



REJETS CHIMIQUES DES STATIONS DE DESSALEMENT EN ALGÉRIE DANS L'ENVIRONNEMENT MARIN

CHEMICAL DISCHARGE ON THE MARINE ENVIRONMENT FROM DESALINATION PLANTS IN ALGERIA

AMITOUCHE M.¹, LEFKIR A.², REMINI B.³, MERADJI H.⁴, MOKHTARI O.⁴

¹ Université de Boumerdes, Boumerdes 35000 Algérie,

² Ecole Nationale des Travaux Publics, Laboratoire de TPITE, Alger, 16000, Algérie.

³ Département des Sciences de l'Eau et Environnement, Faculté de Technologie, Université Blida1, Blida 9000, Algérie

⁴ Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, Alger 16000, Algérie

mouradhamitouche@yahoo.fr

RESUME

Le présent article traite l'impact des rejets chimiques des stations de dessalement sur l'environnement marin. Des analyses ont été effectuées sur des échantillons prélevés sur les rejets de la saumure en provenance de 4 grandes stations de dessalement en Algérie. Les résultats obtenus montrent que la saumure contient des éléments chimiques avec des concentrations très élevées. Une analyse en composante principale a fait l'objet de cette étude. Elle a permis de définir les éléments les plus prépondérants caractérisant les rejets des différentes stations. Une carte de répartition quantitative des rejets des différents éléments chimiques jugés prépondérants sur le littoral Algérien a été établie.

Mots clés : Station de dessalement, Rejet chimique, Algérie, Environnement marin, Saumure.

ABSTRACT

This article discusses the impact of chemical discharges from desalination plants on the marine environment. Analyzes were carried out on samples taken

from the brine discharges from 4 major desalination plants in Algeria. The results obtained show that the brine contains chemical elements with very high concentrations. Principal component analysis was the subject of this study. It made it possible to define the most important elements characterizing the discharges of the various stations. A map of the quantitative distribution of the discharges of the various chemical elements considered as preponderant on the Algerian littoral was established.

Keywords: Desalination plant, Chemical rejection, Algeria, Marine environment, Brine.

INTRODUCTION

L'Algérie a développé un programme ambitieux dans le domaine de dessalement des eaux de mer. Dans une première étape, elle a mis en place 23 stations « Monobloc » avec une capacité de 57500 m³/j réparties le long du littoral qui s'étale sur plus de 1200 km. Dans une deuxième étape, 14 grandes stations d'une capacité totale égale à 1940000 m³/j ont été réalisées en 2003 et 2005. D'autres stations ont été mises en service durant la période : 2009-2011. Il s'agit des stations de Skikda (100 000 m³/j), Beni Saf (200 000 m³/j), Souk Tlata (Tlemcen) (200 000 m³/j), Honaine de Tlemcen (200 000 m³/j), Mostaganem (200 000 m³/j), Fouka (Tipaza) (120000 m³/j), Oued Sebt (Tipaza) (100 000 m³/j), Cap Djinet (Boumerdès) (100 000 m³/j), Chlef (200 000 m³/jour), El Tarf (50 000 m³/j), Magtaa (Oran) considérée comme la plus importante en Algérie avec une capacité de production de 500 000 m³/j. Selon les experts la production en eau dessalée pourra atteindre 2 580 000 m³/j en 2020. Les quantités colossales en eau dessalée que compte l'Algérie mobiliser à court et à moyen terme laisse à réfléchir sur les impacts environnementaux de cette industrie. Ces rejets chimiques, contenus dans la saumure rejetée par cet ensemble de stations de dessalement auront des effets néfastes sur l'environnement marin (Algerian of Water, 2012), (Amitouche and Remini, 2014) et (Moustiri, 2011).

