coût sera très bas, la technologie peut être exportée et on peut envisager la production de tels panneaux dans les pays utilisateurs. De plus, leur rendement relativement bas, aura l'avantage de conduire à l'implantation de plus grandes surfaces, qui peuvent avoir un rôle protecteur du sol ou amener à créer des zones ombragées pour les utilisateurs des puits.

Dans tous les cas, il faut garder en vue que la solution apportée par des panneaux solaires ne peut en aucun cas, pendant encore plusieurs années, être valide à grande échelle. En prenant l'exemple de panneaux solaires de première génération, il faut réaliser que ces panneaux utilisent environ 10 kg de silicium par kW_c , et que pour atteindre la production d'une centrale de 300 MW (de taille moyenne), on doit installer (en milieu moyennement ensoleillé) des panneaux à hauteur de plus de 1000 MW_c impliquant donc une quantité de silicium de 10000 t.

Considérations générales sur la problématique de l'eau en milieu rural dans les pays du sud, et sur les sources d'énergie pertinentes.

La problématique de l'eau dans les pays du sud, et tout particulièrement en milieu rural, est complexe et ses caractéristiques varient d'un pays à l'autre et d'une région à l'autre. Il existe néanmoins des caractéristiques communes, qu'il convient de souligner avant d'implanter hâtivement des systèmes photovoltaïques.

La première est le contexte de pauvreté principalement dû à la baisse constante des prix des productions du sud – café, cacao, coton, etc : le coût d'une installation solaire peut représenter plus de 100 ans de revenus d'une famille paysanne et l'implantation de panneaux solaires photovoltaïques, aussi modestes soient-ils, dans un environnement où les familles ne peuvent satisfaire à leurs besoins de base, est un luxe qui ne peut qu'attirer la convoitise. Du côté du bailleur ou de l'association conceptrice du projet, cette situation amène souvent à un manque de dialogue avec les bénéficiaires, étant donné que l'on considère comme évident que ces derniers ne peuvent qu'accepter le projet. L'expérience montre que dans de trop nombreux cas, les bénéficiaires, dans la situation d'un manque de dialogue, préfèrent accepter un projet inadapté plutôt que de refuser le projet et prendre ainsi le risque de voir les aides s'enfuir. En prenant en compte ce facteur, il est donc important de mener le dialogue avec les populations et bénéficiaires concernés, et de faire le point sur tous les aspects, positifs comme négatifs, pour libérer la parole et ne pas considérer le problème comme seulement technique : la réussite sera assurée si d'autres dimensions sont prises en compte, en associant par exemple des anthropologues au projet à mettre en place.

Il est important également de prévoir les effets pervers que peut induire l'implantation d'un dispositif de forage, avec par exemple le danger de déséquilibrer une situation souvent fragile soit au niveau humain (par exemple relations de voisinages entre ethnies ou groupes humains différents – comme entre cultivateurs et éleveurs), soit au niveau environnemental ; l'exemple typique est d'induire par l'implantation de forages, une forte densité de population – humaine ou animale – autour des points d'eau, avec des conséquences qui peuvent être très néfastes si de plus les points d'eau sont situés en zone agricole et attirent des éleveurs nomades et leurs troupeaux.

Par ailleurs, il convient surtout de mettre la priorité sur la préservation de la ressource : protection des puits, et mise en place de dispositifs pérennes. Il ne faut pas oublier que, faute de moyens matériels ou d'information, les puits et forages ne sont souvent pas protégés des eaux de ruissellement ou d'autres sources de souillure, ce qui peut rapidement amener à la pollution de la nappe phréatique. L'installation de dispositifs photovoltaïques doit donc se faire après avoir pris les précautions élémentaires de protection de la ressource, et doivent prévoir des systèmes de pompage au cas où les panneaux photovoltaïques ou les pompes montrent des défaillances. Dans ce cadre, il est important que les populations locales soient informées et reçoivent une information minimale, voire une formation pour certains d'entre eux, sur la problématique de l'eau et les dispositifs implantés. L'implication d'étudiants, ou de jeunes sortant des universités et n'ayant pas trouvé de travail, peut être un moyen très efficace dans le domaine de l'éducation des populations, et pour rendre durables les dispositifs implantés.

Enfin, il est important d'avoir en vue les autres sources d'énergie que l'électricité d'origine photovoltaïque. On peut dans les pays du Sud, penser aux éoliennes (mais les zones suffisamment exposées au vent restent marginales dans de nombreuses régions), ou à certains biocarburants. Une solution particulièrement intéressante dans ce dernier domaine, est donnée par la plante « *Jatropha Curcas* » : de ses fruits on peut extraire par des méthodes artisanales une huile qui est un biodiesel [20], et qui peut donc être utilisée comme carburant dans des moteurs diesels de pompes. Cette solution a l'avantage de pouvoir induire le développement d'une économie locale autour de cette plante, et donc d'impliquer activement le milieu paysan ; par ailleurs, en milieu aride et exposé à l'érosion, la plante en question a l'avantage de pouvoir être utilisée pour la réalisation de haies, protectrices des sols et des cultures.

Une autre solution, mais qui n'est valide qu'à une échelle plus large, est l'utilisation de centrales solaires à concentration ; les plus développées actuellement sont celles à miroirs cylindro – paraboliques (construites par la société allemande Solar Millenium), qui ont l'avantage en milieu aride, de permettre la création de zones ombragées (des cultures peuvent se faire en dessous des miroirs) et d'être compatibles avec la désalinisation de l'eau [21]. Les retours sur investissement « environnemental » sont rapides, moins d'un an, et les coûts de l'électricité sont déjà compétitifs, comme le montrent les centrales de ce type implantées aux USA dans les zones désertiques, ainsi

que les projets qui voient le jour dans le sud de l'Europe. Ces centrales pouvant fournir en Afrique subsaharienne une source importante d'énergie pour la problématique de l'eau, ainsi qu'une électricité respectueuse de l'environnement, pourraient être mises en réseau dans le cadre d'un plan global d'approvisionnement énergétique de l'Afrique et de l'Europe.

Conclusion.

Les cellules solaires de première génération, même si elles sont plus fréquemment utilisées dans le cadre de la problématique de l'eau, ne pourront que très partiellement satisfaire aux besoins qui iront croissant dans les années à venir, alors même qu'environ un milliard d'êtres humains n'a actuellement pas accès à l'eau potable. Parmi les cellules des autres générations, il semble que les plus prometteuses soient les cellules à bas coût, parmi lesquelles les cellules à colorant pourraient avoir un rôle important à jouer. En ce qui concerne la problématique de l'eau dans les zones rurales ou semi – rurales, les autres sources d'énergie sont également à explorer, et il est important de préserver la ressource aquifère, tout particulièrement en protégeant les nappes. A petite échelle, la plante *Jatropha Curcas*, pour le biodiesel qu'elle peut produire, a un rôle important à jouer, tant au niveau économique (implication des paysans et développement d'une économie centrée sur ses produits) qu'environnemental puisqu'elle peut contribuer à la lutte contre la désertification. Enfin, il est certain qu'à grande échelle, si les investissements peuvent être mobilisés, la production d'électricité solaire dans des centrales solaires à concentration, est la solution qui semble être la plus prometteuse.

Références

- [1] Becquerel A.E., Comptes Rendus de l'Académie des Sciences 9, 561 (1839)
- [2] Hertz H., Annalen der Physik, 33, 983 (1887)
- [3] Fowler M., http://galileo.phys.virginia.edu/classes/252/photoelectric_effect.html
- [4] Einstein A., Annalen der Physik, 17, 132 (1905)
- [5] Gréhant B. , *Physique des semiconducteurs*, Eyrolles (1987).
- [6] Vapaille A. et Castagné R., *Dispositifs et circuits semiconducteurs*, Dunod (1987).
- [7] Mathieu H. , *Physique des semiconducteurs et des composants électroniques*, Dunod (2001.)
- [8] Goetzberger A., Knobloch J., Voss B., *Crystalline silicon solar cells*, John Wiley & Sons (1998)
- [9] Flamant G., Kurtkuoglu V., Murray J., Steinfeld A., *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 90, 2099 (2006)
- [10] Nelson B.P. (NREL, USA) ; <http://www.nrel.gov/docs/fy09osti/44106.pdf>
- [11] Green M.A., *Physica E Low Dimensional Systems and Nanostructures*, 14, 65 (2002)
- [12] Green M.A., *Solar Energy*, 76, 3 (2004)
- [13] Zweibel (NREL, USA) ; <http://www.nrel.gov/docs/fy99osti/25262.pdf>
- [14] Brabec J.C., Serdar Sariciftci N.,and Hummelen J. C. *Adv. Funct. Mater.*, 11, 15 (2001)
- [15] Grätzel M., Perspectives for Dye-sensitized Nanocrystalline Solar Cells. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 8, 171-185 (2000)
- [16] Grätzel M., *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 22(1-2), 7 (2001)
- [17] Longo C. and De Paoli M., Dye sensitised solar cells : a successful combination of materials, *J. Braz. Chem. Soc.* 14, 889 (2003)
- [18] Kurtz S. (NREL, USA) ; <http://www.nrel.gov/docs/fy08osti/43331.pdf>
- [19] Huld T., Sári M., Dunlop E.D., *Progress in Photovoltaics*, 16, 47 (2007)
- [20] Kumar N. and Sharma P. B., *Journal of scientific & industrial research*, 64, 883 (2005)
- [21] Darnedde S.,
http://tunesien.ahk.de/fileadmin/user_upload/pdf_dateien/EEE_2009/MSM_Presentation_03_06_2009_AHK_Tunis_presentation.pdf

GISEMENT SOLAIRE ET PROBLEMATIQUE DES DIFFERENTES TECHNOLOGIES PHOTOVOLTAÏQUES

Denis MENCARAGLIA, Directeur de Recherche CNRS

LGEP-Supélec - Plateau de Moulon -11, rue Joliot-Curie - 91192 - Gif-sur-Yvette Cedex - Tél:
+33-1-69-85-16-44 - Fax: +33-1-69-41-83-18 –

E mail : denis.mencaraglia@lgep.supelec.fr

Résumé

Les différentes filières technologiques photovoltaïques actuelles seront présentées en partant de la filière et des concepts utilisés pour les applications spatiales afin de montrer ce qui est faisable avec d'excellents rendements mais au prix d'un coût élevé, prohibitif pour les applications terrestres. Cela permettra d'introduire la problématique des filières pour applications terrestres dont le but est le compromis coût-rendement et d'en détailler certains aspects technologiques, en partant des filières dominantes actuelles (Si cristallin et polycristallin massif) et en allant vers les filières en couches minces à base de silicium et aussi alternatives au silicium (composés chalcopyrites et organiques).

Texte non parvenu à ce jour 10 Septembre 2009

LES CARACTERISTIQUES D'UN PROJET EOLIEN ET PHOTOVOLTAÏQUE

Philippe ALEXANDRE

Directeur Etudes-Mesures-Système d'Information-Innovation

*La Compagnie du Vent – GDF SUEZ
Horizon 21 - 650, Rue Louis Lépine - CS 20756 - 34967 Montpellier CEDEX 2
tél : 00 33 4 99 52 64 70*

E Mail : philippe.alexandre@compagnieduvent.com

Résumé :

Coupler un système de traitement de l'eau à une source d'énergie éolienne ou solaire requiert de bien connaître cette dernière sous ses différents aspects.

Après avoir décrites les spécificités des ces deux sources d'énergie, nous présenterons les grandes lignes de la vie d'un projet éolien : le développement et son lot de contraintes, la rentabilité et les aspects financiers qui l'accompagnent... Dans la mesure du possible, nous prendrons soin de comparer le cas éolien à celui, très voisin, du solaire photovoltaïque dans le cadre des centrales au sol. Afin de ne pas compliquer l'exposé, nous laisserons donc volontairement de côté le cas du photovoltaïque intégré au bâti.

Remarque : Les conditions de développement de tels projets variant d'un pays à l'autre, nous nous référons ici à la situation française. D'autre part, les chiffres avancés sont le plus souvent des ordres de grandeur ou des moyennes.

1. La Compagnie du Vent : référence des énergie renouvelables

Pionnière dans l'énergie éolienne avec l'installation de la première éolienne de France en 1991, du premier parc éolien français en 1993 ou encore du premier parc africain en 2000 (Al Koudia Al Baïda, Maroc), La Compagnie du Vent, aujourd'hui filiale de GDF SUEZ, est un acteur incontournable des énergies renouvelables.

Dans ses trois domaines d'activités que sont l'éolien, le solaire photovoltaïque et les biocarburants, La Compagnie du Vent recherche des sites, assure la concertation avec les publics concernés, développe des projets, les finance, construit les installations et prend en charge leur exploitation.

Son objectif est de produire, de façon socialement responsable, de l'énergie propre et renouvelable.

Les parcs éoliens de sont construits, en France et à l'étranger, pour des tiers ou pour son propre compte. La Compagnie du Vent possède et exploite, en France, un ensemble de 15 parcs éoliens

totalisant plus de 175 mégawatts. Elle a également construit plus de 60 mégawatts pour des tiers au Maroc et continue à être très active dans ce pays, grâce à son agence de Casablanca.

Dans le domaine photovoltaïque, La Compagnie du Vent va installer, d'ici 2015, 55 mégawatts-crête de centrales solaires photovoltaïques, sous forme d'installations intégrées au bâtiment ou de centrales au sol.



Photo ci-dessus : le parc éolien de Névian dans l'Aude, l'un des 15 parcs éoliens de La Compagnie du Vent. 21 éoliennes – 17,8 MW.

2. Vent et Soleil : des énergies intermittentes bien maîtrisées

Le vent et le soleil sont des énergies dont l'intermittence s'exprime un peu de la même manière. Certes, le vent ne connaît pas d'intermittence jour-nuit comme le soleil, mais celle-ci se manifeste dans les deux cas à diverses échelles de temps et d'espace.

Intermittence temporelle : elle est beaucoup plus prononcée pour le vent. La turbulence, les rafales sont caractéristiques de temps courts. Les régimes de vent, la climatologie concernent des périodes plus longues. Pour le solaire, l'intermittence court terme est due à la couverture nuageuse et aux intempéries (pluie, neige, brouillard...). La course du soleil induit quant à elle une intermittence jour-nuit, certes modulée par les saisons, mais fortement déterministe et prévisible.

Intermittence spatiale : les deux sources d'énergie sont sensibles à la latitude. Les régimes de vent découlent de phénomènes convectifs à l'échelle de la planète, issus du réchauffement solaire de masses d'air importantes.

En revanche, l'environnement physique a certainement une influence plus importante pour le vent : effet de relief (vallée, bord de mer), de site (couverture végétale, obstacles proches...).

Concernant la production d'électricité, ce caractère d'intermittence pose un problème de prédictibilité aussi bien à court terme qu'à long terme. La prédiction court terme (24 à 48 h) permet notamment au gestionnaire de réseau d'optimiser l'offre par rapport à la demande. Elle sort ici du cadre de notre propos. La prédiction long terme permet de prévoir le potentiel énergétique sur la durée de vie de la centrale (environ 20 ans) et d'en déduire le productible

attendu. Cette prédiction est à la base de tout projet éolien (ou solaire) et peut être déterminée avec précision à partir de :

- Campagnes de mesures in situ : mesures et enregistrement de la vitesse et de la direction du vent (moyenne 10 min) sur une année environ. Pour le solaire, mesure des différents rayonnements : direct, diffus, global...
- De logiciels de simulation numérique : pour le vent, calcul de la mécanique des fluides 3D sur le relief du site et en tenant compte de l'occupation du sol (couverture végétale, zones urbaines...). Pour le solaire, calcul de l'irradiation via des logiciels spécialisés intégrant l'ensemble des caractéristiques physiques du projet.
- D'outils statistiques permettant de reconstituer des données de vent sur une longue période (comparable à la durée de vie d'un parc), d'extrapoler les profils de vent verticaux...

Cette bonne prédictibilité long terme permet alors de déterminer précisément la rentabilité financière du projet et son retour sur investissement.

3. Les dimensions d'un parc éolien

Passons en revue les caractéristiques physiques principales d'un parc éolien :

- Niveau de vent / rentabilité : même si la rentabilité d'un projet éolien dépend de nombreux facteurs tels que la facilité de raccordement au réseau ou le type de machines choisi, il est possible de la relier en première approximation à la vitesse moyenne du vent sur le site. Cette rentabilité sera difficile voire impossible à moins de 5.6 m/s. Elle sera assurée à plus de 6 m/s. Les sites à plus de 10 m/s peuvent être qualifiés de remarquables : au Maroc par exemple, ce type de sites est assez répandu.
- Puissance des éoliennes : elle est très variable selon l'utilisation recherchée : une éolienne pour alimenter une habitation est de l'ordre de quelques kW. La puissance des grandes éoliennes industrielles est de l'ordre du mégawatt. Elle a rapidement évolué et passé en une vingtaine d'années de 500 kW à 2.5 MW en moyenne, et même 5 MW pour les éoliennes en mer (offshore), soit une puissance multipliée par dix. La puissance d'une éolienne est proportionnelle à la surface balayée par ses pales.
- Hauteur des éoliennes (terrestres) : la hauteur des éoliennes a suivi l'augmentation de leur puissance puisque la hauteur du mât est environ le double de la longueur de ses pales. La hauteur au moyeu des éoliennes terrestres est actuellement de l'ordre de 100 m.
- Distance inter-éolienne : 200 à 250 m. Il ne faut pas trop rapprocher les éoliennes si l'on ne veut pas qu'elles se gênent entre elles : effet de sillage.
- Configuration du parc : souvent en ligne, perpendiculaire au vent dominant. Nombre : très variable, dépend des contraintes (place disponible, voir ci-après).

4. Les contraintes et leur nature

Démontrer la rentabilité d'un projet n'est pas suffisant pour le voir se réaliser. Encore faut-il être autorisé à le développer sur le site envisagé. Comme pour toute installation industrielle, l'analyse des contraintes permettra de définir des zones possibles d'implantation du parc éolien (là où les contraintes sont les plus faibles).

Les contraintes d'un projet éolien ont des natures très diverses :

- Urbanistique : pas d'éolienne à moins de 500 m d'une habitation pour raison de niveau sonore.
- Environnementale : parcs naturels, zones protégées, classées...
- Aéronautique : contrainte sur la hauteur des éoliennes, due à la proximité d'une zone aéroportuaire.
- Accoustique, paysagère, faunistique... (étude d'impact)
- Raccordement au réseau : le coût de raccordement augmente en fonction de la distance parc – réseau.

En France, le développement éolien est désormais encadré par les ZDE (Zones De Développement) dans lesquelles doivent se situer tous les nouveaux projets éoliens.

Les contraintes d'un projet photovoltaïque ne sont pas tout à fait les mêmes. On comptera :

- En moins :
 - Le bruit : les panneaux sont silencieux.
 - Les contraintes paysagères : une centrale au sol est moins visible que des éoliennes
 - Les contraintes aéronautiques : mis à part des problèmes d'éblouissement pour les pilotes d'avion (marginaux).
- En plus :
 - Les zones inondables, occupation du sol (gel de surface)
 - Les zones agricoles : les centrales au sol ont une forte emprise au sol, excluant ainsi toute possibilité d'activité agricole, alors qu'il n'est pas rare de voir celle-ci se poursuivre aux pieds des éoliennes (culture, élevage)... Cette contrainte rend plus difficile l'acquisition de terrain.

5. Potentiel éolien et productible

Le potentiel éolien est caractérisé par une loi de distribution statistique dite de « Weibull » paramétrée par deux coefficients de forme (A et k). On peut en déduire le productible (production électrique théorique) grâce à la courbe de puissance de l'éolienne qui détermine la puissance instantanée développée par la machine en fonction de la vitesse du vent. Cette courbe est notamment caractérisée par une vitesse de couplage (l'éolienne commence à produire à partir de 3-4 m/s), un régime nominal (pleine puissance entre 15 et 25 m/s) et une vitesse de coupure à 25 m/s (l'éolienne s'arrête pour raison de sécurité).

A ce productible « brut » doit être retranché un certain nombre de pertes dont les ordres de grandeur sont les suivants :

- Densité de l'air / altitude : -1% tous les 100 m. L'air se raréfie avec l'altitude, la portance sur les pales diminue.
- Effet de sillage : 5 %. Lorsque le vent n'arrive pas perpendiculairement à l'alignement des éoliennes, la turbulence générée par la première peut perturber le fonctionnement de la seconde et ainsi de suite. Il s'ensuit une perte de production relative.

- Pertes électriques : 2%
- Indisponibilité : 5%. Comme pour tout système industriel, les éoliennes connaissent des défaillances de tout type desquelles découle une certaine indisponibilité.

Le « facteur de capacité » caractérise l'efficacité du parc éolien en terme de production : c'est le rapport entre la production réalisée (ou bien le productible) et la production en régime « nominal » (à pleine puissance). Il est la plupart du temps compris entre 15% et 50%, et en moyenne de l'ordre de 25%.

6. La vie d'un projet éolien

Les différentes phases d'un projet éolien sont les suivantes :

- Développement : ensemble des tâches devant aboutir à l'obtention du permis de construire (voir détail ci-après). Durée : 3 à 5 ans.
- Financement : Groupe, banques...
- Construction du parc : commande des machines, ingénierie, maîtrise d'œuvre ou maîtrise d'ouvrage (pilotage du chantier de construction). Durée : 2 à 3 ans.
- Exploitation du parc : ensemble des tâches permettant d'optimiser le fonctionnement du parc (maintenance corrective, préventive, prédictive, ...). La durée d'exploitation est égale à la durée de vie du parc, soit 20 à 25 ans.

A titre d'illustration, nous détaillerons seulement la phase de développement :

- Prospection, détermination du site,
- Prises de contacts avec les collectivités locales,
- Contacts propriétaires et exploitants,
- Etudes : étude de faisabilité (mesure du vent, étude de potentiel éolien, analyse de rentabilité), étude d'impact...
- Concertation locale, réunion d'information publique, enquête publique, commission des sites,
- Raccordement,
- Obtention du permis de construire.

Le développement d'un projet PV de type « centrale au sol » (CAS) est très similaire à celui de l'éolien présenté ci-dessus. La durée de développement est un peu plus courte: 2 à 4 ans jusqu'au permis de construire. Le coût total d'une centrale PV est de 4 M€ / MW (dont 70% de modules), soit presque trois fois plus cher que l'éolien.

7. Caractéristiques financières d'un projet éolien

- Coût d'une éolienne (avec transport et montage) : 1 M€/MW
- Coût d'un parc (génie civil, élec, raccordement, exploit.) : 1,5 M€/MW installé
- Retour sur investissement : 7 à 10 ans
- Durée de vie du parc : 20 à 25 ans
- Durée du Contrat d'obligation d'achat (par EDF) : 15 ans

A titre d'exemple, un parc de 10 éoliennes de 2 MW coûtera au total environ 30M€ dont près de 70% devra être affecté à l'achat des machines.

Comparativement, un projet solaire de type CAS coûtera au total 4M€/MW, dont également 70% de modules. En revanche, le retour sur investissement est un peu plus long que pour l'éolien : 12 à 13 ans.

Dans l'éolien, le contrat d'obligation d'achat s'applique selon les règles suivantes :

Fonctionnement en h/an à pleine puissance	Les 10 premières années	Les 5 premières années
< 2400 h	0.082 €/kWh	0.082 €/kWh
2800 h	0.082 €/kWh	0.068 €/kWh
> 3600 h	0.082 €/kWh	0.028 €/kWh

Dans le PV, ce contrat est constant sur 20 ans : 0.3 €/kWh, soit près de 4 fois plus élevé.

LES ÉNERGIES RENOUVELABLES AU MAROC : POTENTIALITES D'APPLICATION DANS LE DOMAINE DE L'EAU POTABLE ET DE L'ASSAINISSEMENT

Mahmoud HAFSI

*ONEP - Station de traitement
BP Rabat-Chellah 10002 Rabat -MAROC*

Tel : 212-37- 75 96 00/37 75 96 01 Fax : 212-37 75 23 77

E mail : mhafsi@onep.org.ma

Résumé

Conscient de l'épuisement inévitables des ressources fossiles de la planète, qui connaîtraient probablement de hausses vertigineuses des prix, à l'instar de ce qui s'est produit en 2008, le Maroc s'investi de plus en plus dans le développement de ressources de remplacement des combustibles fossiles par des énergies renouvelables

Le Maroc ambitionne de porter à 20% sa part d'énergies renouvelables dans la production d'électricité en 2012, en mettant l'accent sur l'éolien, le solaire et l'hydroélectrique.

Dans le secteur de l'eau potable et de l'assainissement, l'Office National de l'Eau Potable tente à intégrer les énergies renouvelables comme source d'énergie dans ses projets. Outre la mobilisation de l'énergie éolienne, comme c'est le cas pour le projet de la station de dessalement de TanTan, de 11 200m³/j couplée à un parc éolien de 10 Mw de puissance, d'autres alternatives d' d'énergies renouvelables sont à l'étude, tels que l'énergie photovoltaïque pour la désinfection des eaux, ou la récupération du méthane dans les stations d'épuration.

1. Introduction

Pauvre en ressources énergétiques, le Maroc dépend actuellement pour près de 97 % de l'importation pour satisfaire ses besoins en ressources énergétiques, principalement fossiles. Une telle situation qui n'est pas sans incidence ni impact sur la balance commerciale du pays, dont la facture énergétique est assez lourde (près de 71 milliards de DH en 2008) et qui alourdie, par conséquent le budget national puisqu'avec le régime de compensation, le soutien aux charges pétrolières a été estimé à 23 milliards de DH en 2008.

Devant une telle situation, où le dépendance du Maroc vis-à-vis d'une ressource stratégique au développement et à la stabilisation du pays est fortement mise en enjeu, il fallait tabler sur une diversification des ressources énergétiques, à même de doter le Maroc d'une autonomie relative dans ce secteur. Le développement des énergies renouvelables, eu égard aux potentialités locales étant de ce fait particulièrement intéressant. .

La nouvelle stratégie énergétique du Maroc, présentée par le gouvernement lors des assises sur l'énergie tenues en Mars 2009 à Rabat, a pour objectif principal de réduire la part des produits pétroliers dans le bilan énergétique national. Cette stratégie devrait être déclinée d'une part à travers une politique de diversification des ressources énergétiques et d'autres part par le renforcement de l'efficacité énergétique qui devrait permettre des économies d'énergie de l'ordre de 14 % en 2020 voire de 20 % en 2030.

La diversification des ressources énergétique devrait concerner le développement de ressources énergétiques renouvelables dont en particulier l'éolien et le solaire mais également l'électronucléaire, ainsi que les schistes bitumineux et la biomasse.

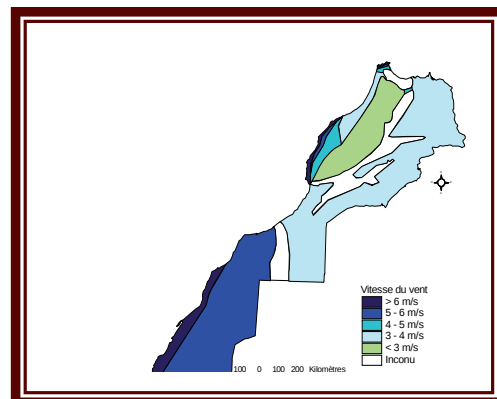
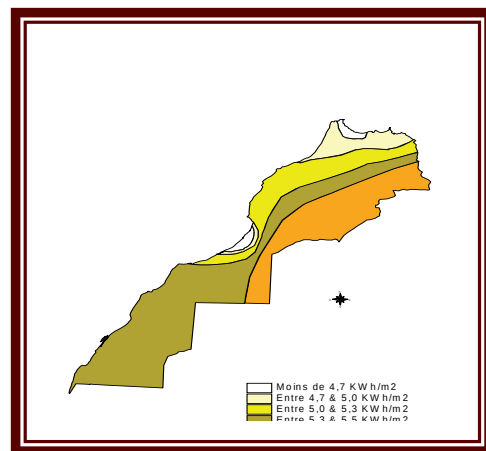
2. Potentialités énergétiques du Maroc

Le Maroc recèle d'importantes potentialités en énergies renouvelables. Le rayonnement solaire atteint, selon les experts du Haut Commissariat au Plan, 4,7 kwh/j/m² au Nord et 5,6 au Sud, soit entre 280 et 340 jours par an de soleil.

