

**Systèmes membranaires de potabilisation de l'eau dans les villages et centres non viabilisés : Résultats obtenus en Thaïlande sur système Pall Aria™ AX, au Sénégal sur module Disc Tube™ par nanofiltration et autres opportunités pour l'Afrique**

**Drinking water membrane systems for villages and small communities: results in Thaïlande on Pall Aria™ AX system, Senegal on Disc Tube™ module by nanofiltration and others opportunities for Africa.**

Farcy M.<sup>1\*</sup>, Doucouré A.<sup>2</sup>, Diawara C.K.<sup>3</sup>, Perrier L.-M.<sup>4</sup>

**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.

**Summary:**

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.

**Key words:**

Drinking Water, Fluoride removal, Nanofiltration, Ultrafiltration, Microfiltration, Villages.

<sup>1\*</sup>Correspondant : **Michel Farcy**. Pall France 3, rue des Gaudines, BP 90234, 78102 Saint-Germain-en-Laye Cedex – France. Email : [\\*michel\\_farcy@europe.pall.com](mailto:michel_farcy@europe.pall.com).

<sup>2</sup> 25 Harbor Park Drive Port Washington, NY 11050.

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

<sup>4</sup> Communauté des Carmes de Kaolack, B.P. 214 Kaolack – Sénégal.

## 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 particulaires 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 défluoration 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 Aria<sup>TM</sup> 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.



**Photo 1** – Système membranaire du village de Pranon, Thaïlande d'une capacité de 10 m<sup>3</sup>/h

### 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).

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 m<sup>3</sup>/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 Aria<sup>TM</sup> 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 défluoruration 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 Tube<sup>TM</sup> 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 Tube<sup>TM</sup> 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 Ndiafatte. 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.

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



Photo 2 – Arrivée du pilote au forage



Photo 3 – Le pilote dans son local



Photo 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

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. ».