

L. Djabri, N. Gaaloul, F. Halimi, H. Bouguerra, A. Hani, S.E. Tachi, N. Boughrira and Kibieche A

Processus de salinisation des eaux d'une lagune et d'un aquifère littoral en Algérie
International Journal Water Sciences and Environment Technologies

Vol. (x), Issue. 3, December 2025, pp. 69-79

e-ISSN: 1737-9350 p-ISSN: 1737-6688, | Open Access Journal |

www.ijste.org

Scientific Press International Limited

Received: August 2025 / Revised: September 2025 / Accepted: September 2025 / Published: December 2025



Processus de salinisation des eaux d'une lagune et d'un aquifère littoral en Algérie

L. Djabri¹, N. Gaaloul², F. Halimi³, H. Bouguerra¹, A. Hani¹, S.E. Tachi¹, N. Boughrira¹ and Kibieche A⁴

¹ Laboratoire Ressource en Eau & Développement Durable, Université Badji Mokhtar Annaba-Algérie-

² Laboratoire de Recherche Valorisation Des eaux Non Conventionnelles INRGREF (Institut National de la Recherche en Génie Rural, Eaux et Forêts). Tunis, Tunisie.

³ Laboratoire de recherche en Géologie, Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie

⁴ Ecole nationale d'Agriculture, Algérie

Résumé

La région, se situe dans le Nord-est algérien, se caractérise par l'interférence de plusieurs facteurs contribuant à la variation de la salinité des eaux.

-La géologie caractérisée par l'affleurement de formations métamorphiques (gneiss, cipolins,) et des formations sédimentaires (calcaires, argiles, grès, sables, évaporites,...), qui influencent la composition chimique des eaux soit en augmentant ou en diminuant la minéralisation des eaux.

-Le lac Fetzara, dont les eaux très chargées débouchent sur la Seybouse et les nappes par le biais de l'Oued Meboudja, modifiant la salinité des eaux.

-La mer, modifie également la salinité des eaux. Les pompages, entraînent un déséquilibre de l'interface eau douce-eau salée, d'où un accroissement de la salinité des eaux.

-Les sécheresses, entraînent une augmentation de la salinité des eaux par évaporation.

Les méthodes appliquées, montrent que la salinité observée provient de plusieurs facteurs.

Mots clés : Lac, Oued, aquifère Côtier, lagune littorale, salinité, Mer Méditerranée.

Salinization process of the waters of a lagoon and a coastal aquifer in Algeria

Abstract

The region studied is located in the North-East of Algeria, is characterized by the interference of several factors contributing to the variation of the salinity of the waters.

-Geology: characterized by the outcrop of metamorphic formations (gneiss, cipolins, etc.) and sedimentary formations (limestone, clays, sandstone, sands, evaporites, etc.), which influence the chemical composition of water either by increasing or decreasing the mineralization of the waters.

Lake Fetzara, whose very charged waters leads to the Seybouse and the aquifers through the Oued Meboudja, modifying the salinity of the waters.

-The sea also modifies the salinity of the waters. Pumping leads to an imbalance of the freshwater-saltwater interface, resulting in an increase in water salinity.

-Droughts lead to an increase in water salinity through evaporation.

The methods applied show that the salinity observed comes from several factors.

Keywords: Lake, Oued, costal aquifer, coastal lagoon, Salinity, Mediterranean Sea..

¹ Corresponding author: larbi.djabri@univ-annaba.dz

I. INTRODUCTION

Le présent travail, porte sur la mise en évidence des processus régissant la salinité des eaux, dans un domaine caractérisé par la présence de plusieurs facteurs pouvant influencer la minéralisation et la dégradation des eaux.

Parmi les facteurs engendrant la minéralisation des eaux, on a la mer qui par le biais des échanges avec les eaux souterraines ou de surface, il y a accroissement ou diminution de la minéralisation.

Parmi les facteurs polluant la qualité des eaux, on a les engrais et le retour des eaux d'irrigation, qui vont véhiculer les polluants d'un milieu vers un autre.

Notons que les formations géologiques sont à l'origine d'une paléo-pollution, contrairement aux facteurs climatiques dont les variations peuvent entraîner un accroissement ou une baisse de la minéralisation selon l'évaporation.

Par le biais de ce travail, nous allons essayer d'expliquer les mécanismes régissant la salinité des eaux dans cette région [1].

