

Caractérisation hydrogéochimique des eaux souterraines du complexe aquifère Morsott-Laouinet (Région Nord de Tébessa, Sud-Est algérien)

**Fehdi Chemseddine^{1*}, Boudoukha Abderrahmane², Rouabhia Abdelkader¹
et Salameh Elias³**

*¹Centre Universitaire de Tébessa, Institut des Sciences de la Terre,
Route de Constantine, Tébessa 12002, Algérie*

²Université de Batna, Département d'Hydraulique, Batna 05000, Algérie.

³University of Jordan, Department of Geology, Amman 11942, Jordanie.

* Correspondance, courriel : fehdi@yahoo.fr

Résumé

L'analyse des eaux souterraines de l'aquifère superficiel Plio-Quaternaire, pose à nouveau la question de l'importance des faciès gypso-salifères dans la région de Morsott-Laouinet au Nord de Tébessa dans le Sud Est algérien. Ces faciès sont représentés par des affleurements triasiques en surface et par la présence d'un substratum marno-salifère en profondeur. Les analyses chimiques de la totalité des puits de la région le confirment.

La salinité des eaux est très variable et généralement élevée. La conductivité électrique de l'eau oscille entre $1154 \mu\text{S cm}^{-1}$ et $23800 \mu\text{S cm}^{-1}$ avec une concentration élevée d'amont en aval dans le sens de l'écoulement qui se fait du Sud vers le Nord. Les faciès chimiques extrêmes sont le bicarbonaté calcique et le chloruré sodique avec une prédominance de ce dernier. Les teneurs en chlorures et en sodium pouvant atteindre localement les valeurs respectives de 8145 mg l^{-1} et 3988 mg l^{-1} .

La comparaison de la teneur en chlorures avec le reste des éléments majeurs et le strontium, montre que la salinité des eaux souterraines de la plaine de Morsott-Laouinet possède deux origines possibles : la dissolution-précipitation de la roche aquifère et du substratum et l'échange de base entre le sodium et les éléments qui lui sont semblables.

Mots-clés : *Trias, aquifère, salinité, saturation, Morsott-Laouinet.*

Abstract**Sources of water salinities in the Morsott-Laouinet aquifer. (Northern Area of Tébessa, South East of Algeria).**

Groundwater analysis of Plio-Quaternary aquifer shows the importance of gypso-saliferous facies in the Morsott-Laouinet aquifer Northern area of Tébessa (South-East of Algeria). These facies are represented by Triassic outcrops on the surface and a marly-saliferous bed rock.

In this paper the groundwater hydrochemistries are studied through well sampling from study area. Hydrochemical end members are identified and the sources of water salinization are defined.

The salinity of water is very high, ranging from 1154 to 23800 $\mu\text{S cm}^{-1}$ decreasing from South towards North with groundwater flows.

From the hydrochemical evaluation of the analytic results, two different water types could be identified:

- A fresh groundwater end-member: Ca-HCO₃ water type with a low salinity values.
- A saline water end-member: predominantly Na-Cl water type with a high salinity concentration.

In order to determine the contribution of the different parameters to the salinity of groundwater, the correlation coefficients of chlorides in respect of Ca, Mg, Na, K, SO₄, NO₃ and Sr were calculated and the results indicate the direct contribution of these ions to the salinity of Morsott-Laouinet groundwater aquifer.

The increase in salinity is related to the dissolution and/or precipitation processes during the water-rock interaction and to the cationic exchange between sodium and similar elements.

Keywords : *Trias, aquifer, salinity, saturation, Morsott-Laouinet.*

1. Introduction

La composition chimique des eaux des puits et des sources est majoritairement acquise lors de la traversée du sol et de son séjour dans le réservoir. L'eau, au contact de l'encaissant, acquiert une charge minérale caractéristique des roches traversées. Les éléments qui s'y trouvent en solution sont informatifs sur la nature de l'aquifère traversé.

Les alluvions de la plaine de Morsott-Laouinet, (Nord de Tébessa. S.E. Algérien) appartiennent au Plio-Quaternaire ayant une épaisseur moyenne de 20 à 50 m et. Cette région connaît depuis une vingtaine d'années un important essor économique avec un grand développement surtout agricole associé à une forte expansion démographique. Par conséquent les eaux souterraines de la région sont de plus en plus sollicitées par les habitants du monde rural où on note une dégradation de la qualité des eaux dans les périmètres irrigués avec la présence de forte salinité qui pose le problème quant à son utilisation comme en eau potable et d'irrigation. Notre objectif est de contribuer à comprendre le processus de minéralisation des eaux souterraines dans ces zones en utilisant des outils à savoir les éléments chimiques majeurs et mineurs.

2. Matériel et méthodes

2-1. Situation géographique

La zone de Morsott-Laouinet fait partie des régions semi-arides du Sud Est algérien à quelques km de la frontière algéro-tunisienne (*Figure 1*). Cette zone se trouve à une cinquantaine de km au Nord de Tébessa et elle s'étend sur une superficie de 180 km² depuis Morsott au Sud à El Aouinet au Nord.

Le climat est caractérisé par l'alternance d'une saison chaude et sèche et une saison froide et humide. La pluviosité moyenne annuelle est faible (environ 400 mm), la température moyenne annuelle est de (+ 15 °C) avec un minimum de (- 5°C) en hiver et un maximum allant jusqu'à (+ 45°C) en été.

