

LES PROCEDES DE DESSALEMENT DE L'EAU DE MER ET LEUR IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

DESALINATION PROCESSES OF THE SEA WATER AND THEIR ENVIRONMENTAL IMPACT

Benmoussat A¹ & Habi M²

¹*Faculté des sciences de l'ingénieur & Université Abou Bekr Belkaid,
Chetouane. Tlemcen.13000. Algérie. abbenmoussa@gmail.com*

²*Dpt d'Hydraulique. Faculté des sciences de
l'ingénieur. Chetouane. Tlemcen.13000. Algérie.*

ABSTRACT :

To answer the water resources availability insufficiency in Algeria, the recourse to the desalination of sea water by thermal or membrane processes RO (Osmosis Reverse) is the solution which has been considered during these last years. Results showed that furring and corrosive precipitations are accentuated in the thermal processes in consequence of variation of water balance calco - carbonic system according to the temperature, pH., the composition of sea water charged in ions chlorides) The saturation index of auxiliary water shows the furring character. The rejected concentrated salt water to sea contains a lot of dissolved quantities in suspension where salinity increased 50g/l and containing acid effluents. The discussions relate to the chemical proportioning, the correction methods of auxiliary water by injection of inhibitor and acidifier, the rejected brines treatment to consider, the desalination effects on the environment, the safeguarding of the ecosystems and the energy control which seems a major tool for environment and sustainable development and the design of new processes based on renewable energies such as a thermal solar.

Keys words: water resources – Thermal desalination – processes – environments – brines – renewable energy

RESUME :

Pour répondre à l'insuffisance de la disponibilité des ressources en eau en Algérie, le recours au dessalement de l'eau de mer par des procédés thermiques ou membranaires est la solution qui a été envisagée pendant ces dernières années. Les résultats ont montré que les

précipitations entartrantes et corrosives sont très accentuées dans les procédés thermiques par suite de variation de l'équilibre calco - carbonique de l'eau en fonction de la température, pH, la composition de l'eau de mer chargées en ions chlorures). L'indice de saturation de l'eau d'appoint montre le caractère entartrant de l'eau de mer. Les rejets en mer de saumures fortement concentrées en sel renferment des quantités non négligeables de corps dissous et en suspension où la salinité a augmentée jusqu'à 50g/l en plus des effluents acides provenant des méthodes chimiques employées pour la correction de l'eau d'appoint. Les discussions portent sur les dosages chimiques envisagés, les méthodes de prétraitement par injection d'inhibiteurs et d'acidifiant, le traitement à envisager des saumures rejetées, les effets du dessalement sur l'environnement et la préservation des écosystèmes et la maîtrise de *l'énergie* qui apparaît comme un outil majeur pour l'environnement et le développement durable et la conception de nouveaux procédés basés sur les énergies renouvelables tel que le solaire thermique.

Mots clés: ressources en eau - dessalement thermique – environnement – saumures - énergie renouvelable

INTRODUCTION

L'apport en eau par des moyens non conventionnels a été pendant ces dernières années par le développement de nouvelles techniques de dessalement des eaux de mer basés sur les procédés thermiques ou les procédés non thermiques ou membranaires et sont devenus un enjeu économique pour pallier au problème de la disponibilité des ressources en eau et le stress hydriques, comme en Algérie (Ghaffour, 2008). Dans les procédés de dessalement par conversion thermique, l'eau de mer est chauffée jusqu'à évaporation (Bandelier et al, 2001). Seules les molécules d'eau s'échappent, laissant en dépôt les sels et les autres substances. La vapeur d'eau est condensée pour obtenir de l'eau douce. C'est une opération qui transforme, par chauffage l'eau de mer en vapeur exempte des impuretés dissoutes dans le liquide. Par condensation, cette vapeur donne une eau de grande pureté pouvant nécessiter une reminéralisation lorsqu'elle est destinée à la consommation.

