



## Reminéralisation de l'eau osmosée par l'ajout de la chaux $\text{Ca(OH)}_2$ dans la station de dessalement de Laâyoune (SDL) (Remineralization of desalinated water (RO permeate) by adding lime $\text{Ca(OH)}_2$ in the desalination plant of Laâyoune)

M.G. Biyounne<sup>1</sup>, A. Atbir<sup>1\*</sup>, H. Bari<sup>2</sup>, E. Mongach<sup>2</sup>, A. Khadir<sup>3</sup>, L. Hassnaoui<sup>3</sup>,  
L. Boukbir<sup>1</sup>, M. El Hadek<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de Génie des Procédés, Faculté des sciences, Université Ibn Zohr, B.P. 8106, Agadir, Maroc.

<sup>2</sup> Office National de l'Electricité et de l'Eau potable Direction de coordination des provinces sahariennes, Laâyoune Maroc

<sup>3</sup> Office National de l'Electricité et de l'Eau potable, Direction contrôle qualité des eaux, Rabat, Maroc.

Received 09 September 2014, Revised 12 October 2014, Accepted 26 October 2014

\*Corresponding Author. E-mail: aliatbir@gmail.com; Tel: 212661855336

### Résumé

L'eau produite par osmose inverse est agressive et très déminéralisée. Elle ne peut pas être utilisée directement comme source d'eau potable. La reminéralisation est essentielle afin de surmonter ces problèmes. L'objectif de ce travail est d'étudier l'efficacité de la reminéralisation de l'eau osmosée par l'ajout de la chaux au niveau de la station de dessalement de Laâyoune (SDL) située au sud du Maroc. Pour cela, nous avons suivi plusieurs paramètres qualitatifs tels que le pH, pH<sub>s</sub>, TH, TAC, TAC<sub>s</sub>, teneurs en  $\text{Ca}^{2+}$ , indice de Langelier et indice de Lorey. Nous avons déterminé les paramètres qui influencent l'efficacité technique de la reminéralisation dans cette station par comparaison avec d'autres techniques de reminéralisation tels que les filtres à calcite, l'injection du bicarbonate de sodium et du chlorure de calcium également adoptées par l'ONEE dans d'autres stations. Les résultats trouvés montrent que la reminéralisation par l'ajout de la chaux en présence de  $\text{CO}_2$  pose plusieurs problèmes dans son exploitation comme le colmatage des tuyaux ainsi que la difficulté du maintien des paramètres de l'eau produite. Nous avons ainsi déterminé les conditions nécessaires pour rendre à l'eau son équilibre calco-carbonique et par conséquent, la possibilité de protéger le réseau de distribution contre la dégradation par corrosion.

*Mots-clés:* Dessalement, Reminéralisation, Eau osmosée, La chaux, Equilibre calco-carbonique, Laâyoune

### Abstract

Waters produced by desalination plants cannot be directly used as they are unpalatable, corrosive and unhealthy. Remineralization is essential in order to overcome these problems. The main objective of this work is to study the efficiency of the remineralization of reverse osmosis permeate water by the addition of lime in desalination plant of Laâyoune situated in the south of Morocco. For that purpose, we followed several qualitative parameters like the pH, pH<sub>s</sub>, TH, TAC, TAC<sub>s</sub>, calcium content, Langelier index and Lorey index. We determined the factors influencing the technical efficiency of the post-treatment in the Laâyoune desalination plant. The results were examined and compared with other remineralization processes such as the calcite bed filtration process, injection of sodium bicarbonate and calcium chloride also adopted by the ONEE in different desalination pilot plants. The experimental results show that the remineralization by the addition of lime in the presence of  $\text{CO}_2$  raises several problems in its exploitation as the clogging of water distribution pipelines as well as the difficulty of the preservation of the physico-chemical parameters for the quality of the water produced. Based on the experimental results, we determined the conditions necessary to reach the required calco-carbonic equilibrium of the water produced and therefore, the possibility of protecting the distribution network against the corrosion degradation.