Le réseau hydrographique est bien développé et représenté avec des petits cours d'eau temporaires aux larges vallées bien élaborées, se déversant dans des grands Oueds dont les plus importants sont Oued Mellegue et Oued Chabro.

La région d'étude est constituée en majeure partie par des terrains crétacés [1] formant une série d'anticlinaux et de synclinaux souvent déversées, la série stratigraphique se présente sous forme d'alternance de formations carbonatées de calcaires, des marno-calcaires et des marnes argileuses.

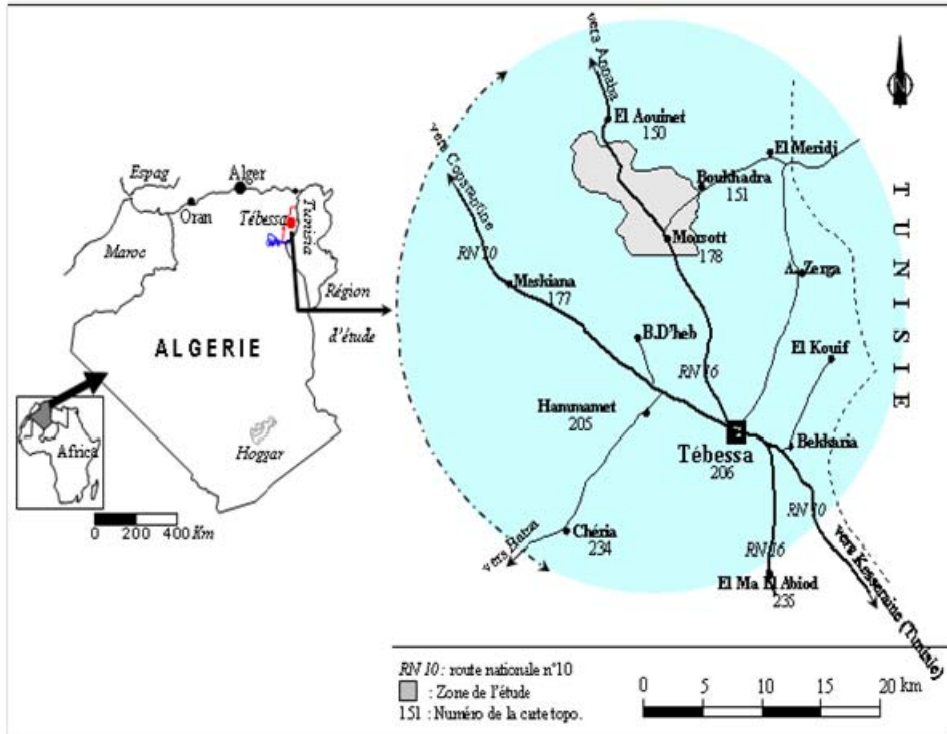


Figure 1 : Situation géographique de la région d'étude

2-2. Méthodes

Pour caractériser l'hydrogéochimie du système aquifère Morsott-Laouinet, le long des lignes d'écoulement depuis les zones de recharges jusqu'aux zones d'émergence, une trentaine de puits ont été échantillonnés, il s'agit de puits de particuliers, de puits municipaux et de puits d'observation ; ces puits ont permis également la mesure des niveaux piézométriques ; l'échantillonnage a été effectué entre le mois de Mars et le mois d'Avril 2006. Les résultats préliminaires des paramètres dosés sont présentés dans le *(Tableau 1)*.

Toutes les analyses, ont été effectuées au niveau des laboratoires de l'université de Tébessa, certaines mesures ont été effectuées sur place afin de pouvoir déterminer quantitativement des paramètres qui évoluent après l'échantillonnage, soit la température, le pH, la conductivité électrique... etc., mesurés au moyen de sondes multiparamétriques.

Tableau 1 : Résultats des analyses chimiques (Mars-Avril 2006)