La ressource éolienne, elle, est estimée à un potentiel de 6.000 MW. Le Maroc bénéficie d'un gisement éolien important avec des régions dépassant les 10 m/s de vitesse moyenne annuelle. La zone nord, couvrant Tanger-Tétouan, et la bande côtière allant de Tarfaya à Lagouira, dans le sud, présentent des sites exceptionnels avec des vents réguliers et des vitesses moyennes suffisantes pour développer des projets rentables.

Globalement le potentiel éolien est reparti sur les 3 500 km de côtes, où soufflent des vents réguliers d'une puissance moyenne de 8m/s.

Graphique : Cartes de ressources éoliennes et solaires du Maroc.



Le Maroc table donc sur le renforcement des investissements dans les secteurs, notamment à travers la libéralisation du marché des énergies, la mise en place des outils juridiques... pour atteindre les objectifs annoncés pour 2020 et 2030.

A rappeler qu'à fin 2007, on comptabilisait 113 MW d'éolienne, 6 MW de photovoltaïques, 40.000 m2 de capteurs solaires thermiques. Par rapport aux potentialités répertoriées, la capacité actuelle assure à peine 2% de la demande en énergie globale. Ce qui n'altère en rien les atouts certains de ces énergies. Sur le plan économique, elles sont considérées comme potentiellement mobilisatrices des PME et génératrices d'emploi. De plus, elles bénéficient d'une évolution technologique rapide et de plus en plus compétitive.

Le tableau ci-après relate l'évolution de la mobilisation des ressources énergétiques au Maroc entre l'année 2000 et 2007.

<i>Application</i>	<i>Capacité installée</i> <i>2000/2007</i>	<i>Productible électrique ou</i> <i>équivalent (Gwh)</i> <i>2000/2007</i>
<i>Solaire PV</i>	<i>6/9 MW</i>	<i>11/16,3</i>
<i>Solaire Th</i>	<i>45000/160 000 m2</i>	<i>27,7/85,66</i>
<i>Eolien</i>	<i>54/124 MW</i>	<i>330/460</i>
<i>Biomasse</i>	<i>3 000 m3</i>	<i>0.26</i>
<i>MCH</i>	<i>150 kW</i>	<i>1.3</i>
<i>T o t a l</i>		<i>368,3/563,52</i>

Les perspectives de développement des énergies renouvelables devraient aboutir en 2012 à l'exploitation de 1.000 MW éolien, 40 MW solaire thermique et 50 MW biomasse. A cette date, on devrait arriver à 10% d'énergies renouvelables dans le total de la production énergétique pour passer à 20 % en 2020 et à plus de 25% en 2030, selon les prévisions du Centre de développement des énergies Renouvelables (Cder).

En 2012 la stratégie énergétique du vise

- 20% du bilan électrique national (actuellement 8%)
- 10% du bilan énergétique (actuellement 4%)

3. Eau et énergie renouvelable :

L'office National de l'Eau Potable (ONEP), principal producteur d'eau potable au Maroc, environ 80 % de la production nationale, vise l'introduction des énergies renouvelables, à grande échelle, à travers ses projets de dessalements. Un tel choix est largement justifié par le fait que

- Les procédés de dessalement sont énergétivore. L'énergie représente au moins 35% des charges totales du procédé;
- Le gisement éolien et solaire au Maroc, et spécifiquement sur les côtes Marocaine ou sont concentrée les stations de dessalement de l'ONEP, offre la possibilité d'utiliser une énergie propre et pas chère.
- La combinaison du couplage énergie renouvelable –dessalement a déjà prouvé sa maturité dans d'autres pays.

Plusieurs projets d'exploitation des énergies renouvelables couplés aux stations de dessalement ont ainsi été identifiés :

1. Station de dessalement de TanTan :

- Production d'eau dessalée : 9000 m³/j
- Capacité installée en énergie : 3 à 4 MW

A sa mise en service, la station de dessalement sera connectée dans un premier temps au réseau électrique en attendant la mise en place du parc éolien ou solaire.

2. Station de dessalement de Laayoune :

Un appel d'offre a été lancé pour une étude faisabilité de 10 MW/Eolien pour alimenter en énergie la station de dessalement de Laayoune de 26000 m³/j de capacité de production.

3. Station de dessalement d'Akhfennir :

Dans le cadre de la coopération Maroc-Italienne une étude faisabilité pour la réalisation d'un parc éolien de 660 KW destiné à alimenter la station de dessalement d'Akhfennir de 8 000 m³/j de capacité de production est en cours d'exécution.

4. Conclusions

Pour faire face aux besoins énergétiques de sa croissance socio-économique, qui augmente de 8% par an, avec des ressources énergétiques fossiles quasi-inexistantes, le Maroc mise sur le développement des énergies renouvelables. L'objectif à atteindre en 2012 étant 20% du bilan électrique national et 10% du bilan énergétique global.

Dans le domaine de l'eau, les premiers projets d'envergure concernent les projets de dessalement couplé aux parcs solaires ou éoliens en cours de finalisation par l'ONEP dans ses provinces du sud.

La réussite d'une telle stratégie est fortement dépendante de la maîtrise des technologies mises en place, d'abord dans la construction du projet, puis dans l'exploitation du système une fois mis en place. Le Développement et le renforcement d'une R&D tournée vers la recherche de l'efficacité dans le couplage des énergies renouvelables et les systèmes d'eau (potable et usée) est indispensable pour garantir sa réussite, notamment dans la vision du transfert nord –sud.

ENERGIES RENOUVELABLES ET HYDRAULIQUE RURALE : EXPERIENCES EXISTANTES

Bertrand CHEVALLEY

Chargé d'affaires

Apex BP Solar
SA au capital 1000 000 euros
1 rue du Grand Chêne
ZAE Les Avants
34270 Saint Mathieu de Tréviers
382 499 499 RCS Montpellier

Tel : +33 499 622 622 Fax : +33 499 622 623

E mail : service-export@bpsolar.fr
Site web : www.apex-bpsolar.com

Résumé

Apex BP Solar conçoit, fabrique et installe des solutions d'énergie photovoltaïque (solaire). La société s'est spécialisée notamment dans le pompage au fil du soleil pour des applications d'accès à l'eau potable (hydraulique rurale). Après un résumé des problématiques et techniques existantes en matière d'hydraulique rurale, des illustrations sont apportées au travers de projets réalisés par Apex BP Solar, puis sont abordés les paramètres à prendre en compte, aussi bien techniques qu'organisationnels pour apporter des solutions pérennes. Enfin, après avoir mis en perspective les synergies possibles entre le solaire et le traitement d'eau, Apex BP Solar propose des recommandations pour allier Energies renouvelables et Traitement d'eau dans les futurs programmes d'hydraulique rurale.

I – INTRODUCTION

Le pompage « au fil du soleil » est une solution éprouvée aux populations de zones isolées d'accéder à l'eau utilisant l'énergie solaire (photovoltaïque). Plus de 30 ans industrielle dans le domaine ont permis de démocratiser aux frais de maintenance quasi inexistantes, et de des compétences et des réseaux de distribution autour de partout dans le monde.

Cette technologie vient en parfait complément des autres photovoltaïques en sites isolés : Electrification rurale (villageoise, santé, éducation...) ou Applications Professionnelles (Télécoms, Pétrole et Gaz).



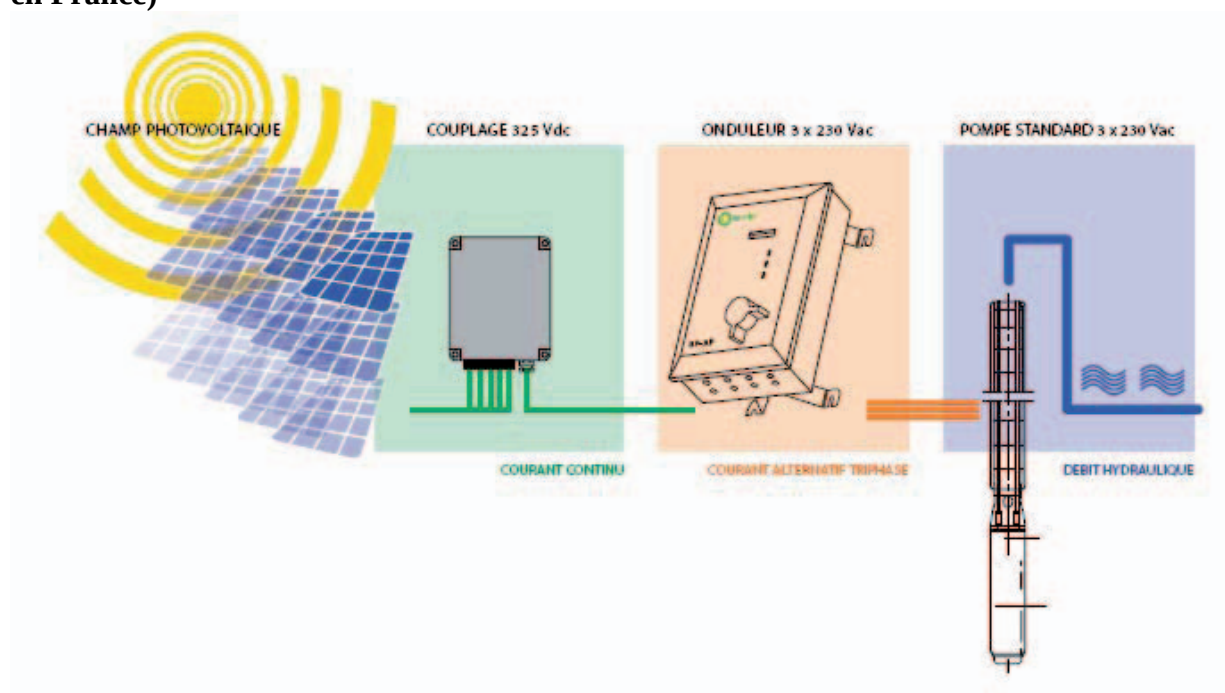
permettant
potable en
d'expérience
une solution
développer
ces solutions

applications
décentralisée

II – PRINCIPE

L'électricité générée par les panneaux photovoltaïques est convertie en courant alternatif par le biais d'un onduleur spécifique (exemple : onduleur BPAP 3 x 230 Vac), et alimente directement une pompe immergée. L'énergie est stockée sous forme de réserve d'eau, généralement d'un volume correspondant aux besoins quotidiens de la communauté.

Figure 1 - Schéma de principe de fonctionnement (onduleur BP-AP développé par Apex BP Solar en France)



III – LEGITIMITE DU POMPAGE SOLAIRE

Le pompage solaire est souvent la seule solution viable permettant l'accès à l'eau dans certaines zones très isolées :

- Une amélioration des conditions de vie, notamment à travers la lutte contre la dégradation du milieu naturel, la qualité de vie en sites isolés (confort, santé), l'accès à l'éducation de proximité...
- Un outil majeur au service du développement, par la structuration des communautés autour des points d'eau, le développement d'activités économiques (eau, énergie...), et l'émergence d'un secteur privé local porteur d'emplois

IV – EXEMPLES DE REALISATIONS :

Le PRS :

Comité Inter-états de Lutte contre la Sécheresse au Sahel (CILSS) Financement FED.

- Objectif général :
 - o contribuer à la lutte contre la dégradation du milieu naturel par la promotion de l'utilisation de l'énergie la plus abondante au sahel et permettre la reforestation villageoise
 - o Contribuer à l'amélioration des conditions de vie et de santé des populations des zones rurales par un approvisionnement durable en eau potable.
 - o Ces objectifs correspondent au 1er et 7ème point des OMD
- Résultat :
- 1040 systèmes de pompage pour 2 millions de personnes.
- 690 équipements communautaires installés dans 400 villages.
- Soit en terme de puissance, 1386 KWc représentant 3,5 % du marché mondial du photovoltaïque estimé à 40 MégaWatt-crêtes (40 MWc).
- Les phases 1 et 2 du PRS ont mobilisé plus de 80 milliards de F.CFA.

FED NIGER :

- 106 stations de pompage solaire
- 120 km d'adduction
- 400 bornes fontaine
- 530,000 personnes bénéficiaires

KFW MALI :

- Phase 1: 25 stations communautaires
- Système de chloration intégré au projet
- Éclairage public et alarme de sécurité intégrés
- 80,000 personnes bénéficiaires
- Phase 2: 14 stations en cours de réalisation

V – SOLAIRE ET TRAITEMENT D'EAU :

Les possibles synergies entre l'énergie solaire photovoltaïque et le traitement d'eau sont :

- L'hydraulique amont / aval du traitement
- La fourniture d'énergie pour le traitement
- La fourniture d'énergie pour la mesure

Les autres solutions innovantes à faible consommation d'énergie à développer entre les acteurs du secteur :

- Travail commun des différents acteurs du secteur
- Intégration systématique du traitement d'eau comme composante incontournable
- Recommandations d'utilisation des ENR comme énergie prioritaire
- Etude d'impact automatique des résultats à posteriori.

Les suggestions de mesures d'accompagnement :

- Campagne de sensibilisation sur la qualité de l'eau et sa conservation
- Poursuite de l'implication des bénéficiaires dans les projets
- Obligation de réseau de maintenance pour les fournisseurs
- Elaboration d'une charte qualité proposée aux autorités et bailleurs de fonds impliqués

VI – CONCLUSION :

- Le photovoltaïque reste une source d'énergie incontournable dans les marchés émergents
- Un terrain de développement de nouvelles solutions pour de nouveaux besoins
- Une synergie commerciale permise par les réseaux existants Eau et Energie
- Une solution pour améliorer les conditions de vie.
- Un vecteur de promotion des énergies non polluantes
- Un outil supplémentaire pour le développement rural

VII – APEX BP SOLAR EN QUELQUES LIGNES :

Apex BP Solar est l'un des principaux acteurs français du photovoltaïque, spécialisé dans la conception et la réalisation de systèmes photovoltaïques clés en main. L'entreprise se positionne sur trois segments de marché :

- Les particuliers - systèmes connectés au réseau prêts à poser en France métropolitaine et dans les DOM TOM
- Les investisseurs et producteurs d'électricité - grands projets raccordés de centrales solaires en toiture et au sol.
- Les grands comptes industriels et organismes de développement – générateurs pour l'électrification de sites isolés (pompage, télécom, santé, éducation, balisage aéronautique et maritime, dispensaire médical, habitation, protection cathodique, relais TV, GSM et VSAT) en Afrique.

Depuis plus de 15 ans, Apex BP Solar met au service des PME-PMI et des collectivités son expertise dans et l'ingénierie de systèmes solaires photovoltaïques. Son métier est de concevoir des solutions clés en main pour la DOM-TOM. **Apex BP Solar est aussi présent en dans plus de 35 pays avec un réseau de partenaires distributeurs, où une équipe d'experts développe des spécialisés pour ce marché et les installations en sites**

Fort de ses équipes et de son expérience dans 3 zones géographiques, de son réseau d'installateurs agréés, de grands comptes et d'un portefeuille de projets significatif, Apex BP Solar prévoit une croissance soutenue.



particuliers,
l'installation
cœur de
France et les
Afrique,

produits
isolés.

VIII – BP SOLAR EN QUELQUES LIGNES :

BP Solar est une entreprise de taille mondiale avec plus de 2000 employés. BP Solar conçoit, fabrique et commercialise des produits qui utilisent l'énergie du soleil pour produire de l'électricité pour un large éventail d'applications dans les secteurs résidentiel, commercial et industriel. Avec plus de 30 années d'expérience et d'installations dans plus de 160 pays, BP des leaders mondiaux du solaire avec une capacité de annuelle de 228MW en 2007, plus une capacité de cours de construction. BP Solar fabrique des cellules et photovoltaïques dans ses propres usines. Pour atteindre de faible émission de carbone, BP a investi 1.5 milliards 2006-2007, 2008 et il est prévu le même investissement BP est l'un des plus grand groupe énergétique, avec des plus de 100 pays et plus de 96000 employés.



Solar est l'un
fabrication
700MW en
des panneaux
cet objectif
de dollars en
en 2009.
intérêts dans

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF RENEWABLE ENERGIES IN WATER TREATMENT AND DESALINATION: MEDRC CONTRIBUTION

Noredine **GHAFFOUR**

*Middle East Desalination Research Center (MEDRC)
PO Box 21, Al-Khuwair, PC. 133, Muscat, Sultanate of Oman
Tel. +968 24 695 351; Fax +968 24 697107*

E mail : nghafffour@medrc.org.om

Abstract

Desalination is an energy intensive process with vast energy requirements since desalination plants are high tonnage plants. Presently, these energy requirements are met with expensive fossil fuels which greatly contribute to global warming. It is thus an essential obligation in the future to look for alternative energy sources to meet the growing demand for desalination in water scarce regions, particularly in the Middle East and North Africa (MENA) region. Solar energy is the most obvious choice for alternate source of energy in these regions since it is abundantly available. However, the use of solar energy for desalination presently has many limitations. The solar collector area required is very high and thus solar desalination is at least 4 times more expensive than fossil fuel. Therefore, solar desalination presently has no room for large scale desalination application. However, solar desalination can be used for small or medium scale applications in remote locations where there is no grid electricity. Presently, the installed solar desalination capacity is only 3,330 m³/day world over compared to total desalination capacity of more than 50 millions m³/day. MENA region has more than 80% of the total solar desalination capacity world over. There are many challenges to use solar desalination for remote location applications and make it inexpensive. Middle East Desalination Research Center (MEDRC) has concentrated on various aspects of solar desalination in the last ten years by sponsoring 15 research projects on renewable energies, in which three software packages with different levels of accuracy which are available on the center website were developed. In this paper the status of desalination, solar technologies, matching solar technologies with desalination processes, and the promotion of solar desalination in the MENA regions are addressed.

I - Introduction

Desalination of brackish and seawater has become one of the viable solutions for the water shortage in MENA region. Desalination processes are energy intensive. Some of the countries of the region are blessed with conventional sources of energy; oil and gas, while others are not. Thus, there is a need for alternative energy sources for desalination. Nuclear or renewable energy could be possible alternatives. Presently, nuclear power is a cheap source of energy to meet not only desalination needs but also other energy requirements. But nuclear energy use is restricted in some countries due to environmental hazardous nature and other international regulations. The renewable energy could be the best alternative energy source, particularly solar energy, because it is perennial and environmentally friendly. In the oil rich countries the water problem is solved by large desalination plants powered with conventional energy. In rural areas, one option is to develop small to medium scale desalination units that can treat brackish or seawater. In the non-oil producing countries, the small-scale units could use solar energy in order to limit the use of expensively purchased fossil fuels.

Solar energy coupled to desalination offers a promising prospect for covering the fundamental needs of power and water in remote regions, where connection to the public electrical grid is either not cost effective or not feasible, and where the water scarcity is severe. The MENA region has outstanding solar resources. This can be captured for use either by Photovoltaic (PV) devices or by direct absorption as thermal energy.

The distribution of this resource is more evenly spread over the entire region than other renewable energy resources, which tend to be site specific. Vast areas are available for this resource to be utilized.

The long-term development of this on a large scale will hinge on technical developments that will reduce the cost of electricity generated by PV or by solar thermal power plants. Although solar desalination systems cannot compete with conventional systems in terms of the cost of water produced, they remain applicable to certain areas and are likely to represent more widely feasible solutions in the near future.

Worldwide, several solar desalination pilot plants have been installed and the majority have been successful in operation. Virtually all of them are custom designed for specific locations. Solar desalination is an important challenge and much useful work has been done. However, in order to provide practical viable plants, much more remains to be done. Operational data and experience from these plants can be utilized to achieve higher reliability and cost minimization.

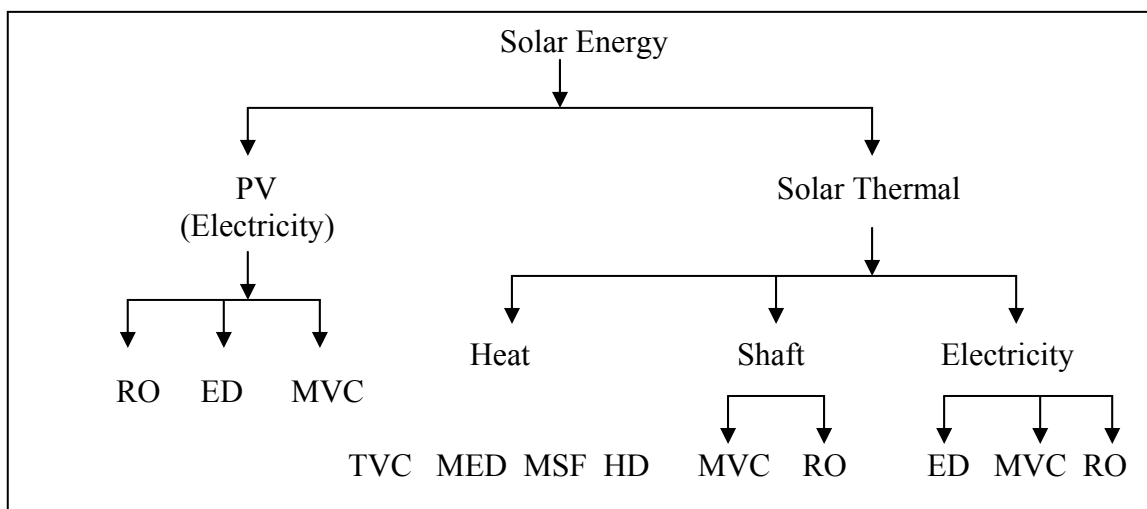
II - Status of desalination using renewable energy

In nature, water evaporates from seas by solar energy and form clouds by condensation to return to earth as rain water in the natural water cycle. Many regions in the world receive sufficient rains to cater all the water needs but some arid regions are not blessed with it. Desalination has become a source of water supply in these regions and all these desalination plants use fossil fuel as a source of energy. However, there is great potential to use solar energy for desalination since most of the countries in arid regions have high intensity of solar radiation.

Solar desalination has been known since many centuries for potable water production from saline water. Presently desalination using solar energy is limited. Solar still is the direct collection system and is used for small scale application. Indirect collection systems comprises solar collector that produces thermal, or electrical, or shaft energy. These types of energy produced by the solar collector systems can be used to run the conventional desalination processes like Reverse Osmosis (RO), Electro Dialysis (ED), Multi Stage Flash (MSF), Multi Effect Distillation (MED), Thermal Vapor Compression (TVC), Mechanical Vapor Compression (MVC), Desalination based on Humidification/Dehumidification (HD) as shown in Figure 1.

Total desalination capacity by solar energy is very small compared to total desalination. Solar stills are generally used for small scale application and the desalination capacity of these systems is not reported. However, desalination capacity of indirect solar collection systems is documented by Wangnick [1].

Fig. 1: Possible combinations of solar energy and desalination technologies



III - Limitations of the use of solar desalination

There are two ways to use renewable energy for desalination. Direct and indirect applications of renewable energy used for desalination.

In direct application of renewable energy for desalination, the renewable energy source is directly used for desalination. It was used for the first time by Arab alchemists in 1551 for water distillation [2]. The following is the example:

1. Solar still. In this process, solar energy is directly used to evaporate the saline water and vapor is condensed.
2. Geothermal energy to power MSF, MED, TVC

In indirect application, renewable energy is converted to some other form of energy, like thermal or shaft work, or electrical energy and this converted form of energy is used to power the desalination process. The following are some examples:

1. Solar energy can be converted to thermal energy using solar thermal collectors. Thermal energy thus produced can be directly used to power desalination processes, converted to shaft work or converted to electrical energy.
2. Solar energy can be converted to electrical energy directly by photovoltaic.
3. Wind energy can be converted to shaft work and electrical energy.
4. Geothermal energy can be converted to electrical energy.
5. Biomass can be converted to thermal energy.

The limitations of the solar desalination can be summarized as follows:

1. Presently solar desalination is not a viable option for large scale applications, either technically or economically. They can be used for small/medium scale applications for supplying water in remote locations where there is no electric grid connection.
2. Solar energy is available only during day time and its intensity changes from morning to evening, with peak intensity in the afternoon. But energy requirement of any desalination process is constant and continuous and efficiency of any desalination process is low if operated at variable load; even affects the plant life. Energy storage or other source of energy may be required to run the desalination plant 24 hours a day at constant load.
3. Available conventional desalination process may not be suitable, technically and economically, for operating with solar energy in remote locations. New desalination processes or modification of existing conventional desalination technologies may be required for it.

The amount of desalinated water produced by different desalination processes per square meter of solar collector area required is given in Table 1.

Table 1: Productivity of different desalination processes per square meter of solar collector area [3]

Desalination process	Desalination water produced liters/day/m ² collector area
Simple solar still	4
H/DH process–Medium T solar thermal collector	12
MSF, MED with thermal storage – Medium T solar thermal collector	40
Seawater Reverse Osmosis - PV	200
VARI-RO DDE – Dish Sterling solar collector (Only in concept stage)	1200

PV Solar collector area required for RO in Table 1 is 5 times expensive than thermal solar collectors that are used for other processes in the table.

Solar powered Rankine cycle [4] and VARI-RO direct drive technologies [3] are proposed for producing shaft energy from solar thermal energy to drive pumps in RO plant for improving the efficiency of complete process. It was claimed that this VARI-RO direct drive system will produce about 1200 l/day/m² solar collector area. The work on solar powered Rankine cycle pilot plant will start in spring 2007. Both these technologies are in the concept stage.

IV - Cost of desalinated water by renewable energy

Currently, cost of desalination using renewable energy is at least 4 times conventional desalination. More efforts are directed world wide to reduce the cost of renewable energy desalination. These activities are undertaken by renewable energy experts and desalination experts. In these efforts renewable energy experts are trying to learn desalination processes and desalination experts are learning about renewable energy conversions. Very few studies available in literature that involves both the experts.

It is not possible to reduce the cost of desalination using renewable energy to comparable range to conventional desalination in the near future. Renewable energy desalination will find only remote location applications where electrical grid connection is not there or fossil fuel is expensive.

In direct application, solar stills and direct use of geothermal energy are included. In solar stills, energy required to produce desalinated water is high since latent heat of condensation is not recovered. This necessitates the requirement of large surface area which contributes for the increase in capital cost of the unit. Direct use of geothermal energy for powering MSF, MED or MVC has some peculiar scaling problems on the geothermal fluid side of the heat exchanger. In the indirect application, additional equipment is required to convert renewable energy to thermal or shaft work or electrical energy. At the same time the conversion efficiencies from renewable energy to thermal, or shaft work, or electrical energy is low. This contributes to the increase of the capital cost. At the same time, electrical power is subsidized in most of the countries. Also, solar and wind energies are not continuous sources of energy. But the operation of desalination processes will be beneficial technically and economically to operate them continuously. This necessitates additional equipment to store thermal and electrical energy generated by solar and wind energies and it contributes to the cost of desalination.

V - Matching desalination processes with solar technologies

The selection of the appropriate solar desalination technology depends on a number of factors. These include plant size, feed water salinity, remoteness, availability of grid electricity, technical infrastructure and the type of solar technology available. Among the several possible combinations of desalination and solar energy technologies, some seem to be more promising in terms of economic and technological feasibility than others. In addition to that, some combinations are better suited for large size plants, whereas some others are better suited for small-scale application. Before any process selection can start, the water resources should be investigated. Brackish water is more economical as the salinity is normally much lower (<10,000 ppm), and the energy requirement would be lower. In inland sites, brackish water is normally available whereas on a coastal site, seawater may be the only option. Desalination processes require thermal and/or electrical energy, which can be provided by solar technologies as mentioned above. If electricity can be obtained, it is best suited to provide power for desalination processes, such as RO, ED, and MVC technologies. With regard to the process selection for seawater, RO has the lowest energy consumption. Nevertheless it requires skilled operators because mistakes in operations may ruin the membranes, and are dependent on the accessibility to chemical and membrane supplies. If these requirements are not a problem at the plant location, the RO process has been the choice in most instances. In remote areas, ED is most suitable for brackish water desalination because it is more robust and its operation and maintenance are simpler than RO systems. In addition, the ED process is able to adapt to changes of available energy input.