REGIONS D'ETUDES, MATERIELS ET METHODES

Stations de dessalement étudiées

Dans cette étude nous nous sommes intéressés à l'étude de 4 grandes stations de dessalement. Il s'agit des stations (figure 1) :

- Cap Djenet qui se situe dans la wilaya de Boumerdes à 50 km à l'Est d'Alger.
- El Hamma qui se situe dans la wilaya d'Alger.
- Fouka qui se situe dans la wilaya de Tipaza à 70 km à l'ouest d'Alger.
- Mastaghem qui se situe à 350 km à l'ouest d'Alger

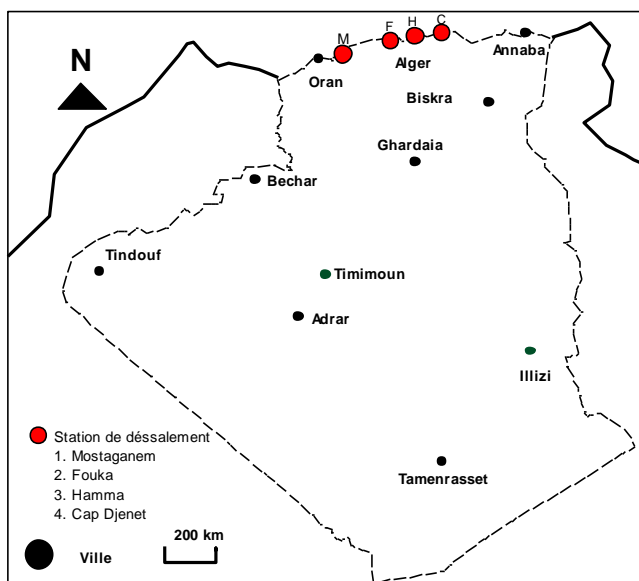


Figure 1 : Situation des stations étudiées

Matériels et méthodes

Des analyses, au Laboratoire, de la saumure et des eaux de mer ont été effectuées pour quatre grandes stations de dessalement par osmose inverse en Algérie (figure 1). En effet, ces analyses sont focalisées sur la quantification des

concentrations des paramètres physico-chimiques du milieu marin ainsi que ceux des rejets (saumure) tableau 1 et tableau 2.

Tableau 1 : Caractéristiques physico-chimiques des eaux de mer

Station	pH	Cond (ms/cm)	turb (NTU)	TDS (g/l)	T (C°)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	TAC (°F)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	TH (°F)	Ca ²⁺ (mg/l)
Cap Djinet (Boumerdes)	8,22	56	0,32	35,7	15,7	6,33	13	130	441	381
Hamma (Alger)	7,8	55,4	1,08	35,2	17,8	5,9	13,5	135	560,6	200
Fouka (Tipaza)	7,7	56,2	1,05	36,1	15,6	5,8	13,4	134	450,3	220
Mostaghane m	7,6	56,8	0,66	36,6	18,1	5,1	13	131	442	237
Moyenne	7,83	56,1	0,77	35,9	16,8	5,78	13,22	132,5	473,47	259,5
Station	Mg ²⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Fe ⁺⁺⁺ (mg/l)	Fe ⁺⁺ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	B (mg/l)	MES	RS (g/l)	O ₂ (mg/l)
Cap Djinet (Boumerdes)	724	6472,2	142,15	0,015	0,085	1023,4	3,81	3,3	32	0,16
Hamma (Alger)	780,9	6816	148,8	0,011	0,087	1260	3,72	4,6	30,2	0,18
Fouka (Tipaza)	807	6532	145,7	0,011	0,09	1100	3,46	4,6	30,5	0,2
Mostaganem	776,87	6453,56	144,9	0,014	0,082	1180,1	3,51	4,08	31,1	0
Moyenne	772,19	6568,44	145,38	0,012	0,086	1140,87	3,625	4,14	30,95	0,13

Caractéristiques des eaux de mer

Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux de mer, effectuées à l'entrée des quatre stations de dessalement, sont donnés par le tableau suivant (Tableau1).