Puits	pH	CE(μs/cm)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Si ²⁺ (mg/l)	Fe _{Total} (mg/l)
1	7.3	2060	5	310.08	575	326.6	201.3	20.7	105.34	180.72	1.17	2.8
2	7.25	1767	4.5	348.64	353	135	89.5	18.73	92.19	177.92	0.74	2.2
3	6.8	3150	2.4	317.2	293	277.2	124.3	19.53	83.38	165.33	0.916	1.57
4	7.29	4200	2.2	362.07	283	318.46	165.3	17.43	97.6	139.55	0.773	2.5
5	6.84	23800	3.2	424.16	525	8144.8	3988	140.62	263.9	418.2	9.27	19.03
6	7.12	10300	3.5	418.96	368	2130	812	41.6	294.55	387.09	4.6	2.8
8	7.5	3510	1.2	327.4	419	809.4	399.4	27.6	132.7	231.1	3.573	0.095
7	6.75	4650	4.5	316.07	575	355	189.2	21.34	118.6	225.03	0.9	4.2
9	7.8	1320	2	317.62	155.61	248.5	137.34	9.91	64.7	116.52	0.689	8.72
10	7.38	7300	5.6	288.2	280	2397	1025	78.6	204.31	269.23	3.87	3.82
11	7.42	6800	7.2	384.2	358	2184.61	917	42.5	252.1	289.4	3.08	3.1
13	6.87	2150	5.2	457.03	167.8	248.5	150.5	17.94	86.82	174.3	1.52	11.38
14	7.27	10000	7.5	238.04	225	4247.86	1315.76	98.03	282	366.75	5.2	9.55
15	7.2	1562	12.2	390.4	101.06	149.1	103.7	5.74	60.2	132.5	1.53	6.4
16	7.35	12780	1.7	227.04	481.2	3479	1054.24	83.1	291.63	395.54	4.695	5.1
17	7.48	3300	2.5	415	265	397.5	220.1	20.46	88.8	157.1	1.94	1.32
18	7.58	6370	3.6	348.2	389	1150.2	402	37.52	198.5	247.4	2.13	8.6
19	7.3	1325	9.2	302.56	136.04	127.8	91.95	7.4	62.55	113.7	1.1	1.35
20	7.35	2120	2.7	323.6	222	248.5	163.2	9.52	81.9	156.2	1.503	0.96
21	7.6	1359	8.1	378.7	164	198.8	109.7	10.87	92.7	146.45	1.006	0.75
22	7.34	1154	4.2	305.44	48.66	113.6	58.7	7.01	89.5	186.2	0.539	0.8
23	7.2	1305	4	317	140	167	101.2	7.58	62.1	117.9	1.04	5.14
24	7.3	1450	3.1	323	135	205	139.1	13.6	42.5	107.2	1.125	0.13
25	7.4	2110	4.21	351	82.5	411	162	10.57	85.3	117.4	0.9	0.1
26	7.25	2320	5.93	418	222	410	258.2	18.85	90.8	141.8	1.232	19.03

3. Résultats et discussion

3-1. Piézométrie

Selon la disponibilité et la répartition des points d'eau dans la région, une campagne piézométrique a été réalisée, durant la période Mars-avril 2006. Lors de cette

compagne, les données des relevées piézométriques ont permis de tracer la carte piézométrique de cet aquifère en cette période. Cette carte montre des courbes isopièzes dont l'altitude varie entre 800 m en amont et 690 m en aval (*Figure 2*).

Les isopièzes sont serrées dans la partie Sud et Sud-Est, surtout du côté de Djebel Boukhadra, elles sont presque parallèles à la bordure qui est constituée essentiellement par des formations d'âge Crétacé, traduisant ainsi une zone d'alimentation. Le rapprochement des courbes isopièzes donne un gradient hydraulique plus au moins fort.

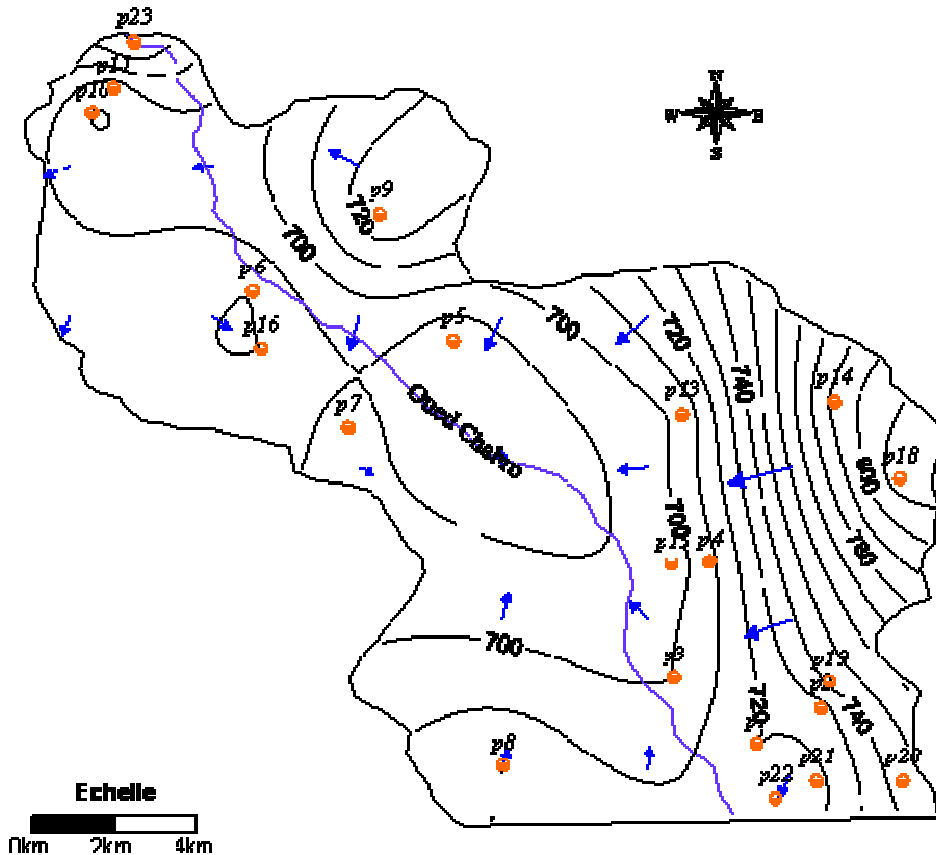


Figure 2 : Carte piézométrique de la région d'étude

Dans la partie centre et Nord de la région d'étude, les courbes isopièzes deviennent espacées ce qui traduit un faible gradient hydraulique. Le sens d'écoulement général est de deux sens opposés convergeant au centre vers l'oued Chabro, ce qui indique une alimentation de ce dernier par la nappe Plio-Quaternaire, à l'exception

de la limite Nord-Ouest ou on assiste à une alimentation des eaux souterraines par les eaux de surface.