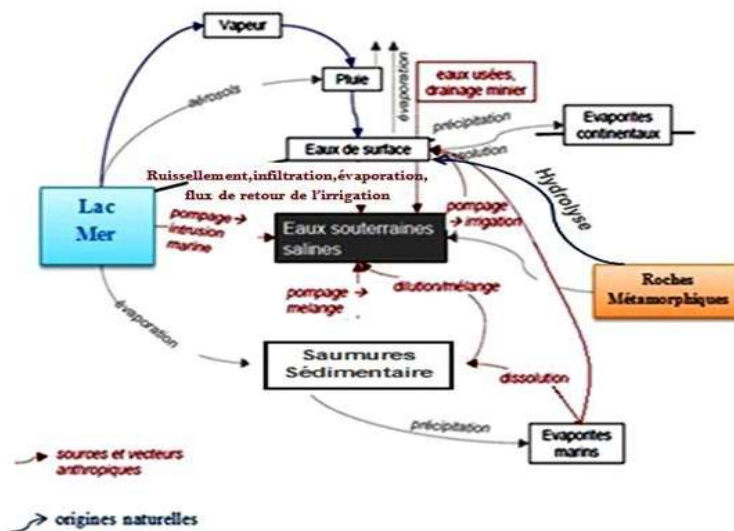


Fig.1 : Mécanismes naturels et anthropiques régissant la salinité des eaux dans la plaine d'Annaba (in Habes 2013).

La précédente figure, donne un aperçu sur les origines de la minéralisation des eaux dans la zone d'étude. On note une relation de cause à effet entre l'environnement et la minéralisation qu'on va essayer d'expliquer.

Le tableau suivant N° I, montre les paramètres à l'origine de la qualité des eaux.

Tableau. I : Paramètres influençant la qualité des eaux dans la zone d'étude

Paramètres anthropiques	Paramètres naturels
Pompage provoquant une intrusion marine	Les évaporites,
Les eaux usées	La pluie, l'évaporation
Le ruissellement et l'érosion	La géologie par le biais des échanges eau-roche
Le retour des eaux d'irrigation	L'hydrolyse

Les facteurs énumérés conduisent à la minéralisation des eaux soit directement ou indirectement. Le schéma (fig.1) et le tableau I, montrent de manière succincte les différentes relations existantes entre les différents facteurs, il met également en évidence le déplacement des éléments pouvant influencer la salinité des eaux. En surface le lac par le biais de l'Oued Meboudja se déverse dans l'Oued Seybouse qui

alimente la nappe superficielle, cette dernière dans sa partie aval reçoit la mer. Il existe également une alimentation souterraine engendrée par l'infiltration, ce qui explique les concentrations remarquées dans les eaux des puits et des forages.

2. MATERIEL ET METHODES

Les prélèvements d'eau ont été réalisés selon un pas mensuel. Les paramètres physico-chimiques (pH, T°C, conductivité) sont mesurés in situ à l'aide d'un appareil multiparamètres de marque WTW (Multiline P3 PH/LF-SET) et une sonde lumineuse de type SEBA KLL pour la mesure du niveau piézométrique. L'analyse des éléments chimiques s'effectue par absorption atomique à flamme (PERKIN-ELMER I 1005) pour les cations. Les anions et les éléments traces sont dosés par le spectrophotomètre photolab spectral de marque WTW. Pour un problème de commodité, chaque point a fait l'objet de deux prélèvements :
- le premier acidifié, avec HCl pur pour le dosage des cations,
- le second sans ajout (dosage des anions).

Les échantillons ont été transportés dans une glacière à 4°C, température de conservation.

3. CARACTERISTIQUES DE LA REGION D'ETUDE :

Situation géographique :

La région étudiée est située dans le Nord-est algérien (fig. 2). Elle est limitée au Nord par la mer Méditerranée, au Sud par Dzean, à l'Est par l'oued Mafragh et à l'ouest par le lac Fetzara. L'alimentation de la plaine se fait à l'Ouest par les eaux de ruissellement en provenance de l'Edough, au Sud par les apports qui se font de la partie amont.



Fig. 2 : Situation géographique de la zone étudiée

Indications géologiques et hydrogéologiques :

- Cadre géologique :

Les études réalisées dans la région montrent l'existence de deux types de terrains : métamorphique et sédimentaire (fig.3). Les affleurements géologiques sont datés du Paléozoïque au Quaternaire.

- Le Paléozoïque affleure à l'Ouest dans le massif de l'Edough, Belilieta et Boukhadra. Il est constitué surtout de gneiss.

- Le Mésozoïque affleure au Sud de la zone d'étude, constitué par :

- Le Trias, formé par une association de dolomies, de calcaires dolomitiques et de gypse.

- Le Jurassique constitué de dolomies noires et de schiste calcaireux.

- Le Crétacé comportant des calcaires dolomitiques à foraminifères.

- Le Cénozoïque représenté par l'Eocène inférieur, l'Oligocène et le Mio-Pliocène ; ce dernier est représenté par les faciès suivants :

- le faciès fluvial : bien développé dans la plaine de Annaba ; il est surtout formé de galets, de sable et d'argile le long des oueds,

- le faciès marin : caractérisé par des marnes bleues avec des intercalations calcaires.

- le faciès continental : il est lié aux dépôts des fosses d'effondrement qui sont :

* la fosse de Ben Ahmed, orientée S-N,

* la fosse de Ben M'Hidi, orientée SW-NE.