Many small systems of direct solar desalination (e.g. solar stills) and several pilot plants of indirect solar desalination have been designed and implemented. Table 2 shows indirect solar desalination pilot plants implemented in the MENA region. Many plants also exist elsewhere, mainly in Europe. The pilot in Spain is included in the table, since water cost is reported for that plant. Table 3 shows RO-PV plants in the MENA region and one plant in Italy, since the water cost is also reported for that plant.

Table 2: Some solar distillation plants

Plant location, commissioning year	Desalination process	m ³ /d	Solar collectors, area (m ²)	Unit water cost
Abu Dhabi-UAE , 1985	ME, 18 effects	120	Evacuated tube	8 USD/m ³
Kuwait, 1987	MSF RO	25 20	Solar electricity generation system	
Kuwait, 1980	MSF auto-regulated	100	Parabolic trough, 220	
Arabian Gulf, 1987	ME	6000	Parabolic trough	
Area of Hzag-Tunisia, 1980	Distillation	0.1-0.35	Solar collector	
Safat-Kuwait, 1983	MSF	10	Solar collector, 220	
Near Dead Sea, ~ 1987	MED	3000	Solar pond, 250,000	
Al-Ain-UAE, 1991	ME, 55 stages; MSF, 75 stages	500	Parabolic trough	
PSA-Almeria-Spain, 1988	ME, heat pump	72	Parabolic trough, 2672	~ 3.5 €/m ³

Table 3: Some RO plants driven by PV cells in MENA

Plant location, commissioning year	Water type (salinity)	Plant capacity (m ³ /day)	Photovoltaic system	Unit water cost
Jeddah-Saudi Arabia, 1981	SW (42800 ppm)	3.25	8 kWp	
Red Sea-Egypt, 1986	BW (4400 ppm)	240	19.84 kWp (pump), 0.64 kWp (control equipment)	
Doha-Qatar, 1984	SW	5.7	11.2 kWp	
Hassi-Khebi-Algeria, 1987	BW (3200 ppm)	22.8	2.59 kWp	
Lampedusa-Italy, 1990	SW	120	100 kWp PV	~6.5 €/m ³

VI - Promotion of solar desalination in the MENA region

The use of solar energy in desalination introduces environmentally friendly technologies that produce minimum waste products, revitalizes rural communities by creating local industries and businesses, improves the quality of life for inhabitants living in rural areas, reduces mass migration of population from rural to urban areas, reduces the bill for imported primary energy recourses, and might contribute to solutions of problems in the agriculture sector.

VII - Conclusion

Desalination is needed in the MENA region which is endowed with high solar irradiation. Current solar technologies, PV, and solar thermal systems can be matched to existing desalination processes. Desalination, being energy intensive, can be a means of promoting solar energy technologies. This can play a major role in enhancing the development and expansion in the industry of solar technologies. Solar desalination is the technology of the future. It has great potential in the MENA region due to availability of vast stretches of waste lands and high intensity of solar radiation. Presently, it cannot be used for large scale applications due to technological and economical constraints. Current research on solar collection systems and mass production of these systems can reduce the cost of solar energy. The prices of fossil fuels are increasing and same trend may continue in the future. Therefore, solar desalination will become a feasible option for large scale application in the future. Presently, solar desalination can be used for small/medium scale remote location application where there is no electrical grid connection. There is a great requirement to improve the thermal as well as PV solar collector systems performance, other ancillary units to reduce the cost of produced thermal, shaft or electrical energy to make them viable even for small/medium scale desalination applications. Also there is a need for improving the HD processes and make the modification to conventional desalination processes useful for remote location application. MEDRC has contributed for the development new technologies based on humidification/dehumidification principle and for development of software packages for process and equipment design. Greenhouse desalination is an excellent technology to grow crops in arid regions and considerable amount of research is required to make it a viable option.

References

1. K. Wangnick, (2004), IDA Worldwide Desalting Plant Inventory Report No. 18, Wangnick Consulting, Germany
2. A.A.S. Malik, G.N. Tiwari, A. Kumar and M.S. Sodha, (1982), "Solar distillation", Pergamon Press, Oxford, England
3. W.D. Childs and A.E. Dabiri, 2000, MEDRC R&D report "VARI-RO Solar-powered Desalting Study
4. Lourdes Gracia-Rodriguez and Julian Blanco-Galvez, (2007), "Solar-heated Rankine cycle for water and electricity production: POWERSOL project", Desalination 212, 311-318

SYSTEMES MEMBRANAIRES DE POTABILISATION

DE L'EAU DANS LES VILLAGES ET CENTRES NON VIABILISES :

Résultats obtenus en Thaïlande sur système Pall AriaTM AX, au Sénégal sur module Disc TubeTM par nanofiltration et autres opportunités pour l'Afrique

Drinking Water Membrane Systems For Villages And Small Communities

*Farcy M.¹ *, Doucouré A.², Diawara C.K.³, Perrier L.-M.⁴*

**Correspondant : Michel Farcy. Pall France 3, rue des Gaudines, BP 90234,
78102 Saint-Germain-en-Laye Cedex – France
E mail : michel_farcy@europe.pall.com*

25 Harbor Park Drive Port Washington, NY 11050.

*Université Cheikh Anta Diop, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Chimie, B.P. 5005 Dakar,
Sénégal*

Communauté des Carmes de Kaolack, B.P. 214 Kaolack – Sénégal

Résumé

Les systèmes membranaires de microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration ou osmose inverse sont maintenant largement répandus pour la purification des eaux de toutes origines afin de subvenir à de nombreux besoins domestiques ou industriels. Cet article présente brièvement ces quatre familles de membranes et leurs domaines d'application. Il décrit ensuite comment ces technologies peuvent être avantageusement adaptées pour subvenir au besoin d'eau potable dans les villages isolés. Deux exemples de réalisation illustrent le chemin à parcourir entre la théorie et la pratique, respectivement en Thaïlande et au Sénégal.

Mots clés :

Eau, Potabilisation, Défluoration, Nanofiltration, Ultrafiltration, Microfiltration, Villages

RESUME EN ANGLAIS

Microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration or reverse osmosis membrane systems are now broadly used for purifying water from any sources. They fulfill various domestic and industrial needs. This article presents briefly these four families of membranes altogether with their range of applications. It then describes how these technologies can advantageously be adapted to meet drinking water supply needs of remote villages. Two practical examples illustrate the gap to fill between theory and practice, respectively in Thailand and Senegal.

¹*Correspondant : **Michel Farcy.** Pall France 3, rue des Gaudines, BP 90234,
78102 Saint-Germain-en-Laye Cedex – France.
Email : michel_farcy@europe.pall.com.

² 25 Harbor Park Drive Port Washington, NY 11050.

³ Université Cheikh Anta Diop, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Chimie, B.P. 5005 Dakar, Sénégal.

⁴ Communauté des Carmes de Kaolack, B.P. 214 Kaolack – Sénégal.

Key words: Drinking Water, Fluoride removal, Nanofiltration, Ultrafiltration, Microfiltration, Villages

1. Introduction

Les systèmes membranaires sont largement utilisés pour traiter des eaux contaminées [1,2]. Selon la taille des contaminants retenus, dissous ou solides en suspension, les membranes appartiennent à l'une ou l'autre des quatre familles suivantes : la microfiltration, l'ultrafiltration, la nanofiltration et l'osmose inverse.

La microfiltration convient pour des dispersions particulières et des suspensions colloïdales dont le diamètre varie entre 0.1 et 10 microns, avec une rétention optimale de ces espèces. Dans la pratique, les applications de microfiltration incluent l'élimination de pathogènes présents dans les eaux municipales ou industrielles, telles que les Cystes « Giardia » et Oocystes « Cryptosporidium » particulièrement résistants à la désinfection par le chlore.

L'ultrafiltration retient les solides en suspension et les solutions de molécules de grosses tailles, tandis que l'eau et les molécules de taille plus faible passent à travers la membrane. Le seuil de coupure d'une membrane d'ultrafiltration est caractérisé par la masse molaire des molécules retenues. L'ultrafiltration, comme la microfiltration, est utilisée pour l'élimination des pathogènes présents dans l'eau.

La nanofiltration, appelée ainsi car la taille des pores de la membrane est de l'ordre de 1 nanomètre, est surtout utilisée pour l'adoucissement de l'eau (enlèvement des ions bivalents, en l'occurrence le calcium et le magnésium responsables de la dureté). L'utilisation de la nanofiltration pour la défluoruration au Sénégal – le fluor étant monovalent – est donc une application pionnière.

L'osmose inverse utilise une membrane dense qui rejette pratiquement toutes les matières dissoutes dans l'eau et en premier lieu le chlorure de sodium. C'est maintenant la technologie de choix pour le dessalement d'eau de mer au détriment des procédés thermiques d'évaporation plus énergivores.

Dans tous les cas, la force motrice qui permet le transport de fluide à travers la barrière poreuse ou dense est la différence de pression transmembranaire. La pression de fonctionnement varie beaucoup d'une technologie à l'autre et conditionne la conception du système ainsi que sa consommation énergétique. La microfiltration et l'ultrafiltration fonctionnent à des pressions d'environ 1 bar, la nanofiltration 10 bar. L'osmose inverse fonctionne à 40 bar ou plus car elle doit vaincre la pression osmotique de la solution aqueuse à purifier [3].

Ces membranes sont généralement fabriquées à partir de polymères synthétiques selon un procédé d'inversion de phase induit, soit par un fluide non-solvant, soit par voie thermique. La nature du polymère et le procédé de fabrication conditionnent la résistance mécanique et chimique de la membrane.

2. Première étude de cas: villages thaïlandais et exemple du village de Pranon

Pall a récemment développé le système membranaire Pall AriaTM AX. Il est spécialement conçu pour répondre au besoin en eau potable des communautés villageoises. Le cœur de la technologie est un module de fibres creuses membranaires, barrière absolue contre les bactéries et parasites. L'installation, l'entretien et le fonctionnement du système sont pris en charge par la communauté villageoise. Cette organisation comporte trois avantages : les habitants maîtrisent la technologie, bénéficient d'une eau purifiée et saine de qualité constante inégalée et l'entretien des systèmes de traitement et distribution s'en trouve amélioré car ceux-ci sont plus simples et compacts [4]. En Thaïlande, ces systèmes permettent de subvenir au besoin vital d'approvisionnement en eau potable de plusieurs villages et petites villes. Une part importante de leur fabrication est réalisée localement ce qui contribue à une bonne économie des projets et au développement des communautés.

2.1 Performances des unités

La qualité de l'eau traitée est constante et peut se résumer selon les critères suivants : turbidité inférieure à 0,1 Nephelometric Turbidity Unit (NTU), rétention microbienne des *Cryptosporidium* et *Giardia* supérieure à 6 log, rétention des virus comprise entre 0,5 et 3 log, rétention absolue des amibes et autres parasites. Un traitement chimique en amont peut aussi être envisagé pour précipiter les contaminants organiques (COT : Carbone Organique Total) et inorganiques (F, Fe, Mn, As).



Photo 1 – Système membranaire du village de Pranon, Thaïlande d'une capacité de 10 m³/h

Le matériau de la membrane à fibres creuses est le polymère fluoré polyfluorure de vinylidène (PVDF) qui lui confère résistance mécanique et chimique lors des étapes nécessaires de lavage. Le système fonctionne en filtration frontale ce qui assure un taux de conversion supérieur ou égal à 95%. Les unités comportent entre 1 et 36 modules et peuvent traiter entre 1 et 50 m³/h. La consommation électrique est comprise entre 100 et 200 Wh par mètre cube d'eau traitée et varie selon la qualité de l'eau brute. Les unités fonctionnent à une pression de 3 bar effective maximale.

2.2. Validation de la technologie

Pour valider la technologie, un pilote (équipé d'un module) a fonctionné en 2006 pendant une période représentative de plusieurs mois incluant la saison sèche et la mousson dans le village de Pranon en Thaïlande. La turbidité de l'eau a été enregistrée en temps réel pendant toute la durée de l'essai. En dépit de turbidité de l'eau alimentaire pouvant excéder 100 NTU, la turbidité du perméat a toujours été inférieure à 0.1 NTU (à comparer avec la Norme TISI 257, Thailand Industrial Standards Institute, spécifiant une turbidité de 5 NTU max pour l'eau potable). Des analyses bactériologiques du perméat ont également été réalisées régulièrement. La qualité du perméat a toujours été conforme à la norme TISI 257 de potabilité, quelque soit la qualité de l'eau brute, souvent très médiocre en particulier lors d'une inondation pendant la mousson. Le taux de conversion a été de 95% en moyenne.

2.3. Fabrication, utilisation et entretien des installations

Il existe maintenant 8 unités Pall AriaTM AX installées dans des villages en Thaïlande. A terme, l'objectif est de fabriquer et monter les skids localement. Ces unités sont exploitées et entretenues par une équipe offrant un service complet auprès des villages et municipalités : remplacement des modules encrassés et nettoyage chimique de ceux-ci en atelier central, visite d'entretien mensuel et service d'intervention d'urgence. Le contrat de service inclut tous les coûts hormis l'électricité. Dans le cas de la Thaïlande, il convient qu'une personne puisse assurer l'entretien de 25 systèmes installés dans un rayon de 50 kilomètres.

2.4. Compétences requises pour le suivi et l'entretien

Le personnel en charge du suivi et de l'entretien des unités doit pouvoir :

- contrôler la qualité de l'eau (turbidité de l'alimentation et du perméat, analyses bactériologiques et chimiques) ;
- démonter et remonter les modules, effectuer les tests d'intégrité ;
- réaliser le nettoyage chimique des modules en atelier central ;
- entretenir les éléments auxiliaires du système (pompe, compresseur d'air, strainer, instrumentation, vannes automatiques).

Le personnel peut être employé, formé et certifié localement.

3. Deuxième étude de cas : l'exemple du village de Ndiaffate, dans la région de Kaolack au Sénégal

En collaboration avec l'université Cheikh Anta Diop (UCAD) de Dakar et la communauté des carmes de Kaolack au Sénégal, Pall expérimente la défluoration des eaux de forage profond par nanofiltration. La nanofiltration est principalement connue pour stopper les ions multivalents et les molécules d'une masse molaire supérieure à 150 et la cause bénéfique du rejet du fluor n'est pas entièrement élucidée [5, 6, 7]. Une explication possible est la grande densité de charge électrique de l'ion fluorure.

L'atout principal de la nanofiltration - comparée à l'osmose inverse qui rejette également le fluor – réside dans sa pression de fonctionnement relativement faible (moins de 10 bar) alors que l'osmose inverse nécessite au moins 40 bar. En proportion, la nanofiltration consomme donc moins d'énergie. La nanofiltration diminue également la teneur en sel. L'eau a donc meilleur goût sans qu'aucune minéralisation ne soit nécessaire, contrairement à l'osmose inverse.

Le pilote villageois fonctionnant actuellement sur site comporte un module Disc TubeTM Pall de conception robuste adaptée aux conditions locales. Ce module possède deux avantages primordiaux pour un fonctionnement villageois :

- une fois encrassées, les membranes sont récupérables par simple nettoyage chimique ;
- il est démontable et réparable sur place. Seules les pièces d'usure - membranes et joints - sont remplacées tandis que la structure mécanique du module est conservée.

Le coût de fonctionnement et d'entretien d'une unité avec module Disc TubeTM Pall est donc compétitif par rapport à des unités fonctionnant avec des modules non nettoyables et qu'il faut remplacer régulièrement.

3.1. Performance de l'unité

Des essais ont été réalisés avec un échantillon de 100 litres d'eau provenant du forage profond du village de Ndiaffate. Cette eau contient environ 3 ppm (partie par million) de fluor. L'échantillon a été concentré 8 fois en volume par passage sur membrane de nanofiltration dans un module DT. Le perméat (7 volumes) contenait environ 1 ppm de fluor (pour une limite de 1,5 ppm recommandée par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) tandis que la concentration dans le concentrat (1 volume) était de 15 ppm.

3.2. Validation de la technologie

Depuis fin juin 2008, un pilote entièrement manuel conçu pour traiter 1000 l/h est installé à Ndiaffate. L'objectif de ces essais est :

- de confirmer les résultats obtenus avec l'échantillon de 100 litres sur la réduction de la teneur en fluor ;
- d'évaluer la durée des cycles entre deux nettoyages chimiques et de valider la procédure de nettoyage chimique ;
- enfin d'étudier l'influence de l'augmentation du taux de conversion sur la concentration en fluor dans le perméat et les durées de cycles et fréquences de nettoyage chimique associées.



Photo 2 – Arrivée du pilote au forage

Photo 3 – Le pilote dans son local

Photos 4 – Premières mesures

4. Ebauche d'un projet de faisabilité au Mali

4.1. Les partenaires

L'Ecole Nationale d'Ingénieur (E.N.I) de Bamako, l'Energie du Mali (E.D.M.) et la société Pall Corporation s'associent pour réaliser un projet de démonstration des technologies membranaires pour la potabilisation des eaux de surface du Mali, comme celles du fleuve Niger.

4.2. Ebauche de montage de projet de faisabilité

Ce projet a pour but de démontrer :

- la fiabilité des technologies membranaires pour l'approvisionnement en eau des petites communautés au Mali ;
- la possible intégration de ces technologies dans le tissu économique et social local ;
- le faible coût d'obtention d'une eau potable de qualité irréprochable en utilisant les eaux de surface et les énergies renouvelables – énergie solaire photovoltaïque, biocarburants (huile de pourghère).

Pour atteindre ces objectifs, le projet se déroulera en plusieurs étapes :

- Implantation et pilotage d'une unité membranaire Pall Aria™ AX à l'usine de traitement d'eau du fleuve Niger à Bamako. Dans cette première étape, l'unité sera alimentée en électricité par le réseau ;
- Adaptation de l'unité membranaire et couplage avec des panneaux solaires photovoltaïques (ou système de pompage alimenté en huile de pourghère) et pilotage ;
- Implantation et pilotage de l'unité membranaire hybride en milieu rural.

5. Résultats attendus

Cette étude permettra de consolider l'expertise locale dans le domaine des procédés de séparation et des sciences et technologies membranaires à travers le partenariat Pall-ENI-EDM. Chaque phase du projet permettra de confirmer la faisabilité de la technologie dans les domaines suivants : qualité de l'eau traitée ; spécification et fréquence des nettoyages ; consommation énergétique ; fonctionnement intermittent au fil du soleil (pour le solaire-photovoltaïque) ; spécification des équipements auxiliaires ; prise en charge de l'exploitation et de l'entretien de l'unité par la communauté locale.

6. Conclusion

Les technologies membranaires permettent d'obtenir de l'eau potable en traitant les eaux de surface ou de forage. L'eau traitée répond ainsi aux normes les plus strictes de potabilisation. Fiables, faciles à mettre en œuvre et économiques, ces technologies sont recommandées pour l'approvisionnement en eau potable des villages et petites villes dans les pays en voie de développement.

7. Bibliographie

- [1] Kulkarni S., Funk E.W. and Li N. N., Membrane Handbook (ed.: W.S. Winston Ho & K.K. Sirkar) chap.26, pp 393-397, 1992.
- [2] Perry R.H., Green D.W., Perry's Chemical Engineers' Handbook, 7th Edition © McGraw-Hill, chap. 22-37 Membrane Separation Processes, 1997.
- [3] Cheremisinoff Nicholas, Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies (© Elsevier), chap. 9 An Overview of Membrane Processes, pp 336-371, 2002.
- [4] Lehr, Jay; Keeley, Jack; Lehr, Janet, Water Encyclopedia, "Key Causes of Drinking Water Quality Failure in a Rural Small Water Supply of South Africa", Volumes 1-5 (John Wiley & Sons ©) chap. 1.2.34 pp 221-227, 2005.
- [5] Diawara C. K., Essi-Tome H., Lhassani A., Pontié M., Buisson H., Symp. Malien sur les Sciences Appliquées, Bamako, Mali, « Filtrations membranaires et Qualité de l'Eau de Boisson en Afrique : Cas du fluor au Sénégal » <http://www.msas.maliwatch.org/msas2004/html/indexE.html>, 2-5 Août 2004.
- [6] Bruno Legendre, Les Cahiers de l'Ecole STM de Dakar, Sénégal, « Qualité des Eaux Souterraines consommés par la population au Sénégal - Partenariat National de l'Eau Sénégal », 06-08 Juin 2007.
- [7] Mahmoud Hafsi, Les Cahiers de l'Ecole STM de Dakar, Sénégal, « Les fluorures dans les eaux contrôlées et distribuées par l'ONEP- Société Office Nationale de l'Eau Potable au Maroc », 06-08 Juin 2007.

« Pall, Pall Aria, Disc Tube sont des marques déposées de Pall Corporation. ® indique un marque déposée aux Etats Unis d'Amérique. ».

LES TRAITEMENTS D' EAU POTABLE – ASPECTS ENERGETIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX

J-C. SCHROTTER, F. VINCE – Veolia Environnement

Veolia Environnement R&D, Chemin de la Digue, BP 76, 78603 Maisons Laffitte Cedex, France

E mail : jean-christophe.schrotter@veolia.com

Keywords : natural organic matter, emerging pollutants, membrane, nanofiltration, reverse osmosis

Introduction

Drinking water is one of the scarcest and most valuable resources in the world. According to a study conducted by the WHO and UNICEF, around 900 million people currently have no access to clean drinking water. By the year 2025, it is estimated that half of the world's population will lack access to clean drinking water. Ensuring the availability of adequate amounts of clean water is set to be global issue number one in the future, and the market for the technologies required to process drinking water is one of the fastest-growing markets worldwide.

Water for public supply can be obtained from different sources: underground by wells sunk into aquifers, or from surface such as purpose-built reservoirs or lakes (collecting rainwater run-off or water from streams), rivers and sea. The safety of the water is of utmost concern – several million people die each year after consuming contaminated water. The primary aim in water treatment is the elimination of any pathogenic micro-organisms present. All the above-mentioned sources can be subject to pollution. In the case of underground water, polluted surface water can enter the saturation zone of an aquifer and so lead to its contamination. Pollution can come from waste tip leachate containing heavy metals and organic compounds, farm run-off containing nitrates and pesticides, and industrial wastes which may have been deliberately dumped down old coal mine shafts. River water can be affected by farm drainage, sewage works and industrial effluents, and also the run-off water from roads. Thus there is a need to ensure that the water quality is suitable for public supply, and at the same time that the cost of treatment is kept as low as possible. Because of water stress and human concentration, industrials of the water sector will have to treat water from increasingly polluted sources without compromising the final quality. They will therefore need to face the multiple challenge of high performance in terms of quality, reasonable cost, and an environmental impact that will have to remain as low as possible. It is the goal of this paper to describe some treatment solutions for high quality water production, and decision support tools for the assessment of potable water supply systems, which take into account both economic and environmental objectives.

Water Quality challenges

The goal of water treatment is to provide the consumer with water that is safe and free of unpleasant aspects, such as appearance, or taste and odour. The Drinking Water Directive ([Drinking Water Directive](#), 1998) sets quality standards for drinking water quality at the tap (microbiological, chemical and organoleptic parameters) and the general obligation that drinking water must be wholesome and clean.

In order for these requirements to be fulfilled, the water at the outlet of the treatment plant must, not only be free of contaminants, but also stable, thereby ensuring that undesirable compounds will not develop during water distribution.

Contaminants to be removed include microbiological, mineral and organic pollutants. In order to ensure water quality at the consumer's tap, water treatment must also eliminate precursors of disinfection by-products, remove organic matter (including its biodegradable fraction) and turbidity.

Traditional water treatment train have been designed to remove the major known pollutants: microbiological pollutants, mineral and organic including micropollutants such as pesticides. However, new trends presently challenge these treatment files. First, the stringent regulation concerning bromates (10 µg/l) limits the use of ozone. Furthermore, attention has recently been raised on some emerging micropollutants. Beside the traditional organic micropollutants, the chemical as well as pharmaceutical industries produce a number of compounds that may be released in the environment and therefore be found at the inlet of drinking water plants. These compounds include: Pharmaceutical and Personal Care products (PPCPs), surfactants, industrial additives, and numerous chemicals suspected of being endocrine disruptors (Endocrine Disrupting Chemicals or EDCs). These compounds display a wide number of chemical structures and properties (type and number of chemical functions, pKa, polarity etc..) and therefore may challenge the capacity of the traditional water treatment processes. Furthermore, these molecules are designed to be biologically stable and therefore may remain for long periods of time in the environment.

The removal of Natural Organic Matter (NOM) is of paramount importance for a stable operation of the distribution system: Its biodegradable fraction participates in bacterial regrowth in distribution systems as well as biofilm formation. If post disinfection occurs, NOM is involved in the formation of potentially toxic disinfection by-products it is associated with taste and odour formation. Furthermore, it reacts with the disinfectant and results in higher disinfectant demand.

As a result of these challenges, the use of membranes has received increasing attention for treating poor quality water as they appear as the best technologies to (1) eliminate microbial as well as organic including emerging micropollutants (2) produce stable water that will remain wholesome in the distribution network.

DESIGNING OPTIMISED TREATMENT TRAINS

The treatment used depends on the quality of the abstracted water. For water that has little pollution, it may only be necessary to use preliminary settlement, rapid sand filtration and chlorination, whereas poor quality water may require a more advanced treatment. An example of a treatment train which includes current treatment processes used today is shown in figure 1.

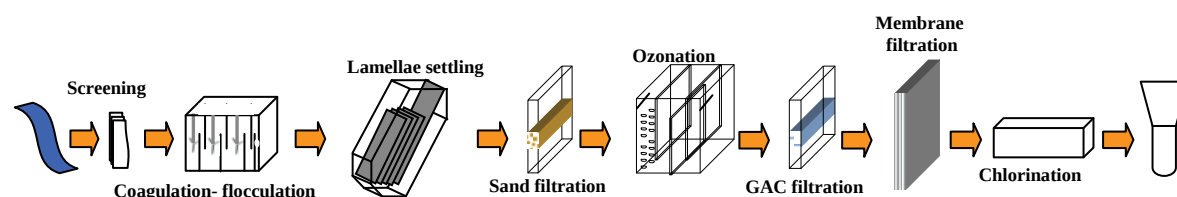


Figure1: extensive water treatment train for highly polluted water

To face water contamination with emerging pollutants such as pharmaceuticals, pesticides and healthcare products, Veolia has conducted over the last five years extensive research to assess the performance of current available technologies. Conclusion of this study shows that membrane technology with NF and RO systems, ozone/GAC and PAC are efficient processes to remove micro pollutants and emerging compounds. However activated carbon adsorption could be very expensive when large fractions of NOM are present, because adsorption sites are mainly taken by NOM, present in much higher concentrations. Organic micropollutants may be present at the ng/l or µg/l level, whereas NOM concentrations may be 10,000 times higher. The adsorption columns have to be regenerated rapidly because the column capacity is mainly used for NOM adsorption instead of micropollutants adsorption. Furthermore, new concern on by-products formation and the stringent regulation concerning bromate (10 µg/l) limit the use of ozone. Therefore for

poor quality water, NF and RO system is the best available technology to ensure a high-quality drinking water; should chlorination be required to maintain a disinfectant residual in the distribution network, the produced permeate would likely be low in DBPs and would present a minimal risk of bacterial regrowth.

Fouling is one of the main problems in any membrane separation and chemical pretreatment processes such as coagulation have shown to improve membrane performance by reducing the rate of membrane fouling. This emphasizes the importance of the pre-treatment that has to be designed based on raw water quality and treatment objective. For surface waters, coagulation/flocculation followed by sedimentation is usually necessary; Ultrafiltration (UF) or Microfiltration (MF) is a valuable alternative. An example of 3 treatment trains is presented in figure 3 . The main difference between the treatment trains 1, 2 and 3 is the complexity/simplicity of the NF/RO pre-treatment. Treatment train 1 is based on a classical chemically-enhanced pretreatment while treatment train 2 and 3 involve a MF or UF pre-treatment which simplify the pre-treatment. Train 2 and particularly train 3 are attractive for water treatment as they answer the demand for more efficient, compact and discreet treatment units involving a reduction of chemicals use and therefore a reduction of sludge production. They are particularly suitable for countries where the cost or the environmental impact of the sludge disposal is high.