Les Injections chimiques en prétraitement et post traitement

Pour éviter tout développement biologique dans l'eau d'alimentation, l'injection de l'hypochlorite de sodium (NaClO) ou de son équivalent l'eau de Javel (NaCl), doit se faire dès la prise d'eau. Pour l'oxydation de la matière organique on utilise le permanganate de potassium (KMnO₄). L'addition de l'acide sulfurique (H₂SO₄) permet de réduire au minimum la salissure et de diminuer le pH afin d'éviter une partie de carbonate dissous, au début, et puis augmenter le pH après la précipitation de carbonates et élimination du CO₂ résiduelle.

Pour le Procédé de (coagulation/floculant) on utilise le sulfate ferrique Fe(SO₄)₃ /et Polymères anioniques ou non anioniques. L'addition de bisulfite de sodium (Na₂SO₃) est nécessaires pour neutralise le chlore, ou l'élimination du chlore résiduel de l'eau afin d'éviter le colmatage biologique des membranes. La dissolution calcite et la réduction du pH se fait par l'injection de CO₂ (figure 2).

La potabilisation de l'eau déminéralisée est effectuée en deux étapes à la sortie de l'unité de dessalement. La première consiste en une correction de la corrosivité par l'ajouter du carbonate de chaux ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ou du carbonate de calcium (CaCO_3). Une désinfection finale par Injection de l'hydroxyde de sodium (NaOH) et hypochlorite de sodium (NaClO) est nécessaire pour l'élimination d'éventuels micro-organismes.

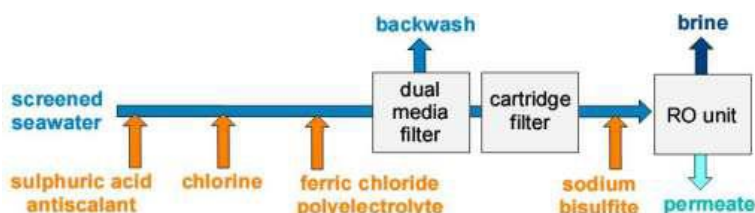


Figure 2 : Etapes de prétraitement d'usine de dessalement OI (Lattemann and Höpner, 2003)

Caractéristiques de la saumure

Le tableau 2 présente les résultats des analyses physico-chimiques de la saumure, effectuées à la sortie des quatre stations de dessalement (coté rejet).

Tableau 2 : Caractéristiques physico-chimiques de la saumure

Essais Paramètres	Unité	Station de Cap Djinet (Boumerdes)	Station Hamma (Alger)	Station Fouka (Tipaza)	Station Mostaganem
pH		7.98	7.95	6.90	7.45
conductivité	ms/cm	95.3	95.00	94.9	94.8
turbidité	NTU	0.40	0.35	0.39	0.37
TDS	g/l	66.71	66.00	65.5	66.3
T	C°	18.2	18	18	17.8
Ammonium NH_4^+	Mg/l	00	00	00	00
Nitrites NO_2^-	Mg/l	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02
Nitrate NO_3^-	Mg/l	15	12	10	14
TA	°F	00	00	00	00
TAC	°F	15	14	14.5	14
Bicarbonates HCO_3^-	Mg/l	150	140	145	144
TH	°F	1340	1430	1390	1410
Calcium Ca^{2+}	Mg/l	300	285	310	302.5
Magnésium Mg^{2+}	Mg/l	940	945	930	934
Chlorures Cl^-	Mg/l	20800	20700	20750	20680
Chlore libre	Mg/l	0.02	0.01	0.01	0.02
Chlore totale	Mg/l	0.03	0.02	0.02	0.03
Potassium K^+	Mg/l	850	842	890	838
Fe^{+++}	Mg/l	0.045	-	-	0.043

Fe ⁺⁺	Mg/l	0.05	0.06	0.09	0.07
Sulfate SO ₄ ²⁻	Mg/l	5930	5900	5820	5880
O ₂ dissous	Mg/l	9.25	9.27	9.00	9.15
MES	Mg/l	13.3	13.2	14	12.9
Résidu sec à 180°	g/l	65.14	64.5	65.75	64.95
Résistivité	mS/cm	10.5	11	10.8	11.5