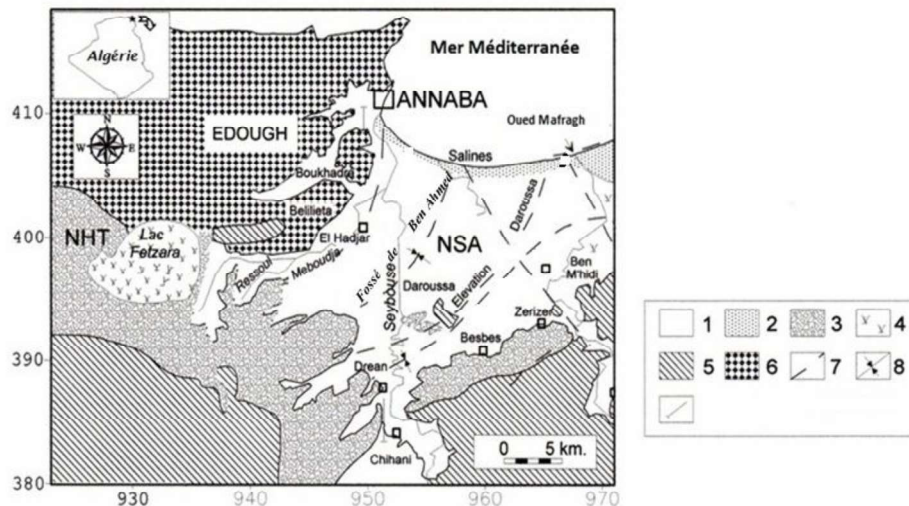
Ces deux fosses sont séparées par l'élévation de Daghoussa où haut-fond de Daghoussa.

* Le Quaternaire : Les formations dunaires alluvionnaires constituent la roche réservoir. On y distingue le:

- Quaternaire ancien (hautes terrasses): renfermant la nappe des alluvions dont le matériau est composé de sables, d'argiles, de graviers, ...

Quaternaire récent : correspond à la basse et à la moyenne terrasse.

-Quaternaire actuel : les alluvions sont représentées par des dépôts de lit actuel de l'oued ; il s'agit de sable et de cailloutis.



Légende : 1=Nappe des formations superficielles ; 2=Nappe des sables du massif dunaire de Bouteldja ; 3=Nappe des sables du cordon dunaire ; 4=Nappe des alluvions de haut niveau ; 5=Grès et argiles du numidien ; 6=formations métamorphiques (nappe des cipolins) ; 7=Marécages ; 8=Failles ; 9=Fosses ; 10=Limite de la zone étudiée.

Fig. 3 : Cadre géologique de la zone étudiée [2]

Indications hydrogéologiques :

La disposition de ces formations a mis en évidence deux aquifères (fig.4) communiquant entre eux essentiellement par l'oued Meboudja ; il s'agit de :

- La nappe superficielle d'Annaba (NSA),
- La nappe d'accompagnement du lac (NAL).

Caractéristiques de la nappe d'accompagnement du lac Fetzara (fig.4) :

La carte élaborée, par krigeage porte sur 145 puits nivelés fait apparaître deux sens d'écoulement :

- le premier est orienté vers le lac et met en évidence une alimentation du lac par la nappe,
- le second est orienté vers l'oued Meboudja et met en évidence la relation lac-oued-nappe. Les eaux sortant du lac (très minéralisées) par le biais de l'oued Meboudja (canal de vidange du lac) vont alimenter la nappe, entraînant probablement une modification de la composition chimique des eaux.

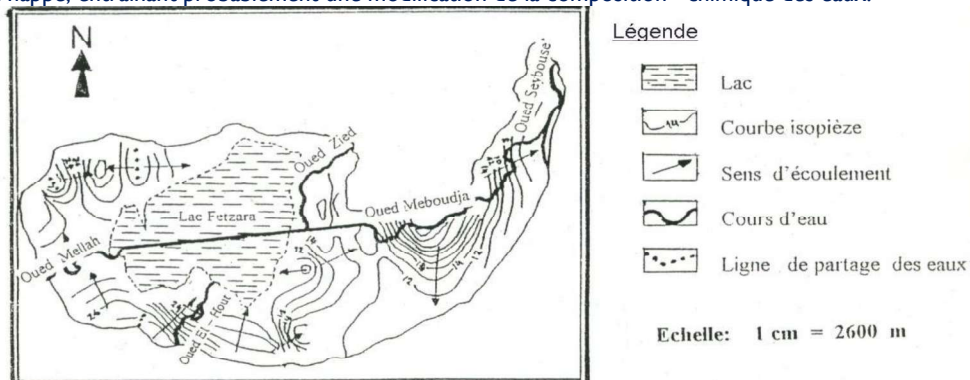


Fig. 4 : Carte piézométrique de la nappe d'accompagnement du lac Fetzara [3]

