

Les techniques membranaires : unité d'osmose inverse en test en milieu rural (localité de Thiakhar (Diourbel / Sénégal)

Membrane techniques: reverse osmosis unit in test in rural environment (Thiakhar locality Dioubel/Senegal)

Thiam, E.D¹. C. Mar Diop,^{1*} Ndong, M.¹ Tine, S.C.M.¹, Sock, O.¹

Résumé

Cette étude porte sur le suivi scientifique d'une unité d'osmose inverse mise en test par le PARPEBA (Projet d'Amélioration et de Renforcement des Points d'Eau dans le Bassin Arachidier) à THIAKHAR, localité qui se trouve dans la région de Diourbel, SENEGAL. C'est une zone où l'eau de boisson est très salée (779,71 mg/L) avec une concentration élevée en fluor (2,87 mg/L) [1] alors que pour ce dernier la recommandation est de 0,7 mg/L pour les pays tropicaux secs comme le Sénégal [2]. Vu que l'osmose inverse demeure jusqu'ici l'une des techniques membranaires les plus performantes pour le traitement des eaux de boisson, elle a été choisie pour la défluoruration et la désalinisation de cette eau. Et puisque c'est une première au Sénégal qu'un tel système soit installé en milieu rural, le projet a jugé nécessaire de mettre sur place un comité de suivi scientifique en collaboration avec l'ESP (Ecole Supérieure Polytechnique) de Dakar. Notre travail a donc consisté à assurer le bon fonctionnement de l'installation et à améliorer la qualité de l'eau osmosée obtenue, du point de vue nutritionnelle.

Mots clés :

osmose inverse ; défluoruration ; désalinisation; reminéralisation.

Summary :

This study relates to the scientific monitoring of a reverse osmosis unit tested by the PARPEBA (Project of Improvement and Reinforcement of the Water Points in the Groundnut Basin) at THIAKHAR, locality which is in the area of Diourbel, SENEGAL. It is a zone where drinking water is very salted (779,71 mg/L) with a high concentration of fluorine (2,87 mg/L) [1] whereas for the latter the recommendation is of 0,7 mg/L for the dry tropical countries like Senegal [2].

Considering that reverse osmosis remains up to now one of the most powerful membrane techniques for drinking water treatment, it was selected for defluoridation and desalination of this water. And since it is a first in Senegal which such a system is installed in rural environment, the project considered being necessary to set up a scientific monitoring committee in collaboration with ESP (Ecole Supérieure Polytechnique) of Dakar. Our work thus consisted in ensuring the good performance of the installation and improving treated water quality obtained, from the nutritional point of view.

Key words:

Reverse osmosis; Defluoridation; Desalination; Remineralisation.

*Correspondant : C. MAR.DIOP. Laboratoire d'Electrochimie et des Procédés Membranaires Ecole Supérieure Polytechnique, Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, BP : 5085 Fann-Sénégal..
Email : cymar@ucad.sn.

¹ Laboratoire d'Electrochimie et des Procédés Membranaires, Ecole Supérieure Polytechnique, Université Cheikh Anta DIOP de DAKAR, BP 5085 Fann-Sénégal

1. Introduction

La teneur élevée en fluor dans certaines zones du Sénégal est source de maladies (fluoroses) ayant des conséquences néfastes sur la santé de la population, notamment celles des régions de Kaolack, Diourbel, Fatick et une partie de la région de Thiès [3]. Afin de pallier à ce problème de santé publique le PARPEBA a fait recours au système d'osmose inverse, qui est de la haute technologie et doté d'une grande automatisation. La membrane d'osmose inverse ne laisse passer que les molécules d'eau et certains ions minéraux [1], ce qui permet alors d'avoir une très grande réduction du fluor et de la salinité. Afin de mieux maîtriser l'installation et d'optimiser sa production, dans le cadre de nos études, nous avons déterminé les valeurs de quelques paramètres essentiels de l'installation, puis nous avons caractérisé les eaux du système (eau brute, eau osmosée et eau de lavage). Ce qui a permis de voir la nécessité de mener une étude de rééquilibrage de l'eau osmosée (reminéralisation) et une étude des impacts environnementaux avant de passer à l'évaluation du coût de revient du litre d'eau osmosée.

2. Matériel et méthodes :

2.1. Principe du traitement par osmose inverse :

L'osmose inverse est un procédé de séparation en phase liquide. Elle se fait par perméation à travers des membranes semi-sélectives sous l'effet d'un gradient de pression. Elle est constituée de trois étapes (figure 1) :

- ✓ le prétraitement ;
- ✓ le traitement ou l'osmose inverse proprement dite ;
- ✓ le post-traitement.

Le prétraitement est fait par une filtration conventionnelle, puis une adsorption sur charbon actif et enfin une série de filtration d'affinage qui permet l'élimination de toutes les particules de diamètres supérieurs à $1\mu\text{m}$. Le post-traitement est assuré par un système de radiation Ultra-Violet (UV) et le rejet est canalisé vers une fosse où l'eau s'infiltré dans le sol.