L'Analyse en composantes principales (ACP)

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) fait partie du groupe de méthodes descriptives multidimensionnelles appelées méthodes factorielles. Elle cherche à synthétiser l'information contenue dans un tableau croisant des individus et des variables quantitatives dans le but de donner des indications sur la nature, la force et la pertinence de ces liens, afin de faciliter leur interprétation et découvrir quelles sont les tendances dominantes de l'ensemble de données, entre les variables (Clément, 2012).

Produire un résumé d'information au sens de l'ACP c'est d'établir une similarité entre les individus, chercher des groupes d'individus homogènes, mettre en évidence une typologie d'individus. Quant aux variables c'est de mettre en évidence des bilans de liaisons entre elles, moyennant des variables synthétiques et mettre en évidence une typologie de variables. L'ACP cherche à établir des liaisons entre ces deux typologies (Kouani, 2006). En effet, Elle propose à partir d'un tableau rectangulaire de données comportant les valeurs de m variables quantitatives pour P observations (appelées aussi individus), des représentations géométriques de ces unités et de ces variables (Escofier et Pages, 2016).

- *Un individu « i »* est décrit dans un espace R^P quelconque, par le vecteur : $\mathbf{X}_i = \{X_{ij} / j = 1 \text{ à } P\}$
- *Une Variable "j"* est décrit par le vecteur appartenant à Rⁿ : $\mathbf{X}_j = \{X_{ij} / i = 1 \text{ à } N\}$

X_{ij} : est un nombre réel qui représente la mesure de la variable X_j relevée sur l'individu i.

L'ACP considère P variables pour lesquelles on dispose de N individus, on aura ainsi une matrice [X] dite de données, qui résulte du croisement « NxP ».

Les paramètres statistiques pour chaque variable de la matrice [X] sont définis comme suit:

- *La moyenne* : $\bar{X}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_{ij}$ (1)

- **Variance** : $\sigma_{X_j}^2 = \text{Var}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^n (X_{ij} - \bar{X}_j)$ (2)

σ_{X_j} : Écart type de la j^{ième} variable.

- **Covariance** : Le coefficient de covariance entre les variables X_j et X_k est défini par : $\text{Cov}(X_j, X_k) = \sum_{i=1}^N (X_{ij} - \bar{X}_j) * (X_{ik} - \bar{X}_k)$ (3)

- **Corrélation** : $\text{Cor}(X_j, X_k) = \frac{\text{Cov}(X_j, X_k)}{S_j * S_k} = \frac{\sum_{i=1}^N (X_{ij} - \bar{X}_j) * (X_{ik} - \bar{X}_k)}{[\sum_{i=1}^N (X_{ij} - \bar{X}_j)^2 * \sum_{i=1}^N (X_{ik} - \bar{X}_k)^2]^{1/2}}$ (4)

On remarque :

$$[A] = \{ \text{Cor}(X_j, X_k), j=1, P; k=1, P \} \quad (5)$$

Il est important de noter que la matrice de corrélation [A] est une matrice symétrique définie positive, elle est donc diagonalisable. La matrice de corrélation est remplacée par une matrice diagonale notée [D] en réduisant le nombre de variables nécessaires pour décrire les individus avec une perte minimale d'information. La matrice [D] est obtenue après résolution de l'équation polynomiale suivante:

$$\text{Det}(A - \lambda_i I) = 0 \quad (6)$$

Avec :

[I]: est la matrice d'identité avec la dimension (PxP).

λ_i : sont appelées valeurs propres et représentent les valeurs diagonales de la matrice diagonale [D].

Les valeurs (λ_i) représentent également les taux d'explication de l'axe F_i .