L'observation de la carte piézométrique montre l'existence d'une interconnexion entre les différents systèmes (lac, oued, nappe). A titre indicatif le débit global extrait est de l'ordre de $8.31E-1 \text{ m}^3.s^{-1}$. Le niveau d'eau dans la nappe superficielle a diminué de quelques mètres (3 m à 5m) et est tributaire de la recharge d'eau qui dépend des précipitations. Ces dernières ont connu une baisse très significative, entraînant une absence totale de la recharge au cours des dernières années (A. Benchaib 2021). Les deux facteurs énumérés engendrent une perturbation du système aquifère dans ces deux parties. Ce qui se traduit par un déséquilibre de l'interface eau douce-eau salée. Cet état génère une dégradation de la qualité des eaux (accroissement de la salinité des eaux). La chimie des eaux va nous renseigner sur l'état des nappes vis à vis des autres paramètres constituant le système aquifère.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les analyses chimiques effectuées, nous ont permis de mettre en évidence les relations de causes à effets qui semblent exister entre la mer et la nappe, le lac et la nappe, les oueds et la nappe, en nous appuyant sur les représentations et outils suivants seront développés :

- 'ACP ou analyses en composantes principales,
- apport du strontium,

Ces dernières portent sur les eaux superficielles et sur les eaux profondes. Par ailleurs, nous avons réalisé un ACP, pour chaque Oued, ce qui nous permettra de mettre en évidence les différentes compositions des eaux et aussi d'expliquer leurs origines. Pour l'interprétation, de l'ACP, nous nous contenterons de l'analyse de la matrice de corrélation et du cercle ACP, ces deux paramètres suffisent à mettre en évidence les différences dans les liens entre les éléments chimiques. Nous avons utilisé les mêmes analyses que celles utilisées pour l'élaboration du diagramme de Piper.

Apports de l'analyse en composantes principales :

L'analyse réalisée porte sur 306 échantillons et 8 variables. L'inertie totale obtenue est de 68.60%, fournissant ainsi un maximum d'informations.

Observation de la matrice de corrélation :

L'observation du tableau 2, indique des coefficients de corrélations positifs et d'autres négatifs, mettant en évidence des corrélations inverses.

-le nombre d'échantillons utilisé dans la matrice étant de 306, le coefficient de corrélation à prendre en considération est $r = 0.22$

Tableau 2 : Matrice de corrélation eaux superficielles.

	C.électrique	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
C. électrique	1							
Ca ²⁺	0.32	1						
Mg ²⁺	0.45	0.50	1					
Na ⁺	0.68	0.40	0.60	1				
K ⁺	-0.01	-0.22	-0.25	-0.07	1			
HCO ₃ ⁻	0.49	0.31	0.60	0.62	0.05	1		
Cl ⁻	0.71	0.41	0.71	0.84	-0.05	0.60	1	
SO ₄ ²⁻	0.50	0.54	0.52	0.53	0.17	0.44	0.45	1

La valeur du coefficient de corrélation, nous permet de dégager les associations récapitulées dans le tableau 3.

Tableau.3 : Corrélations déduites à partir de la matrice de corrélation

Eléments corrélés	Valeur de r	Eléments corrélés	Valeur de r	Eléments corrélés	Valeur de r
C électrique-Ca	0.32	Ca-K	-0.22	Na-HCO ₃	0.62
C électrique -Mg	0.45	Ca-HCO ₃	0.31	Na-Cl	0.84
C- électrique - Na	0.68	Ca-Cl	0.41	Na -SO ₄	0.53
C électrique-HCO ₃	0.49	Ca-SO ₄	0.54	HCO ₃ -Cl	0.60
C électrique- Cl	0.71	Mg-Na	0.66	HCO ₃ -SO ₄	0.44
C électrique -SO ₄	0.50	Mg-K	-0.25	Cl-SO ₄	0.45
Ca-Mg	0.50	Mg-HCO ₃	0.60		
Ca-Na	0.40	Mg-Cl	0.71		

C électrique = conductivité électrique

Dans leurs majorités les coefficients sont positifs, ce qui indique un lien direct entre les éléments. Cependant on note deux coefficients négatifs mettant en évidence une opposition entre les éléments considérés.

Observation du cercle ACP :

Le cercle ACP (fig.5), formé par les axes F1F2 fournissant (68.7%) de l'information, montre selon l'axe F1 (53.64%) horizontal, une opposition entre les eaux fortement minéralisées, constituant la partie négative de l'axe et les eaux faiblement minéralisées riches en potassium, occupant la partie négative de l'axe.