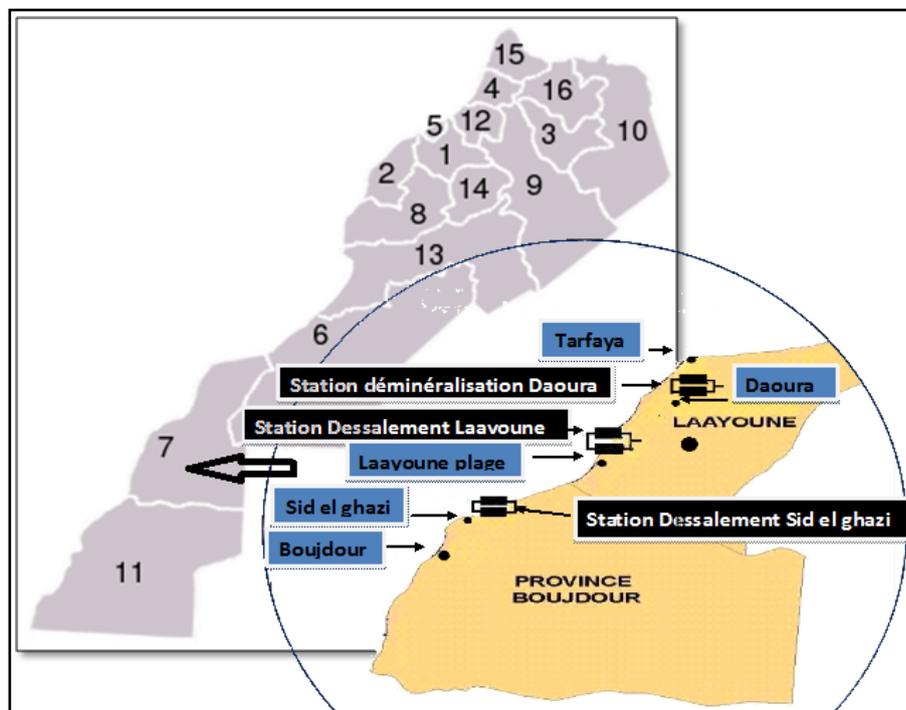
*Keyword:* Desalination, Remineralization, desalinated water, Lime, calco-carbonic equilibrium, Laâyoune

### Introduction

L'eau est devenue une préoccupation dans les régions du sud marocain, la rareté des ressources en eau et leur mauvaise qualité peuvent avoir des répercussions importantes sur les secteurs socio-économiques dans ces

régions. En effet, pour faire face à cette pénurie annoncée d'eau, des stations de dessalement de l'eau de mer et de déminéralisation des eaux saumâtres sont mises en place pour satisfaire les besoins de la population de la région (figure 1). Il y a plusieurs procédés de dessalement cependant, l'osmose inverse est la technique adoptée par l'Office National de l'Electricité et de l'Eau potable, ONEE-Branche Eau- au Maroc aussi bien pour dessaler l'eau de mer que pour la déminéralisation des eaux saumâtres [1]. L'eau produite après le dessalement (eau osmosée) est non équilibrée. Elle a un caractère agressif et peut attaquer les conduites et les ouvrages et relargue des substances indésirables, d'où l'indispensabilité (ou la nécessité) de la reminéralisation pour produire une eau répondant à la norme Marocaine relative à la qualité des eaux d'alimentation humaine NM 03.7.001 [2], ainsi que pour protéger les conduites du réseau et les équipements hydromécaniques contre la corrosion [3].

Le présent travail est effectué au sein de la station de dessalement de Laayoune (SDL) assurant la production de l'eau potable de la ville Laayoune avec un débit de 26000 m<sup>3</sup>/j. L'eau osmosée (le perméat) est reminéralisée par l'injection de l'eau de chaux Ca(OH)<sub>2</sub> préparée dans un saturateur de chaux afin d'obtenir une eau équilibrée [4-6]. Notre recherche a donc pour but d'étudier la performance de cette technique de reminéralisation par le suivi de l'évolution de plusieurs paramètres clés tels que le pH, TAC, Ca<sup>2+</sup>, ...



**Figure 1:** Situation géographique des stations de dessalement de l'eau de mer installées par l'ONEE dans la région de Laayoune-Boujdour-Sakia El Hamra

## 2. Matériels et méthodes

Le titrage des ions calcium a été effectué à l'aide d'une solution de sel disodique de l'acide EDTA à pH=10. L'indicateur coloré est le NET (Noir d'Eriochrome T), qui donne une couleur rouge foncée ou violette en présence des ions calcium.