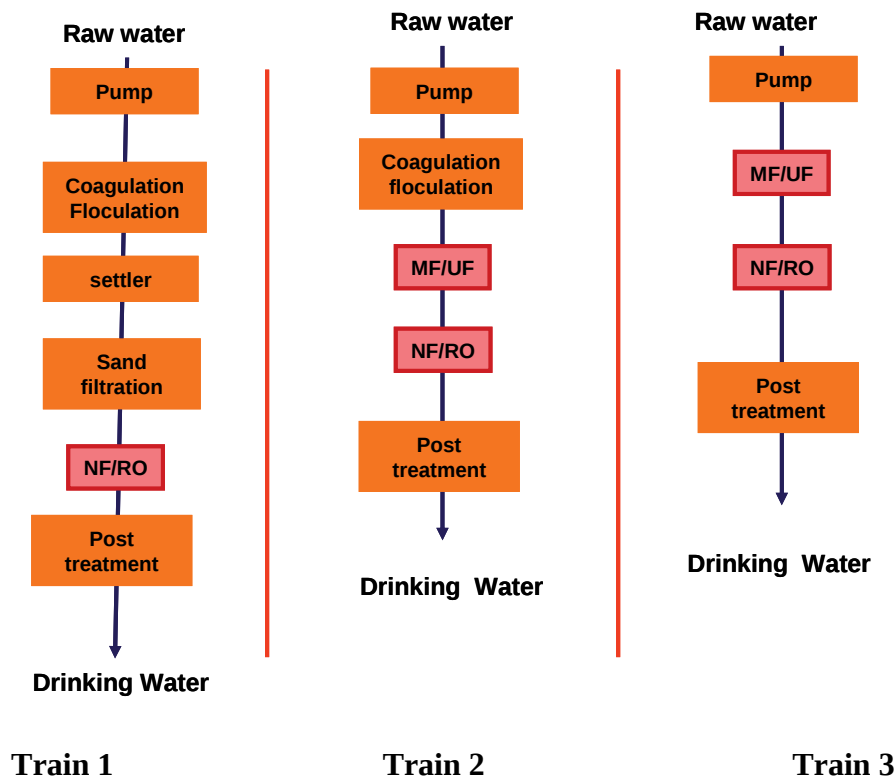


Figure 2 : Treatment trains for drinking water production

The advantages of the “Integrated Membrane Systems” (IMS) such as a MF/UF pre-treatment for NF/RO membrane systems are the followings:

- Better MF/UF filtrate quality: The colloidal fouling load to the NF/RO is reduced with significantly lower SDI (Silt Density Index) and turbidity.
- Constant and consistent MF/UF filtrate quality provided by the absolute barrier of the membrane. This is particularly useful for treating surface sources afflicted by rapidly fluctuating quality.
- Reduced sludge production due to the use of relatively less chemicals than in chemically-enhanced conventional pre-treatment processes.
- Smaller footprint due to a reduced floor space requirement for MF/UF systems

- Improved flexibility due to the modularity of membrane systems. Future expandability is easier to design in.

Nevertheless, the benefits of Integrated Membrane Systems still need to be proved as only few side-by-side pilot-plant trials have been performed so far.

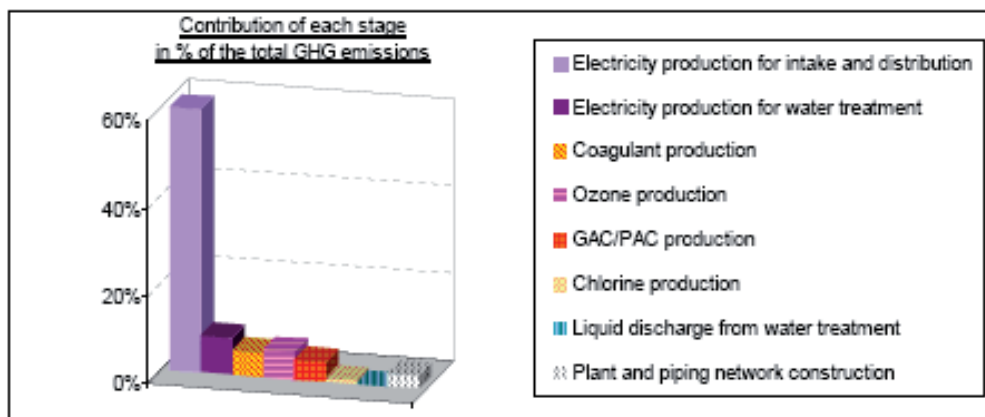
Developing Decision support tools

Veolia Environnement R&D adapts and develops decision support tools for the environmental impact assessment of Veolia Environnement industrial activities. For potable water management, Veolia Environnement R&D has developed *Eolia™ Potable Water*, a modular tool based on the Gabi 4® software that:

1. Highlights the impact sources and the penalizing steps within a given potable water supply system;
2. Compares the environmental performance of potable water supply scenarios and identify the most suitable option for the local context;
3. Proposes improvement levers for Veolia Environnement commercial offers and R&D programs.

Eolia™ Potable Water relies on the ISO 14040 standardized Life Cycle Assessment (LCA) method. LCA has gained a wider acceptance as a method providing the most comprehensive overview of the environmental impacts generated by an industrial process. LCA is a "cradle-to-grave" approach that addresses the impacts associated to all the raw materials required and the releases generated during the life cycle of potable water supply: from the extraction of raw materials through the operation and finally the decommissioning of the process.

Example 1: GHG emissions generated by a conventional potable water supply system



Most of the GHG emissions generated during the life-cycle of conventional potable water supply systems result from intake pumping and distribution: high efficiency pumps are therefore a key factor for GHG reduction.

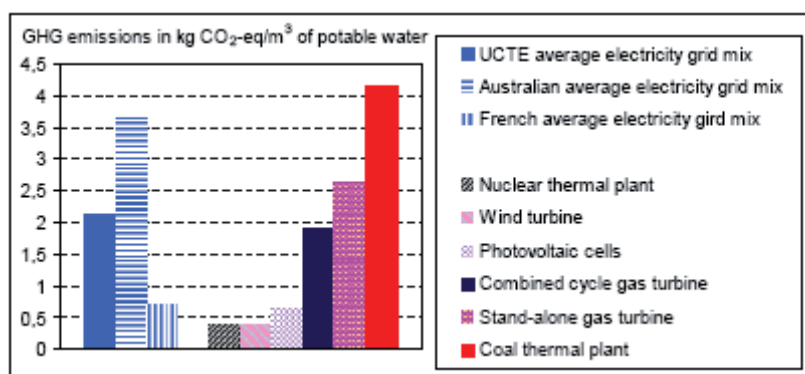
Given that electricity consumption represent 80% of the impacts generated by potable water supply (F, Vince thesis, 2008), the life-cycle electricity consumption represents a meaningful indicator that has been calculated for the major potable water supply scenarios in Table 1

Potable water supply using:	Raw water quality	Life-cycle electricity consumption (min - max values in kWh _{el} /m ³ of potable water)			
		Water treatment	Intake pumping and distribution	Chemicals production	Total
Conventional treatment	Groundwater, high quality surface water	0,05-0,15	0,2-0,6	0,05-0,1	0,3-0,8
UF/MF membrane treatment	Surface water containing micropollutants	0,1-0,2	0,2-0,6	0,1-0,2	0,4-0,9
NF membrane treatment	Low quality surface water / WWTP effluent	0,5-0,8	0,2-0,6	0,2-0,4	0,9-1,5
Brackish water RO desalination	Brackish water	0,8-1,5	0,4-0,7	0,3-0,5	1,2-2,5
Seawater RO desalination	Seawater	2,9-3,5	0,6-1	0,3-0,5	4-5
Multi-effect evaporation (MEE)	Seawater	8-12	0,6-1	0,3-0,5	9-13
Multi-stage flash distillation (MSF)	Seawater	>17	0,6-1	0,3-0,5	>19
100 km water transfer by gravity	Distant water resource	-	0,8-1,2	-	-
300 km water transfer by gravity	Distant water resource	-	2,4-3,6	-	-

Table 1: Life-cycle electricity consumption of major potable water supply systems

For each phase (water treatment, intake pumping/distribution and chemicals production), minimum/maximum values are given, which correspond to the electricity consumption in the most favorable/unfavorable context.

Example 2: Influence of electricity supply on the GHG emissions of a seawater reverse osmosis desalination plant



Obviously, the desalination plant achieves the lowest GHG emissions when supplied by renewable energy (e.g. wind turbine, photovoltaic cells). Nevertheless, combined cycles also achieve high performances, especially in countries such as Australia where the electricity at grid is based on coal thermal power production.

As illustrated in these examples, *Eolia™ Potable Water* allows a quick and easy evaluation of the environmental footprint of potable water supply solutions. It will thus be used by Veolia Environnement, in order to enhance the design practices over and above technical, economic criteria by including environmental performance indicators at the early stages of the decision-making process.

Conclusion

Membrane processes have gained wide acceptance in the drinking water industry because of their ability to produce a high-quality and consistent water. Of particular interest are Nanofiltration and Reverse Osmosis which are best options for Natural Organic Matter (NOM) and emerging pollutant removal. These membrane processes anticipate future challenges on water quality as attention has recently been raised on some emerging micropollutants that are poorly eliminated by conventional waste water treatment. Therefore, their concentrations in aquifers will increase in the future. *Eolia™ Potable Water* decision support tool can also be used to select the best treatment train with regard to environmental impact assessment. Nevertheless, the availability of more efficient, chemically free and cheaper processes will be necessary in the future. Nanotechnology offers a promising alternative to move toward that direction. The advances in new nanomaterials can help to develop cost effective, highly selective and fouling resistant membranes for water purification and desalination.

References

Vince, F (2008), 'Design approach for the improvement of both the economic and the environmental performances of potable water supply systems', PhD Thesis in Energy (EPFL - Lausanne).

LA CONTRIBUTION DES SERVICES D'EAU ET D'ASSAINISSEMENT A LA MAITRISE DE L'ENERGIE ET A LA LUTTE CONTRE LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Jean Pierre **MAUGENDRE** - Directeur adjoint du développement durable

Directeur adjoint du développement durable Lyonnaise des Eaux
11 place Edouard VII 75009 PARIS – France
Tél : 01 58 18 55 05

E mail : jean-pierre.maugendre@lyonnaise-des-eaux.fr

Résumé

Les services d'eau et d'assainissement ont un rôle majeur à jouer dans les actions relatives à la maîtrise des consommations d'énergie, à la production d'énergies renouvelables, et à la réduction des émissions de gaz à effet de serre des collectivités locales. Tout particulièrement, l'exploitation des potentialités énergétiques des eaux usées (valorisation thermique de la matière organique, récupération de la chaleur de l'effluent, turbinage, ...), jusqu'ici peu développée en France, est appelée à devenir l'un des axes majeurs de R et D et d'innovation dans les métiers de l'eau.

En matière de maîtrise des émissions de gaz à effet de serre, les résultats des premiers Bilans Carbone® permettent de cerner l'importance des émissions liées à la gestion des services, de proposer des plans d'action pour les réduire, et de contribuer à réduire les émissions des autres acteurs locaux grâce à la création de nouveaux gisements d'énergies renouvelables.

Texte non parvenu à ce jour 10 Septembre 2009

L' ULTRAFILTRATION POUR LA PRODUCTION D'EAU POTABLE : L'ENERGIE DANS LE COUT D'EXPLOITATION

Céline **BRARD**

Assistante de Direction de JM ESPENAN

POLYMEM SA

Impasse de Palayré

31 100 TOULOUSE

Tel : 05 61 31 78 66

Fax : 05 61 31 78 70

Web : www.polymem.fr

E-mail : polymem@polymem.fr

"I. Duchemin" i.duchemin@polymem.fr

Résumé

Polymem est une société spécialisée dans la technologie membranaire pour le traitement de l'eau. Les modules à fibres creuses Polymem trouvent notamment leurs applications dans des systèmes de production d'eau potable. Ces modules fonctionnant en filtration potable externe/interne, ont été développés pour permettre de faibles dépenses d'énergie. En effet, la filtration frontale associée à un mode de rétrolavage aéré permet de

présenter un faible coût énergétique.

L'exposé présentera le mode de fonctionnement des modules Polymem et des systèmes associés. Pour chaque référence présentée, les coûts énergétiques associés seront précisés.

Texte non parvenu à ce jour 10 Septembre 2009

CANARY ISLANDS INSTITUTE OF TECHNOLOGY (ITC) EXPERIENCES IN DESALINATION WITH RENEWABLE ENERGIES (1996 – 2008)

De la Fuente*, J. A.; Subiela, V. J.; Piernavieja, G.; Peñate, B.

()Water Department. Research and Technological Development Division.
Canary Islands Institute of Technology.*

*Playa de Pozo Izquierdo, s/n. 35119 - Santa Lucía, Gran Canaria Island (Spain).
Phone. 00 34 928 72 75 25; Fax 00 34 928 72 75 90.*

E Mail : jdelafuente@itccanarias.org

Abstract

Fresh water shortage is a raising problem, especially in some parts of the world, as North Africa and Middle East areas. Global climate change and progressive increment of population are reducing day by day the availability of per capita drinking water supply; this is becoming a critical question for certain developing countries. Desalination has narrowed the gap of water demand for more than 20 years thanks to a cheap energy supply; but the age of “easy oil” is coming over and the link water – energy is more and more critical. A hopeful option is desalination powered by renewable energies (RE). RE are not only safe but also endless resources, and there are already successful experiences in RE desalination. The Canary Islands Institute of Technology (ITC) has been testing and monitoring RE desalination systems for more than 10 years. Vapour compression, reverse osmosis, electrodialysis, membrane distillation and humidification – dehumidification plants have been connected to wind or solar energy systems in more than ten field projects. This presentation summarizes the main outcomes of this long experience, focusing on the more practical questions to be considered in order to implement new RE desalination projects.

I - INTRODUCTION

Drinkable water is a more and more scarce resource. The increment of population, environmental impacts and climate change are reducing the water availability per person, this is a particularly critical situation in developing countries. United Nations has evaluated in 1,100 millions of persons without a safe access to drinkable water. Additionally, the expected future is even more critical: by 2025, 1,800 million people will be living in countries or regions with absolute water scarcity.

The Canary Islands have suffered structural water lack for many decades. Thus, it is not chance that the archipelago was pioneer in Europe in desalination technologies, with the commissioning of the first European desalination plant in the beginning of the sixties. The increment of desalination has meant additional energy consumption; currently desalination represents in the islands approximately 10% of electricity consumption, in some islands this percentage raises up to 25%. Therefore, there has been a progressive interest in reducing the energy costs in desalination and searching new energy resources, like wind power, with very competitive costs.

Moreover, the archipelago has abundant renewable energy resources (particularly wind and solar energy). However most of this resource can not be converted into electricity, due to the reduced size and weakness of the island electric grids.

Consequently, one of the first strategic lines of the Canary Islands Institute of Technology was the development and testing of renewable energy driven desalination systems, operating in off-grid mode. The facilities of the ITC in Pozo Izquierdo (Gran Canaria Island) are an ideal platform for testing RE desalination systems, thanks to the local excellent conditions: direct access to seawater, annual average wind speed of 8 m/s, average daily solar radiation of 6 kWh/m². The paper presents a short description of eleven small to medium capacities autonomous desalination units.

On the other hand, Canary Islands are located very close to Northwest Africa, wherein millions of people live in isolated villages without access to electricity and good quality water in inland or coastal areas. The technologies developed in the ITC present nowadays a possible solution to the fresh water and electricity supply; the paper includes two cases of autonomous desalination in African countries.

WIND POWERED DESALINATION

The first autonomous desalination concept tested in the Canary Islands was powered by wind energy. Different options were carried out.

CASE 1. WIND – DIESEL SYSTEM

The project is located in the municipality of Punta Jandía (Fuerteventura Island); the system consists of a wind power-diesel system to supply power, water, cooling and ice to an isolated fishing village community with a permanent population of 60 inhabitants. The location area is classified as a Protected Nature Park and there is no electric grid. See figures from 1 to 3.



Figure 1. View of the project installations in the Punta Jandía fishing village (Fuerteventura).



Figure 2. SWRO desalination plant.

Figure 3. Diesel generators.

CASE 2. OFF- GRID WIND FARM COUPLED TO 3 DESALINATION SYSTEMS

SDAWES project (Seawater Desalination with an Autonomous Wind Energy System) consists of the connection of three different desalination systems: Reverse Osmosis (8 x 25 m³/d), Vapour Compression (50 m³/d) and Electrodialysis Reversible (190 m³/d) to an off-grid wind farm (first in the world connected to a desalination plant) in order to produce fresh water; total nominal water production capacity is 440 m³/d. Visual information about the system is presented in the figures 4 to 8.



Figure 4. 2 x 225 kW off grid wind farm.



Figure 5. 100 kVA Synchronous machine coupled to flywheel.

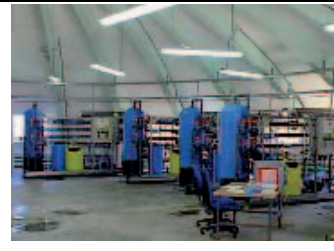


Figure 6. RO desalination plants.



Figure 7. VVC desalination unit.



Figure 8. EDR desalination plant.

The main objectives of the project were to identify the best desalination system for connection to a stand-alone wind farm, and to assess the influence of the variations of the wind energy on the operation of the desalination plants and on the quality of the produced water.

According to the results of the tests RO technology is the most suitable one for coupling to an off-grid wind farm. Nevertheless, each desalination technology has possibilities to improve the operation with off-grid wind farms, by developing specific designs.

CASE 3. SMALL SCALE WIND AUTONOMOUS DESALINATION PLANT

A wind powered SWRO desalination prototype was designed and tested in the Canary Islands Institute of Technology, as a technical solution to water shortage in low water demand isolated areas (about 900 inhabitants) where the conventional electric grid does not exist. The configuration of the system is presented in the figure 9.

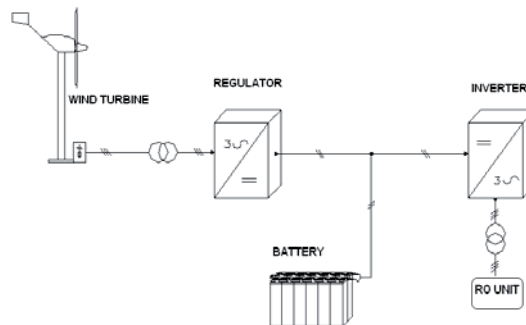


Figure 9. System configuration of autonomous wind RO system.

Visual information about the system is presented in the figures 10 to 12.

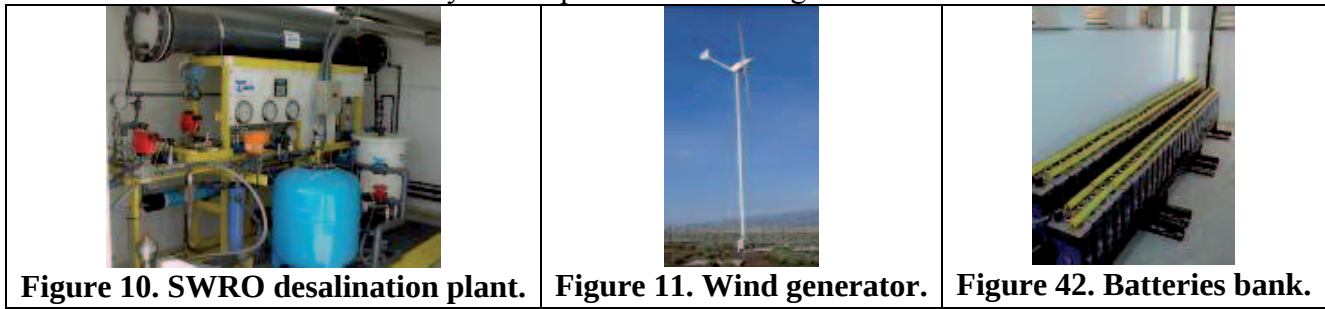


Figure 10. SWRO desalination plant.

Figure 11. Wind generator.

Figure 42. Batteries bank.

The main outcomes extracted from the operation of the system were the following:

- Identification of the most suitable times in startings, shutdowns and membrane cleaning periods.
- Optimization of the water production, considering maintenance and power consumption aspects.
- Incorporation in the system of automatic valves commanded by the control software which allows totally automatic operation.

PHOTOVOLTAIC ENERGY DRIVEN DESALINATION

The most analysed technical concept of autonomous desalination has been the combination between a photovoltaic field and a reverse osmosis plant with the batteries support. This section presents the most relevant information of the operated and operating units.

CASE 4. SEAWATER PV DESALINATION UNIT

The first autonomous photovoltaic-reverse osmosis (PV-RO) system was designed to satisfy small water demand (50–75 inhabitants) isolated from the electric grid and with potable water scarcity. An automatic control unit adjusts the plant operation to the changing and discontinuous energy supply from the PV generator. The project final development was a high feasibility product patented by the ITC (DESSOL®). It was operative between 2004 and 2007, and functioned more than 5,000 hours with a water production over 2,000 m³. It has been the base for the systems installed in Tunisia (2006) and Morocco (2008), (cases 6 and 7).

This project is the first one of its kind, on an international scale, that approaches the model from the automation perspective, using control software to manage solar radiation available and optimise the daily operation hours.

The technical concept includes the PV fields, the charge controller, the batteries, the inverter (DC/AC converter) and the RO desalination unit. The diagram is indicated in the figure 13.

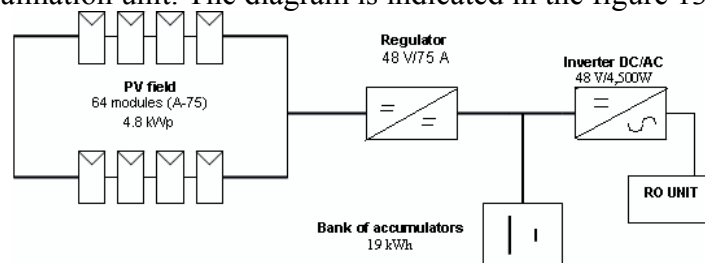
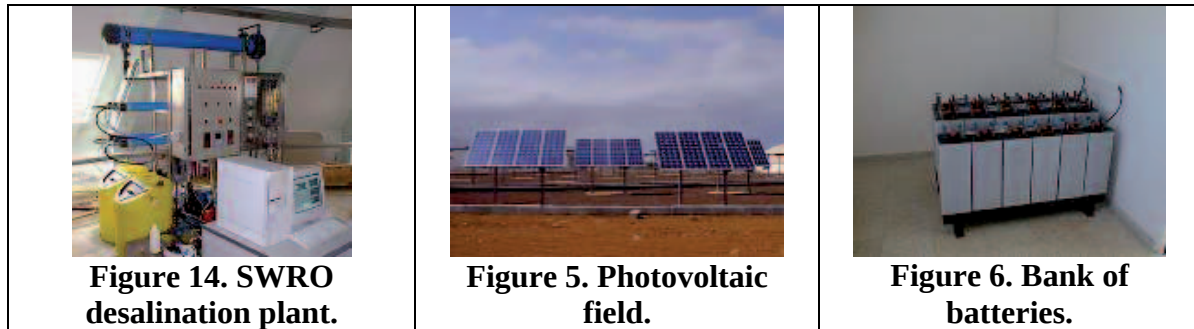


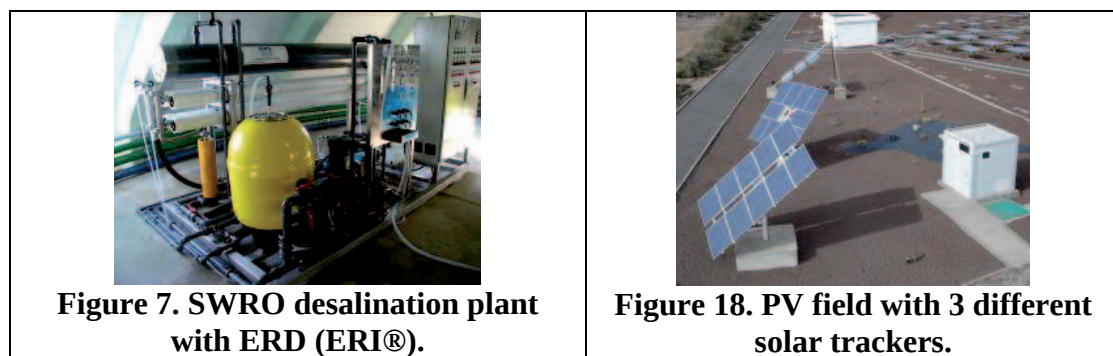
Figure 13. Basic diagram of PV-RO concept.

A selection of the pictures of the system is shown in the figures 14 to 16.



CASE 5. SEAWATER PV-RO DESALINATION UNIT WITH ENERGY RECOVERY SYSTEM

One of the improvements to the initial PV-RO concept has been the integration of three photovoltaic systems with solar trackers from different manufacturers (Lorentz, Degertracker and Traxle) and an existing SWRO desalination plant including an energy recovery device (ERI[®] PX-15). The idea is to know the influence of the energy recovery system and the increment of collected solar energy in the number of daily operation hours and the quality of water. Pictures of the system are presented in the figures 17 and 18.



CASE 6. AUTONOMOUS PV-RO UNIT IN TUNISIA

After a long path of pilot projects tested in the ITC facilities, focused on wind-RO and PV-RO systems, ITC decided to transfer its know-how to nearby African countries: Tunisia and Morocco.

The inland village of Ksar Ghilène (Tunisia) was the first African location with a PV-RO system. The 300 inhabitants of this place do not have access to electricity (closest grid point located at 150 km) or fresh water (original supply was from tank lorries). The project was commissioned in May 2006. The system, with a nominal capacity of 50 m³/day (BWRO desalination plant) and a peak PV power of 10.5 kWp, has been operating during more than 3,800 hours and producing more than 7,500 m³ of drinking water. Due to the high temperatures in summer (> 50°C), the building was built partially underground (figure 19).



Figure 19. General view of the PV-RO system in the village of Ksar Ghilène (Tunisia).

Four PV-RO systems have been installed along this summer in four locations of Morocco (see maps of figure 20) within the already finished project called ADIRA (www.adira.info).



Figure 20. Maps of Morocco with the location of the four autonomous desalination systems.

The local rural reality of Morocco is similar to the case of Tunisia: raw water is from inland wells (brackish waters with salinities between 2.5 to 8.7 g/l), small rural areas without direct access to fresh water and located in places without or weak electric grid.

The figures 21 and 22 show the RO unit (1,000 l/h) and the building with the PV field on the roof (4 kWp).



Figure 21. RO unit installed in Morocco.

Figure 22. Fresh water tank, building and PV field.

THERMALLY DRIVEN DESALINATION SYSTEMS

ITC has also been involved as partner in RE desalination projects of technologies focused on solar distillation. Several institutions have analysed deeply the process and developed the engineering of several thermally driven desalination systems.

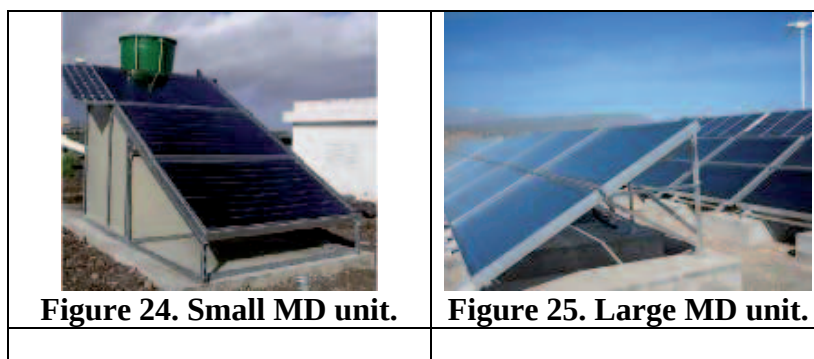
CASE 8. THERMAL SOLAR HUMIDIFICATION – DEHUMIDIFICATION UNIT

The unit was tested within the framework of the SODESA project. It was a solar-thermally driven humidification – dehumidification (H/D) desalination system with corrosion-free absorber collector and 24-hours per day storage. The pilot plant was installed at the ITC test facilities in May 2000. A general view of the system (currently dismantled) is in the figure 23.