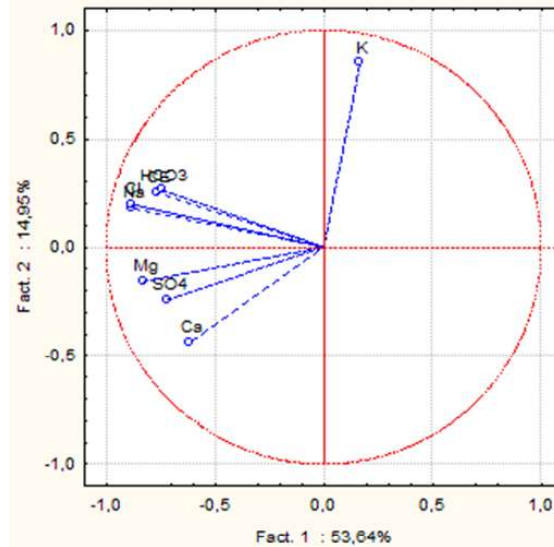


Fig.5 : Cercle ACP, eaux superficielles. [I & I']

Selon l'axe F2 (14.95%), on note une compétition entre les eaux sulfatées et les eaux bicarbonatées ou chlorurées. Notons que ces dernières sont riches en potassium. Cette compétition montre que les eaux s'écoulant vers le lac proviennent de divers horizons. En effet, les eaux occupant la partie positive de l'axe sont issues de la zone Ouest (Massif de l'Edough et Kherraza). Les eaux arrivant au lac traversent les formations métamorphiques et les sables. L'interaction eau-roche provoque une dissolution entraînant un enrichissement en chlorures, bicarbonates et potassium, par contre les eaux occupant la partie négative proviendraient des eaux charriées par l'Oued El Hout, drainant la plaine de Cheurfa, elle-même alimentée par les monts d'Ain Berda, dont les eaux sont riches en sulfates.

-Qualité des eaux à leur sortie du lac : comme pour l'entrée des eaux au lac, pour leur sortie nous avons réalisé un ACP, ce qui nous a permis de faire une comparaison de la composition chimique des eaux.

ACP des eaux de l'Oued Meboudja :

Le traitement réalisé, porte sur 109 échantillons et 8 variables.

Matrice de corrélation : l'observation du tableau suivant, montre deux types de corrélations :

- la première directe, $r > 0$, donc directe,
- la seconde indirecte $r < 0$, donc inverse.

Tableau.4 : Matrice de corrélation Oued Meboudja

	Ce	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
Ce	1							
Ca	0.11	1						
Mg	0.43	0.63	1					
Na	0.66	0.32	0.70	1				
K	-0.14	-0.04	-0.16	-0.08	1			
HCO3	0.60	0.41	0.75	0.88	-0.08	1		
Cl	0.62	0.24	0.72	0.88	-0.07	0.87	1	
SO4	0.17	0.57	0.46	0.39	0.03	0.42	0.20	1

L'observation du précédent tableau met en évidence deux types de corrélation :

- la première directe, $r > 0$, donc directe,
- la seconde indirecte $r < 0$, donc inverse.

Le nombre des échantillons utilisés est de 109, le coefficient de corrélation sera $r = 0.36$ se qui nous permet de dégager les associations suivantes :

Tableau : 5 : récapitulation des corrélations

Eléments corrélés	Valeur de r	Eléments corrélés	Valeur de r	Eléments corrélés	Valeur de r	Eléments corrélés	Valeur de r
Ce-Mg	0.43	Ca-Mg	0.63	Mg-HCO3	0.75	Na-Cl	0.88
Ce-Na	0.66	Ca-HOC3	0.41	Mg-Cl	0.72	Na-SO4	0.9
Ce-HCO3	0.60	Ca-SO4	0.57	Mg-SO4	0.46	HCO3-Cl	0.87
Ce-Cl	0.62	Mg-Na	0.70	Na-HCO3	0.88	HCO3-SO4	0.42

Nous remarquons que les corrélations inverses sont insuffisantes

Analyse du cercle ACP :

L'observation du cercle ACP (fig.6), formé par les axes F1F2 (71.28%) de l'information totale, montre selon l'axe F1 (54.26 %) horizontal, une opposition entre les eaux fortement minéralisées (partie négative de l'axe) et les faiblement minéralisées, riches en potassium, occupant la partie positive de l'axe. Selon l'axe F2 (17.02%) vertical, on note une compétition entre les eaux chlorurées et bicarbonatées sodiques aux eaux sulfatées calciques à magnésiennes riches en potassium.

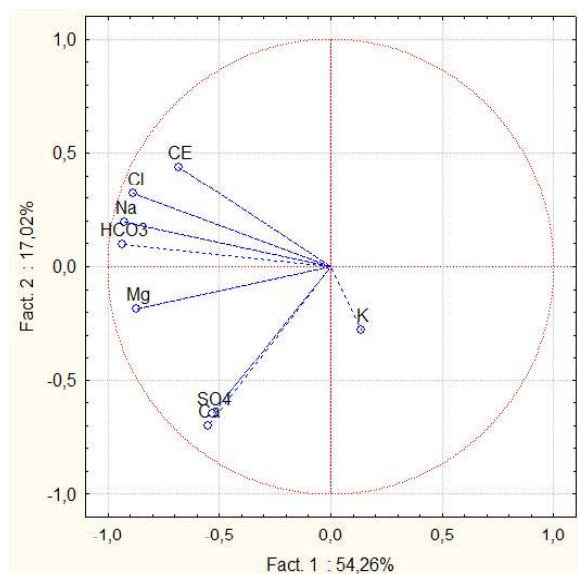


Fig.6 : Cercle ACP, caractérisant les eaux de l'Oued Meboudja.[4]

A leur sortie des eaux du lac (Oued Meboudja), les eaux deviennent chlorurées sodiques, indiquant une salinité importante liée aux interactions se produisant entre les eaux et la matrice du lac.