TA : titre alcalimétrique permet la mesure de la teneur en Hydroxyde et en Carbonates.

TAC : titre alcalimétrique complet mesure la somme des alcalins libres (OH<sup>-</sup>), carbonates et bicarbonates.

La détermination du TA et TAC est basée sur le dosage des bases qui se trouvent dans une eau telle que CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> et OH<sup>-</sup>. Elle se mesure par la neutralisation d'un certain volume d'eau par une solution diluée d'un acide minérale, le point d'équivalence étant déterminé par des indicateurs colorés.

L'anhydride carbonique CO<sub>2</sub> libre de l'eau est déterminé par la relation :

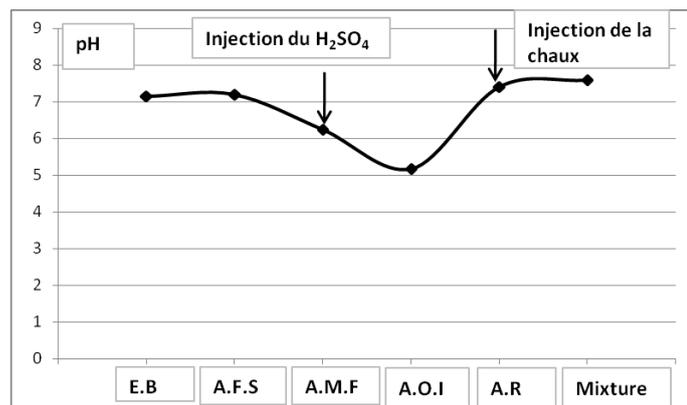
$$CO_2 = (TAC_s - TAC) * 22 \quad (1)$$

Tel que le TAC et le TAC<sub>s</sub> sont exprimés en méq/L. Le TAC<sub>s</sub> de l'eau est mesuré après le test de marbre.

### 3. Résultats et discussion

#### 3.1 Suivi du pH

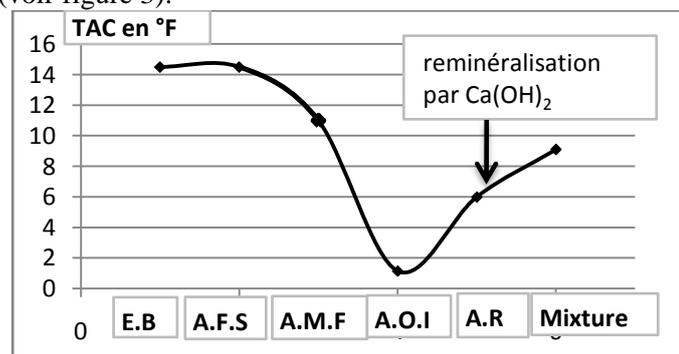
Le pH est un paramètre très important donnant une idée sur l'équilibre de l'eau ainsi que sur la qualité de l'eau produite. D'après les résultats trouvés au sein de la station de Laayoune, à l'étape du prétraitement, la diminution de pH de l'eau brute de 7,1 jusqu'à 5,2 est principalement due à l'injection du séquestrant et de l'acide sulfurique  $H_2SO_4$  (figure 2). Cette injection a pour but d'éviter la précipitation des sels à base de sulfate et de carbonate sur les membranes. D'autre part, l'ajout de l'acide a pour but de transformer les ions  $HCO_3^-$  disponibles dans l'eau brute en  $CO_2$  qui passe facilement à travers ces membranes. En suite, l'eau osmosée (pérmeat) passe au post-traitement pour subir la reminéralisation par ajout de l'eau de chaux. Par conséquent, le pH de l'eau produite (reminéralisée) s'élève jusqu'à 7,5 à cause de la dissolution de la chaux. La reminéralisation permet ainsi de régler le pH de l'eau produite.