Figure 23. View of the solar collectors field coupled to the H/D desalination system.

Two units were operated within the MEMDIS project. The main idea was the development of two stand-alone desalination systems based on the highly innovative membrane distillation technology. The systems integrate solar thermal and PV energy. The desalination energy is supplied entirely by solar thermal collectors. The electrical auxiliary energy is supplied by a PV system. Using membrane distillation technology enables to achieve low-maintenance and durable systems which is extremely important for stand-alone systems entirely powered by solar energy. The MEMDIS project is based on the experience and the lessons learnt from the SODESA project. The project started in April 2003 and finish in March 2006. There is an ongoing project called MEDIRAS (www.mediras.eu) with the aim of improving the MEMDIS system. General views of the system can be observed in the figures 24 and 25.



OTHER AUTONOMOUS DESALINATION CONCEPTS

CASE 10. WIND & PV DRIVEN SEAWATER RO UNIT

The MORENA system (Energetically self-sufficient rural module) is a wind/PV/battery hybrid system powering a SWRO desalination unit and a DC load. The energy produced supplies a 552 W RO desalination plant, 120 W of interior lamps simulating the feed pump and 240 W of exterior lamps. This desalination unit may supply the fresh water needs of a village of 185 inhabitants considering the 20 litre/day per inhabitant.

The system is mounted in and on a container with a high level of security, independence and simple operation and maintenance. The container has a working area of 15m² and is divided into three zones: one for the desalination unit (includes an ERD), one dedicated to the battery bank, and one for the electrical data acquisition panels and regulators (PV and wind turbine). General views of the system can be observed in the figures 26 and 27.



Figure 26. View of the MORENA SWRO unit.



Figure 27. Container housing MORENA project.

The aim of this project is to supply of potable water and energy small isolated towns (less than 1000 inhabitants), from brackish or seawater. This project consists of a SWRO desalination plant fed by a diesel power generator (2 days autonomy in continuous operation; biodiesel could be used), mounted in a container (15 m²) of easy transport and installation, with high security and autonomy level and simple operation and maintenance. This system has an international patent PCT in Morocco, Tunisia and the countries of the OAPI.

The current system has two Danfoss equipment in parallel, one working as a pump and the other one as an energy recovery device. A first prototype of this project was installed in Alhucemas (Morocco) in 2004 after an earthquake that devastated the region. General views of the system can be observed in the figures 28 to 30.



Figure 28. SWRO desalination plant.
Container housing SWRO unit.



Figure 29. Power generator.



Figure 30.

OTHER ACTIVITIES RELATED TO RE DESALINATION

ADU-RES: “Autonomous Desalination Units based on Renewable Energy Systems” www.adu-res.org

DEREDES: “Desalination Development using Renewable Energy”
www.befesa-cta.es/deredes/english/index.html

PRODES: “Promotion of Renewable Energy for Water production through Desalination” www.prodes-project.org

CONCLUSIONS

This paper summarizes the activities of the ITC during a long period started in mid 90es. After more than 10 years of continuous R&D activity, and more than 10 installed and operated autonomous desalination systems, it is not easy to extract a reduced list of conclusions. Nevertheless, the most relevant outcomes are the following:

- Renewable energy driven desalination is not a novel technology any more. Despite some combinations are under a development step, there are several which have already been tested and operating in systems with proved positive results.
- For those sites with lack of fresh water, presence of solar and/or wind energy resources, and availability of salty raw water, desalination by renewable energy is already an alternative solution to the current supply by trucks. If, as it is probable, oil prices go on rising, autonomous desalination will be more and more competitive.
- For the case of small demand –up to 100 m³/day- the current more reliable option is PV powered RO system. For medium demands (1,000 – 5,000 m³/day), the most interesting system is the combination of an off-grid wind farm and a reverse osmosis plant.
- The main recommendations to be taken into account in a autonomous desalination project are:
 - Design simple and tough, adapted to the local conditions (tailor-made project).

- Elaboration of a specific control system, programmed for each particular case, addressed to reduce the maintenance activities, maximize the water production and extend the life of equipment.
- In case of location in developing countries, it is very important to include the participation of the local entities from the very beginning of the project, in order to establish a coordinated net of actors and to consider all the local aspects, not only the technical elements, but also and mainly the social and economic conditions.

DESSALEMENT DE L'EAU DE MER ET DES EAUX SAUMÂTRES : ASPECTS ÉNERGÉTIQUES, DESSALEMENT PAR ÉNERGIES RENOUVELABLES

*Alain MAUREL Consultant
E mail : alain.silva.maurel@wanadoo.fr*

Résumé

Les techniques de dessalement sont bien maîtrisées puisqu'à ce jour la capacité totale installée au niveau mondial dépasse les 50 millions de m³/jour.

Après une évaluation des consommations d'énergie des procédés de dessalement et une comparaison avec les différentes techniques de production d'eau potable, l'exposé traitera le cas particulier du dessalement par énergies renouvelables (solaire et éolien).

INTRODUCTION

Bien que l'eau soit apparemment abondante sur la terre, il s'agit en général d'eau salée : 97 % de l'eau se trouve en effet dans les océans et les mers, non directement utilisable pour les besoins de l'homme. Les eaux douces elles, ne représentent que 3 % en volume de l'eau sur terre et seulement le quart est disponible sous forme d'eaux souterraines ou superficielles ; les trois quarts étant sous forme de glaciers dans les calottes polaires.

Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres peut donc constituer dans certains cas une solution compétitive pour pallier le manque d'eau dans les régions littorales. En effet, beaucoup de villes dans le monde sont en bord de mer ou pas trop loin de la mer. Par ailleurs on prévoit que plus des deux-tiers de l'accroissement de la population dans les cinquante prochaines années se fera à une distance inférieure à 100 km d'une mer. En 2025, les mégaloïles dans les zones côtières seront habitées par 4 à 5 milliards de personnes. Alimenter cette population avec de l'eau dessalée éviterait une pression anormale sur la quantité d'eau douce.

Les techniques de dessalement ont fait leurs preuves puisque au 30 juin 2008, 17.348 usines de dessalement fonctionnaient dans plus de 120 pays et totalisaient une capacité installée au niveau mondial d'environ 62,8 millions de m³/jour. Sur cette capacité totale, 60 % vient du dessalement de l'eau de mer et 40 % du dessalement des eaux saumâtres. La croissance du marché du dessalement a été de 10 % par an durant les dix dernières années. Des ensembles de plusieurs centaines de milliers de m³/jour ont été implantés sur un site donné : nous citerons comme exemple le complexe de Shuaiba II en Arabie Saoudite mis en service en 1998 et qui produit 454.000 m³/jour avec 10 unités FLASH de 45.400 m³/jour. Certains pays même, tels que le Koweït ou le Qatar, dépendent presque entièrement du dessalement de l'eau de mer pour leur alimentation en eau douce.

Les techniques de dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres

Les problèmes de dessalement concernent principalement deux catégories d'eaux salées :

- l'eau de mer dont la salinité est d'environ 35 g/l pour les mers ouvertes (Atlantique, Mer du Nord, Pacifique) mais qui peut être très différente dans le cas des mers fermées ou peu ouvertes sur les masses océaniques : 39 g/l pour la Méditerranée, 40 à 70 g/l pour le Golfe Arabo-Persique ;
- les eaux saumâtres de salinité comprise entre 2 et 10 g/l.

La totalité des installations de dessalement fait appel à deux grandes familles de procédés : les procédés par évaporation et les procédés de séparations par membranes qui sont plus récents.

♦ Procédés de distillation

Les premières unités industrielles de distillation d'eau de mer sont apparues à bord des navires en même temps que la traction à vapeur. C'étaient, dans la plupart des cas, des bouilleurs simple effet à faisceau noyé : l'eau de mer était chauffée dans un récipient étanche par la vapeur circulant dans un faisceau tubulaire plongé dans l'eau de mer. La vapeur formée était condensée sur un autre faisceau tubulaire placé dans la partie haute de l'enceinte et parcouru par de l'eau de mer froide.

La consommation d'énergie de tels appareils est excessivement élevée (~ 600 kcal/kg). Il est donc apparu absolument nécessaire d'améliorer la consommation spécifique de l'évaporateur simple effet. Ceci a été obtenu grâce à la distillation à multiples effets. On sait, en effet, que la température d'ébullition de l'eau de mer peut être abaissée dans la mesure où l'on réduit la pression dans l'enceinte d'évaporation. On peut donc utiliser la chaleur de condensation de la vapeur produite dans une première chambre d'évaporation pour faire fonctionner le faisceau de chauffe d'une seconde chambre à pression et température plus faibles, et ainsi de suite.

A partir des années 1960, le procédé par détentes successives ou procédé FLASH s'est progressivement imposé, du moins pour les installations de grande capacité, à cause de sa fiabilité principalement par l'absence d'entartrage, mais aussi par la maîtrise des différents problèmes : corrosion, vide, automatisation.

Actuellement, le procédé multiples effets à tubes horizontaux arrosés revient en force sur le marché, principalement à cause du coût d'investissement inférieur de 10 à 20 % à celui du procédé FLASH et à sa plus faible consommation énergétique.

♦ Procédés à membranes

Au lieu d'extraire par évaporation l'eau douce de l'eau de mer, on peut envisager une séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes sélectives.

L'électrodialyse, procédé le plus ancien, consiste à éliminer les sels dissous par migration à travers des membranes sélectives sous l'action d'un champ électrique. Ce procédé ne connaît pas de développement important, compte tenu de sa sensibilité aux variations de salinité.

Le procédé d'osmose inverse, plus récent, utilise des membranes qui, soumises à une pression supérieure à la pression osmotique de l'eau saline, laissent passer l'eau et arrêtent les sels. Les pressions appliquées sont de l'ordre de 50 à 60 bar pour l'eau de mer et de 20 à 40 bar pour les eaux saumâtres.

Consommation d'énergie des différents procédés

En une cinquantaine d'années, les différents procédés ont fait des progrès considérables. Ainsi, il existe sur le marché, des installations de distillation à multiples effets qui nécessitent comme énergie environ 250 MJ/m^3 ($\sim 60.10^3$ kcal/m³) d'énergie thermique à bas niveau ($\sim 100^\circ\text{C}$) plus 2 à 3 kWh électrique pour la recirculation de l'eau de mer. Le procédé d'osmose inverse quant à lui, grâce à la mise en place de systèmes de récupération d'énergie et de membranes beaucoup plus performantes, ne nécessite que 3 à 4 kWh/m³ d'énergie électrique.

Dans le cas où l'énergie primaire disponible est du fioul, la consommation d'énergie est de l'ordre de 1 kg de fioul lourd (à 10.000 kcal/kg ou 42 MJ/kg) pour 1 m^3 d'eau avec l'osmose inverse et de l'ordre de 3,5 kg de fioul lourd pour la distillation.

L'énergie nucléaire peut éventuellement se substituer aux combustibles fossiles. Les techniques de dessalement ne dépendent pas de la source d'énergie primaire et ainsi le dessalement nucléaire n'est pas une technologie spécifique de dessalement : c'est un complexe intégré dans lequel le réacteur nucléaire et l'installation de dessalement sont construits sur le même site.

Par rapport aux autres procédés de production d'eau potable, le dessalement nécessite une quantité d'énergie nettement plus importante comme le montre le tableau suivant :

• Procédés conventionnels :	
- Pompage, filtration, chloration	$\sim 0,25 \text{ kWh/m}^3$
- Techniques à membranes	$0,3 - 0,7 \text{ kWh/m}^3$
• Recyclage des eaux usées	$\sim 1 \text{ kWh/m}^3$
• Dessalement	
- Eaux saumâtres	$1 - 2 \text{ kWh/m}^3$
- Eau de mer	$3 - 4 \text{ kWh/m}^3$

Dessalement de l'eau de mer : osmose inverse ou distillation ?

Pendant très longtemps, soit des années 1960 jusqu'aux années 1980/1990, le procédé de distillation FLASH était le seul procédé utilisé pour les installations de dessalement d'eau de mer de grandes capacités ($> 10.000 \text{ m}^3/\text{jour}$). L'osmose inverse est apparue vers les années 1970, d'abord pour les dessalement des eaux saumâtres, puis pour les unités de dessalement d'eau de mer de petite capacité (quelques dizaines de m^3/jour). La première unité de grande capacité ($20.000 \text{ m}^3/\text{jour}$) a été mise en service sur l'île de Malte en 1983. Ensuite progressivement, l'osmose inverse est venu concurrencer la distillation pour les installations de capacité élevée : ainsi en 2005, Israël mettait en service à Ashkelon une unité de $320.000 \text{ m}^3/\text{jour}$.

L'osmose inverse va-t-elle remplacer, dans les années à venir, la distillation comme certains le prédisent ? Ceci est peu vraisemblable. En effet, les deux techniques présentent des spécificités qui devraient leur permettre de rester présentes toutes deux sur le marché.

Les avantages de l'osmose inverse sont nombreux :

- faible consommation énergétique (environ $3 - 4 \text{ kWh/m}^3$ dans le cas d'une eau de mer à 35 g/l), grâce en particulier à la mise en place de systèmes de récupération d'énergie et à l'augmentation des taux de conversion ;
- investissements plus faibles dus en particulier à l'amélioration des performances des membranes (taux de rejet sur eau de mer de $99,6 \%$ avec une perméabilité d'environ $1 \text{ litre.h}^{-1}.\text{m}^{-2}.\text{bar}^{-1}$) et à une diminution importante des coûts ;
- gamme de capacités disponibles commercialement très vaste, allant de quelques litres par jour pour des appareils individuels de survie à des installations de plus de $100.000 \text{ m}^3/\text{jour}$.

Mais l'osmose inverse présente aussi quelques inconvénients :

- les membranes sont sensibles au colmatage, et en particulier au biofouling ;
- la salinité d'eau produite qui se situe aux environs de $300 - 500 \text{ ppm}$ convient bien pour les usages domestiques, mais est trop importante pour certains usages industriels ;
- la salinité de l'eau de mer, si elle est trop élevée ($50 - 60 \text{ g/l}$) entraîne une hausse non négligeable des coûts (nécessité de prévoir dans certains cas deux étages pour maintenir la qualité de l'eau déminéralisée).

Toutefois, on peut penser que les procédés de distillation (compression de vapeur pour les petites unités et multiples effets pour les grandes unités) resteront présents sur le marché, en particulier dans les cas suivants :

- eau de mer à salinité élevée ($> 40 \text{ g/l}$) comme dans le Golfe Arabo-Persique : les performances et les coûts de la distillation ne sont pas modifiés ;
- eau de mer à fort pouvoir colmatant suite à la présence de colloïdes, de matières en suspension très fines ou d'hydrocarbures ; les unités de distillation étant nettement moins sensibles aux problèmes de colmatage ;
- obtention d'eau ultra pure pour l'industrie soit pour l'alimentation de générateurs de vapeur, soit pour l'industrie électronique, l'eau produite par distillation pouvant atteindre facilement des salinités comprises entre 5 et 30 ppm ;
- sites disposant d'énergie dégradée (vapeur ou eau chaude à 110 ou 120°C) à coût très faible, voire nul : le procédé de distillation à multiples effets, qui nécessite seulement 2 à 3 kWh/m^3 pour le pompage, devient alors plus performant, du point de vue énergétique que l'osmose inverse.

Couplage Eau – Énergie

Pour un pays ou une région donnée, eau et énergie sont indispensables simultanément pour un développement durable. La cogénération, c'est-à-dire la production combinée d'énergie électrique et de chaleur grâce à des cycles thermiques à prélèvement de vapeur ou à contre pression, conduit à des économies importantes. La chaleur disponible peut être utilisée pour alimenter des installations de dessalement d'eau de mer par distillation. Dans ce cas, les kWh et les m^3 sont alors liés par la technologie. Or, pour un site donné les kWh et les m^3 peuvent varier dans le temps de manière importante. De plus, la demande en eau croît plus vite que la demande en électricité du moins au Moyen-Orient et on risque un déséquilibre de plus en plus grand entre ces deux besoins.

On voit donc que la solution globale à la production d'eau et d'électricité est d'associer à une unité de production d'électricité fonctionnant à partir de pétrole, de gaz ou de nucléaire :

- une unité de dessalement par distillation multiples effets ou FLASH qui sera alimentée en calories à bas niveau par les rejets thermiques de la centrale électrique ;
- une unité de dessalement par osmose inverse qui consommera de l'énergie électrique.

L'osmose inverse qui ne nécessite que de l'énergie électrique permet le découplage entre source d'énergie et unité de dessalement ce qui offre une souplesse d'autant plus intéressante que, dans la plupart des cas, les taux de croissance des consommations d'eau et d'électricité sont différents.

L'association des deux techniques de dessalement (multiples effets + osmose inverse) peut présenter d'autres avantages, par exemple le préchauffage de l'eau de mer avant osmose inverse.

Une première grande installation hybride est actuellement en fonctionnement dans les Emirats Unis à Fujairah : avec une production de 454.000 m³ d'eau par jour (284.000 m³/jour par distillation FLASH et 170.000 m³/jour par osmose inverse) et de 620 Mwe.

Coût de l'eau dessalée

Dans le cas de l'eau de mer, les coûts des deux techniques (osmose inverse ou distillation) sont voisins et se situent dans le meilleurs des cas, pour de très grandes installations > 100.000 m³/jour, aux environs de 0,6 - 0,8 \$/m³. Le choix entre distillation et osmose inverse dépend de critères locaux : qualité de l'eau de mer, salinité de l'eau déminéralisée souhaitée, disponibilité de calories à bas prix ...

Dans le cas des eaux saumâtres, le coût de l'eau dessalée est égal à environ 0,2 - 0,4 \$/m³, soit 40 % du coût du dessalement de l'eau de mer.

Toutefois, même s'il y a eu des baisses importantes ces dernières années, les coûts de dessalement sont élevés, compte tenu principalement des investissements nécessaires et des coûts de fonctionnement (main d'œuvre, maintenance, énergie ...).

Ces coûts sont acceptables pour les besoins humains et pour l'industrie. Pour les usages agricoles, ces coûts sont trop élevés pour les cultures de plein champ (céréales en particulier) compte tenu des quantités d'eau nécessaires (1 m³ pour 1 kg de blé). Ils sont par contre acceptables pour la production de produits agricoles à fort rapport économique tels que les légumes (concombres, tomates, ...) ou les fleurs :

- les cours de ces produits sont nettement plus élevés ;
- l'utilisation de techniques de cultures (serres conditionnées) et d'irrigation (goutte à goutte) permet de réduire considérablement les quantités d'eau nécessaires.

Ainsi en Espagne, pays qui se situe au 5^e rang mondial pour la capacité installée d'usine de dessalement avec 2.420.000 m³/jour, 22,4 % de l'eau dessalée est utilisée pour la production de légumes primeurs destinés au marché européen.

Compte tenu de l'importance des quantités d'eau consommées par l'agriculture (70 % au niveau mondial, 83 % au niveau des pays du Sud de la Méditerranée), certains pays peuvent décider d'économiser leurs ressources en eau en choisissant d'importer un produit agricole plutôt que de le produire localement. L'eau s'échange à travers son incorporation dans un produit fini. On parle alors d'eau « virtuelle ». Ainsi 1 kg de blé est l'équivalent de 1 m³ d'eau, et 1 kg de viande de bœuf est l'équivalent de 14 m³ d'eau (contexte des Etats-Unis).

Dessalement et énergies renouvelables

Utiliser l'énergie du soleil pour distiller l'eau de mer n'est pas une idée nouvelle. Le distillateur serre est le procédé de dessalement le plus ancien et le plus simple. Mais les possibilités de ce procédé fort simple sont très limitées. En effet, la productivité ne peut dépasser 4 à 5 litres d'eau douce par jour et par m² de bassin et l'on arrive très vite à des surfaces de serres très importantes.

Une autre possibilité est d'utiliser les énergies renouvelables avec des procédés de dessalement conventionnels à haut rendement :

- distillation à multiples effets associée à des capteurs solaires ;
- osmose inverse associée soit à des photopiles soit à des aérogénérateurs.

Le développement de ces procédés se heurte à deux problèmes :

- le coût élevé des investissements à la fois de la source d'énergie ainsi que de l'installation de dessalement à haut rendement ;
- le caractère discontinu et aléatoire des énergies renouvelables qui nécessite un stockage d'énergie plus ou moins important.

Perspectives

Quelles sont les perspectives pour les années à venir ? Il est certain que compte tenu de l'augmentation de la population et de l'augmentation de la consommation par tête d'habitant, le marché du dessalement va connaître un taux de progression important.

Les technologies actuelles (distillation FLASH et multiples effets, osmose inverse) continueront certainement à être utilisées pendant les 20 prochaines années.

Des procédés hybrides (distillation + osmose inverse) associés à des centrales de production d'énergie devraient permettre une diminution des coûts de l'eau et de l'électricité.

Le dessalement pourra permettre dans certains cas d'adapter l'offre à la demande en association avec une politique globale de gestion de l'eau que l'on peut résumer comme suit :

1/ Accroître l'offre :

- récupération des eaux de ruissellement (barrages)
- réutilisation des eaux usées
- transport d'eau
- dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres.

Cette stratégie déjà mise en œuvre demande des moyens humains et financiers que certains pays concernés ne sont pas toujours en mesure de mobiliser à brève échéance.

2/ Maîtriser la demande :

- réhabilitation des réseaux
- économie d'eau.

En particulier, en ce qui concerne l'agriculture responsable de plus de 70 % de l'usage de l'eau :

- amélioration des techniques d'irrigation ;
- modification des politiques de prix avec gestion des conséquences sociales qui en découleront.

Le XXI^e siècle verra-t-il émerger un ou des nouveaux procédés de dessalement fiables et beaucoup plus économiques que les procédés actuels ? Cela est peu probable, mais pourquoi pas ? En effet, « ce n'est pas en améliorant la race des pigeons voyageurs que l'on a découvert le téléphone ... ! ! ».

NEW SEA WATER PRETREATMENTS FOR DESALINATION

Eduard Gasia¹, Markus Busch¹, Verónica García¹, Giorgos Ballis², Silvia Mariné², Pedro Rubio^{3}*
¹ Dow Water Solutions, ² Cetaqua, ³ Agbar

E mail : prubio@agbar.es

The case study in Barcelona is included in a CENIT program (called SOSTAQUA). CENIT is a subsidized program of Spanish government that begins in 2007 and last to the end of 2010.

The initial objective of the investigation is to determinate the profits of modify the conventional treatment line, establishing a ultrafiltration (UF) treatment as the only phase before reverse osmosis (RO). This strategy will improve different aspects in treatment line: reactants consumption, maintenance and in general increase the water quality (SDI-MFI) to RO. As well the investigation wants to test new membrane configurations (hybrid configurations) inside the RO module. The configuration of operation parameters of UF and the cleaning strategy will improve the water quality and this enabled increase the capacity of RO. With all the configuration the most important objective is to improve the conversion factor, this fact allow us to expend less energy to produce the same quantity of water, and also reduces the plant space.

The pilot plant operation begins at february 2009, with two lines of UF+RO, and takes the same water of the future Desalination treatment plant of Barcelona. Pilot plant have 7 m³/h of capacity (3,5 each line) and works 24 h /day.

New sea water pretreatments for desalination.

Barcelona case-study

*Josep Flores, Giorgos Balits, Silvia Martí, Pedro Rubio**

CETAQUA
WATER TECHNOLOGY CENTER



Desalination in Sostaqua Project

Tasks	Participants
1a. New sea water pretreatments for Desalination	Dow Water Solutions AGBAR >> University Rovira i Virgili (Tarragone)
1b. Novel treatments for dissolved organic matter removal in seawater.	Degremont AGBAR >> IIQAB-CSIC >> University of Barcelona
1c. Fouling prevention and control	AGBAR >> Technological Center of Manresa
1d. Brine reuse	Canaragua >> University of Palmas de Gran Canaria

Investment: 4.725.000 €

Outline

- ❖ What is Cetaqua?
- ❖ Sostaqua Project
- ❖ Desalination in Sostaqua Project
- ❖ Task 1A. Case study. Main Objectives
- ❖ Pilot Plant Configuration
- ❖ Specific objectives
- ❖ First results
- ❖ Preliminary conclusions

Desalination in Sostaqua Project

Tasks	Participants
1a. New sea water pretreatments for Desalination	Dow Water Solutions AGBAR >> University Rovira i Virgili (Tarragone) >> Cetaqua
1b. Novel treatments for dissolved organic matter removal in seawater.	Degremont AGBAR >> IIQAB-CSIC >> University of Barcelona
1c. Fouling prevention and control	AGBAR >> Technological Center of Manresa
1d. Brine reuse	Canaragua >> University of Palmas de Gran Canaria

Task 1.4. New sea water pretreatments for Desalination

CETAQUA
WATER TECHNOLOGY CENTER

Task Organization:

Companies:



Technological Center:



University:



Analytical work

Main Objectives

CETAQUA
WATER TECHNOLOGY CENTER

New technologies → Simplify conventional desalination treatment line
Optimize SW pretreatment using ultrafiltration technology to deliver water quality to RO in order to minimize the fouling occurrence.

HOW?



Developing Ultrafiltration technology as SWRO pretreatment increasing knowledge on:

- > Performance data in UF and SWRO and integrated.
- > Side by side comparison
 - Outside/in v.s. inside out.
 - Vertical v.s. Horizontal.
 - Different pore diameters.
- > Optimizing coagulation

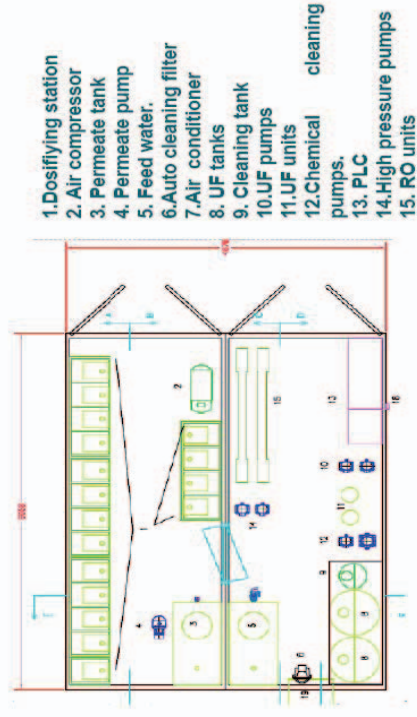
Pilot Plant Situation

CETAQUA
WATER TECHNOLOGY CENTER

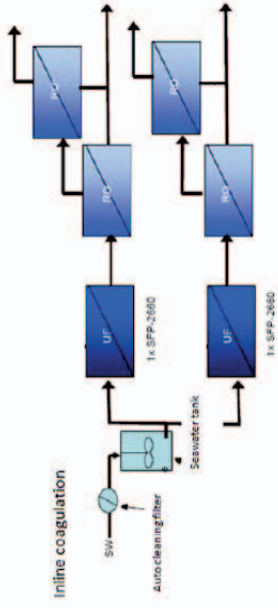


Pilot Plant Distribution

CETAQUA
WATER TECHNOLOGY CENTER



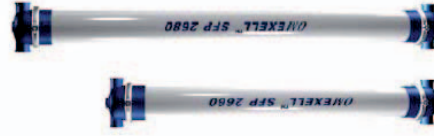
- The same sea water for two lines (open intake from 1 km of the coast)
- Two parallel lines with UF + RO, with 3,5 m³/h of feed water capacity.
- Double stage of RO
- Flexible operation: We can operate with only UF, or with one line UF+RO, in recirculation.