Pour expliquer les origines de la nouvelle composition à l'origine de l'accroissement de la salinité des eaux par , nous avons utilisé la méthode des rapports caractéristiques tel que Sr^{2+}/Ca^{2+} et Br/Cl .

Arguments de mise en évidence des origines de la salinité des eaux :

La composition chimique des eaux de la région reste tributaire de plusieurs facteurs, afin d'identifier les facteurs à l'origine de la salinité des eaux, nous avons dosé le strontium. Les résultats obtenus montrent des valeurs oscillant 0.004 meq/l et 0.7 meq/l.

Calcul du rapport Sr^{2+}/Ca^{2+} :

Ce rapport permet d'identification des origines de la salinité des eaux. Les calculs réalisés montrent que la valeur du rapport Sr^{2+}/Ca^{2+} , oscillent entre 0,6 ‰ et 9,2 ‰ ce qui démontre différentes origines de la salinité. Ainsi des chercheurs dont Pulido Leboeuf.2003, Hsissou 1997, Djabri L & als 2009, Benchaib A & als, 2018, ont démontré dans leurs travaux l'existence d'une relation de cause à effet entre les formations évaporitiques et la salinité des eaux. Les analyses effectuées ont porté sur le dosage du strontium, cet élément est utilisé pour la caractérisation de la salinité des eaux dont l'origine est liée aux formations géologiques. Le calcul du rapport Sr^{2+}/Ca^{2+} , pour les eaux de la région, nous a permis

d'élaborer la carte de répartition du rapport $\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ (Fig.7). L'examen de celle-ci montre la présence de trois familles d'eau :

- Une première(A), caractérisée par un rapport $\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ faible, ne dépassant pas 1‰, est localisée uniquement au niveau de l'oued Meboudja ; celui-ci sert de canal de vidange du lac Fetzara. Donc, les eaux constituant ce groupe proviendraient du lac.
- La seconde (B), dont le rapport $\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ oscille entre 1 et 3‰, se localise au centre de la plaine de Annaba. Dans cette zone, la salinité peut avoir plusieurs origines :

- * marine,
- * mélange des eaux des oueds Meboudja et Seybouse,
- * dissolution des formations évaporitiques situées en amont.

- La troisième (C) grande famille $\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+} > 3‰$ se localise en amont de Dréan. La valeur du rapport confirme l'incidence des formations évaporitiques sur la salinité des eaux. Cette salinité peut également avoir une origine anthropique due aux rejets domestiques nombreux dans la région.

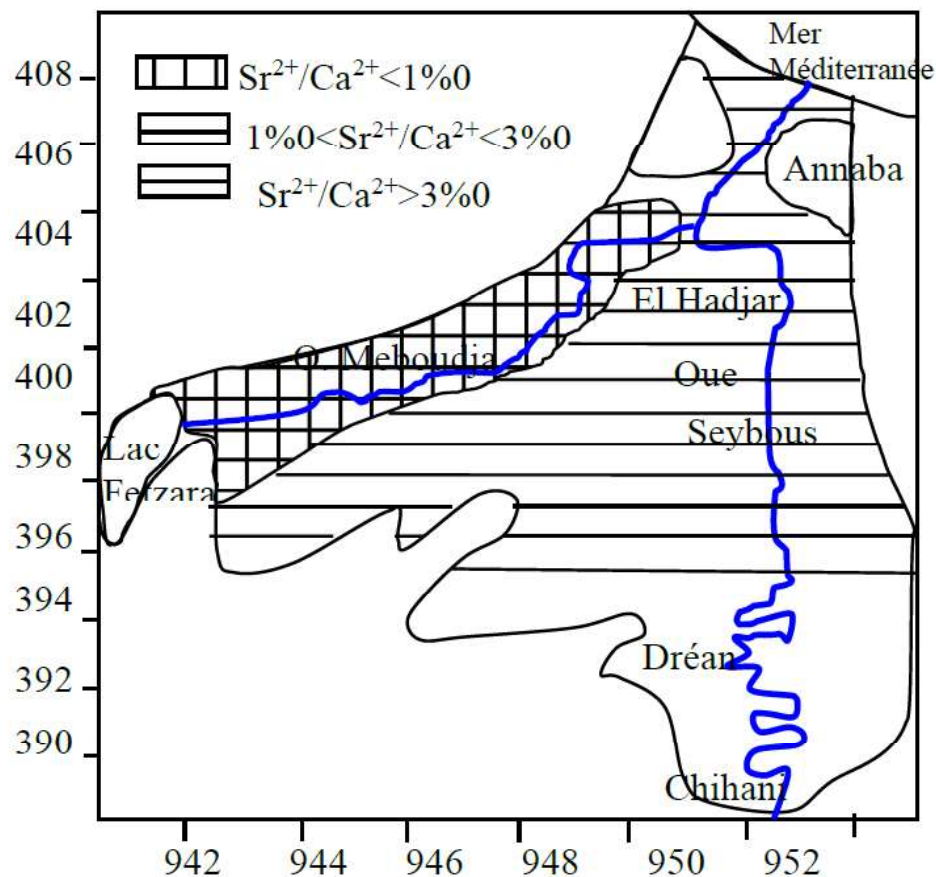


Fig. 7: Carte de répartition du rapport $\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ [5]

