

ORIGINES ET MÉCANISMES D'ACQUISITION DE LA SALINITÉ DES EAUX DE LA NAPPE QUATERNAIRE DE LA MITIDJA (NORD-ALGÉRIE)

ZAMICHE Samira^{1*}, HAMAIDI-CHERGUI Fella¹, DEMIAI Afafe¹, BELAIDI Mouloud²

1. Université de Blida 1- Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie -Département de Biologie et Physiologie Cellulaire- laboratoire de Biotechnologies Environnement et Santé, Algérie

2. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques. Soumaa, Blida. Algérie

Reçu le 29/06/2017, Révisé le 19/12/2017, Accepté le 31/12/2017

Résumé

Description du sujet: L'eau destinée à l'irrigation doit présenter des caractéristiques physico-chimiques tolérables par les plantes notamment la salinité. En effet, les sels peuvent perturber le développement physiologique des plantes, en modifiant la structure physique du sol.

Objectifs: Le présent travail a pour objectif d'évaluer l'aptitude des eaux de la nappe quaternaire de la Mitidja à l'irrigation et d'estimer le risque de salinisation et de sodisation des sols.

Méthodes: Trente forages de la nappe de la Mitidja ont été échantillonnés. Les prélèvements d'eau ont fait l'objet d'analyses physico-chimiques.

Résultats: L'étude hydrochimique révèle une forte minéralisation. Les échantillons se répartissent entre deux faciès : bicarbonaté calcique et chloruré calcique. La classification par les méthodes de Richards et Wilcox indique que les eaux de la majorité des forages (83,33%) sont admissibles pour l'irrigation. Ceci pourrait s'expliquer par les valeurs de la conductivité électrique (CE) qui restent inférieures au seuil de 2600 µS/m et la valeur moyenne du SAR (Sodium Adsorption Ratio) qui reste inférieure à 3 méq/l.

Conclusion: Les eaux de la nappe de la Mitidja sont caractérisées par une forte salinité et un faible danger d'alcalinisation, convenant aux plantes qui présentent une bonne tolérance au sel. La salinité de la nappe s'acquiert par dissolution des formations géologiques et évaporation de la nappe avec une influence plus au moins importante de l'invasion des eaux de la mer méditerranéenne dans la Mitidja orientale.

Mots clés: Nappe de la Mitidja ; Irrigation ; Salinité ; SAR.

ORIGINS AND MECHANISMS OF ACQUISITION OF THE SALINITY OF WATER OF THE QUATERNARY AQUIFER OF MITIDJA (NORTH-ALGERIA)

Abstract

Description of the subject: The water intended for the irrigation must show tolerable physicochemical characteristics by the plants in particular salinity. Indeed, salts can disturb the physiological development of the plants, by modifying the physics structure of the soil.

Objective: The aim of this work is to evaluate the aptitude for the irrigation of water of the quaternary aquifer of Mitidja and to estimate of the risk of salinisation and sodisation of the soil.

Methods: Thirty drillings of the aquifer of Mitidja were taken. The water samples were the subject of a physicochemical analysis.

Results: The hydrochismic study reveals a strong mineralization, the samples being distributed between two facies: bicarbonated calcic and chlorinated calcic. Classification by the methods of Richards and Wilcox indicates that water of the majority of drillings (83,33%) is acceptable for the irrigation. This could be explained by the values of the electric conductivity (EC) which remains lower than the threshold of 2600 µS/m and the median value of the SAR (Sodium Adsorption Ratio) which remains lower than 3 méq/l.

Conclusion: Water of the aquifer of Mitidja is characterized by a strong salinity and a weak danger of alkalization, being appropriate for the plants which present a good tolerance to salt. The salinity of the aquifer is acquired by dissolution of the geological formations and evaporation with an influence at least important of the invasion of sea waters Mediterranean in Mitidja Eastern.

Keywords: Aquifer of Mitidja, Irrigation, Salinity, SAR.