**Figure 2** : évolution du pH de l'eau de la station de dessalement de Laayoune  
E.B : Eau brute, A.F.S : Après filtration sur sable, A.M.F : Après micro filtration,  
A.O.I : Après osmose inverse, A.R : Après reminéralisation,

#### 3.2 Suivi du TAC

L'indice TAC, le titre alcalimétrique complet, permet de mesurer la somme des concentrations des ions hydroxydes libres  $[OH^-]$ , des carbonates  $[CO_3^{2-}]$  et des hydrogénocarbonates  $[HCO_3^-]$ . D'après la figure 2, l'eau produite par la station est toujours non équilibrée malgré la reminéralisation avec la chaux, les valeurs du TAC enregistrées restent en-deçà de la valeur attendue qui est  $8^\circ F$ . Le mélange de cette eau avec les eaux de la nappe de Foum El Oued (mixture) donne à l'eau distribuée aux clients son équilibre et on enregistre des valeurs de TAC qui atteignent  $9,1^\circ F$  (voir figure 3).



**Figure 3** : évolution du TAC de l'eau de la station de dessalement de Laayoune  
E.B : Eau brute, A.F.S : Après filtration sur sable, A.M.F : Après micro filtration,  
A.O.I : Après osmose inverse, A.R : Après reminéralisation,

Pour confirmer l'agressivité de l'eau reminéralisée, on a proposé de calculer d'autres indices donnant une idée sur l'agressivité de cette eau comme l'indice de Langelier et l'indice Lorey,...

- Indice de Langlier [7] :

Le degré d'agressivité d'une eau est l'indice de Langlier (IL). Il s'obtient de la différence entre le pH de l'eau distribuée et le pH de cette même eau pour qu'elle soit saturée en carbonate de calcium.

$$IL = pH - pH_s \quad (2)$$

Si l'indice de Langlier est positif, l'eau est incrustante et fait précipiter le carbonate de calcium sous l'action du CO<sub>2</sub> agressif.

Si  $IL < 0$  : l'eau est agressive.

- Indice de Leroy [8] :

L'indice de Leroy (ID) est égal au rapport du TAC sur le TH.

$$ID = TAC / TH \quad (3)$$

Il permet de confirmer ou non la tendance à la corrosion d'une eau. Avec des concentrations exprimées en meq/L. L'eau est considérée comme non corrosive si l'indice est compris entre 0,7 et 1,3.

ID est à utiliser en complément de l'indice de Larson ( $([Cl^-] + 2*[SO_4^{2-}]) / [HCO_3^-]$ ). Ils permettent, à eux deux, de préciser les tendances d'une eau.

Nous nous sommes limités dans ce travail à l'analyse des indices de Langlier et de Leroy.

L'IL de l'eau de la station de dessalement de Laâyoune est égale :

$$IL = 7,41 - 8,5 = - 1,14 < 0$$

Puisque l'Indice de Langlier est négatif, l'eau analysée possède donc un caractère agressif.

L>ID de l'eau de la station de dessalement de Laâyoune est égale :

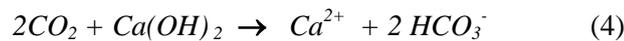
$$ID = 0,9 / 0,96 = 0,93$$

Nous trouvons que :  $0.7 < ID < 1.3$ , d'où cette eau est corrosive.

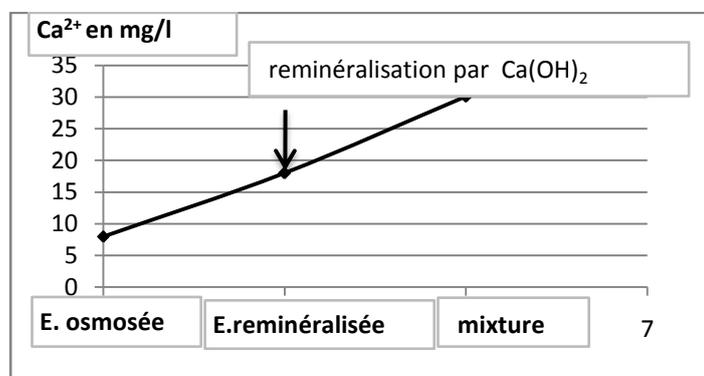
Ce qui confirme le résultat trouvé préalablement qui montre que cette eau reste non équilibrée malgré l'injection d'une quantité suffisante de la chaux.