Ces nouvelles variables sont appelées composants principaux (PC). F_j , représenté comme une combinaison linéaire des variables X_j , qui sont calculées à partir des vecteurs propres de la matrice de corrélation:

$$(A - \lambda_j I) F_j = 0 \quad (7)$$

L'analyse en composantes principales consiste à faire pivoter rigide-ment les axes de cet espace de dimension p vers de nouvelles positions (axes principaux) ayant les propriétés suivantes:- ordonné tel que l'axe principal F_1 ait la variance la plus élevée (λ_1) et le dernier axe F_p ait la variance la plus faible (λ_p). Nous pouvons aussi observer la répartition des individus selon les principaux axes choisis. Ainsi deux individus seront proches dans l'espace R^p , s'ils sont proches dans le plan factoriel. Dans le graphique des individus on s'intéresse aux distances inter-individus qu'on peut interpréter comme étant des ressemblances (Greenacre and Blasius, 2006).

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Caractérisation des eaux de mer

Pour la caractérisation des eaux de mer sur la cote Algérienne une campagne de mesure a été effectuée au niveau de la zone de captage des quatre stations de dessalement illustrées dans le tableau1. Une comparaison des résultats de mesures observés avec les normes de rejets industriels exigées par la norme des rejets Algérienne a été effectuée. Les résultats de la moyenne des ratios sont illustrés dans les graphiques des figures 3 et 4. On constate que le taux de chlorure est prépondérant dans la caractérisation des eaux de mer, soit dix fois plus grande que la norme exigée. On retrouve ensuite le Magnésium et le sulfate qui dépasse de trois fois la norme. Pour le taux de salinité des eaux de mer on remarque d'il est inférieur aux normes.

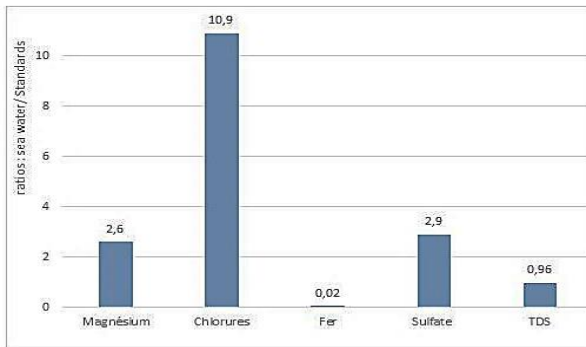


Figure 3 : Ratios des caracteristiques des eaux de mer et celles des normes

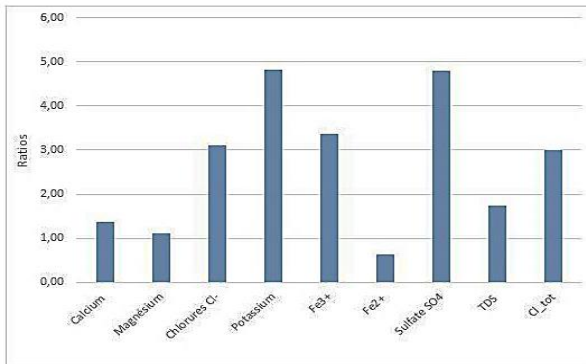


Figure 4 : Ratios des caractéristiques de la saumure et celles des eaux de mer

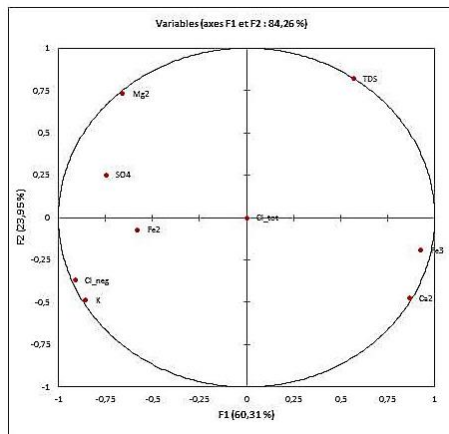
Caractérisation des eaux de rejet

Pour la caractérisation des eaux de rejet (saumure) sur la cote Algérienne une campagne de mesure a été effectuée au niveau de la zone de rejet, ou on a constaté que les concentrations des paramètres physico-chimiques de la saumure sont presque identiques pour les autres stations de dessalement avec un débit de rejet différent.