UF features

Module data & Operating Information

Configuration	Hollow Fiber (Outside-In Pressurized)		
Membrane Material	H-PP/DF		
Housing Material	UPVC		
Nominal Pore Diameter	0.03 µm		
Element Type	Active Area m ² (ft ²)	Weight (Water Filled) kg (lb)	Outside Element Dimensions D-L (mm)
SFP 2660	33 (355)	41 (90)	165 x 1860
SFP 2680	44 (474)	53 (117)	165 x 2360
SFP 2690	52 (560)	63 (139)	225 x 1860
Maximum Feed Pressure	≤ 6.0 bar (87 psi)		
Typical Permeate Turbidity (NTU)	≤ 0.2 NTU		
Typical Permeate SDI (15 min)	≤ 3.0		
Typical Permeate TOC (% of Feed)	~20% to ~60%		



Pilot Plant



UF features

- OMEXELL™ UF Basic Operating Conditions

Flow Configuration	Feed End
Maximum Feed Pressure	6.0 bar (87 psi)
Maximum Transmembrane Pressure	2.1 bar (30 psi)
Flow Range	40 to 120 l/m ² ·h @ 25 °C (depending on Feed Water quality)
Maximum Feed Turbidity	500 NTU
Maximum Feed Suspended Solids (SS)	500 µm
Maximum Particle Size	500 µm
Maximum Temperature	40 °C (104 °F)
DI Range	2 to 41

- Operating flux 60 L/mh
- Permeabilities observed 100-120 L/m²·h
- Three cleaning levels:
Backwash: 30 min.
CEB: 12-48 h
CIP: manual cleaning

UF pretreatment for RO:

• Short Term Operation advantages: UF is a better of water pollutants removing pathogens including viruses, silt, colloids and medium to higher molecular weight organics.

• Long Term Operation advantages: UF maintains its flow as filtered particles stay more on the feed surface of the membrane and are cleaned away versus becoming lodged in the membrane structure.

- Externally Pressurized Outside – In Flow



RO features

Cetaqua
WATER TECHNOLOGY CENTER



Double stage configuration (RO->brine->RO)
4" element type

•First line: with conventional configuration. Commercial FILMTEC SW30-4040 membranes.

•Second line: hybrid configuration. New membranes with different properties. (high reject, high recovery)

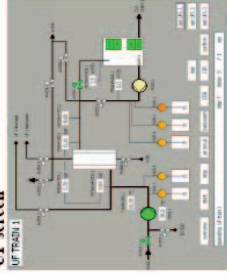


Conventional configuration



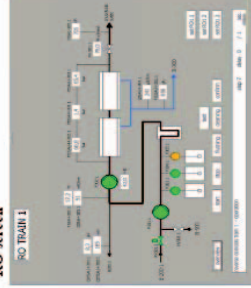
Hybrid
Different membrane arrangement

UF screen



UF reagent dosing
Operation
NaOCl, FeCl ₃
Cleaning
HCl, NaOH, NaOCl

RO screen



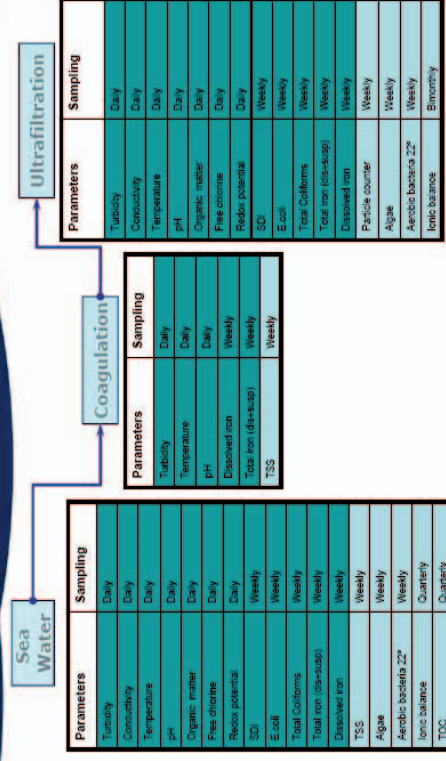
RO reagent dosing
Operation
NaHSO ₃ , HCl
Antiscalant (Permeatreat)
Cleaning
HCl, NaOH

Chemical dosages

Cetaqua
WATER TECHNOLOGY CENTER

Analytical Plan

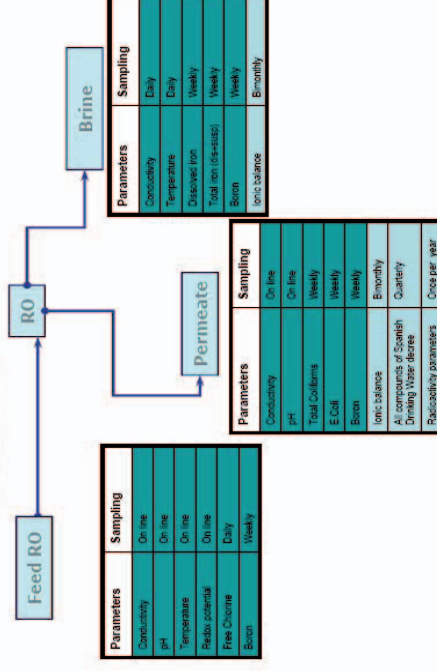
Cetaqua
WATER TECHNOLOGY CENTER



- parameters determined in the pilot plant
- samples sent to laboratory

Analytical Plan

Cetaqua
WATER TECHNOLOGY CENTER



- parameters determined in the pilot plant
- samples sent to laboratory

Specific Objectives

Increase knowledge about UF+RO:

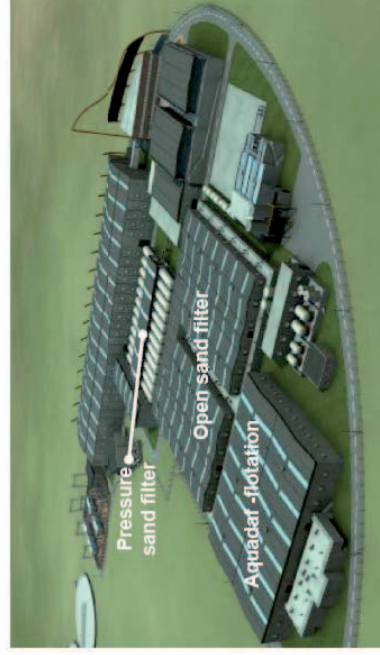
- Space required of UF performance vs. conventional pretreatment.
- Maintenance required of UF vs. other pretreatments.
- Compare energy required of UF vs. other pretreatments.
- Compare chemical consumption of UF+RO performance vs. conventional.

Operation UF+RO :

- Operational settings affects UF water quality.
- Hybrid configuration influence RO recovery.
- Energy evaluation.

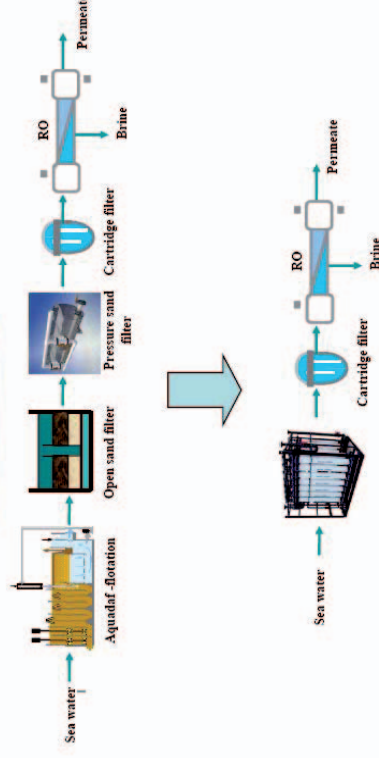
Compare the conventional treatment of the future Desalination Plant of Barcelona vs. a desalination treatment line with UF+RO

Benefit of UF+RO performance (space)



Save 27.000 m² aprox.

Benefit of UF+RO performance (space)



Pilot Plant Operation

Start Up: March 2009

End date: March 2011 (aprox.)



Operation strategy:

- Begin with low UF+RO requirements; low transmembrane pressure, low reagent dosing, with low cleaning frequency.
- Gradually increase requirements.
- And Quantify:
 - Energy consumption.
 - Recovery.
 - Operational costs.

Preliminary Conclusions

Operation with :

- Low dosages.
- Low transmembrane pressure.
- Good SDI values after the UF. Independent of sea water quality.
- Low cleaning frequency.
- Achieve high recovery (average 48 %)

Future tasks:

- Increase operation setting
- Check our theoretical approaches with operation data.
- Optimize operational settings of UF+RO to find the optimal ratio cost/permeate.

Thanks for your attention

prubio@agbar.es
www.cetaqua.com

MULTIPLE-EFFECT DRYING & CONDENSATION (MEDC): AN INNOVATIVE AND EFFICIENT DESALINATION TECHNOLOGY

Auteurs: VIANNAY Stéphane, DOMEN Jean-Paul, GOURDON Antoine*

(*) Adresse : 9, rue de Téhéran, 75008 Paris, France

E mail : antoine.gourdon@3mw.fr

Résumé

Les technologies de dessalement par distillation ont développé divers moyens pour prévenir la formation de tartre (scaling) résultant de l'ébullition de l'eau de mer.

Le principe de base consiste généralement à diminuer la température d'ébullition par génération d'un vide partiel. Cette solution a pour conséquence l'obligation de mettre en oeuvre des matériaux métalliques rigides et qui doivent résister à la corrosion.

La technologie de "multiple-effect drying & condensation" (MEDC) met en oeuvre une évaporation à pression atmosphérique et à basse température, sans ébullition et en-dehors des domaines de cristallisation des sels de calcium et de sulfates.

Ce principe de fonctionnement permet de n'utiliser que des matériaux plastiques, insensibles à la corrosion.

MEDC appartient à la famille des technologies dites d'humidification/déshumidification qui restaient pour l'instant limitées à des performances moyennes.

Les améliorations techniques apportées ont permis de multiplier les performances tant en ce qui concerne la production volumique de l'appareil qu'en ce qui concerne le COP (5 à 10, soit l'équivalent en consommation d'énergie thermique basse température (inférieure à 90°C) de 100 à 200 kg de vapeur par mètre cube distillé) permettant de viser un prix de revient du mètre cube produit inférieur au dollar.

Cette technologie offre aussi l'avantage d'un fonctionnement gravitaire avec un facteur de conversion élevé permettant la formation d'environ 50% d'eau douce à partir du volume d'eau de mer traité.

En outre la consommation électrique est très réduite : moins de 0.2 kWh/m³

La machine est entièrement modulaire ce qui permet de couvrir des besoins allant de moins de un mètre cube par jour à plusieurs centaines, permettant d'approvisionner aussi bien les particuliers que les hôtels, les plateformes de forage ou les petites bourgades jusqu'à 10 000 habitants).

I. INTRODUCTION

La distillation est une technologie mise en oeuvre depuis l'antiquité pour produire de l'eau potable par dessalement d'eau de mer.

Son industrialisation s'accompagne de dispositifs destinés à réduire le risque de cristallisation des carbonates et sulfates de calcium, en particulier par réduction de la pression d'ébullition.

Une telle stratégie nécessite la mise en oeuvre de matériaux rigides capable de supporter la différence de pression entre intérieur et extérieur de la machine. les métaux sont sujets à corrosion par action de l'eau saline chaude et de la vapeur d'eau. Seuls des alliages spéciaux et coûteux permettent de satisfaire à ces deux contraintes.

Toutefois le cycle naturel de l'eau fonctionne différemment et ce depuis près de 4 milliards d'années par diffusion de la vapeur d'eau dans l'air.

Telle fut notre conviction de l'origine de notre projet de reproduire le cycle naturel de l'eau à pression atmosphérique afin d'éviter l'emploi de métaux.

Nous présenterons les bases thermiques de notre technologie, décrirons rapidement le principe technique mis en œuvre et les résultats expérimentaux.

Nous discuterons les applications de cette technologie en particulier pour les petites communautés et les plus grandes installations.

II. DESCRIPTION DE LA TECHNOLOGIE

2.1 principes généraux

L'idée principale de la technologie est d'évaporer l'eau en-dessous du point d'ébullition par diffusion de l'eau dans l'air jusqu'à saturation, puis de condenser la vapeur sur la face opposée de l'échangeur à plaque mince mis en œuvre pour l'évaporation. Ceci permet de réutiliser directement la chaleur de condensation pour entretenir l'évaporation.

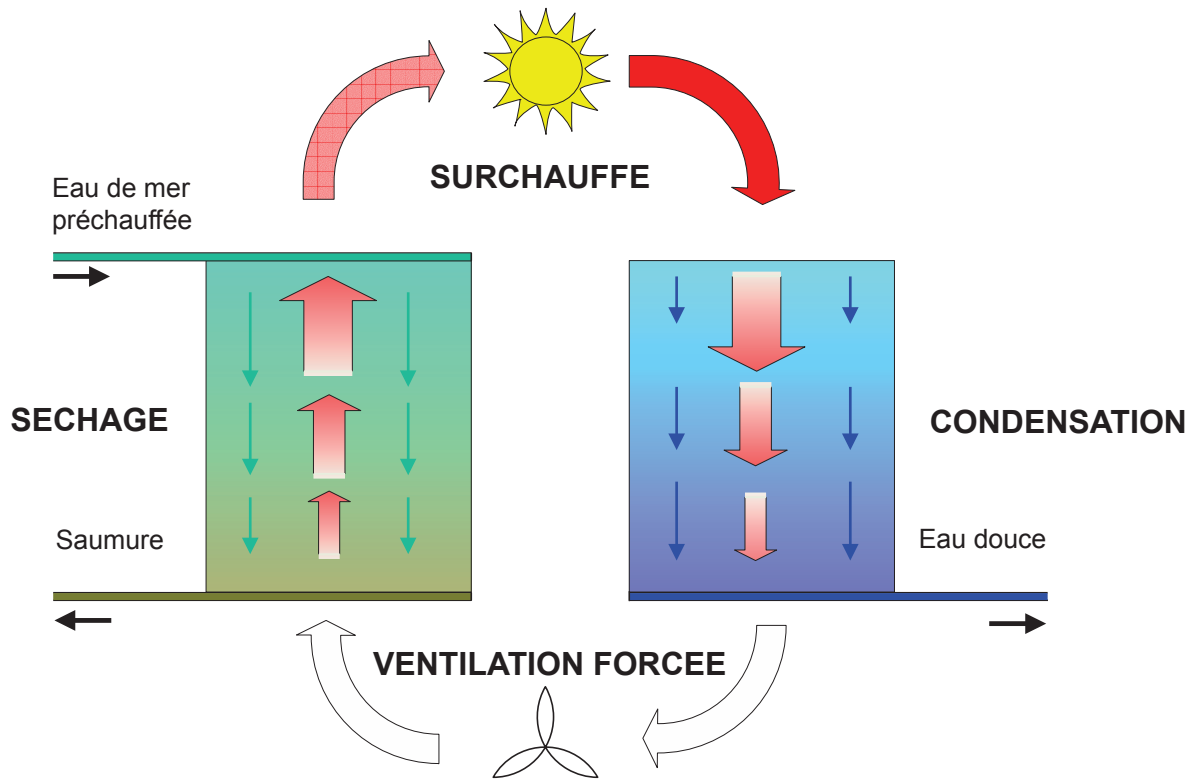
Les principes technologiques qui ont guidé la démarche d'innovation et de développement furent les suivants :

1. Pas de recirculation d'eau (procédé en une passe)
2. Des matériaux plastiques uniquement

Ces principes ont conduit aux dispositifs suivants :

1. Écoulement gravitaire de l'eau le long d'une surface mouillante qui recouvre un échangeur à plaque mince,
2. Convection forcée de l'air dans l'ensemble de l'équipement
3. Surchauffe de l'air saturé généré par le procédé d'évaporation

Ce principe a donné son nom à la technologie la surface de mouillage étant en situation de « séchage » latent.

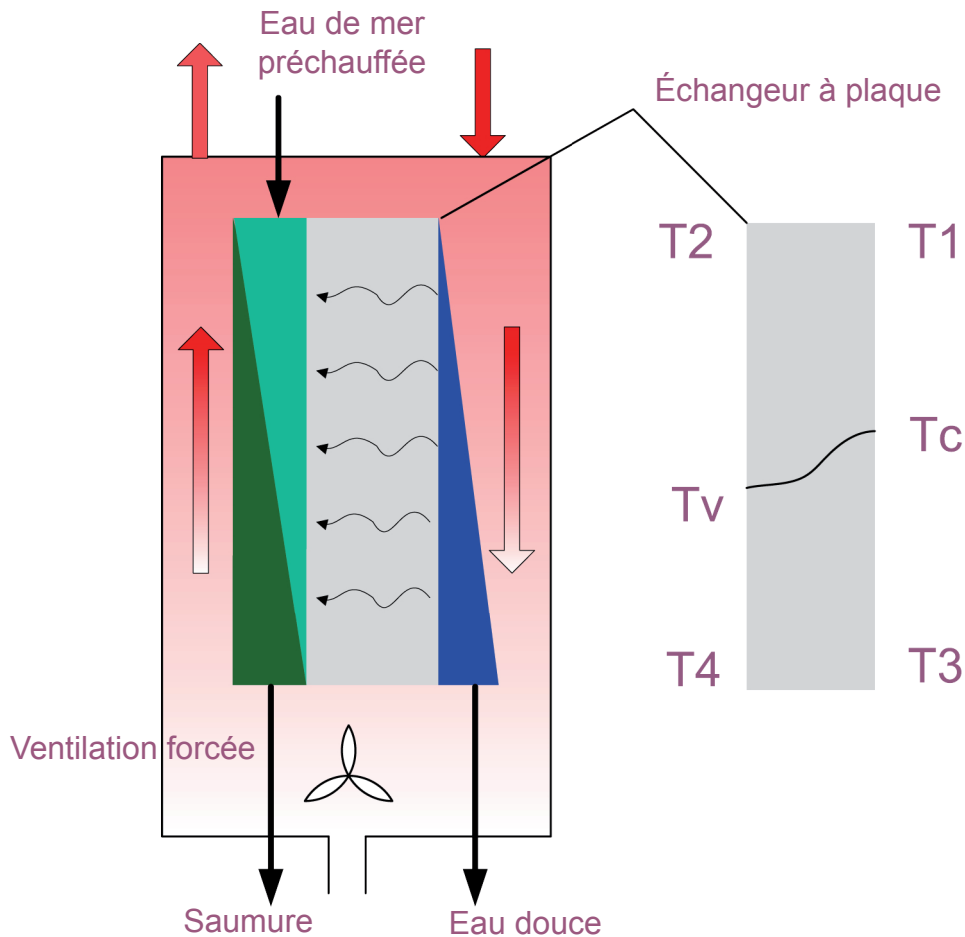


2.2 description

L'eau saline s'écoule par gravité sur une surface de mouillage qui recouvre un échangeur à plaque mince. Le film d'eau est léché par un flux d'air ascendant. L'eau s'évapore et diffuse dans le flux d'air jusqu'à saturation.

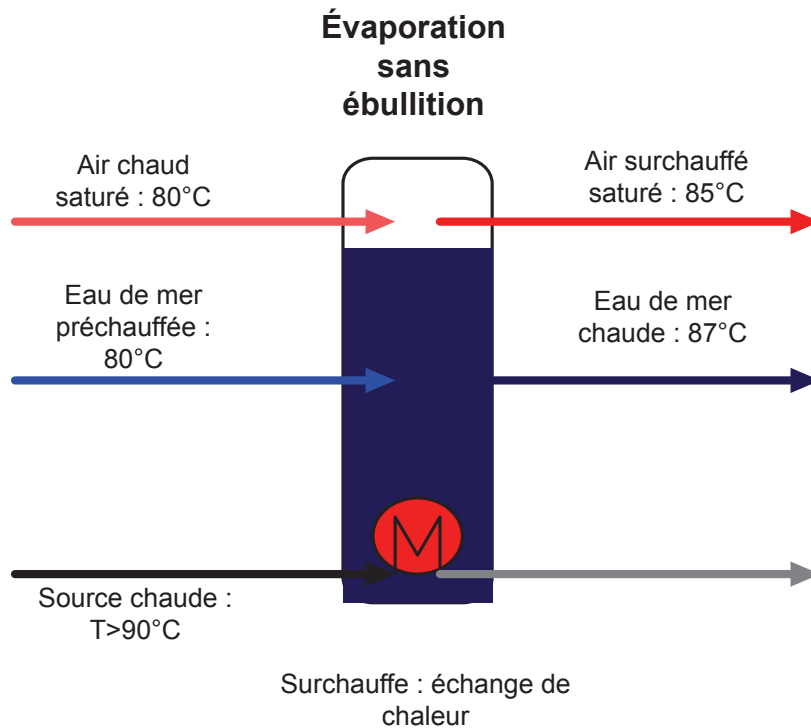
Après surchauffe de l'air saturé, maintenu saturé, l'eau se condense sur la surface opposé de l'échangeur, générant un flux descendant d'eau douce.

Les flux de saumure et d'eau douce sont collectés séparément en bas de l'échangeur.



La condensation est provoquée par la différence de température entre les chambres d'évaporation et de condensation, séparées par un même échangeur à plaque mince. C'est la surchauffe qui entretient cette différence de température.

En se condensant l'eau restitue la chaleur latente d'évaporation qui entretient le phénomène d'évaporation. Une source chaude est nécessaire pour assurer la surchauffe de l'air saturé. Cette source chaude peut provenir d'un capteur solaire, d'une source géothermale, d'un réseau de vapeur basse pression ou d'eau chaude, d'un dispositif de refroidissement d'un moteur,... à condition de fournir une température au moins égale à 85°C.



III. RESULTATS

De nombreux points de conception ont été testés pendant une période de deux années en s'appuyant sur 4 prototypes successifs et de nombreux matériaux et dispositifs de tests.

Les résultats suivants représentent l'état de la technologie en cours d'industrialisation.

La surface de l'échangeur de chaleur varie entre 1 et 100 m².

La production d'eau est stable en débit et en qualité avec un rendement de 20 l/j/m² avec un flux de chaleur de 4 kg équivalent de vapeur/jour/m², représentant un coefficient de performance de 5.

La consommation d'électricité reste très réduite à environ 0.2 kWh/m³.

IV. DISCUSSION

La technologie MEDC apporte une contribution majeure à l'activité de dessalement. Son mode opératoire est très simplifiée et fiable, avec un équipement mobile (le ventilateur) et aucune régulation. L'équipement est très robuste, entièrement conçu en matières plastiques, insensibles à la corrosion.

La consommation énergétique est minimale avec en particulier 20 fois moins d'électricité que toutes les technologies sur le marché.

MEDC est très bien adaptée au marché des petites installations, tout particulièrement en situation d'autonomie.

Une première série industrielle est en cours de réalisation pur permettre des opérations pilotes de démonstration et de référence dès la fin 2009.

Les essais de longue durée en cours permettront de répondre aux questions sur la durée de vie et l'entretien long terme.

STUDY OF A BRACKISH WATER GREENHOUSE DESALINATION UNIT POWERED BY GEOTHERMAL ENERGY: A CASE STUDY FROM ALGERIA

Hacene MAHMOUDI and Abdellah OUAGUED

*Laboratory of Water and Environment, Hassiba Ben Bouali University, Chlef,
P.O. Box 151, Algeria. Tel. +213 777 170833, Fax : +213 27 721794,
E mail: usto98@yahoo.fr*

Abstract

Potential of coupling between geothermal energy and brackish water greenhouse in Algeria have been investigated. This source of energy have been identified throughout the country, and it's suitability for coupling with humidification deshumidification desalting technology has been investigated.

I. INTRODUCTION

Desalination has become the main source of fresh water in many parts of the world, especially in the Middle East North Africa (MENA) region. The desalination technologies most widely used are thermal and reverse osmosis. Recently, technologies based on air humidification dehumidification in a greenhouse have been proposed and investigated[1,2]. Seawater greenhouse (SWG) desalination is one example. Seawater is used to cool the greenhouse creating the proper climate to grow valuable crops and at the same time the fresh water produced in this system may be sufficient for the irrigation of crops grown inside the unit. The integration of renewable resources such as solar, wind and geothermal energy is becoming increasingly attractive. This is being used widely for substitution of oil-produced energy and will help to minimize atmospheric degradation.

A shortage of fresh water is a very important problem that is continuously increasing, due to population growth and changes in weather conditions, and affects many countries in the world. These countries could have abundant sea/brackish water resources and good geothermal conditions, which could be used to produce fresh water from sea/brackish water. In Algeria arid and semi arid lands represents more than 85% of the total surface area. In these arid regions fresh water is very scarce and inhabitants leave to the coast where lands are more fertile and fresh water is more available. The establishment of a human habitat in these arid areas affected by dryness strongly depends on how such water can be made available. Fortunately, these regions have important resources of underground brackish water and often geothermal potential (temperature between 40°C and 90°C). Brackish water Greenhouse desalination unit is one of the most promising techniques, due to the coincidence that in many parts of the world suffering of fresh water scarcity, brackish water are available and geothermal potential is important. The main advantages of using geothermal energy to power Brackish water Greenhouse Desalination Unit are first that the thermal storage is unnecessary in such systems. Secondly, the energy output of these resources is generally invariant with less intermittence problems (compared to other renewable resources such as solar and wind energy). The aim of our paper is to propose a new Brackish Water Greenhouse Desalination Unit powered by geothermal energy projected to the development of the highlands region in Algeria. This renewable resource can both be used to heat the greenhouses and to provide fresh water needed for irrigation of the crops cultivated inside the Greenhouses.

II. GEOTHERMAL RESOURCES IN THE CASE STUDY REGION

Algeria is an oil and gas producer; hence decision makers believed that encouraging using renewable energies can help to conserve the country's oil resources [2,3]. The case study country is also Africa's second-largest nation and the eleventh in the world in terms of land area. It is bordered in the north by 1200 km of Mediterranean coastline. Among the major challenges facing the region in the incoming 10-years are water and energy resources as well as risk management of the environment [2,3]. We can speculate that due to the interdependence of the world's economies and decreasing oil and gas reserves, decision makers will need to review their policies regarding the promotion of renewable energies.

Geothermal energy represents one of the most significant sources of renewable energies. In the case study area two major structural units divided by the South Atlas Fault (Figure 1); with Alpine Algeria (or Northern Algeria) in the north and the Saharan Platform in the south. The northern region is formed by the Tellian Atlas, the High Plains and the Saharian Atlas (Figure 2). This part is characterized by an irregular distribution of its geothermal reservoirs. The Tellian nappes, constitute the main geothermal reservoirs. Hot ground water is generally at neutral pH, total dissolved salts (TDS) range from 0.4 g/l to 10 g/l and can reach a temperature in the range of 22°C to 98°C [4].

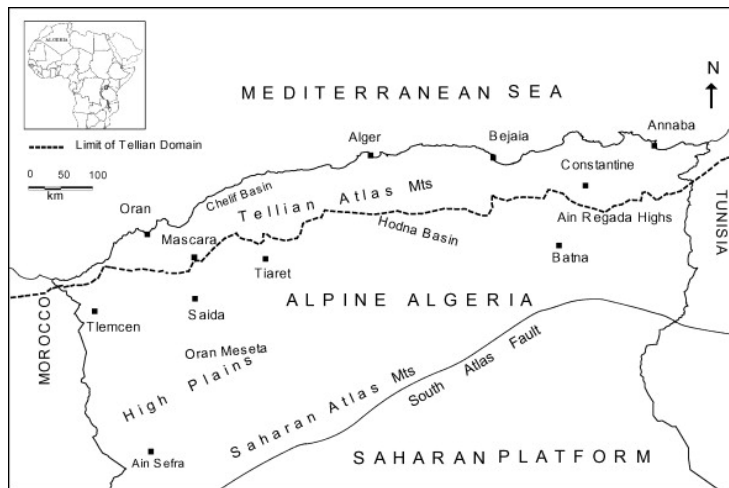


Fig. 1. Geological units of Northern Algeria [5]

The southern region formed by the northern Sahara is characterized by a geothermal aquifer which is commonly named 'Albian reservoir' (Figure 3). The basin extends to Libya and Tunisia in the east and covers a total land surface of 1 million km². This part of Algeria is estimated at 700 000 km² and contains approximately 40 trillion m³ of brackish groundwater. The depth of the reservoir varies between 200 m in the west to more than 1000 m in the east. Deeper wells can provide water at 50 to 60 °C temperature, 100 to 400 L/s flow rate and average TDS (total dissolved solids) of 2g/L [4].

In 1988, an ambitious program was established by the government [4] with the aim to expand the utilization of geothermal heated greenhouses in regions affected by frost (i.e. highlands and some localities in the south) and other sites, such as Hammam Meskhoutine (east Algeria), Touggourt and Ghardaia (southern region). Unfortunately, this program was cancelled due to security concerns. In the last decade, effort has been directed to exploit the numerous thermal springs of the north and the hot water wells of the Saharian reservoir. More than 900 MWt is expected to be produced in the future [4].