*Auteur correspondant : ZAMICHE Samira, E-mail:samiramaster@hotmail.fr

INTRODUCTION

La sécheresse de la dernière décennie a engendré un fort déficit hydrique et une forte évaporation, influençant le taux de salinité des eaux. De plus, les formations géologiques (sables, grés, gypse ...) traversées par les eaux favorisent la modification de la composition chimique de celles-ci [1, 2]. Par conséquent, le recours aux nappes souterraines à des fins domestiques et agricoles devient de plus en plus indispensable [3]. Cependant, le développement de l'irrigation s'accompagne, dans la majorité des situations, par l'apparition de processus de salinisation, de sodisation ou d'alcalinisation des sols à des degrés divers. Ces situations sont en relation étroite avec les caractéristiques naturelles du milieu (sol et climat) et la modalité de gestion des eaux destinées à l'irrigation dont la qualité est déterminante [4]. Les sels peuvent perturber le développement physique des plantes, en modifiant la structure physique du sol [1].

La plaine de la Mitidja est une région agricole côtière du Nord Algérien, ses caractéristiques topographiques, pédologiques et climatiques ont permis l'installation des conditions favorables à l'agriculture. Le pompage des eaux souterraines de la plaine assure l'irrigation des cultures. Imache *et al* [5] ont signalés que ces eaux courent un risque énorme de pollution et risquent d'être impropres à l'usage agricole et domestique. Des travaux ont été développés sur cette problématique. Ils mettent en exergue les aspects liés à la qualité de l'eau et les impacts qui en découlent.

Ait Ouali [6] et Yahiaoui [7] ont montré à travers leurs études menée le lien entre les facteurs naturels (géologie et climatologie) et la variabilité spatiale et temporelle de certaines propriétés chimiques des eaux souterraines de la plaine de la Mitidja par une approche statistique classique qui est l'analyse en composantes principales (ACP), ainsi que par l'approche géostatistique (variographie et krigeage). D'autres auteurs précisent que d'autres facteurs peuvent jouer un grand rôle dans le chimisme des eaux souterraines. Mimouni *et al.* [8] ont mis en évidence la forte pollution de l'aquifère de la Mitidja par des nitrates. Ce problème a été confirmé par les travaux de Chibane [9], Hadjoudj *et al.* [10] et Yahiaoui [7]. En outre,

Khouli et Djabri [11] par une étude approfondie sur plusieurs années ont attribué la présence de nitrates dans les eaux souterraines à l'utilisation de produits agricoles.

Très peu de travaux consultés allient la contamination de la nappe quaternaire de la Mitidja par les pesticides, Toute la dynamique de pollution impliquant les zones d'émission, les flux et les mécanismes de transfert des pesticides dans le sol et les mécanismes de dégradation n'ont pas été suffisamment abordés dans les travaux consultés. Par ailleurs, une bonne part de ces études est essentiellement descriptive et ne procède pas assez à une analyse approfondie des différents facteurs qui influencent la qualité de l'eau. De manière générale, les travaux consultés peuvent être subdivisés en deux parties comprenant La recherche et dosage des pesticides dans les eaux [12, 13, 14] et recherche des résidus de pesticides dans quelques fruits et légumes [15,16, 17].

La présente étude est une contribution en vue de comprendre les mécanismes d'acquisition de la salinité et de la pollution de la nappe de la Mitidja et de mettre en évidence certains problèmes auxquels est exposée la population Mitidjienne, en l'occurrence les nitrates et la salinité. Elle a pour but d'une part d'évaluer l'aptitude des eaux de la nappe quaternaire de la Mitidja à l'irrigation et d'autre part, d'estimer le risque de salinisation et de sodisation des sols en utilisant des outils hydrochimiques, statistiques et cartographiques.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. Description de la zone d'étude

La zone d'étude est une plaine côtière située au nord de l'Algérie (Fig. 1). Elle occupe une superficie de 1450 km² avec une altitude moyenne de 50 m, augmentant régulièrement vers les piémonts de l'Atlas et vers le ride Sahélienne, donnant à la plaine une forme de cuvette. Elle est délimitée au Sud par les piémonts de la chaîne montagneuse de l'Atlas Blidéen et au Nord par le Sahel, bande collinaire de quelques kilomètres de large qui borde la mer Méditerranée.

Ainsi que, l'existence du Miocène et roche plus anciennes dans les limites Sud de la plaine (Atlas). Ces derniers plongent au-dessous de la plaine et prennent place comme substratum imperméable pour le réservoir astien [19]. L'activité tectonique de la zone d'étude est le résultat des mouvements de convergence entre les plaques ; Africaine et Eurasienne [22], ces déformations continuent jusqu'à l'heure actuelle et se traduisent par l'activité sismique de la région [23].