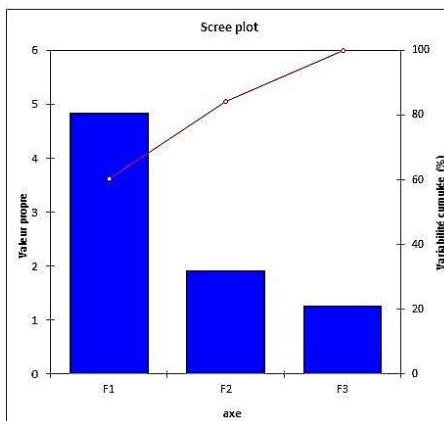
On conclut donc que, pour la caractérisation de la saumure, il est plus intéressant de comparer la qualité des rejets par rapport à la qualité du milieu récepteur (eaux de mer) au lieu des normes de rejets. Pour cela, nous avons effectué le rapport entre les concentrations des caractéristiques physico-chimiques des eaux de rejet et les eaux de mer naturelle afin d'obtenir la variation entre ces différents paramètres. Une analyse en composantes principales a été appliquée sur cet échantillon dans le but d'une description meilleur des paramètres prépondérants pour la description des eaux de rejet et pour la détermination des éventuelles relations qui puissent exister entre ces paramètres.

ACP du rapport entre des eaux de rejet

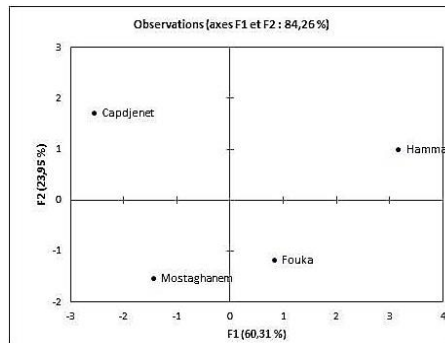
Les figures 5 (a, b et c) illustrés dans ce qui suit sont le résultat d'une ACP appliquée sur le rapport entre les concentrations des caractéristiques physico-chimiques des eaux de rejet et les eaux de mer naturelle.



a) Cercle de corrélation



(b) contribution des axes principaux



(c) Projection des individus

Figure 5 : Résultats de l'ACP des ratios caractéristiques physico-chimiques de la saumure par rapport à celles de la mer

Le graphique de la figure 5 (b) montre la contribution en (%) de chaque axe principal dans l'explication du phénomène en question. En effet, seul les deux premiers axes (F1) et (F2) peuvent expliquer 84,2 % contre 15,8 % qui seront expliqués par le dernier axe (F3).

La figure 5 (a) représente la contribution de chaque paramètre physico-chimique du rapport entre les concentrations des caractéristiques physico-chimiques des eaux de rejet sur l'eau de mer naturelle pour axe principale. On retrouve, pour l'axe (F1) qui représente 60,3 % d'explication, les paramètres calcium et le Fer (Fe^{3+}) sont corrélés positivement par rapport à l'axe (F1) tandis que les paramètres chlorure, sulfate et le potassium sont négativement corrélés. Pour l'axe (F2) qui représente 23,95 % de contribution, les paramètres Magnésium, TDS sont positivement corrélés. Concernant le Fer (Fe^{2+}) se trouve prépondérant sur l'axe (F3) qui représente 15,8 % d'explication.