Ces procédés sont caractérisés par un ensemble de problèmes liés à l'exploitation tels que l'encrassement dans les échangeurs, l'endommagement par corrosion des composants métalliques de l'installation par suite des interactions chimiques ou biologiques du matériau avec le milieu environnant, la variation de la composition chimique de l'eau d'appoint par suite du chargement en ions dissous des rejets de saumures ou de la pollution marine telle que par l'hydrogène sulfuré ou les composés ammoniacaux et hydrocarburants.

Nous nous sommes intéressés dans ce travail à étudier l'influence des rejets liquides issus du dessalement thermique par le procédé MED sur la composition de l'eau d'appoint et son impact sur l'environnement et le développement durable. L'étude des caractéristiques physico-chimiques des eaux dans le procédé de dessalement, ainsi que leurs actions sur le milieu environnant. Les équilibres formés à partir des espèces chimiques H^+ , HCO_3^- , CO_3^{2-} , CO_2 l'acide carbonique (H_2CO_3) et Ca^{2+} sont instables en raison des variations de la température et pH et des teneurs en gaz et solides dissous dans l'eau de mer et de la complexité des relations entre les ions présents ce qui entraîne de nouvelles réactions et conséquences sur le milieu en contact avec l'eau. Nous terminerons cette étude sur les applications des énergies renouvelables à la production d'eau. Des tests de distillation thermosolaire ont été menés au laboratoire par notre équipe pour produire de l'eau à des coûts très réduits.

MATERIELS ET METHODES

La méthodologie que nous avons employée consiste à prélever des échantillons de différentes qualité d'eau utilisée dans le procédé thermique de dessalement : eau d'appoint, eau non potable produite et eau saumure. Ces prélèvements ont fait l'objet d'analyse au laboratoire par des méthodes de caractérisation par mesure directe de paramètres physico-chimiques pH, température, conductivité, salinité, solides dissous TSD, turbidité et la dureté calcique (ou titre hydrotimétrique calcique) THCa exprimée en mg/l de $CaCO_3$, titre alcalimétrique TACc et paramètres organoleptiques, en vue d'étudier leur influence sur les équilibres calco-carboniques, leurs propriétés de précipitation entartrante et corrosives et leurs impacts sur l'environnement.

Mode de prélèvement

Le prélèvement des échantillons représentatifs des eaux à analyser avant et après dessalement a été effectué de manière à éviter toute contamination ou pollution externe par des bouteilles en polyéthylène de 1.5 litres préalablement rincées plusieurs fois. Elles ont été remplies jusqu'à débordement afin d'éviter la pénétration des bulles d'air. Elles sont ensuite bouchonnées et étiquetées, où sont notés : origine de l'eau, date et heure du prélèvement, pH, turbidité et température.

Méthodes et tests d'analyse

Les prélèvements des eaux ont fait l'objet d'analyse par dosages volumétriques et gravimétriques, spectrophotométrie UV/Visible type Jasco V-500, gamme 190- 2500 nm et spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme air/acétylène type Perkin Elmer, modèle Analyst 300, piloté par un micro-ordinateur.

Caractéristiques de l'eau de mer avant dessalement

Les résultats d'analyse des caractéristiques physico-chimiques sont portés dans les tableaux 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 et 11.

Les concentrations ioniques des éléments présents dans l'eau d'appoint déterminées par spectrophotométrie d'absorption (tableau 4 et 5) ont montrés une forte teneur en ions hydrogénocarbonates 129.32 mg/l, chlorures 19 880 mg/l et sulfates 2 740 mg/l. Les teneurs des cations $\text{Ca}^{2+} = 560 \text{ mg/l}$, $\text{Mg}^{2+} = 1 315 \text{ mg/l}$ et $\text{Na}^+ = 11 040 \text{ mg/l}$ favorisent les précipitations de CaCO_3 et MgCO_3 .