Confirmation par le Rapport Br/Cl

La présence de la mer, favorise les échanges avec les eaux de la nappe lors des pompages (intrusion marine), ce qui peut entraîner un accroissement de la salinité des eaux de la nappe. L'utilisation du rapport Br/Cl , selon certaines valeurs indique une origine de la salinité.

Les valeurs calculées, du rapport Br/Cl , oscillent entre 0.0009 et 3.5 ‰, mettant différentes origines de la salinité, ainsi nous distinguons :

- la valeur du rapport $\text{Br/Cl} \geq 3 \text{ ‰}$, dans ce cas la mer impacte la salinité des eaux,
- le reste des échantillons, dans ce cas la salinité observée peut avoir plusieurs origines :
- les échantillons prélevés à proximité de la mer, montre une salinité des eaux liée aux embruns marins ou à l'utilisation des aérosols,

Les échantillons prélevés loin du littoral indiquent une salinité produite par les apports issus des régions situées en amont de la plaine.

Le graphique réalisé (Br/Cl VS Cl) (fig.8), montre quatre (04) différentes et se répartissant comme suit :

- une première famille dont le rapport (Br/Cl VS Cl) $> 1.5 \text{ ‰}$, constituée de huit (08) échantillons, indiquant une salinité liée à la mer,
- la seconde famille dont le rapport Br/Cl , oscille entre 1.3 et 1.5 ‰ , contenant trois (03) échantillons, dans cas la salinité des eaux est liée soit à l'influence marine soit aux aérosols utilisés par les agriculteurs,
- la troisième famille contenant sept (07) échantillons. Le rapport Br/Cl , varie 1.0 et 1.3 ‰ , pour cette famille la salinité est liée aux facteurs anthropiques ou géologiques,
- la quatrième famille contenant cinq (05), dont la salinité est probablement liée à la dilution des formations géologiques.

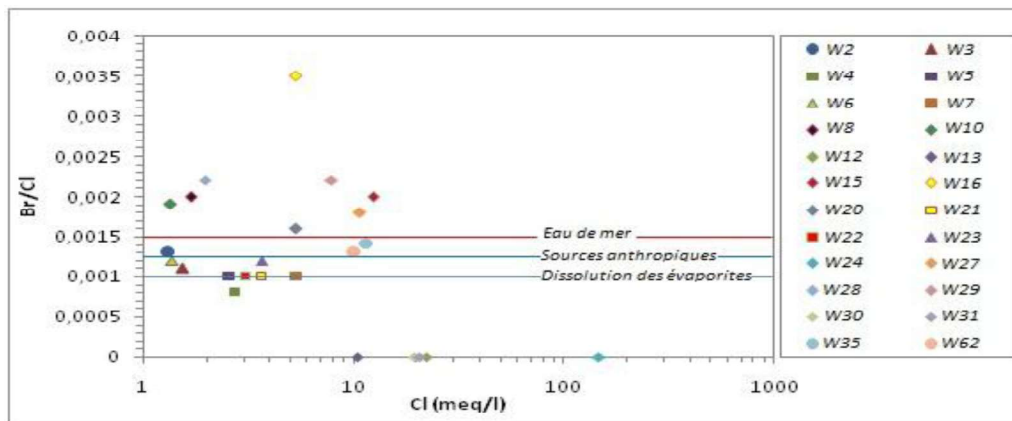


Fig.8 : Relation entre le rapport (Br/Cl) et Cl (in Benchaib, 2021). [6]

La précédente figure montre une salinité dont les origines diffèrent selon la zone de prélèvement. Plus on s'approche de la zone littorale l'influence marine reste quasi-certaine mais au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la mer la salinité est induite par les facteurs anthropiques ou par la dissolution des roches.