Le procédé d'osmose inverse est fait en utilisant des membranes filmtec de type XLE4040 avec une surface d'échange de $7,896\text{ m}^2$. [1]

2.2. Méthodologie de calcul de quelques paramètres essentiels de l'installation:

2.2.1. La pression osmotique :

La pression osmotique des électrolytes est donnée par l'équation des fluides parfaits

$$\Pi = i.C.R.T \quad (1) \quad [4]$$

Où

i est le nombre d'espèces d'ions constituant le soluté ;

C la concentration molaire du soluté (mol.m^{-3}) ;

T la température (K) ;

R la constante des gaz parfaits ($8,31\text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$).

Π est exprimée en pascals.

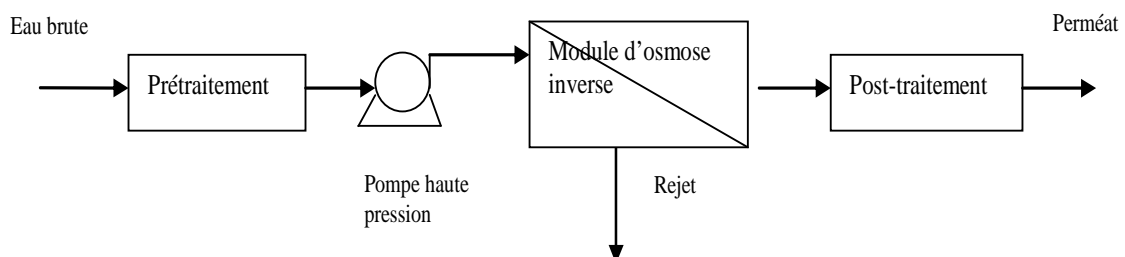


Figure 1 : Schéma du procédé de traitement par osmose inverse

2.2.2. La perméabilité de la membrane

La perméabilité peut être définie comme étant le rapport entre le flux de perméation (J_p) et la pression transmembranaire effective (ΔP_m) :

$$A = \frac{J_p}{\Delta P_m} \quad (1.2)$$

2.2.3. Flux massique et débit volumique de solvant

Le flux massique J_{solvant} ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) de solvant et le débit volumique de solvant ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) traversant la membrane sont donnés par les relations: [5].

$$J_{\text{solvant}} = A \cdot (\Delta P - \Delta \Pi) \quad (1.3) \quad \text{et}$$

$$Q_p = (A \cdot S / \rho) \cdot (\Delta P - \Delta \Pi) \quad (1.4)$$

Où

A est la perméabilité de la membrane au solvant ($\text{m}^{-1} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$)

S la surface de la membrane (m^2) ;

ρ la masse volumique du solvant ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) ;

ΔP la différence de pression de part et d'autre de la membrane (Pa) ;

$\Delta \Pi$ la différence de pression osmotique de part et d'autre de la membrane (Pa).

2.2.4. La sélectivité de la membrane

Elle est spécifique à chaque élément chimique contenu dans l'eau à filtrer. Elle est déterminée à partir de l'équation :

$$R = (C_0 - C_p) / C_0 = 1 - (C_p / C_0) \quad (1.5) \quad [5]$$

Avec C_0 et C_p les concentrations dans l'eau brute et dans le perméat respectivement.

Le dosage du fluor a été fait par la méthode ionométrique.

La salinité ainsi que la conductivité des échantillons ont été déterminées en utilisant un conductimètre de type « CRISON CM35 ».

3. Résultats et discussion

3.1. Propriétés physico-chimiques des eaux de l'installation

La caractérisation des eaux de l'installation permet de voir que l'eau osmosée produite est très faiblement minéralisée (Tableau 1) et que le concentrât nécessite un traitement pour une utilisation ultérieure.

Tableau 1 : Paramètres physico-chimiques des eaux

	Eau brute	perméat	concentrât
TA en °f	0,8	0	2,5
TAC en °f	44,2	1,3	87,1
TH en °f	36	1,3	48
F ⁻ en mg/L	2,874	0,0867	5,677
pH	8,65	7,07	8,75
Conductivité en $\mu\text{s}/\text{cm}$	1570,5	44,6	3007,99
Salinité en mg/L	779,71	20,82	1693,64
Température en °C	38,4	39,06	38,77

3.2. Calcul de certains paramètres :

Les données recueillies sur site ont permis la détermination de certains paramètres consignés sur le tableau 2 suivant :

Tableau 2 : Valeurs de quelques paramètres

Paramètre	Valeur trouvée
Le taux de conversion	$T_c = 47,09 \%$
Pression osmotique	450,445 kPa soit 4,445 bars
La perméabilité de la membrane	$A = 7,957 \cdot 10^{-11} \text{ m/s} \cdot \text{Pa}$
Le flux volumique de perméation	$J_p = 2,153 \text{ L/m}^2 \cdot \text{min}$ soit $3,588 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$
La résistance hydraulique	$R_m = 1,257 \cdot 10^{10} \text{ s} \cdot \text{Pa} \cdot \text{m}^{-1}$
Le taux de rétention du fluor	96,98 %
Le taux de rétention de la salinité	97,33 %
Efficacité de la membrane	80,84 %
Le rendement d'exploitation de la machine	$\approx 4,9 \%$

Ces résultats montrent la grande capacité de production de perméat ainsi que l'importance volume d'eau rejeté. Mais

cette grande capacité de production est freinée par la faiblesse de la consommation de l'eau osmosée dans cette zone.