Tableau 1. Valeurs des duretés et alcalinité de l'eau de mer
(1°F correspond à 10 mg/l de CaCO₃)

Dureté (°F)	Valeurs mesurées
Dureté hydrotimétrique TH total	760
Dureté carbonatée	15
Dureté permanente	635
Dureté calcique	140
Dureté magnésienne	620
Titre alcalimétrique complet	15

Tableau 2. Valeurs des concentrations en sels dissous de l'eau de mer exprimées en mg/l par °F

Sels	mg/l par °F	Sels	mg/l par °F
CO_3^{2-}	26.40	HCO_3^-	129.32
$MgCO_3$	36.00	$Ca(HCO_3)_2$	171.72
$CaCO_3$	44.00	$Mg(HCO_3)_2$	154.76
$NaCO_3$	46.64	$Na HCO_3$	178.08
36 030 mg/l			

Tableau 3 Valeurs des concentrations en gaz dissous de l'eau de mer exprimée en mg/l

Gaz dissous	Concentration [mg/l]
CO_2	24.64
O_2	7.77

L'effet entartrant a été vérifié par les indices de caractérisation de l'eau d'appoint exprimés par la valeur de l'indice de saturation IS. Ils ont été déterminés par l'indice de Stiff et Davis basé sur l'approche de Langevelier (Yves Lefebvre, 1993), vu que la salinité de l'eau d'appoint est supérieure à 10.000 mg/l .

$$IS = pH - pH_S \quad (1)$$

$$pH_S = K_{cc} \cdot \log [Ca^{2+}] - \log [HCO_3^- + 2CO_3^{2-}] \quad (2)$$

pH_S - eau saturée en carbonate de calcium

K_{cc} - Coefficient qui dépend de la force ionique et la température.

Les résultats ont donné un indice de saturation $IS = 1.394$ qui montre un caractère entartrant de l'eau d'appoint

Tableau 4 Valeurs des concentrations en cations de l'eau de mer exprimée en mg/l et méq/l

Cations	mg/l	méq/l
Ca^{2+}	560	28
Mg^{2+}	1 315	108
Na^+	11 040	480
K^+	390	10
Fe^{2+}	0.4	0.01
Cd^{2+}	0.2	0.07
Cu^{2+}	0.067	0.002
Zn^{2+}	0.9	0.03
Pb^{2+}	0.3	0.05
Total	13306.87	626.64

Tableau 5 Valeurs des concentrations en anions de l'eau de mer exprimée en mg/l et méq/l

Anions	mg/l	méq/l
Cl^-	19 880	560
SO_4^{2-}	2 740	57
SO_3^{2-}	1.5	0.04
NO_3^-	3.5	0.06
HCO_3^-	129.32	2
Total	22808.02	619.1

Tableau 6 : Valeurs mesurées des caractéristiques physico-chimiques de l'eau de mer avant dessalement

Paramètres	Valeurs mesurées	Paramètres	Valeurs mesurées
Température en °C	20.76	TDS à 20.7°C en mg/	51350
pH	8.19	Turbidité en NTU	0.82
Conductivité à 20 °C, en mg/l	53.48	Salinité à 20.7 °C, en g /l	36.5

Caractéristiques de l'eau saumure après dessalement

Les eaux saumures sont les rejets liquides du procédé de dessalement. Les valeurs mesurées des caractéristiques physico – chimiques effectuées sur les prélèvements pour trois campagnes de mesures sont présentées dans les tableaux suivants :

Tableau 7 Valeurs des duretés et alcalinité de l'eau saumure après dessalement

Dureté (°F)	Valeurs mesurées
Dureté hydrotimétrique TH total	820
Dureté carbonatée	20
Dureté permanente	800
Dureté calcique	120
Dureté magnésienne	700
Titre alcalimétrique complet	20

Tableau 8 Valeurs des concentrations en sels dissous de l'eau saumure après dessalement exprimée en mg/l par °F

Sels	mg/l par °F	Sels	mg/l par °F
CO_3	26.40	HCO_3	129.32
$MgCO_3$	36.00	$Ca(HCO_3)_2$	171.72
$CaCO_3$	44.00	$Mg(HCO_3)_2$	154.76
$NaCO_3$	46.64	$Na HCO_3$	178.08