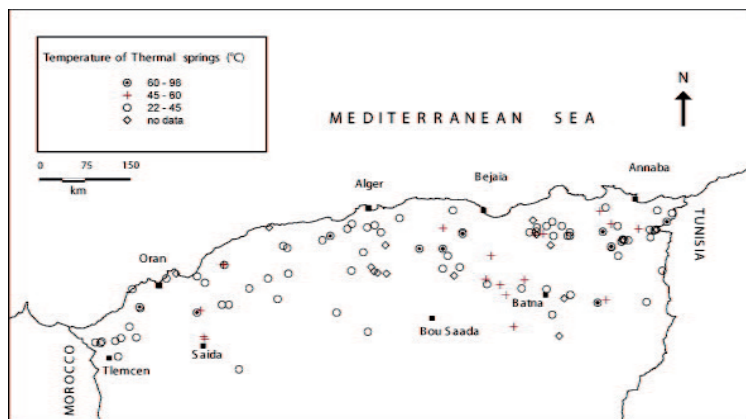


Fig. 2. Main thermal springs in northern Algeria [5]

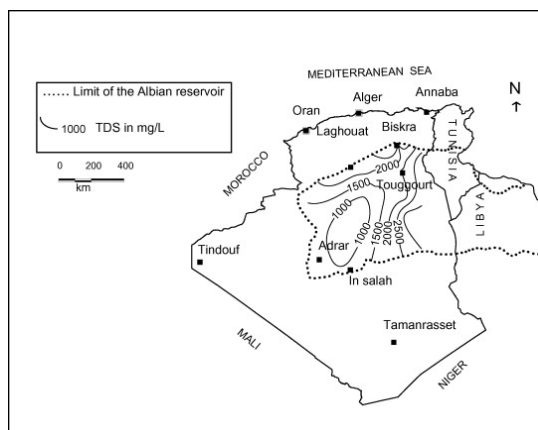


Fig. 3. Distribution of total dissolved solid concentrations (TDS) in well waters from the Albian reservoir (in mg/L) in Southern Algeria [5]

III. SEAWATER GREENHOUSE TECHNOLOGY

The sea/brackish water greenhouse desalination process is a new development that offers sustainable solution to the problem of providing water for agriculture in arid regions where brackish and/or seawater are available. The original process uses seawater to cool and humidify the air that ventilates the greenhouse. Fresh water is condensed out of the humid air. This enables the year round cultivation of high value crops that would otherwise be difficult or impossible to grow in hot, arid regions.

The innovative idea of the seawater greenhouse was developed by Paton and Davies [6]. The first pilot was built and tested in the Canary Island of Tenerife in 1992. Once known as the ‘Garden of the Gods’, but now the island is arid and gravely damaged by excessive abstraction of ground water [6]. The early results were promising and demonstrated the possibility to develop the technology in other arid regions. A modified and improved seawater greenhouse was constructed on Al-Aryam Island of Abu Dhabi in the United Arab Emirates in 2000 [6]. For both pilot studies the production of crops was excellent, and fresh water was successfully produced for the greenhouse irrigation proposes. In 2004 a new pilot seawater greenhouse was built near Muscat in Oman [1]. The aim of the project was to demonstrate the technology to local farmers and organizations in the Arabian Gulf.

IV. APPLICATION OF GEOTHERMAL SOURCES TO POWER BRACKISH WATER GREENHOUSE DESALINATION IN COLD REGIONS

The brackish water greenhouse desalination units are well suited for relatively cold regions affected by dryness but rich in geothermal brackish ground water [7] (Figure. 4). Geothermal energy is needed to heat the brackish water and to warm the greenhouse by means of the hot vapour leaving the first evaporator. It is important to note that if the greenhouse was to be built in arid and hot areas, geothermal energy would not be required. Instead, the traditional brackish water greenhouse described previously should be employed [1, 7]. In this case the first evaporator acts to cool and humidify the air in the greenhouse.

In the current study, brackish water is pumped and filtered from a well and send into a ground heat exchanger (i.e. geothermal) to increase its temperature to an acceptable level. Generally these ground heat exchangers are made of a high-density polyethylene which is a tough plastic. This material is very durable, permits good heat exchange and is warranted for 50 years. Copper piping can also be used but this is more expensive than plastic [7]. Hot brackish water is fed in a cascade to the first evaporator then to the second evaporator. The brine water issued from the second evaporator is canalized to the brine tank. The brine can be circulated in the circuit several times until its concentration increases over an acceptable dissolved salt concentration. The concentrated brine is finally collected in a tank, where it is stored for later treatment or processing.

The evaporator is the entire front wall of the greenhouse structure. It consists of a cardboard honeycomb lattice and faces the prevailing wind [1]. Hot brackish water trickles down over this lattice, heating and humidifying the ambient cold air passing through into the planting area and contributing to the heating of the greenhouse. Fans draw the air through the greenhouse. Air passes through a second evaporator and is further humidified to saturation point. Air leaving the evaporator is nearly saturated and passes over the passive cooling system with a condenser (IC) immersed in a water basin. The fresh water condensing from the humid air is piped to storage for irrigation.

One advantage of using geothermal energy to power brackish water greenhouse desalination unit is that this natural resource can provide power 24 hours a day. The renewable resource is generally invariant with less intermittence problems than for example wind or solar energy. The use of geothermal energy makes the proposed greenhouse design unique by allowing for warm water to trickle down the evaporators, this increasing the rate of evaporation and thus the vapor content of the air inside the greenhouse. This should improve fresh water production and thus thermodynamic and economic efficiency.

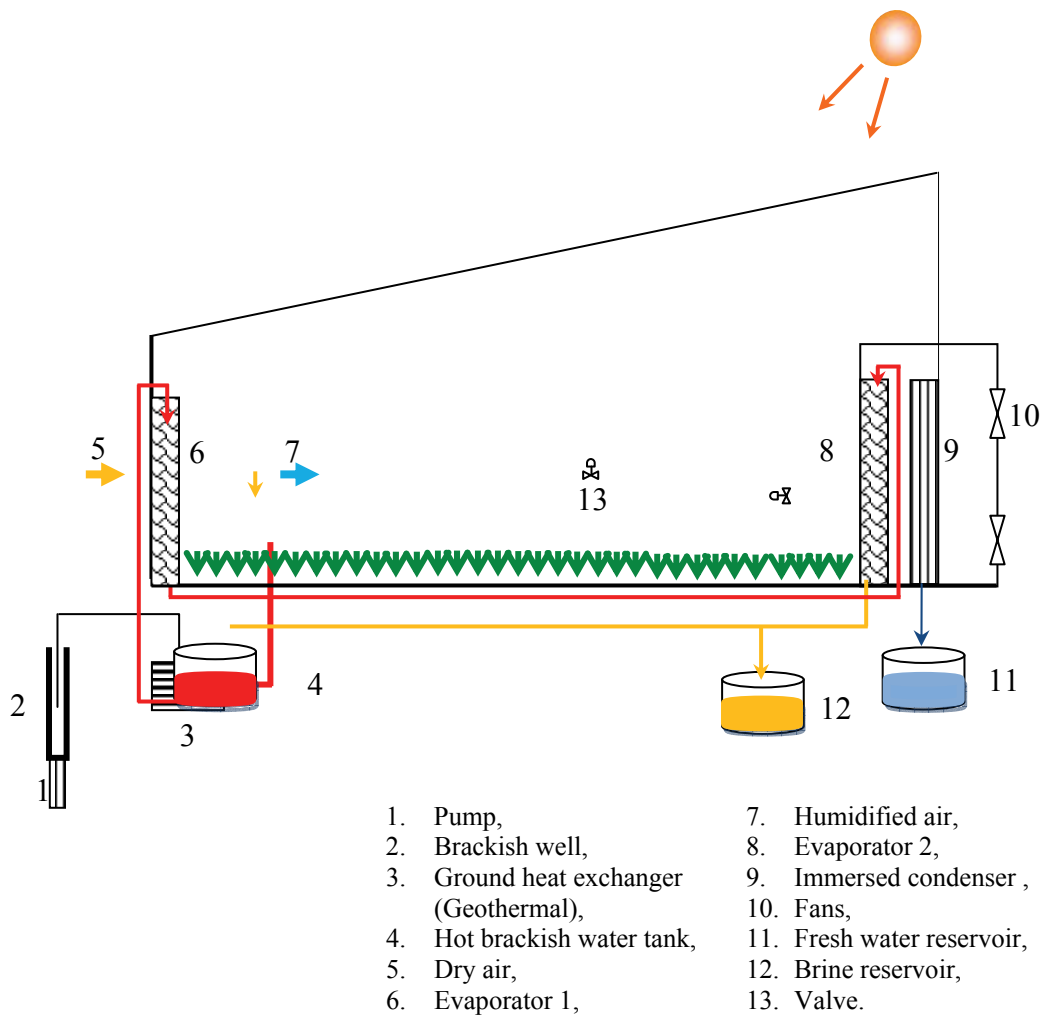


Fig.4. Process schematic

V. CONCLUDING REMARKS

In closing, this analysis has shown that there is great potential for the use of geothermal energy in many parts of the case study region. Geothermal sources could provide a viable source of energy to power the brackish water greenhouse desalination units which can help in the development of the area. Finally, it must be noted that part of the solution to the world's water shortage is not only to produce more water, but also to use less of it. The need for integrated solutions to the scarce fresh water resources problem is one of the challenges facing mankind.

REFERENCES

- [1] Mahmoudi H, Abdul-Wahab SA, Goosen MFA, Sablani SS, Perret J, Ouagued A. Weather data and analysis of hybrid photovoltaic–wind power generation systems adapted to a seawater greenhouse desalination unit designed for arid coastal countries. *Desalination* 2008; 222:119–27.
- [2] Mahmoudi H, Ouagued A, Ghaffour N. Capacity building strategies and policy for desalination using renewable energies in Algeria. *Renew Sustain Energy Rev* 2009 ;13: 921–926
- [3] Laboy,E., Schaffner,F., Abdelhadi, A., & Goosen, M.F.A. (Eds), 2009. “Environmental Management, Sustainable Development & Human Health” Taylor & Frances (Balkema NDL) London. 35 Chapt, 594 pp ISBN: 978-0-415-46963-0
- [4] Fekraoui A, Kedaïd F. Geothermal Resources and Uses in Algeria: A Country Update Report. *Proceedings World Geothermal Congress 2005 Antalya, Turkey, 24-29 April 2005*.
- [5] Kedaïd FZ. Database on the geothermal resources of Algeria. [Geothermics](#) 2007: 265-275
- [6] Davies P.A, Paton C. The seawater greenhouse in the United Arab Emirates: Thermal modelling and evaluation of design options. *Desalination* 2005; 173: 103-111.
- [7] Mahmoudi H, Spahis N, Goosen MFA, Sablani S, Abdul-wahab S, Ghaffour N, Drouiche N. Assessment of wind energy to power solar brackish water greenhouse desalination units: A case study from Algeria. *Renew Sustain Energy Rev* (2009), doi:10.1016/j.rser.2009.03.001

WASTEWATER TREATMENT IN SMALL SETTLEMENTS: SELECTION, DIMENSIONING AND COSTS

Isabel MARTÍN*, Juan José SALAS*, Carlos ARAGÓN*, Álvaro REAL*, Enrique ORTEGA** and Yasmina FERRER**

* Foundation Center for New Water Technologies (CENTA). Avda. Américo Vespucio, 5-A, 2ª Planta,-Módulo 9-10, 41092 -Seville-Spain. imartin@centa.es Fax: 00 34 95 4755295

** Center of Hydrographic Studies (CEDEX). Paseo Bajo de la Virgen del Puerto. 3- 28005-Madrid-Spain. : enrique.ortega@cedex.es Fax: 00 34 91 3357922

Abstract.

The urban wastewater depuration is an accepted process by the society of XXI century in many countries, due to the waste spill is an important pollution source both in superficial and underground waters. Within the European context, the Urban Wastewater Directive 91/271/EC provides that all settlements with more than 2,000 population equivalent should have wastewater treatments, while the rest, where are included the small communities (less than 2,000 population equivalent), should have systems for the collection and “adequate treatment” of wastewater. Although there has been considerable improvement in the treatment of urban wastewater since the implementation of the mentioned Directive, the reality remains that in the new Europe, there are numerous settlements, mainly small and dispersed communities, still do not have systems for the treatment of their sewage and, where such systems are in place, a large percentage of treatment plants work poorly or not all.

Until now, and more often than we would desire, treatment plants for wastewaters generated by small urban settlements have been conceived and designed as mere scaled-down versions of larger conventional treatment plants. The direct consequence of this *modus operandi* is that the responsible bodies, which usually have limited access to technical and financial resources, find it difficult to absorb the operating and maintenance costs of such plants. When it comes to sewage treatment, small settlements require actions that will make it possible to achieve the legislative standards for treated effluents with simple technologies and with affordable operating and maintenance costs. Both adequate selection and dimensioning criteria, so that the analysis of costs are essential requirements in order the wastewater plants works in a correct way.

In this document will be showed a general vision about the special characteristic of the wastewaters in small settlements, the existing situation in some European Community countries, as well as the selection criteria and some aspects related with dimensioning and costs of common technologies implanted usually in these agglomerations. Finally will be presented the guideline that CEDEX and CENTA are preparing for the design and operation of wastewater treatment plants, including criteria for the selection's process.

I – INTRODUCTION

The access to drinking water, proper sanitation and treatment of urban wastewater provide the backbone of development in a country. In this context, there is an important imbalance between developed and developing countries and the problem is more or less solved in large and medium cities-areas with adequate social, economic and technological development, in contrast to rural and scattered areas, and marginal zones of large cities in underprivileged countries, where population is most affected.

At present, it is in these small settlements where we find the greatest shortcomings in sewage treatment and a great effort will be required in the near future too rectify the deficient sanitation and sewage treatment systems of rural and dispersed settlements, in compliance with the applicable legislation.

Until now, and more often than we would desire, treatment plants for wastewaters generated by small urban settlements have been conceived and designed as mere escale-down versions of larger conventional treatment plants. The direct consequence of this *modus operandi* is that the responsible bodies, which usually have limited access to technical and financial resources, find it difficult to absorb the operating and maintenance costs of such plants (Martin *et al.*, 2007).

When it comes to sewage treatment, small settlements require actions that will make possible to achieve the legislative standards for treated effluents with simple technologies and with affordable operating and maintenance costs.

In this context, where the main economic and technical limitations occur, it is necessary to have solid and adjusted solutions that guarantee the elimination and adequate treatment of wastewater with minimum implementation costs and affordable service costs for the benefited population. The non conventional or extensive treatment technologies are a solution to this problem, given their resemblance with natural treatment process and the fact that their simplicity regarding their management and exploitation considerably reduce infrastructure and service costs.

II– PROBLEMATIC ASSOCIATED TO SMALL SETTLEMENTS

There are no homogeneity about the concept of small settlement. For example, the EU considers as urban agglomerations those with less than 2,000 inhabitant equivalent (i.e.), with sewer system, but no individual housing. The International Water Association (IWA), considers agglomerations with less than 4,000 i.e. In some countries as Spain, there are regions where the limit is less than 1,000 i.e.

In this kind of settlements there are some problems associated to depuration as :

- ❖ High communities dispersion, with a complexity in infrastructure management
- ❖ Characteristics of wastewater in small populations:
 - ✓ High flow fluctuations during the day, those must be taken into account in the dimensioning and design.

- ✓ Wastewater pollution degree, where there are areas highly concentrated, with a lower shortage on water supply and others highly diluted, as those with higher water table with disrepair sewerage systems.
- ❖ In small settlements the effect of economy of scale is less favorable than in the biggest areas, and there is a shortage of economic resources.
- ❖ There is not legislative definition. The 91/271/EC Directive considers that agglomerations with less than 2,000 i.e. require "suitable treatment" to be understood according to quality objects of destination water systems (Frame water Directive:2000/60/EC), so that others related with wastewater discharge (Bathing Waters, Drinking Water, Shellfish Water, Suitable for fish life) and other aspects as the reuse of treated wastewaters, the future landscapes associated as the reuse of treated wastewaters, the future landscapes associated to the climatic change, etc...
- ❖ In the Commission's reports there are not official data about the wastewater treatment in small settlements. Can be mentioned that there is a high heterogeneity in the EU territory, where some countries as Spain, presents more that 90% population connected to urban sewerage. In others as Finland, France, Sweden or Austria the population connected to urban sewerage is between 80-86%. If are considered the ten Central and Eastern European states lately absorbed into the EU, 27 million of inhabitants are in communities of less than 2,000 i.e. With the exceptions of Bulgaria and Rumania, 50-75% of populations are connected to public sewerage systems and treatment plants. (McCann, 2009).
- ❖ Some EU countries have taken specific regulations for wastewater treatment in small settlements: Poland, United Kingdom, Austria, Finland, Denmark or France, but the limits established for settlements with less than 2,000 i.e. are less restrictive than those established for bigger communities. In Spain, the Spanish National Plan about Water Quality: Sanitation and wastewater treatment (2007-2015) is addressed to wastewater treatment in small agglomerations.

In Figures 1 and 2 are shown the percentage of population connected to urban wastewater treatment plants (UWWTPs) and the kind of treatment, analyzing the data both by European regions and some countries (EEA_ETC/WTR, 2009).

Figure 1. Changes in wastewater treatment in regions of Europe between 1990 and 2005.

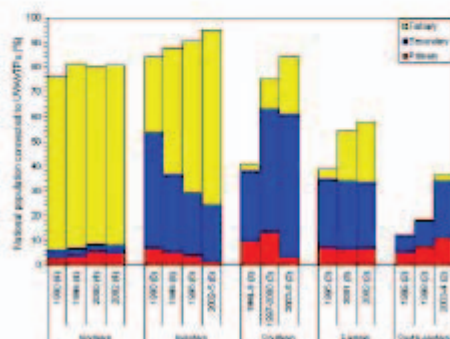
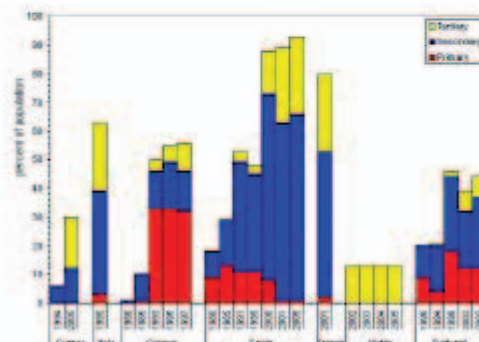


Figure 2. Changes in wastewater treatment in countries of Europe between 1980 and 2005 (Southern).



III– TECHNOLOGICAL SOLUTIONS

In the frame of wastewater treatment in small settlements, there are two main solutions : intensive and extensive technologies. The principal difference between this kind of technologies is related to energy consumption and requirement of surface. So, in the intensive technologies there are high energy consumption but low implementation surface. The extensive ones, present low or zero energy consumption but high implementation surface. In Table 1 are shown the principal technologies installed in Europe and Spain.

Table 1. Technologies installed in European and Spanish small settlements

EUROPE	
<i>On-site systems :</i> Septic tanks and Imhoff tanks Rotating Biological Contactor (RBC) Extended aeration Sequencing Batch Reactors	<i>Centralized options :</i> Extended aeration Trickling filters Lagooning Constructed wetlands
SPAIN	
Extended aeration Primary treatments (septic tanks and Imhoff tanks) Trickling filters/RBC Extensive systems : lagooning, peat filters and constructed wetlands Currently, many "sanitation and treatment" Spanish regional plans still promote intensive technologies, although extensive alternatives (mainly constructed wetlands) are promoted to agglomerations with less than 500 i.e. Some Spanish regions are implementing tools for the making-decision-process during the planning of sanitation as : Catalanian Water Agency, Galician Water Agency and Andalusian Water Agency.	

IV– CRITERIA SELECTION.

The criteria selection of WWTP must be related with some parameters as :

- Hydraulic environment : water quality objectives, dilution degree or quality of effluents.
- Agglomeration : size, seasonal changes, type and state of the urban sewers, wastewater characteristics.
- Environment : climatology, land characteristics, presence of aquifers, protected natural areas.
- Technologies : costs (building, operational and maintenance), efficiency and reliability.

V– DIMENSIONING.

The design of small WWTP requires the same attention than larger. For both intensive and extensive technologies initial data are necessary, as: characterization of the influent flow stream, study of flow rates, quality required for effluents and other aspects as stationary population, state of the sanitation, characteristics of the land, climatology, etc.

In the dimensioning of WWTP the essential elements to take into account are:

- Organic load
- Hydraulic load
- Retention time

There are other specific design parameters as:

- Surface/ equivalent inhabitant (wetland, lagoons)
- Flow velocity (pretreatment)
- Specific surface of the substrate (trickling filter)
- Ascension velocity (settlers)
- Sludge age (extended aeration)

VI- COSTS.

The economic factor is a very important criteria in the selection of WWTP. How lower is the population size, bigger is the treatment cost per habitant. In Figures 3 and 4 are presented some cases, where there are increases of costs in accordance with smaller is the population.

Figure 3. Implementation costs in septic tank technology

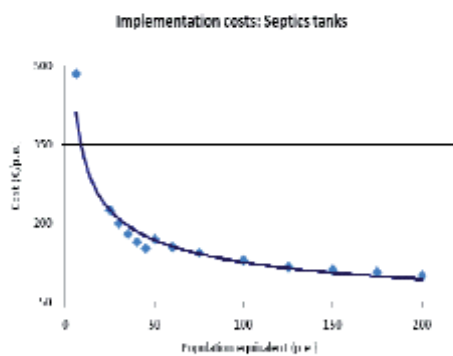
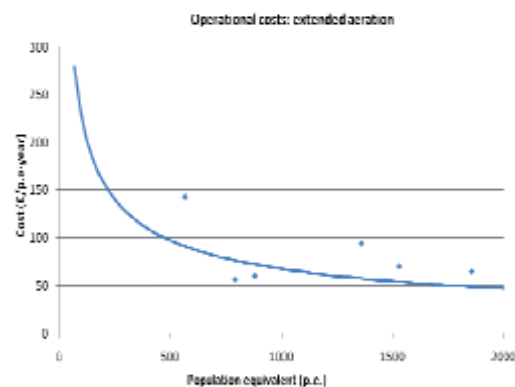


Figure 4. Operational costs in extended aeration technology.



Below certain number of inhabitants, the costs are assumed with difficulty by the population. In order to overcome this problem, in the selection of the wastewater treatment consider technologies with low implementation and maintenance costs could be a solution.

In order to reduce operational costs, more and more the technologies that not require higher operation energies, are been operating in combination with renewable energies.

VII– GUIDELINE FOR THE DESIGN AND OPERATION OF WWTP.

Currently, CEDEX and CENTA are preparing a guide for the design and operation of small WWTP, including criteria for the selection process.

In this guide, both intensive and extensive systems are included, also new technologies developed for wastewater treatment. For each technology are analyzed some parameters as:

- ✓ Theoretical considerations.
- ✓ Flow diagram.
- ✓ Characteristics of the treatment (efficiency).
- ✓ Advantages and disadvantages.
- ✓ Design and construction.
- ✓ Start-up.
- ✓ Operation and maintenance.

VIII– GENERAL CONCLUSIONS.

There is the need of a specific regulation for wastewater treatment and limits of discharge in small settlements.

Wastewater treatment in small settlements requires actions which will make possible to achieve the legislative standards for treated effluents with simple technologies and with affordable operating and maintenance costs.

The versatility and adaptability, integration into the environment and the reduced installation and maintenance costs of extensive technologies, make these (and combination between them) especially suitable for the wastewater treatment in small settlements, where the effectiveness of sewage treatment could be seriously jeopardized by technical and financial limitations.

To reduce operational costs these technologies can operate in combination with renewable energies.

IX– BIBLIOGRAPHY.

- Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy.
- EEA-ETC/WTR based on country data reported to OECD/EUROSTAT Joint Questionnaire. (2009).
- Martín, I., Betancort, J.R., Salas, J.J., Peñate, B., Pidre, J.R. and Sardón, N. (2007). Guide for urban wastewater treatment for small settlements. Ed.: ITC. Islas Canarias. Spain. ISBN: 84-690-3813-3
- McCann, B. 2009. The sanitation shortfall of Europe's small communities. Water 21. April 2009.
- National Plan of Water Quality: Sanitation and Wastewater Treatment (2007-2015). (2007). Spanish Environmental, Rural and Marine Environment Ministry
- Urban Waste-Water Treatment Directive (91/271/EEC). Council Directive of 21 May 1991.

FILTRES PLANTES DE ROSEAUX ET OPTIMISATION DE L'ENERGIE – EXEMPLE DE L'UTILISATION DU PHOTOVOLTAÏQUE.

Julie ESTADIEU et

Luc CANAVESE

EPUR NATURE : ZAC des Balarucs, 153 av du Maréchal Leclerc, 84510 CAUMONT/DURANCE.

E Mail : julie.estadieu@epurnature.fr

www.epurnature.fr

Résumé

Le traitement des eaux usées par filtres plantés de roseaux consiste à faire circuler les effluents au fil de bassins successifs. Ces bassins sont composés de minéraux et végétaux, dont l'association forme un milieu extrêmement favorable à l'activité épuratoire. Le procédé est adapté aux besoins de 5 à 4000 habitants. Dans 20% des cas, l'alimentation des bassins nécessite de l'électricité, faisant fonctionner des postes de relevage. Or, il y a des endroits où le réseau électrique n'est pas présent : nous allons donc aborder quelques cas concrets de l'utilisation du photovoltaïque : notamment un projet réalisé en Espagne (couplé à une éolienne), et l'autre proposé en France.

I - PRESENTATION D'EPUR NATURE

Epur nature en quelques chiffres :

1999 : date de création de l'entreprise

5 Eq. habitants à 4000 Eq. habitants : capacité de traitement des stations d'épuration domestiques ;

+ de 200 : nombre de stations d'épuration Epur Nature en service ;

30 : nombre de salarié ;

2 agences : pour tout le sud de la France

ISO 14001 : certification environnement obtenue en novembre 2008

Notre offre :

- [Phragmifiltre®](#) : 2 étages classiques de filtres plantés de roseaux ;
- [Bi-filtre planté®](#) : 2 étages superposés de filtres plantés de roseaux ;
- [Traitement des boues](#) issues de stations d'épuration classiques et des matières de vidanges ;
- [Fossé filtrant](#) : pour l'affinage du traitement ;
- [Zone de dissipation](#) : traitement de finition avant rejet ;
- [AutoEpure®](#) : filtres plantés de roseaux spécifiques à l'assainissement autonome.

Dans le cadre des marchés publics, nous avons pour vocation de répondre aux exigences des collectivités locales et des maîtres d'œuvre :

- en complément de l'étude du dossier d'appel d'offre, nous pouvons proposer des solutions variantes en réponse à des besoins spécifiques.
- nous assurons le suivi des dossiers, de la conception à la maintenance, en désignant l'interlocuteur privilégié qui répondra à toutes vos questions.

Nos compétences :

Pour satisfaire ces engagements, des moyens efficaces et expérimentés sont mis en œuvre :

- le bureau d'études réalise des plans d'exécution précis grâce à des logiciels spécialisés,
- les équipes de travaux encadrent les entreprises partenaires locales à qui nous confions une partie des travaux,
- le service Recherche & Développement étudie les solutions aux problèmes de demain,
- le service Qualité Sécurité Environnement nous engage dans la voie du développement durable grâce à notre politique environnementale,
- le service maintenance se déplace dans le cadre du service après vente.