2. Echantillonnage et analyses physico-chimiques

Afin d'évaluer la qualité de la nappe de la Mitidja en vue d'un usage agricole, un ensemble de 30 forages répartis sur l'ensemble de la zone d'étude a été choisi (Fig. 3), pour permettre d'acquérir des données représentatives sur la variabilité spatiale des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de la région étudiée notamment la salinité. Ces forages sont destinés à l'irrigation des terres agricoles de la plaine.

Les prélèvements ont été réalisés à la tête du forage durant le mois de Mai 2015 et concernent les ions majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ ; Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- ; NO_3^-) et la température, la conductivité électrique (CE) et le pH. Les échantillons d'eau ont été immédiatement stockés à 4°C en utilisant des glacières. Les analyses ont été effectuées rapidement moins de 24 h après le prélèvement selon le protocole de Rodier *et al.* [24]. La fiabilité des analyses physico-chimiques a été contrôlée, en calculant la balance ionique. Dans cette étude, les trente échantillons ont un équilibre chimique inférieur à 5%.

Pour estimer le risque de salinisation des eaux et de sodisation des sols, nous avons utilisé les méthodes de Wilcox [25] et Richards [26] issus de logiciel DIAGRAMMES. En vue de mettre en évidence les éventuels facteurs naturels et anthropiques influençant la salinité de la nappe de la Mitidja, nous avons appliqué les analyses statistiques couplées avec la cartographie en intégrant le Système d'Information Géographique (SIG). Les analyses statistiques ont été effectuées par le logiciel SPSS version 20 et la cartographie par le logiciel SURFER version 7.

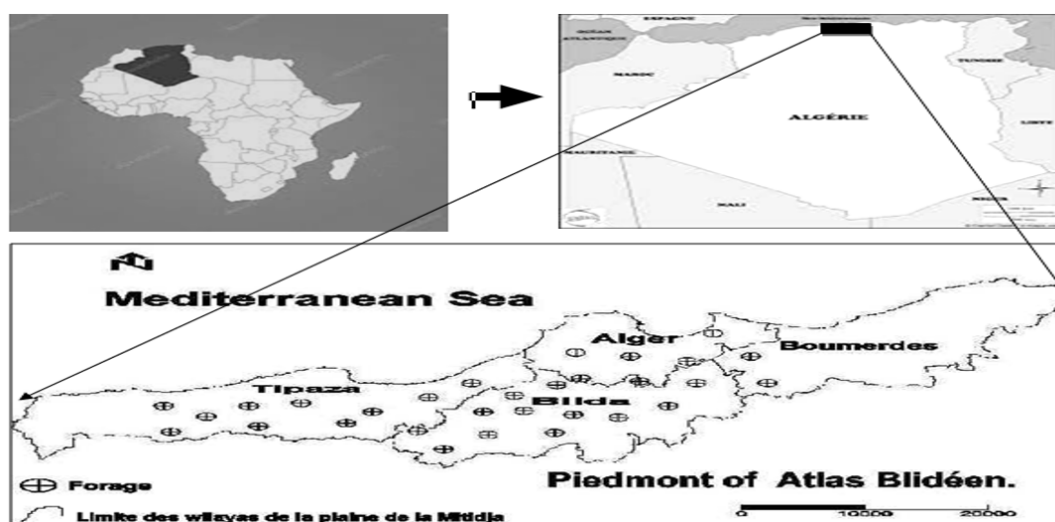


Figure 3 : Réseau d'échantillonnage des eaux de la nappe quaternaire de la Mitidja (Mai, 2015)

RÉSULTATS

1. Hydrogéochimie

Les analyses physico-chimiques des eaux ont permis d'acquérir un certain nombre de paramètres habituellement utilisés pour l'estimation de la qualité des eaux d'irrigation notamment : la salinité (traduite par la

conductivité électrique), le % Na^+ (pourcentage du sodium par rapport à la somme des cations basiques) et le SAR (Sodium Adsorption Ratio ou indice d'adsorption du sodium, aussi appelé "pouvoir alcalinisant").