49000 mg/l

Tableau 9. Valeurs des concentrations en gaz dissous de l'eau saumure après dessalement exprimé en mg/l

Gaz dissous	Concentration mg/l]
CO_2	35.2
DCO	4.58

Tableau 10 Valeurs des concentrations en cations de l'eau saumure après dessalement exprimé en mg/l et méq/l

Cations	mg/l	méq/l
Ca^{2+}	440	22
Mg^{2+}	1315	108
Na^+	11040	480
K^+	390	10
Fe^{2+}	0.4	0.01
Cd^{2+}	0.2	0.07
Cu^{2+}	0.067	0.002
Zn^{2+}	0.9	0.03
Pb^{2+}	0.3	0.05
Total	13186.8 6	620.16

Tableau 11. Valeurs des concentrations en anions de l'eau de l'eau saumure après dessalement exprimé en mg/l et méq/l

Anions	mg/l	méq/l
Cl^-	19880	560
SO_4^{2-}	2740	57
SO_3^{2-}	1.5	0.04
NO_3^-	3.5	0.06
HCO_3^-	129.32	2
Total	22808.02	619.1

Tableau 12. Valeurs mesurées des caractéristiques physico-chimique de l'eau saumure après dessalement

Paramètres	Valeurs moyennes mesurées	Paramètres	Valeurs moyennes mesurées
Température en °C	41.8	TDS à 20.7°C en mg/	71250
pH	8.41	Turbidité en NTU	0.91
Conductivité à 20 °C, en mg/l	67.03	Salinité à 20.7 °C, en g/l	49

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les ressources en eau en Algérie, compte tenu de l'irrégularité des pluies où le taux de pluviométrie a diminué de 30 % pendant les 20 dernières années et qui a un impact négatif sur le remplissage des barrages, l'écoulement des rivières, et l'alimentation des aquifères souterrains ; la disponibilité en eau qui continue à diminuer comme le montre des études récentes (Ghaffour, 2008) où la disponibilité qui était de 1.050 M³/hab/an en 1970 va passer à 420 en 2010 en plus des problèmes de mauvaise gestion de ces ressources (fuites d'eau dus au vieillissement des réseaux de distribution, pollution...) ont conduit à produire de l'eau douce par dessalement de l'eau de mer ou des eaux saumâtres par des techniques de plus en plus performantes basées principalement sur la distillation ou l'osmose inverse. Compte tenu des problèmes énergétiques et économiques le choix d'un procédé est en fonction de plusieurs paramètres (Composition physico-chimique de l'eau à traiter, Coût de l'énergie, Impact sur l'environnement et le design du projet). Le coût du m³ d'eau dessalée constitue un critère d'orientation de ce choix. Il varie d'une région à une autre et d'une unité à une autre, (Ghaffour, 2008). Les eaux méditerranéennes du point de vue salinité, turbidité et température sont plus favorables au dessalement que les eaux du golfe persique avec un coût du m³ relativement bas.

Les procédés thermiques par distillation sont caractérisés par un changement de phase où l'eau passe de l'état liquide à l'état de vapeur lorsque la chaleur latente de vaporisation est atteinte. Ce qui nécessite un apport énergétique important. Des études ont montrés que pour transformer un kg d'eau liquide en 1 kg d'eau vapeur à la même température de l'eau il faut environ 2250 kilojoules (si le changement d'état se fait à 100°C), d'après Yves Lefebvre, 1993. Ces procédés ont été améliorés pour la réutilisation de l'énergie libérée lors de la condensation par le développement de nouveaux procédés basés sur le multiple effet ou la compression de vapeur ou encore les applications des énergies renouvelables tel que le solaire thermique. Des essais de distillation thermo solaire [4] ont montrés que l'énergie solaire est disponible, à coût réduit et non polluant permettant de produire de l'eau à partir d'une source d'eau saumâtre à 8 g/l de salinité. Des températures de plus de 60°C ont été atteintes, permettant un échange thermique par évaporation et condensation. Les performances dépendent du matériau absorbeur (corps noir non brillant), la durée d'exposition et du rayonnement solaire.