Quantification des déchets des stations de dessalement en Algérie

Comme toutes les 15 grandes stations de dessalement (13 installées et 2 en projet) sur le littoral algérien sont alimentées de la mer méditerranéenne et fonctionnent par le procédé d'osmose inverse et avec presque le même taux de conversion qu'est de l'ordre de 45%. En se basant sur la moyenne des résultats des analyses physico-chimiques de l'eau de mer et de la saumure des quatre stations données dans les tableaux 1 et 2 et en fonction de capacité de production de chaque station, on a fait une estimation quantitative de rejet des différents éléments chimiques contenant la saumure sur la côte algérienne donnée par les

figures 5 (a, b, c, d, e et f). Pour une analyse rigoureuse de la qualité des rejets issus des stations de dessalement, un système d'information géographique spécifique a été réalisé. Les résultats des requêtes effectuées sur la base de données sont illustrés dans la figure 6. On remarque que la station de Magtaa, avec un débit journalier de 500 000 m³/j, représente la station ou on enregistre le pique le plus élevé des quantités de rejet. On remarque aussi que les valeurs les plus élevées de rejets sont enregistrées à l'Ouest plus qu'à l'Est. Ceci est dû à la quantification des projets de dessalement à l'ouest à cause du risque de sécheresse qui traversait le pays pendant les années de réalisation (2000-2010).

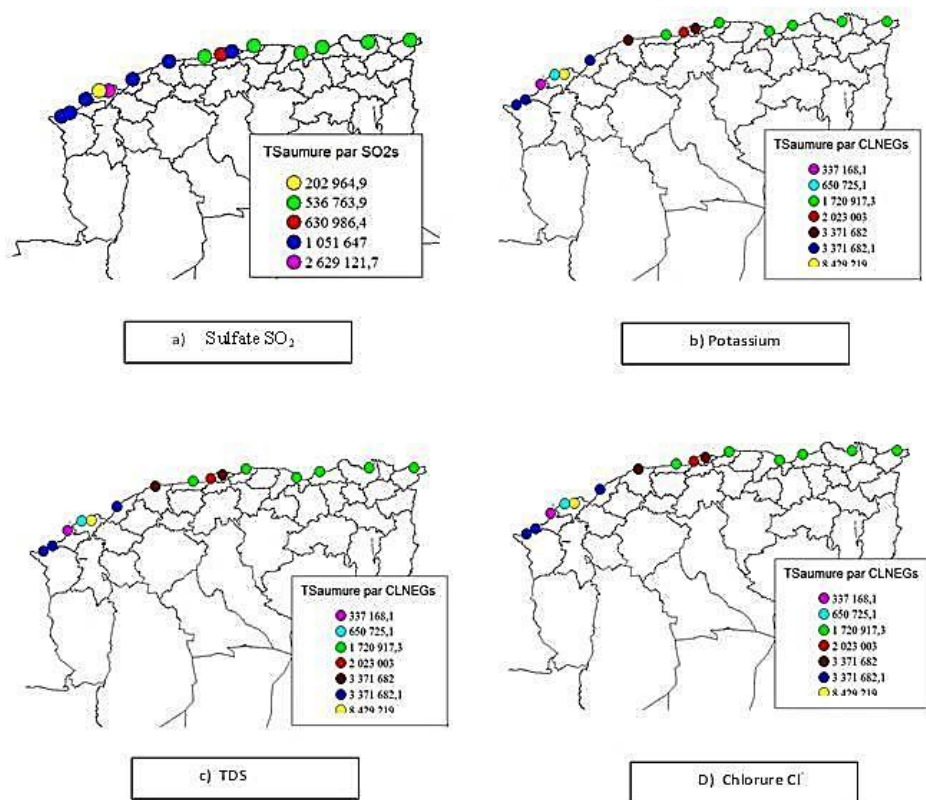


Figure 6 : Cartographie des caractéristiques quantitatives des rejets chimiques en Kg/j des grandes stations de dessalement en Algérie