L'alimentation de la nappe est régie principalement par les précipitations, l'infiltration des eaux d'irrigation et par alimentation latérale à partir des affleurements des terrains crétaqués en bordures Est et Sud-Est.

3-2. Hydrogéochimie.

L'étude du chimisme des eaux a pour but d'identifier les faciès chimiques des eaux, leur qualité de potabilité, ainsi que leur aptitude à l'irrigation. Elle permet de suivre aussi l'évolution spatiale des paramètres physico-chimiques et d'estimer leur origine en les corrélant avec la géologie et la piézométrie [2].

La quasi-totalité des points d'eau de l'aquifère sont destinés à l'alimentation en eau potable et pour l'irrigation des terres agricoles. Pour être utilisée l'eau doit répondre à certaines normes qui varient en fonction du type d'utilisation. Dans ce but, un échantillonnage portant sur une trentaine de point d'eau captant l'aquifère Plio-Quaternaire et régulièrement repartis sur l'ensemble de la région étudiée a été réalisé durant la campagne mars –avril 2006.

Le tableau 1 montre la variabilité et l'ordre de grandeur des différents paramètres physico-chimiques des eaux souterraines à l'échelle de tout le secteur étudié. Les valeurs de l'écart type dans la plupart des cas sont inférieures à celle de la moyenne ce qui indique une certaine homogénéité dans le type d'eau. Les analyses des paramètres physico-chimiques montrent des valeurs élevées de la conductivité électrique ($1154\text{-}23800 \mu\text{S cm}^{-1}$) avec deux groupes d'éléments chimiques. Le premier présente des teneurs dominantes en Na^+ , Cl^- et SO_4^{2-} (7 à 8145 mg L^{-1}) suivi par Ca^{2+} , Mg^{2+} et HCO_3^- (89 à 465 mg L^{-1}). La richesse des eaux en éléments Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} et SO_4^{2-} est liée à la dissolution des minéraux susceptibles de se former par évaporation des eaux chargées de sels et par dissolution des formations évaporitiques. Par contre les éléments Ca^{2+} , Mg^{2+} et HCO_3^- sont liés à la dissolution des carbonates.

Pour 31 couples de valeurs et au seuil de 5 %, le coefficient de corrélation critique $r=0.64$ [3]. Sur cette base, plusieurs corrélations très significatives ont pu être identifiées entre C.E, K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , Sr^{2+} et Fe_{Total} (**Figure.3**), ce qui confirme l'origine évaporitique de ces éléments. La contribution des sulfates est négligeable par rapport à celle des autres éléments de la minéralisation, alors que la relation entre les bicarbonates et la conductivité électrique n'est pas significative ($r<0.20$) ce qui indique que les bicarbonates n'ont pas un rôle dans la salinité.

Globalement la variation de la minéralisation est liée essentiellement aux chlorures et au sodium, les eaux les plus chargées en sels sont les plus chlorurées sodiques.

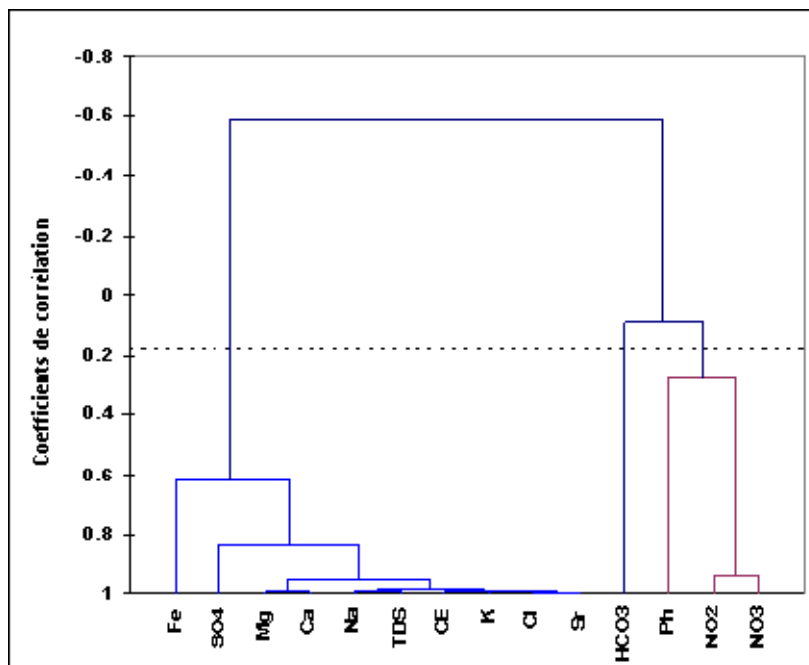


Figure 3 : Dendrogramme des coefficients de corrélation entre les différents ions de l'aquifère Plio-quaternaire.

L'analyse des paramètres chimiques montre que les eaux de la nappe du Plio-Quaternaire sont caractérisées par l'abondance des ions (Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , HCO_3^-). Le report des résultats des analyses des eaux de l'aquifère Plio-quaternaire sur le diagramme triangulaire de Piper

(**Figure 4**), ce diagramme met en évidence l'incidence de la géologie sur la qualité des eaux, il permet aussi d'estimer les pourcentages des éléments chimiques et leur classification.