Effets de l'eau saumure après dessalement.

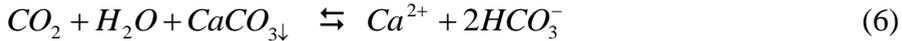
L'eau saumure après dessalement est une eau du point de vue caractéristiques physico chimiques (salinité, solides dissous (TDS), dureté et alcalinité, bilan ionique, température, pH, conductivité turbidité, concentration en gaz dissous tel que l'oxygène et le dioxyde de carbone) comme le montre les résultats des différents analyses, est une eau impropre à tout usage agricole ou industriel, est loin d'être potabilisée.

Influence de la concentration en sels dissous

La salinité qui était dans l'eau à traiter de 36.5 mg/l est passée à 49.0 g/l, la conductivité à 20°C de 53.48 est passée à 67.03 mg/l avec un pH qui varie autour de 8. C'est une eau qui est très dure où les valeurs sont de 820°F pour la dureté totale. Cette augmentation de la salinité et de la conductivité avec celle des sels carbonatés et des ions Ca^{2+} Mg^{2+} Na^+ et K^+ contribue à une variation de la composition de l'eau de mer si les rejets de saumures sont effectués vers la mer avec une augmentation de la température à 40°C, ce qui explique l'augmentation des valeurs de la conductivité et de la salinité et les concentrations dans l'équilibre calco carbonique de l'eau ou les précipitations entartrantes reposent sur l'équilibre où le gaz carbonique CO_2 est en partie sous forme ionique dans l'eau caractérisé par la dissolution ou la précipitation du calcaire dans l'eau régie par une série de réactions à l'équilibre



Dans les conditions habituelles CO_3^{2-} réagit presque entièrement pour former HCO_3^- ce qui explique que l'on retrouve des quantités considérables de calcaire dissous dans l'eau sous forme $Ca(HCO_3)_2$ qui précipite dans les conduites.



L'équilibre calco carbonique est fonction de plusieurs paramètres qui ont tendance à former les dépôts entartrants tel que la température, pH, dureté de l'eau et concentration des sels dissous, Yves Lefebvre, 1993. La présence du bicarbonate de calcium exige une teneur en gaz dissous appelé CO_2 équilibrant. Si la teneur en CO_2 dissous ou libre est supérieure au CO_2 équilibrant, la réaction est celle de dissolution de $CaCO_3$ l'eau est dite agressive par formation du calcaire. Si la teneur en CO_2 dissous ou libre est inférieure au CO_2 équilibrant, la réaction est celle qui forme $CaCO_3$ l'eau est dite entartrante. Si la teneur en CO_2 dissous ou libre est équivalente au CO_2 .

Influence de la concentration en gaz dissous

Les gaz dissous dans l'eau de mer ont plusieurs origines dont la principale est les gaz de l'atmosphère principalement l'azote, l'oxygène et le dioxyde de carbone. L'azote étant considéré comme chimiquement et biologiquement inerte ses variations de concentration sont uniquement dues aux variations saisonnières de la pression atmosphérique, de la température et de la salinité des eaux. Le dioxyde de carbone varie l'équilibre calco carbonique de l'eau, si la concentration initiale était de 24.64 mg/l elle est passée à 35.2 mg/l et sera favorisée avec l'augmentation de la température. L'oxygène est un gaz qui conditionne de nombreux phénomènes chimiques et biologiques. Les résultats ont montrés une nette diminution de sa concentration de 7.77 mg/l à 4.58 mg/l. Ce qui influe négativement sur l'équilibre des écosystèmes et la vie des espèces marines. Une étude biologique est nécessaire pour confirmer nos résultats.