CONCLUSION

L'étude expérimentale a montré une grande différence entre la salinité et les concentrations de la majorité des éléments chimiques dans l'eau de mer et la saumure. Une analyse de composante principale a été appliquée pour décrire les paramètres dominants pour la description de la saumure et pour déterminer les relations possibles qui peuvent exister entre ces paramètres. Des analyses physico-chimiques de l'eau de mer et de la saumure sont effectuées sur quatre stations (Cap Djinet, Fouka, Hamma et Mostaganem) et les moyennes de ces analyses sont projetées sur les 15 grandes stations. Sur la base de ces moyennes des analyses, des capacités de production et des taux de conversion de 15 stations de dessalement majeurs en Algérie, une estimation quantitative et des cartes des caractéristiques physicochimiques de la saumure ont été effectuées sur la côte algérienne. Nous avons constaté que les plus grandes quantités (quotidiennes et annuelles) de sels et d'autres produits chimiques utilisés dans le prétraitement sont déversées directement dans le milieu marin, ce qui peut avoir des effets néfastes sur l'environnement récepteur et la vie marine à court, moyen ou long terme. À l'heure actuelle, les méthodes les plus couramment utilisées pour la gestion du concentré de dessalement de l'eau de mer (saumure), pour limiter ces impacts environnementaux comprennent : le rejet direct dans le milieu marin, évaporation naturelle pour récupération des sels, la dilution avec les eaux de refroidissement des centrales électriques, la dilution avec les rejets des stations d'épuration des eaux usées et le système de rejet de liquide zéro (ZLD). Des autres techniques qui sont l'échelle pilote sont la distillation membranaire sous vide (DMV), l'évaporation artificielle et la production de l'énergie (énergie osmotique). La solution adoptée en Algérie est le rejet direct dans par l'établissement de systèmes diffuseurs pour assurer une bonne dilution de la saumure. En fin et comme toutes les techniques de valorisation et gestion des rejets des usines de dessalement de l'eau de mer restent coûteuses et ne sont pas toujours assurées car il dépendent des paramètres naturels aléatoires (vents, vagues, courant, température, énergie...), nous recommandons de penser à l'installation d'un ouvrage annexe niveau des stations de dessalement pour dilution (mélange) des saumures avec l'eau de mer avant leur rejet dans le milieu marin, qui sera sans émissaire sous-marin (coûteux et difficilement géré) et avec une dilution sûre et maîtrisée (Fernández-Torquemada et al, 2009) et (Fernandez-Torquemada, Sanchez-Lizaso and Gonzalez- Correa, 2005).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIES

ALGERIAN OF WATER (2012). Desalination of seawater, Algiers.

AMITOUCHE, M., REMINI, B. (2014). Operation of Cap Djinet desalination plant and dilution of brine with power station cooling water, *Desalination and Water Treatment*, Vol. 57, Issue 8, pp.3514-3521.

CLÉMENT B. (2012). *Analyse de données expérimentales*, Ed. Dunod, Paris, France.

ESCOFIER B., PAGES, J. (2016). *Analyses factorielles simples et multiples-5e édition*”, Sience Sup, Dunod, Paris, France,

FERNANDEZ-TORQUEMADA Y., GONZALEZ-CORREA. J.M., LOYA A., (2009). Dispersion of brine discharge from seawater reverse osmosis desalination Plants, *Desalination and Water Treatment*, Vol.5, Issues 1-3, pp.137–145.

FERNANDEZ-TORQUEMADA Y. SANCHEZ-LIZASO J.L., GONZALEZ-CORREA J.M, (2005). Preliminary results of the monitoring of the brine discharge produced by the SWRO desalination plant of Alicante (SE Spain), *Desalination*, Vol.182, Issues 1-3, pp.395–402.

GREENACRE M., BLASIUS J. (2006). *Multiple Correspondence Analysis and Related Methods*, Chapman & Hall/CRC Press, 608p.

LATTEMANN S., HÖPNER T. (2003). *Seawater Desalination: Impacts of Brine and Chemical Discharge on the Marine Environment*, Desalination Publications, Balaban publishers, ISBN-13: 978-0866890625.

MOUSTIRI M. (2011), *Strategy and Indicators, Water Sector in Algeria*, Ministry of Water Resources, Algiers, Algeria.