Dans le diagramme des anions, on distingue que les points d'eau forment pratiquement un seul grand groupe, proche du pôle chloruré (P5,P14,P6...) excepté les points d'eau P22 et P15 qui sont proches du pôle bicarbonaté. Dans le diagramme des cations, on distingue un seul groupe, proche du pôle sodique (P5,P10,P11...). Les puits représentés au milieu du triangle ne présentent pas de dominance. La répartition spatiale de ces faciès chimiques dépend de la nature lithologique de l'aquifère et des conditions de recharge. En effet, l'abondance des formations

salifères triasiques sur les limites Est et Ouest et les couches de croûte calcaire dans l'aquifère est en parfait accord avec ces faciès chimiques de l'eau.

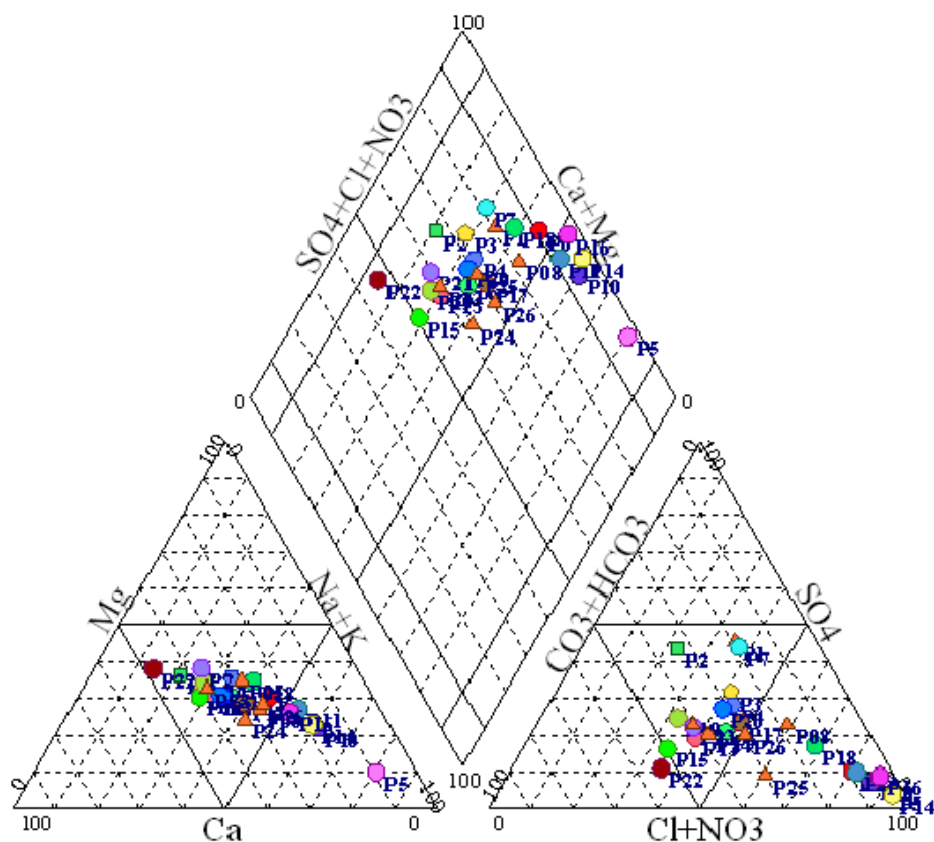


Figure. 4 : Diagramme triangulaire de Piper pour l'aquifère Plio-quaternaire. (Mars-Avril 2006).

3-2-1. Origine de la Salinité

Pour mieux comprendre le processus de minéralisation des eaux souterraines, nous avons représenté les éléments majeurs en fonction des chlorures (*Figure 5*). Ce dernier est un élément conservé, ne participe pas aux interactions eau-roche, caractérise l'origine de la salinité des eaux et constitue un traceur de mélange [4]. La disposition des différents points d'eaux analysés par rapport à la ligne de mélange eau douce-eau salée (eau de pluie-eau de mer) peut être de grande utilité pour identifier d'autres phénomènes qui sont annexés au processus de mélange. Les eaux souterraines des différents points d'eau montrent en général un

enrichissement en Ca^{2+} et un appauvrissement en Na^+ , K^+ et SO_4^{2-} , tandis que pour le Mg^{2+} on a une dispersion des points autour de la droite de mélange. Les réactions majeures reconnues comme responsables d'enrichissement ou d'appauvrissement des éléments dans les eaux souterraines sont l'échange $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+}$ dû à l'interaction eau-roches carbonatées, l'échange de base $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+}$ ou $\text{Na}^+ - \text{Mg}^{2+}$, la réduction ou la dissolution des sulfates [4].

Dans un environnement carbonaté, l'enrichissement simultané de Ca^{2+} et l'appauvrissement de Mg^{2+} est expliqué surtout par le phénomène d'interaction eau-roche comme la dolomitisation, dissolution et précipitation. La réaction d'échange $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+}$ par dolomitisation a été signalée comme cause principale de diminution du rapport Mg/Ca dans les eaux des aquifères carbonatés. Cette diminution est progressive selon l'âge croissant des terrains aquifères, contrôlée par l'équilibre entre calcite et dolomite et fortement dépendante de la température [4]. La réaction des sulfates favorise la dissolution des minéraux carbonatés. Ceci pourrait changer d'avantage le rapport Mg/Ca.