Effet du dessalement sur l'environnement

Cette étude nous montre que d'après les résultats obtenus, la production d'eau douce par des procédés non conventionnels comme le dessalement de l'eau de mer est caractérisé par la production en parallèle d'une eau saumure fortement chargée en sel qui retournera à la mer provoquant une variation de la composition chimique en s'ajoutant aux rejets de produits chimiques des traitements correctifs de l'eau d'appoint et aux rejets issues de la pollution marine tels que l'hydrogène sulfuré ou les composés ammoniacaux et hydrocarburants. Ces rejets ont un impact négatif sur l'environnement et la préservation des éco systèmes. Faut-il orienter le choix d'un procédé de dessalement en considérant une station de neutralisation de la saumure avant son rejet à la nature. Des études ont montrés que le procédé RO par osmose inverse pose les mêmes problèmes.

CONCLUSION

Le dessalement de l'eau de mer constitue une solution compétitive pour pallier à la rareté de cette ressource. Les techniques de dessalement ont connus une amélioration continue permettant pour atteindre des coûts raisonnables et des débits plus importants. La maîtrise de l'énergie est un paramètre important dans le rendement de l'installation par la récupération de l'énergie et l'utilisation des formes d'énergie disponibles, non polluantes et très économiques comme le solaire thermique (Benmoussat, 2007).

Les paramètres évalués pour l'eau saumure rejetée en mer ont montrés des valeurs très élevées par rapport à la norme ce qui influe négativement sur l'environnement marin. Les rejets de saumures fortement chargées ont pour conséquence la variation de la composition chimique de l'eau de mer qui altère l'équilibre des éco systèmes et l'environnement marin. La diminution de la concentration en oxygène dissous d'après les résultats de cette étude a une conséquence sur la vie des espèces marines.

L'eau de mer, par ses propriétés physico-chimiques et également par la fraction vivante qu'elle comporte, est une eau de nature entartrante et corrosive pose des problèmes dans l'exploitation tel que l'entartrage et la corrosion des équipements de l'installation de dessalement.

Les solutions à apporter pour la production d'eau par dessalement sont le choix du procédé adéquat sur tous ses aspects économiques, technologiques et environnementaux, les traitements de neutralisation de la saumure, les dosages précis dans les traitements de correction de l'eau à dessaler.

Remerciements : Les auteurs remercient le personnel du laboratoire ALZINC – Tlemcen pour leur collaboration à la réalisation de ce projet.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Baba Ahmed N., Benmoussat, A., 2007, *Emissivity influence on the radiative thermal properties of opaques materials according to the temperature*, ICRES '07, Conférence internationale sur les énergies renouvelables, pp25-29 novembre. Bejaia,
- Bailer, F., 1998, *Etude des différents mécanismes de dépôts conduisant à l'encrassement particulaire en phase gazeuse des tubes d'échangeur de chaleur* Thèse, Institut polytechnique de grenoble.
- Benmoussat A. Amara, S., 2007, *Etude sur la distillation thermo – solaire à simple effet, site d'Adrar*, Proceedings ICRESD_07, Tlemcen, May, 108p, Vol.I 2
- Bandelier, Deranzier, J C, 2001, *Procédés thermiques de dessalement à haut rendement*, GRETH, Grenoble, groupe de recherche CLEFS CEA N° 44
- Dembele, 2006, *Etude sur le procédé MED par thermodistillation solaire d'une eau saumâtre*, Projet PFE ingénieurs, université Abou Bekr Belkaid Tlemcen.
- Elfil, H., 2006, *Reconsidering water scaling tendency assessment*, AICHE, willey interscience, Vol 52 N°10, 3583-3591,
- Ghaffour, N., 2008, *Ressources en eau et dessalement en Algérie*, Workshop on R.O desalination process, engineering practices, MEDREC Research Centre) Oman, Blida university of Algeria, Tipaza, pp 197 -209
- Lefebvre, Y., 1993, *Circuits eau de mer, Traitements et Matériaux*, Edition Technip