### 3.3 Suivi de la teneur des ions Ca<sup>2+</sup>

L'ajout de la chaux dans l'eau osmosée favorise en plus des bicarbonates, la présence de Ca<sup>2+</sup> dans cette eau selon la réaction:



Théoriquement, la teneur de Ca<sup>2+</sup> nécessaire pour avoir 8°F est de 32 mg/L selon les quantités ajoutées de la chaux. Les résultats sont rassemblés sur la figure 4.



**Figure 4 :** Teneur en Ca<sup>2+</sup> dans l'eau de la station de dessalement de Laâyoune

Selon la figure 4, les valeurs du calcium enregistrées ne dépassent pas 18 mg/L qui restent toujours en deçà de la valeur attendu qui est 32 mg/L et cela confirme encore le non équilibre de l'eau reminéralisée par la chaux.

### 3.3 Teneur en CO<sub>2</sub> dans l'eau de la station de dessalement de Laâyoune

Parmi les paramètres qui peuvent influencer sur la dissociation de la chaux dans l'eau osmosée est la teneur de CO<sub>2</sub> dissout selon la réaction (4). L'approvisionnement de CO<sub>2</sub> dans l'eau se fait par l'injection de l'acide sulfurique H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> qui transforme les ions HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> et CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> en CO<sub>2</sub>. Dans la SDL la quantité injectée du H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> est de 40 mg/L.

Pour qu'on puisse conférer à l'eau ses caractéristiques (TAC, TH, Ca<sup>2+</sup>) optimales de 8°F, le calcul théorique montre que nous avons besoin au moins d'une quantité de CO<sub>2</sub> égale à 70,4 mg/L.

La figure 5 illustre la teneur de CO<sub>2</sub> mesurée au sein des prélèvements d'eau prise à la station de Laâyoune pour les différentes étapes de dessalement ; eau brute, après microfiltration, après osmose inverse et après reminéralisation. La teneur de CO<sub>2</sub> au sein de l'eau osmosée (après OI) est égale à 34,54 mg/L. Elle reste inférieure à la valeur nécessaire, calculée précédemment, 70,4 mg/L. Cette déficience en CO<sub>2</sub> constitue un facteur limitant de la dissolution d'une grande quantité de Ca(OH)<sub>2</sub> :

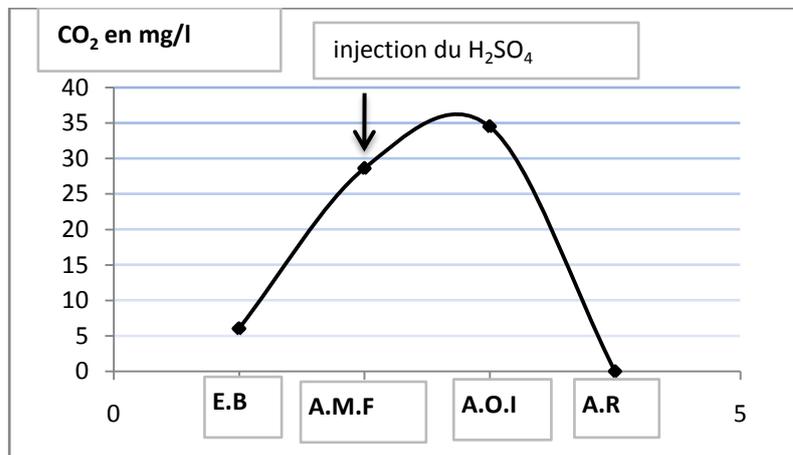
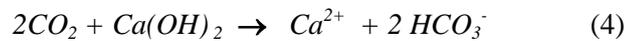


Figure 5 : Teneur du CO<sub>2</sub> dans l'eau de la station de dessalement de Laâyoune