La faisabilité des échanges de base de $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+}$ ou $\text{Na}^+ - \text{Mg}^{2+}$ a été démontrée sur des roches carbonatées, par des expériences au laboratoire [5]. Ce dernier a démontré qu'un faible pourcentage d'argile dans les roches carbonatées pourrait aboutir à des changements appréciables des concentrations en Na^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} dans les eaux salées par échange de base.

La relation entre Mg^{2+} et Cl^- montre un enrichissement de près de 50 % des échantillons d'eau analysés par rapport à la droite de mélange. Cet enrichissement peut être dû à la dissolution de la dolomite.

La relation entre SO_4^{2-} et Cl^- montre que la quasi-totalité des points se trouvent au dessus de la droite de mélange eau douce-eau salée à l'exception de quelques points qui se trouvent en dessous de cette droite. L'enrichissement des points en sulfates est lié à la présence des évaporites sur les limites et dans le substratum marnogypsifère et/ou à une contamination d'origine agricole. Dans cette région l'infiltration des eaux d'irrigation et pluviométrique chargées en sels et fertilisants (les sulfates constituent l'un des principaux composants des fertilisants utilisés dans la région) se trouve facilitée par la faible profondeur de la nappe (2 m près de l'Oued, 15 m sur les limites) et la bonne perméabilité des terrains aquifères (alluvions, 10^{-3} m/s).

Le graphe Cl^- contre Na^+ montre que tous les points se trouvent en dessous de la droite de mélange. Etant donné que la teneur en Na^+ devrait équilibrer la teneur en Cl^- , le déficit en Na^+ est expliqué par le phénomène d'échange de base ionique entre l'eau et l'aquifère et se traduisant par une adsorption de Na^+ et une libération de

Ca^{2+} . La relation entre le Ca^{2+} et le Cl^- illustre bien ceci en montrant que les points sont souvent au dessus de la droite de mélange eau douce-eau salée. La relation entre le K^+ et le Cl^- indique que la majorité des points se trouve au dessus de la droite de mélange traduisant un enrichissement par dissolution des évaporites.

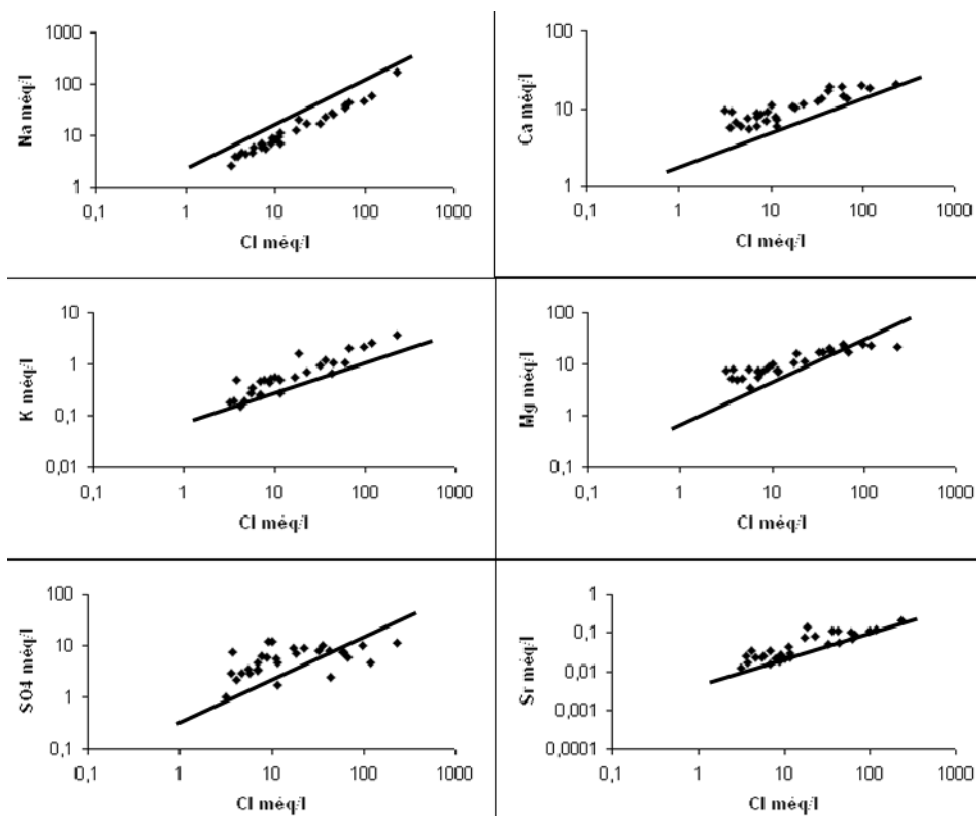


Figure 5 : Relation entre Ca, Mg, Na, K, Sr, SO₄ et le Cl des eaux souterraines et l'eau de pluie- eau de mer.

Les eaux assez minéralisées du secteur central et Nord (3 à 11 g/L) de la région étudiée, présentent des concentrations élevées en Cl^- (4 à 8 g/L) et en SO_4^{2-} (481 à 575 mg/L). De plus le rapport Mg^{2+}/Ca^{2+} diminue en direction du Nord. Ces caractéristiques, distinctes de celles de l'eau de mer, sont liées à un lessivage de formations évaporitiques [6].