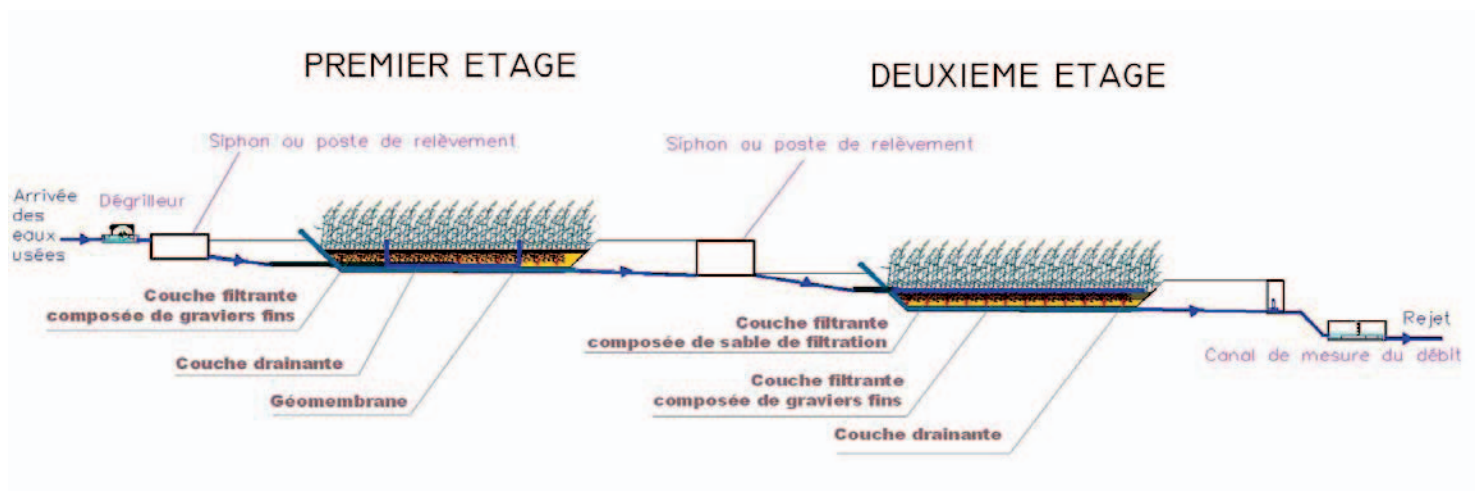
II- LA SOLUTION CLASSIQUE DE FILTRES PLANTÉS DE ROSEAUX

Le procédé Phragmifiltre

Proposé depuis 1999, le Phragmifiltre® est constitué de deux étages successifs remplis de granulats spécifiques. L'effluent percole à travers ces matériaux où le milieu est extrêmement favorable à la dépollution grâce à la combinaison des microorganismes fixés sur les graviers filtrant et des roseaux.

Les roseaux permettent l'oxygénation du filtre grâce à leurs racines qui évitent aussi le colmatage du filtre.

Ce procédé adapté aux besoins des assainissements allant de 5 à 4000 EH présente de nombreux avantages.



Intérêts

Excellente intégration paysagère

Aucune nuisance olfactive et sonore

Boues stabilisées et directement épandables

Surface plantée de 2 m²/EH

Exploitation simple et entretien minime

Sans électricité selon le terrain

Cette filière, aussi dénommée filière classique, permet d'atteindre un niveau de rejet en D4 ($DBO_5 < 25 \text{ mg/l}$, $DCO < 125 \text{ mg/l}$ et $MES < 35 \text{ mg/l}$). Notre bureau d'étude conçoit des variantes qui permettent d'obtenir des traitements poussés de l'azote ou du phosphore.



Station de Roussillon (84), 1250 EH

(1999)

III- L'UTILISATION DU PHOTOVOLTAÏQUE

Les applications sont synthétisées ci-après :

Il apparaît que le couplage d'une éolienne et de panneaux photovoltaïque est intéressant :

Application	Puissance nécessaire(Wh/j)	Installation Wcrête	Prix Avec batteries
1- Eclairage	95	1 module 55Wc	530
Alarme	504	3 modules 100Wc	2640
2- Pompe de recirculation 23 à 50 m3/h « fil du soleil »	800	7 modules 110Wc	(4500) 8700
3- Pompe d'alimentation 30 m3/h 6h/jour	6000	48 modules 100Wc	36800
4- Pompe d'alimentation 10m3/h + 2 vannes elec+debitmetre	811	2 modules 190Wc+ Éolienne 400W	4700



Cas n° 2 Plan d'Aups (Var)



Cas n°1 à Villedieu (vacluse)



Cas n°4 à Séville (Espagne)

BIOGAS AS AUTOMOVILE FUEL

*Domingo **Martínez**¹, Juan Carlos Torres¹, Mercedes Sánchez¹, Marcos Martín¹, Natividad Moya²*

¹ AGUAS DE MURCIA (EMUASA). Plaza Circular, 9. CP 30008, Murcia, Spain

² AQUAGEST REGIÓN DE MURCIA. C/ Nuestra Señora de los Buenos Libros, 3, 1º. CP 30008, Murcia, Spain

E mail : mmartin@muasa.es

1. AGUAS DE MURCIA Introduction.

In 1989, Murcia Municipal Authorities looked for a solvent partner, professional and technically efficient to manage the local public services covering the integral water management (potable water supply and WWTP).

Aguas de Murcia born as a joint venture between Murcia's Council (51%) and Aquagest Region de Murcia (49%), who is a private company belonging to Agbar Group.

Aguas de Murcia manages the integral water cycle of Murcia municipality. More than 439.000 citizens living in the city centre and the surrounding villages and garden areas (892 km²) receive the company services.

2. CETaqua Introduction.

CETaqua integrates, manages and executes research projects aimed at proposing innovative solutions to companies, society and the Administrations to solve environmental and technological problems linked to management of the complete water cycle.

The founding partners of CETaqua are:

- Aguas de Barcelona (AGBAR). Private company, Spanish leader in the complete water cycle, with 140 years experience.
- Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Catalan public university of recognized prestige specialized in engineering, science and architecture.
- Spanish national Research Council (CSIC). The biggest public research body in Spain specialized in scientific and technical areas closely related to those carried out in the centre.

3. AMEB Project: OBJECTIVE.

The AMEB Project (Environmentally Sustainable Biogas Use) objective is to obtain an automotive fuel, called BIOEDAR; WWTP biogas, from a renewable energy like the biogas generated at urban waste water treatment plant (WWTP). AMEB also allows reducing pollutant gas emission to the atmosphere, and taking advantage from CH₄ and CO₂ by an ecological and environmental friendly use.

This Project develops an integrated process to get sustainable biogas use by a selective elimination of undesired compounds that could difficult its later use.

There is integration between an innovative technology and a sustainable process of by-products recuperation. To take a profit from a renewable energy like the biogas (with the pressure, temperature, relative humidity conditions, and the high level of original impurities), it is possible to obtain a fuel ready to use. The challenge also consists into optimize the processes and lower costs of the existent technologies.

AGUAS DE MURCIA is aware that all their activities must be done in a sustainable way, so the use of the biogas from the WWTP as a fuel is an environmental protection because of the efficient energy use, minimizing the natural resources use and avoiding the undesirable compounds emissions to the atmosphere, encouraging the reduction, reuse and recycling practices.

4. AMEB Project: ANTECEDENTS.

AGUAS DE MURCIA is a services company that manages the integral water cycle at Murcia Municipality.

This project supposes the company commitment to give intelligent and innovative solutions to the society to manage the tightness resources, it contributes to the services and citizens life quality improvement treating the generated sub products in our activity, in the most efficient way employing the most modern technology with the highest respect to the environment, always looking for the continuous improvement of our processes.

“In order to promote the sustainable development, each Part...apply...”

Investigation, promotion, development and increasing the use of new and renewable energy ways, sequestration CO₂ technologies and advanced and novel technologies ecologically rational”

Kyoto Protocol. Framework Convention United Nations about Climate Change. 1997

The countries that have ratified the Kyoto Protocol are bound to keep the objectives about the CO₂/SO₂ emissions reduction and other gases that produce the denominated greenhouse effect. This is a reality making that some countries are looking for alternative, renewable and no contaminant fuels. Although many countries are increasing the solar and wind energy production, this technologies are very expensive and they aren't viable in every climate zones. At these conditions, bio fuels are called to perform a fundamental role as a fossil fuels alternative, especially at transport, heating and industrial applications.

BIOEDAR is a new energy source, with petrol similarities, with all his products and advantages, but without his inconveniences: BIOEDAR doesn't make CO₂ emissions higher but reduces it and doesn't produce SO₂ (sulphur dioxide) emissions, besides the virtual absence of secondary non-desirable products.

It is a continuous and non-contaminant energy production source because it doesn't mobilize fossil carbon but it uses CH₄ present at the biogas. It contributes to decrease the greenhouse effect and to restore the planet thermal equilibrium.

BIOEDAR use as an automotive fuel has lower CO₂ emissions to the atmosphere than fossil fuels have.

5. AMEB Project: CONTENT AND REACH.

AGUAS DE MURCIA has designed and launched, at Murcia Este WWTP, a biogas cleaning plant and after transformation in an ecological fuel.

Biogas is a gas mixture from the anaerobic digestion of the organic matter that can be use as a **renewable energy source**. This biogas has a high calorific value (4.700 a 5.500 kcal/m³). The CH₄ offers the essential calorific input, and it is about 1Kg/m³. For better biogas calorific value is necessary to separate the CO₂ from the stream, in this way it is obtained a CH₄ stream with richness between 93-98%. With this richness, the CH₄ stream has 8.260 kcal/m³ of calorific value.

Murcia Este Biogas H_2S content is very high due to the big amount of sulphates at the waste water. The origin of these sulphates is at soils where the pre-potable water circulates before arriving to Murcia. The water comes from the headwaters of the river Tajo and after arrive to the Talave reservoir runs at the Mundo and Segura rivers. Specially the first one has big concentrations of sulphates, chlorides and magnesium compounds.

Biogas goes through different stages, at the pilot plant, to eliminate the undesirable compounds and to separate the principal components. It is obtained high concentration streams of CH_4 and CO_2 .

To realize the different compounds tracing and the determination qualitative and quantitative of the biogas composition AGUAS DE MURCIA technical personnel has developed specific analytical methods.

Once the CH_4 and CO_2 clean stream is obtained, the following step is taking advantages of its components through the separation and independent treatment.



Figure 8. Pilot plant view.

Below there is a brief description of the two stages of the project:

5.1. Biogas Cleaning Pilot Plant

The functional analysis of this first stage is the cleaning of the biogas trace compounds, obtaining a stream of CH_4 y CO_2 . The biogas from the anaerobic digestion is led to the revaluation process, that it's formed by several steps:

- Flow measurement step:

It's an automatic biogas flow regulation entering to the pilot plant.

- Chemical washing step:

There are three chemical washing steps where the non-desirable compounds are withheld in a selective way.

- Acid tower: nitrogen compounds selective absorption.
- Oxidative tower: volatile organic compounds selective absorption.
- Basic tower: organosulfurated selective absorption, principally H_2S .

- Vacuum group step:

Vacuum is induced at the process line in order to bear down the different equipments drop.

- Refrigeration step:

To eliminate siloxanes and condensed parts the biogas temperature is decreased to $10^{\circ}C$.

- Active carbon step:

This step acts as a filter to ensure the continuous biogas quality. At the end of this step a high concentration CH_4 and CO_2 stream is obtained.

In order to obtain information about the process efficacy some sampling points through the pilot plant are established.

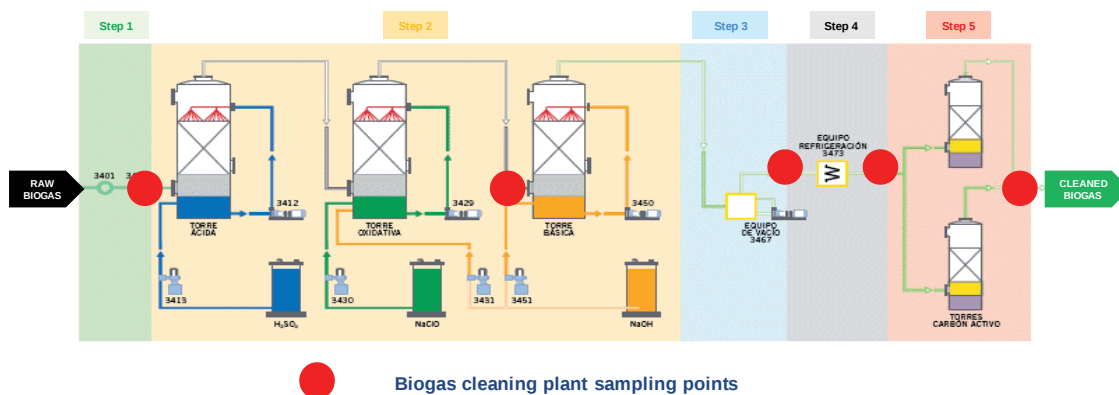


Figure 9. Biogas cleaning plant scheme.

Sampling point	Description
1	Biogas cleaning plant inlet
2	Oxidative tower outlet
3	Basic tower outlet
4	Refrigeration step outlet
5	Biogas cleaning plant outlet

Figure 10. Pilot plant. Sampling point description.

Besides, there is a table with the different compounds concentration at the sampling points through the biogas cleaning pilot plant:

COMPOUNDS	Sampling point 1	Sampling point 2	Sampling point 3	Sampling point 4	Sampling point 5
Methane (CH ₄) (%)	72	72	72	72	73
Carbon dioxide (CO ₂) (%)	25	25	25	25	26
Hydrogen sulphide (H ₂ S) (ppm)	1.963	1.838	<1	<1	<1
Sulfide compounds (ppm)	3,64	3,53	1,25	<1	<1
Nitrogen compounds (ppm)	<5	<5	<5	<5	<5
Volatile organic compounds (VOC's) (ppm)	2	<2	<2	<2	<2
Benzene, toluene y xylene (BTX) (ppm)	2	<2	<2	<2	<2
Siloxanes (mg/m ³)	<2	<2	<2	<2	<2

as composition at

Figure 11. Sample points. Medium concentrations.

EMUASA has developed his own analytical techniques, to quantify and qualify the biogas composition at different treatment points.



Figure 12. Gas Chromatograph.



Figure 13. Gas chromatograph- Mass spectrometer system.

5.2. CH₄-CO₂ Separation Pilot Plant.

Once it is obtained a clean outlet current of CH₄ and CO₂, the next step to take advantage of these compounds is the separation and the independent treatment of each gas flow.

Biogas from stage 1 is passed through an absorption tower, where the CO₂ is retained and the flow of CH₄ goes on the treatment to become BIOEDAR. An absorption tower is basically a reactor in which, by diffuser filler, it is ensured a full contact between the two flows (biogas-amine) with the resulting chemical reaction.

Process starts when biogas at atmospheric pressure enter into the absorption tower for the bottom of column. For the upper falls the amine dissolution in counter flow contact with the gas and the CO₂ is absorbed. Biogas output obtained contains CH₄ with purity between 93 and 98%.

Biogas, in order to be compressed and stored, should not contain moisture. It is necessary to install a drying system to ensure a high dryness level that allows biogas output compression. This process is performed using absorber equipment filled of silica gel.

To be a sustainable process, the amine-water mixture should be regenerated the reagent flow inside the absorption tower capture CO₂ molecules from the biogas, which are subsequently, is reabsorbed and recovered. To release the CO₂ from the amine mixture it is necessary an input of heat to reach a temperature equal or above to 95 °C. At this point, CO₂ is released from the solution, to be later recovered and recirculated to the pH regulating pool at Murcia Este WWTP, closing the zero emissions cycle.

Meanwhile, amine mixture is cooled by heat exchangers, to finally return to process and be used cyclically.

Below it is a table with the characterization of different gas currents involved in AMEB pilot plant:

COMPOUNDS	Separation Plant Inlet	Separation Plant Outlet	Desorption Outlet	Units
Methane (CH ₄)	70 - 75	93 - 98	-	%
Carbon Dioxide (CO ₂)	25 - 30	-	92 - 98	%
Oxygen (O ₂)	1 - 3	1 - 3	-	%

Figure 14. Biogas qualitative and quantitative composition.

There are installed, at different points of the process, continuous gas analyzers to determine gas composition. By these devices the levels of CO₂, O₂ and CH₄ are monitored.



Figure 15. Continuous analyzer.

5.3. BIOEDAR: Compression and Storage.

The pilot plant to take advantage of biogas as an automotive fuel has a BIOEDAR compression and storage system.

From the CH₄-CO₂ separation plant by a pipe system, BIOEDAR is leaded to the compression and storage installation located in a hut attached to the facilities for safety reasons.

The system is basically a multi-stage piston compressor that compresses BIOEDAR, taking advantage of inlet pressure, which must not be less than 150 mbar, and leads to a final pressure inside the storage tanks up to 200 bars.

Once compressed, BIOEDAR is stored in a block of 23 bottles of 50 liters capacity each one, enough to daily feed the fuel tank of four vehicles with an average autonomy of 420 km each.

The installation where BIOEDAR is obtained is a pilot plant designed to treat a 10 Nm³/h flow which 6Nm³/h correspond to CH₄. This implies 1.320 Nm³/month of methane that is equivalent to a power supply of 13,153 kWh/month.

Respect to Murcia Este WWTP total output and taking into account that are around 9.300 Nm³/day of biogas, the biogas treated at AMEB project represents 1% of daily production capacity.



Figure 16. BIOEDAR pump and car.

6. AMEB Project: Environmental Advantages.

The system to take advantage of generated biogas in sewage treatment plant provides benefits to the facilities management companies, to tertiary activities that produce biogas, to the whole society and the environment, offering the following advantages:

- Take advantage of a waste generated in wastewater treatment plants as raw material to obtaining a green fuel.
- Avoids emissions that contribute to the greenhouse effect: One CH₄ gas Ton released into the atmosphere affects the same that 21 CO₂ Tonnes.
- Do not contain lead or particulates.
- Elimination of nitrogen oxides and other pollutants emissions.
- Replacing a fossil energy source by a renewable one.
- Avoids production of odours coming from sulphur compounds emission.
- Generates a fuel cheaper than fossil fuels, BIOEDAR-WWTP biogas.
- It also reduces CO₂ emissions. BIOEDAR causes less CO₂ emissions than any conventional fuel (petrol, diesel oil).

ALLOCUTION DE CONCLUSION

Jean-Pierre **REGNIER**

*Commission Nationale Française pour l'UNESCO
57 BOULEVARD DES INVALIDES
75700 PARIS 07 S.P.*

E mail : Jean-pierre.REGNIER@diplomatie.gouv.fr

Jean-Pierre Regnier remercie le Professeur Louis Cot, responsable de la Chaire UNESCO «SIMEV Montpellier » , de l'avoir invité à ce séminaire qui est l'occasion pour lui de rappeler le pourquoi d'un programme international de Chaires UNESCO lancé il y a presque 20 ans par l'Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture.

Dès sa création, l'UNESCO a commencé à construire des coopérations internationales dans des domaines qui relevaient presque exclusivement de la compétence des Etats Membres. Pour développer l'éducation, la science, la culture et la communication, des liens se sont tissés à l'impulsion de l'UNESCO, faisant avancer le partage de la connaissance non seulement pour les experts, mais pour les populations elles-mêmes. Alphabétiser, c'est leur permettre de vivre dans un environnement lettré, où l'accès à l'eau, les soins passe par l'écrit. La réalisation de la paix est à l'issue de ce chemin à travers les avancés du savoir, le partage de la connaissance, et la construction des capacités pour le développement qui constituent, par excellence, les métiers de l'UNESCO.

Les Commissions nationales, prévues dans l'Acte constitutif de l'Organisation, sont là pour l'aider à mettre en place et encourager des coopérations, voire à tisser des maillages de coopération. C'est pourquoi la Commission française est un rassemblement de personnalités scientifiques et culturelles, de représentants d'institutions spécialisées, de responsables de différents départements ministériels. Les membres de la Commission, ainsi que les experts auxquels elle fait appel, se concertent régulièrement, participent à des projets, font remonter vers l'UNESCO des idées et des propositions visant à renouveler son programme et entreprendre de nouvelles activités tenant compte des évolutions du monde. Il est essentiel de revivifier sans détruire ce qui a été accompli avec la volonté à la fois d'anticiper les changements et de répondre aux besoins urgents des pays, notamment les moins développés.

Les Chaires UNESCO s'inscrivent dans le contexte de la coopération pour le développement en mettant l'accent sur la formation et la recherche. Dans le cadre d'un programme international piloté par la Division de l'enseignement supérieur de l'UNESCO, elles sont des initiatives d'établissements universitaires qui n'ont de sens que dans la mesure où chacune d'entre elles forme un véritable réseau. On parle d'ailleurs souvent de « Chaires réseaux ».

La Commission française apporte plus que son concours à la réalisation du programme des Chaires. Elle en assure la coordination pour ce qui concerne les Chaires nées en France qu'elle réunit annuellement. Il y en a 22, sans parler de trois en cours de labellisation et quelques autres à un stade moins avancé. Les projets sont préparés dans les établissements universitaires conjointement avec la Commission nationale. Ils sont adressés, le cas échéant, à l'UNESCO quand le montage est achevé. C'est à l'issue d'une procédure d'évaluation dans les services de l'Organisation que la Chaire est ou non créée. Pour notre part, nous insistons sur les aspects suivants :

- Etablir un partenariat international
- Formation
- Recherche
- Formation par la recherche
- Enseignement à distance
- Diffusion internationale des résultats

L'UNESCO a récemment fait le point sur le programme des Chaires et élaboré une stratégie internationale qui est en train de favoriser l'émergence d'une nouvelle génération que la Chaire SIMEV sur les membranes a anticipée. Les Chaires devraient ainsi mieux contribuer à la mise en œuvre de l'action de l'UNESCO, en étant au plus proche de ses priorités. Elles en auront certainement l'occasion lors de la réunion début juillet 2009 de la « Conférence mondiale sur l'enseignement supérieur » qui se tiendra à Paris.

CONCLUSIONS CONCERNANT LA 9^e ECOLE « SCIENCES ET TECHNOLOGIES A MEMBRANES »

"Energies Renouvelables pour le Traitement de l'Eau - Opportunités et Défis"

Montpellier 12-13-14 Mai 2009

Co-organisé par la Chaire UNESCO SIMEV, le Programme Energies Renouvelables de l'UNESCO et l'Association VERSeau Développement, avec la participation et sous le patronage de la Commission Nationale Française pour l'UNESCO et le Conseil général Hérault, en collaboration avec la Division de l'Enseignement Supérieur et la Division des Sciences Fondamentales et des Sciences de l'Ingénieur de l'UNESCO, le Séminaire International STM 9 dont le thème était *"Energies Renouvelables pour le Traitement de l'Eau-Opportunités et Défis"*, a réuni 104 participants dont 54 industriels et 50 universitaires.

Il a permis de rassembler 15 pays différents venant des continents africains, européens et sud américains.

Tableau statistique

1- Nombre de participants :

	Afrique	Europe	Maghreb	Amérique latine	Oman	Total
Industriels	6	43	4		1	54
Universitaires	9	36	3	2		50
Total	15	79	7	2	1	104

2- Répartition des conférenciers :

Industriels : 17

Universitaires : 7

Total : 24

Les 24 conférences ont été assurées essentiellement par des experts industriels (17 industriels et 7 universitaires) appartenant à des groupes internationaux des deux domaines ciblés : énergies renouvelables et traitement de l'eau. Les exposés ont été centrés sur les aspects fondamentaux, techniques mais aussi l'étude de cas pour le traitement de l'eau potable et des eaux usées par des énergies renouvelables (limitées cette fois-ci au photovoltaïque et à l'éolien). Bien connues et ayant montré toute leur possibilité et leur efficacité, l'utilisation des pompes photovoltaïques pour l'irrigation locale ne faisait pas partie du programme.

Quatre sessions ont été abordées : énergies renouvelables, eau potable, dessalement et eaux usées.

Il a été montré que les énergies renouvelables bénéficient actuellement de progrès technologiques remarquables et sont tout à fait utilisables en ce domaine.

La conséquence de la synergie créée entre ces 2 thèmes doit conduire à de futurs progrès et de futures réalisations. Les participants ont demandé qu'une suite soit donnée à ce 1^o Séminaire, à la fois dans le domaine fondamental, mais aussi applicatif.

Des contacts précis ont été pris et cette publication va faciliter le développement de ces nouveaux domaines très pluridisciplinaires.

Montpellier, le 28 Mai 2009

Pour le Comité Scientifique :

Professeur Louis COT
Chaire UNESCO SIMEV

COMPTE RENDU : REUNION DES PARTENAIRES DE LA CHAIRE UNESCO SIMEV

Montpellier – Le 15 - 05 – 2009

Lieu : Institut Européen des Membranes

Partenaires présents :

Bénin (*T. Aminou*) - Mali (*A. Coulibaly*) – Niger (*I. Natatou*) – Sénégal (*O. Diallo, C. Diawara*)
Togo (*M. Bawa*) – Maroc (*S. Alami Younssi, M. Hafsi, M. Taky, S. Chemlal*) –
Tunisie (*R. Benamar*) – Colombie (*C. Muvdi Nova*)
France (*L. Cot*)

Partenaires Excusés :

Mauritanie (*A. K. Ould Mahmoud*) - Roumanie (*G. Nechifor*) – Chili (*J. Romero*) –
Mexique (*R. I. Ortiz Basurto*)

Invités : Oman : *N. Ghaffour*

France : CNF UNESCO : *J.P. Régnier*
AVERROES : *S. Canadas et M. Dumas*
UM I : *Ch. Wisniewski*
Polytech UM II : *A. Grasmick*
UMII : *A. Ayrat*
European Membrane House : *G. Rios*

09 h 00 : Accueil des participants

09 h 15 – 11 h 15 :

- **Présentation du programme de bourses AVERROES** par *M. Dumas*
voir référence : www.network-averroes.com
- **Présentation de l'enseignement dans le domaine du traitement de l'eau** à Polytech – UMII par les professeurs *Alain Grasmick* au niveau ingénieur et par *Christelle Wisniewski* de la Faculté de Pharmacie au niveau Master et licence professionnelle.

Des documents ont été remis. De nombreuses questions ont été posées.

Des opérations d'enseignement sont à rediscuter et à mettre en place. Contact à travers la Chaire UNESCO SIMEV : A. Grasmick (alain.grasmick@univ-montp2.fr), C. Wisniewski (christelle.wisniewski@univ-montp1.fr). Les pays sont particulièrement intéressés par ces problèmes.

M. O. Diallo du PNES informera le Pole Eau de Ouagadougou (2 IE) et les réseaux du CREPA et du GWP/AO.

- **Présentation des actions de téléenseignement** par le professeur *A. Ayral* (doc. Pdf jointe)
 - *l'existant* : programme Promatinter
 - *le futur* : - le projet MEMB – Eau
- le master européen : Membrane Engineering
- **Présentation des activités et programme Membrane de la Communauté européenne** par le professeur *G. Rios* (Européen Membrane House) (Doc pdf jointe)

11 h 15 – 13 h 00 : **Tour de table par chacun des partenaires**

- **Sur l'enseignement** : leurs besoins :
 - en formation des formateurs
 - en techniciens supérieurs
 - en financement de T.P.

surtout dans le domaine nouveau des technologies à membranes.



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



- **Sur la recherche** : Suite aux Ecoles de la Chaire UNESCO SIMEV qui ont déjà eu lieu, des opérations très spécifiques se mettent en place, suivies par les scientifiques locaux, au niveau de :

- défluoration de l'eau qui du Sénégal s'étend au Niger
- traitement des eaux de surface au Mali

en collaboration étroite avec la Société Pall

En conclusion :

- 1°) Monsieur J.P. Régnier présente l'esprit et les missions des chaires UNESCO. Il encourage les participants à *développer les contacts* $N \rightarrow S$ et $S \rightarrow S$
- 2°) Une demande pressante nous a été faite : celle de trouver des *moyens financiers* pour amplifier ces relations par des missions d'enseignements, pour le financement de nouveau matériel, en particulier pour les T.P.
- 3°) Nos partenaires demandent tous une *deuxième réunion approfondie* sur ce thème "Energies Renouvelables appliquées au traitement de l'eau" dont ils voient les grandes applications chez eux.
Là ils réfléchissent au meilleur lieu pour qu'un maximum de personnes en profite. Une décision sera prise d'ici fin 2009.
- 4°) Ils souhaitent qu'on les informe sur les *programmes donnés par téléenseignement* et qu'on les aide dans le *montage de programmes européens*.

Chacun de nous est parti motivé, et sûr que cette semaine **d'informations par des mots**, nous allons en faire un **avenir de création par des actes**.

Montpellier, le 22 Mai 2009



Achevé d'imprimer
sur les Presses
d'AVL DIFFUSION
Montpellier - France

Impression Septembre 2009