## 3. Autres procédés de reminéralisation

### 3.1. Reminéralisation par l'ajout de CaCl<sub>2</sub> et NaHCO<sub>3</sub>

La station de dessalement Agti Elghazi est installée en 2009 au village Agti Elghazi situé à 40 km au nord de Boujdour (figure 1). Sa production journalière est de 90 m<sup>3</sup>/j, pour une population estimée à 2500 habitants. La méthode adoptée pour la reminéralisation au sein de cette station consiste essentiellement à additionner directement à l'eau osmosée des solutions de bicarbonates de sodium (NaHCO<sub>3</sub>) et des chlorures de calcium (CaCl<sub>2</sub>) avec des doses bien définies afin de régler le TAC, le pH, le TH et le Ca<sup>2+</sup> et par conséquent, aboutir à une eau bien équilibrée. La reminéralisation par cette méthode est facile et immédiate mais elle pose des problèmes au niveau de stockage des produits. Dans les grandes stations, ce procédé de reminéralisation demande une grande quantité des réactifs. Ce qui impose l'approvisionnement des réactifs et la disponibilité des espaces convenables pour ces produits afin d'éviter toute rupture de stock.

### 3.2. Reminéralisation par passage à travers un lit calcite

Depuis 2009, L'ONEE-Branche Eau- a installé dans le village Daoura (situé à 45 km au nord de Laâyoune, figure 1) une station de déminéralisation de l'eau provenant des puits saumâtres pour la production de l'eau potable. Cette station alimente plus de 8000 habitants par une production journalière de 240 m<sup>3</sup>/jour [9].

La reminéralisation adoptée au sein de cette station consiste à passer l'eau osmosée à travers un lit à calcite du bas vers le haut afin que l'eau produite soit reminéralisée. La reminéralisation par cette méthode est efficace et

simple. Elle ne demande pas d'efforts dans son exploitation. En plus, la dissolution de la calcite est facile et nécessite une quantité de CO<sub>2</sub> inférieur à celle demandée par la chaux.

### Conclusion

Il est clair que la chaux est relativement économique et facilement disponible mais son exploitation pour la reminéralisation pose plusieurs problèmes tels que le colmatage des tuyaux par le dépôt de la chaux sur le matériel d'injection. En plus de la difficulté à maintenir les paramètres optimaux de l'eau à reminéraliser tel que TAC, Ca<sup>2+</sup>, pH, TH. Les résultats obtenus favorisent d'avantage d'autres procédés de reminéralisation comme par exemple la reminéralisation par l'injection de NaHCO<sub>3</sub> et CaCl<sub>2</sub> et la reminéralisation par passage de l'eau à travers un lit de calcite.

### Acknowledgements

Ce travail a été effectué dans le cadre d'un projet de convention pour exécution de Doctorat entre la faculté des sciences d'Agadir et l'Office National de l'électricité et de l'eau (ONEE), direction de coordination des provinces sahariennes à Laâyoune et de la direction contrôle qualité des eaux à Rabat. Les auteurs expriment leurs gratitude pour ce soutien.

### References

1. Direction centrale du pôle industriel, Analyse et évaluation de l'expérience ONEE-Branche Eau en dessalement membranaire, Mai (2010)
2. Qualité des eaux d'alimentation humaine, N°221-06 du 2 Février 2006, publié au B.O N°5404 du 16 Mars (2006)
3. Gabbrielli E., Gerofi J.P., Appropriate mineral content of desalination water - theory and drinkers' reaction, *Desalination*, 49 (1984) 95-103
4. Cherif M.C., Expérience marocaine dans le domaine de dessalement de l'eau de mer cas de l'usine de Laâyoune, Décembre (2000).
5. Elazhar F., Tahaikat M., El Azhar M., Jalili Z., Zouahri A., Hafsi M., Tahri K. and El Midaoui A., Performances of Remineralization Post for Reverse Osmosis (RO)-Desalted Water, *Int. J. Chem. Sci.*: 11(4), (2013)
6. Elazhar F., El Harrak N., Zdeg A., El Amrani M., Taky M., Elmidaoui A., Technical and economical comparison of the nanofiltration and reverse osmosis membranes in the brackish water desalination, *Chemical technology An Indian Journal* 7(2012),
7. Hernandez-Swarez M., Guide for remineralization of desalinated waters, 2nd Edition, August (2010).
8. Agressivité et corrosivité, Memotec n°17, Revision A, Page 1, Janvier (2006).
9. Jariri S., Expérience de l'ONEP en matière de dessalement d'eau, Revue HTE N°142, Mars - Juin (2009).

(2014); <http://www.jmaterenvironsci.com>