Une étude statistique par analyse en composantes principales (ACP) a été effectuée sur un tableau de 13 variables et de 31 observations (**Figure 6**). Le principe de ce traitement a été décrit plus en détail auparavant [3,7].

Cette analyse a été poussée jusqu'à trois facteurs et 70.64 % de la variance ont pu être exprimés.. La projection des variables sur le plan I-II montre deux pôles (**figure 6**):

- Le facteur I représente 57.08 % de la variance, il est déterminé par K^+ , Na^+ , C.E, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , Sr^{2+} et par Fe_{Total} liés aux évaporites ($NaCl$, KCl , $CaSO_4$, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, Na_2SO_4 et $SrCO_3$;

- Le facteur II représente 13.56 % de la variance et il est déterminé par les nutriments (NO_3^- et NO_2^-) c'est donc le facteur de la pollution azoté

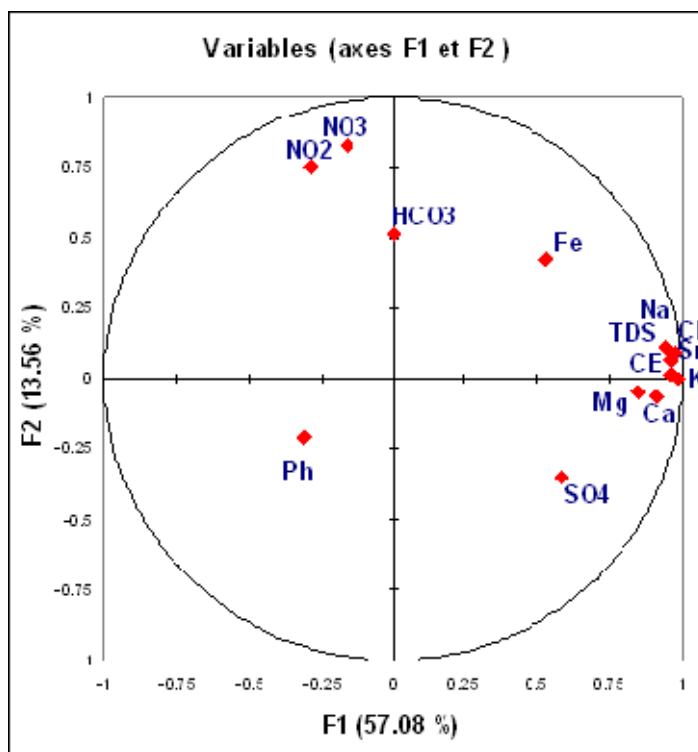


Figure 6: Plan factoriel F_1/F_2 .

3-2-2. Etude de l'évolution des minéraux et des éléments dissous (Calculs Thermodynamiques)

Sur la base des équilibres thermodynamiques, il est possible de définir une évolution chimique dans l'aquifère Plio-quaternaire de la région d'étude, pour cela la tendance des formes chimiques entre la phase dissoute et la phase minérale a été examinée.

Les différents paramètres calculés basés sur les analyses chimiques des échantillons d'eau sont :

Le pH d'équilibre, PCO_2 , la force ionique et les indices de saturation de quelques minéraux. L'indice de saturation exprime le degré d'équilibre chimique entre l'eau et le minéral dans la matrice de l'aquifère et peut être considéré comme une mesure du processus de dissolution et/ou précipitation concernant l'interaction eau-roche [8].

L'utilisation du logiciel WATEQ Plummer et al [9], nous a permis de calculer les indices de saturation de la calcite, de l'aragonite, de la dolomite, du gypse, de l'anhydrite, de l'halite, de la célestine, de la magnésite et de la brucite.

Les résultats significatifs de tous les échantillons d'eau souterraine analysés (**Tableau 2**), montrent que ces derniers sont saturés par rapport à la calcite, la dolomite, l'aragonite et la magnésite, mais ils sont plutôt sous-saturés en ce qui concerne l'halite, le gypse, l'anhydrite, la célestine et la brucite.

Tableau 2 : Valeurs Moyennes des Paramètres Calculés.

Paramètres	Minimum	Maximum	Moyenne	E.T*
Log PCO_2	-2.362	-1.276	-1.811	0.284
CO2 Total	0.00396	0.00937	0.00648	0.00143
Force Ionique	0.0183	0.257	0.0625	0.0499
Alcalinité Totale	3.74	7.50	5.81	1.132
IS Anhydrite	-1.889	-0.955	-1.35	0.2423
IS Aragonite	-0.317	0.666	0.214	0.2465
IS Brucite	-5.941	-3.953	-4.83	0.528
IS Calcite	-0.171	0.812	0.359	0.2466
IS Célestine	-2.138	-0.959	-1.516	0.385
IS Dolomite	-0.314	1.858	0.851	0.52
IS Gypse	-1.681	-0.716	-1.116	0.246
IS Halite	-6.545	-3.26	-5.381	0.865
IS Magnésite	-0.505	0.684	0.127	0.279
pH-équilibre	6.75	7.8	7.26	0.353

La (**Figure 7**), représente le produit d'activité ionique de la solubilité d'équilibre de la calcite et celle du gypse, où on remarque que la plus part des échantillons analysés sont sursaturés par rapport à la calcite.