Ils confirment également l'efficacité du traitement par osmose inverse.

3.3. Etude de reminéralisation de l'eau osmosée

Le rééquilibrage de l'eau osmosée est faite par ajout d'eau brute, il est basé sur l'équation polynomiale suivante :

$$V_{eb} = 37,38*(C_{F_m}^-)^2 + 62,208*C_{F_m}^- - 5,545 \quad (4.10)$$

Avec V_{eb} le volume d'eau brute à ajouter et $C_{F_m}^-$ la concentration en fluor du mélange obtenu.

Cette équation est obtenue après lissage de la courbe donnant la variation du volume d'eau brute à ajouter en fonction de la concentration finale en fluor du mélange obtenu.

Le tableau de classification de la minéralisation globale d'une eau, proposé par Jean RODIER, permet de suivre la minéralisation de l'eau à équilibrer.

Les résultats obtenus, selon la valeur de la concentration en fluor du mélange obtenu, sont représentés sur le tableau 3.

Pour cela il faut ajouter un volume équivalent au 1/5 environ en eau brute dans l'eau osmosée. Ce qui permet d'avoir un gain de 110,08 FCFA sur chaque mètre cube d'eau brute traité par rapport à la production d'eau osmosée non équilibrée.

3.4. Le prix de revient du litre d'eau osmosée au fil des années

Une étude économique permet de voir que Le prix de revient du litre d'eau osmosée, calculé dans les conditions optimales de marche, varie durant les 25 premières années d'utilisation de 3,0285 FCFA à 2,0996 FCFA. Soit un bénéfice minimal de 41,99% par litre d'eau osmosée vendu.

3.5. Impacts environnementaux du concentrât

L'analyse du concentrât montre des teneurs très élevées en sodium (740,47 mg/L), en fluor (5,677 mg/L), en sulfate (61,67 mg/L), en chlorure (1136 mg/L)...

Ainsi sa consommation par les animaux peut entraîner une dégradation des os, des diarrhées sévères ou même la mort. Tandis que chez les végétaux il peut gêner la croissance ou la mort de la plante pour certaines espèces.

Tableau 3 : Caractéristiques des échantillons d'eau osmosée équilibrée

Echantillon	n° 1	n° 2	n° 3	n° 4	n° 5	n° 6	n° 7
F ⁻ mg/L	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
TH en °f	1,5	1,65	1,8	2,1	2,4	2,7	3
Salinité en mg/L	22,3	40,1	50,7	67,3	87,3	123,3	140,5
Conductivité en µs/cm	47,6	85,4	106,4	143,2	188,9	259	297
pH	7,47	7,56	7,71	7,77	7,91	8,07	8,10

Une minéralisation moyenne est obtenue pour une plage de concentration en fluor située entre 0,5 mg/L et 0,6 mg/L, donnant ainsi à l'eau osmosée une meilleure qualité nutritionnelle et un confort gustatif.

4. Conclusion

Les résultats obtenus à l'issue de ce travail sont d'une grande importance pour le suivi et la maîtrise de l'installation d'osmose inverse de THIAKHAR. Ils ont permis de voir que le traitement par osmose inverse

est très efficace avec un coût de revient du litre de perméat très acceptable, mais surtout, que l'eau osmosée produite est très faiblement minéralisée. Cependant une étude de reminéralisation montre que cette eau, équilibrée, a une meilleure qualité nutritionnelle avec un gain de 110,08 FCFA par mètre cube d'eau brute traité.

5. Bibliographie

- [1] El hadji D THIAM et Serigne C.M TINE, 2008. «Projet d'Amélioration et de Renforcement des Points d'Eau du Bassin Arachidier », mémoire d'ingénieur de conception en génie chimique, ESP de Dakar, 166 pages.
- [2] World Health Organization, Guidelines for Drinking-water Quality, THIRD EDITION, volume 1, recommandations (2004) 488.
- [3] Mohamed Ndong et El hadji Ngom, 2005. « Projet d'Amélioration et de Renforcement des Points d'Eau du Bassin Arachidier », mémoire d'ingénieur de conception en génie chimique, ESP de Dakar, 82 pages.
- [4] Aquatechnique : « L'osmoseur » [En ligne]. [Consulté en mars 2008]. http://pagesperso-orange.fr/aquatechnique/Techniques/page_osmose.htm.
- [5] Techniques de l'ingénieur : articles relatifs à l'ultrafiltration et à l'osmose inverse : « Procédés de séparation en phase liquide » disponible sur le site : http://www.educnet.education.fr/rnchimie/gen_chim/triboulet/rtf/osmose_inverse.pdf.