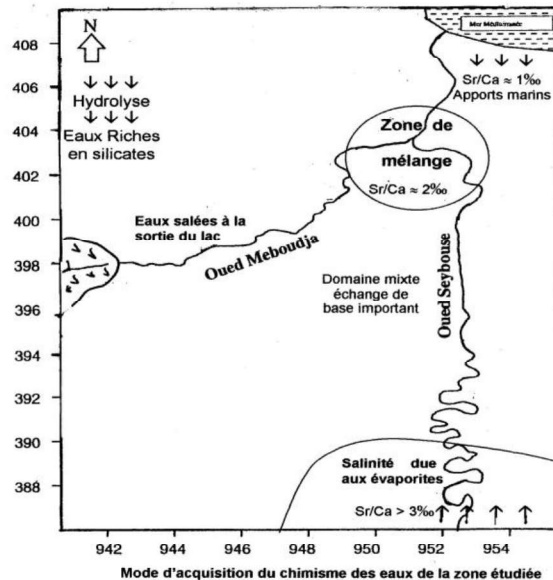
Conclusion

L'étude réalisée se rapporte à une zone côtière ou la géologie, le climat et l'environnement (présence d'un lac et d'une mer), influencent la salinité soit de manière directe ou indirecte.

La sécheresse qu'avait connue la région d'étude au cours de la dernière décennie a entraîné une baisse de la recharge et une augmentation de l'évapotranspiration, ce qui a eu pour effet une augmentation de la salinité.

La figure 9, suivante récapitule les origines de la minéralisation des eaux au niveau de la plaine d'Annaba. On nous trois zones dont la minéralisation se répartissant comme suit :

- au niveau du littoral, le rapport $\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+} \approx 1 \text{ ‰}$, ce qui indique que la salinité n'est pas d'origine géologique,
- au niveau de la confluence des Oueds Meboudja et Seybouse le rapport $\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+} \approx 2 \text{ ‰}$, indiquant diverses origines de la salinité d'où l'appellation zone mixte, car l'origine de la salinité n'est pas franchement connue,



- la troisième famille, caractérise la partie aval, le rapport $Sr^{2+}/Ca^{2+} > 3\text{‰}$, indiquant une origine géologique de la salinité induite par les apports se faisant à partir de la zone amont
Fig.9 : Mode d'acquisition la minéralisation des eaux dans la zone étudiée. [7, 7', 7'']
Le strontium confirme donc l'alimentation de la nappe par les formations évaporitiques situées en amont.

Bibliographie :

- [1] Habes Sameh (2013) : *Caractéristiques chimiques d'un lac appartenant aux écosystèmes humides du Nord de l'Algérie : Cas du Lac Fetzara Nord - Est Algérien*. Thèse de doctorat de l'université Badji Mokhtar Annaba, 230p
- [1'] Bouhali. Z, Djabri L, Bouguerra H, Trabelsi F, Hani A, & Chaffai H. (2022). Use of artificial neural networks for modeling inflow, outflow, and salinity of Lake Fetzara in the Annaba region (N.E. Algeria). *Journal of Food Industry and Agriculture*, 107-115. Available at: www.fia.usv.ro/fiajournal
- [2] Debieche T.H. (2002). Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la basse plaine de la Seybouse Nord-Est algérien. Th. Doct. Univ. de Franche-Comté, 199 p.
- [3] Zenati N (2010) : *Pollution de l'environnement aquatique: diagnostic et proposition «Région de Annaba»*. Thèse de doctorat de l'université Badji Mokhtar Annaba. 220p
- [4] Djabri L. (1996). Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse. Origines géologiques industrielles, agricoles et urbaines. Th. Doct. Es-Sciences, Univ. Annaba, 261 p.
- [2] Djabri L., Hani A., Mania J. & Mudry J. : (2001), Mise en évidence du processus de salinité des eaux superficielles - Vérification par les ACP dans le secteur Annaba- Boucheouf-Guelma. Tribune de l'Eau - Vol. 54 - N°610 - pp. 29-43. Tribune de l'eau (Belgique),
- [5] Djabri L., Hani A., Mania J., Mudry J. (2000). Conséquences des pratiques agricoles sur la qualité des eaux du bassin de la Seybouse (Est algérien). Actes du colloque ESRA'2000, Poitiers, S3, pp.39-42.
- [6] BENCHAI B Abdelwahid (2021): *Utilisation d'une approche multicritère pour l'analyse de l'eau dans le golf d'Annaba*. Thèse de doctorat de l'université Badji Mokhtar Annaba. 168 P
- [7'] Djamaï, R., Fadel, D., Laïfa, A., Benslama, M., Daoud, Y., & Vallès, V. (2011). The concept of residual alkalinity and the geochemical evolution of processes: Application to saline soils of Lake Fetzara (Northeastern Algeria). *Synthesis Review of Science and Technology*, 23: 90–98
- [7] Zahi F., Djamai R., Drouiche A. & Medjani F. (2011). Contribution to study of soilsalinity in the region of Fetzara Lake (Northeast of Algeria). *Journal of Materials and Environmental Science*. Vol. 2 (S1), pp 439-444.
- [7'] Zahi F., Djamai R., Chaab S., Djabri L., Drouiche A & Medjani F. (2012). Dynamique de la nappe et qualités physico-chimiques des eaux souterraines du lac Fetzara (Nord-Est algérien). *Revue des Sciences et de la Technologie*. Synthèse N°26, pp 86-95