Le calcul de l'indice de saturation des minéraux dans l'eau indique que seul les minéraux carbonatés tendent à précipiter surtout sous la forme de dolomite. Par contre les minéraux évaporitiques sont toujours à l'état de sous-saturation, cela est expliqué par l'effet des valeurs élevées de la constante d'équilibre des minéraux évaporitiques (NaCl (1.58) ; CaSO₄ (-4.58)), ce qui permet aux éléments évaporitiques de se présenter dans l'eau à des concentrations élevées. Par contre pour les minéraux carbonatés, la constante d'équilibre est plus faible (Dolomite (-17.02), Calcite (-8.37)), ce qui produit une précipitation rapide des éléments chimiques

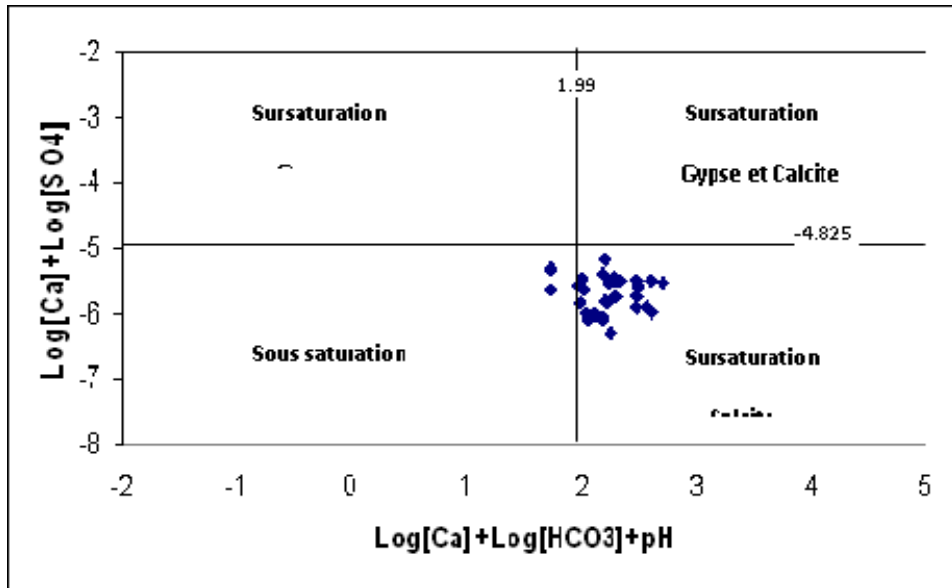


Figure 7. Relation de la solubilité d'équilibre entre la calcite et le gypse à 25°C et à une pression de 1 atmosphère, des échantillons des eaux souterraines analysés.

4. Conclusion

Les eaux souterraines de l'aquifère de Morsott-Laouinet présentent d'importantes variations de la minéralisation qui s'accroît du Sud vers le Nord dans le sens de l'écoulement. La conductivité est généralement élevée et oscille entre 1154 $\mu\text{S cm}^{-1}$ et 23800 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Les zones les plus chargées sont en liaison directe avec le Trias salifère. Cette salinité est surtout contrôlée par les chlorures et le sodium.

L'utilisation des éléments chimiques majeurs et mineurs nous a permis de comprendre le processus de minéralisation des eaux. Ainsi, cette minéralisation proviendrait de la dissolution-précipitation de la roche aquifère, des évaporites et de l'échange de base.

Références

- [1] - Vila, J.M « La chaîne alpine de l'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens ». Thèse de Doctorat- es -sciences, Université Pierre et Marie curie, Paris VI.(1980)
- [2] - Bahir, M., Menani, M., Oliveira da Silva, M., Blavoux, B. Impact de la sécheresse sur la ressource en eau en zone semi aride : cas de l'aquifère Barrémien — Aptien de la zone côtière d'Essaouira (Maroc). Ecnologia de la intrusion de agua de mar en acuiferos costeros : *paises mediterraneos*.IGME .ISBN .84-7840-740(2003).
- [3] - Mangin A. Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. Concepts méthodologiques adoptés. Systèmes karstiques étudiés. *Ann. Spéleol.* 29, 4, 495.601, (1974).
- [4] - Fidelibus M.D. et Tulipano L. « Regional flow of intruding sea water in the carbonate aquifers of Apulia (Southern Italy) ». Proceedings 14th Salt Water Intrusion Meeting. Rapporteur och meddelanden nr 87. pp.: 230-241(1996).
- [5] - Nadher A., Magaritz M., et Mazor E. «Chemical reactions of seawater with rocks and fresh water : experimental and field observations on brackish water in Israel». *Geoch. Et Cosmoch. Acta*, 44, pp.: 879-886(1980).
- [6] - Hsissou Y., Chauve P., Mania J., Mangin A., Bakalowicz M. et Gaiz A. «Caractérisation des eaux de l'aquifère turonien du bassin du Tadla (Maroc) par le rapport des concentrations molaires Sr^{2+}/Ca^{2+} ». *Jour. Hydro.* 183 445-451,(1996).
- [7] - Foucart T. Analyse factorielle. Programmation sur micro-ordinateur. Ed. Masson. France (1982)
- [8] - Drever, J. F. "The geochemistry of natural waters". 3rd ed. New York — Prentice-Hall INC; 379 pp (1997).
- [9] - Plummer, L.N., Jones, B.F and Trusedall, A.H. WATEQ-A fortran IV version of WATEQ, A computer program for calculating chemical equilibrium of natural waters 1976 Revised 1978,1984 Washington D.C .U.S Geol-Surv.-Water Res ,76 : 61(1984) .