La composition chimique a été déterminée sur une moyenne de trente forages représentée dans le Tableau 1.

Tableau 1: Composition chimique moyenne des eaux prélevées de trente forages dans la Mitidja

	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	CE μs/cm	pH	TDS (mg/l)	SAR
Min	22	2	19	2	32	2	107	2	520	7,1	301	0,73
Max	254	73	148	8	312	424	549	93	2600	8,3	1575	2,8
Moy	143,57	32,57	65,2	2,9	127,1	160,3	340,73	38,47	1473,17	7,68	915,93	1,45
ET	53,74	20,36	40,23	1,37	85,88	85,88	101,44	26,63	604,79	0,29	362,7	0,52

La valeur moyenne de la conductivité électrique des échantillons analysés (Tab.1) est inférieure à 1500 μ S/cm avec un maximum de 2600 μS/cm traduisant une salinité légère de la nappe de la Mitidja [27]. La salinité des eaux souterraines de la plaine de la Mitidja est relativement faible par rapport à celle retrouvée par Douaoui *et al.* [28] dans la plaine du Bas-Cheliff. Les concentrations moyennes en chlorures, en bicarbonates et en sodium (Tab.1) ne dépassent pas les 400 mg/l, ce qui est largement inférieure au seuil maximum admissible pour les eaux d'irrigation [27]. L'indice d'adsorption de sodium (Sodium Adsorption Ratio ou SAR) exprime l'activité des ions sodium dans les réactions d'échange avec les ions calcium et magnésium adsorbés des sols argileux. D'après Gouidia *et al.* [29], les teneurs élevées en sodium dans l'eau d'irrigation provoquent la détérioration de la structure du sol le rendant ainsi imperméable à l'eau et à l'air. Ce dernier a un impact direct sur la santé et la productivité des plantes par manque d'infiltration d'eau d'irrigation dans le sol. Le SAR permet donc d'évaluer l'aptitude des eaux à l'irrigation agricole.

$$\text{SAR} = \text{Na} / [(\text{Ca} + \text{Mg})/2]^{1/2}$$

Tous les ions sont exprimés en méq/l. Les échantillons analysés ont un SAR moyen de 1,45 ce qui est nettement inférieur à la limite de qualité des eaux d'irrigation recommandée par la FAO (SAR=10) [27] et correspond à un risque d'alcalinisation faible. Le risque de dégradation des sols de la Mitidja est écarté.

1.1. Application de l'analyse statistique

Les techniques statistiques multivariées sont des moyens efficaces pour caractériser la qualité des eaux souterraines [30].

Dans cette étude, des techniques statistiques multivariées à l'ensemble des données des eaux souterraines de la plaine de la Mitidja ont été appliquées. La classification ascendante hiérarchique (CAH) a été employée pour déterminer si les échantillons peuvent être groupés dans les groupes hydrochimiques statistiquement distincts. Q-mode CAH classe les échantillons en fonction de leurs paramètres. Cette technique a été utilisée en appliquant la méthode d'agrégation de Ward [31]. Le résultat est présenté comme un dendrogramme (Fig. 4).

Deux groupes sont choisis en fonction de l'examen visuel du dendrogramme représentant chacun un faciès hydrochimique. Le groupe 1 concerne 60 % des échantillons d'eau. Ce type d'eau est relativement frais avec une CE moyenne de 1038,72 μS/cm qui est la caractéristique de l'eau moins salée (Ca-Mg-HCO₃). Le groupe 2 occupe 40 % des échantillons d'eau. La CE moyenne de ce groupe est 2124,83 μS/cm ce qui est la caractéristique de l'eau mixte (Ca-Na-HCO₃⁻ Cl-SO₄²⁻).

La matrice de corrélation peut être utilisée pour distinguer la relation entre deux paramètres. Les échantillons des eaux souterraines montrent une bonne corrélation entre les alcalino-terreux (Ca²⁺ et Mg²⁺) avec le sodium, les chlorures et les bicarbonates et une corrélation significative entre le calcium et le magnésium (0,79) (Tableau 2). Le sodium montre une corrélation hautement significative avec les chlorures (0,96) ce qui démontre l'origine évaporitique, souvent liée à la dissolution de l'Halite (NaCl).

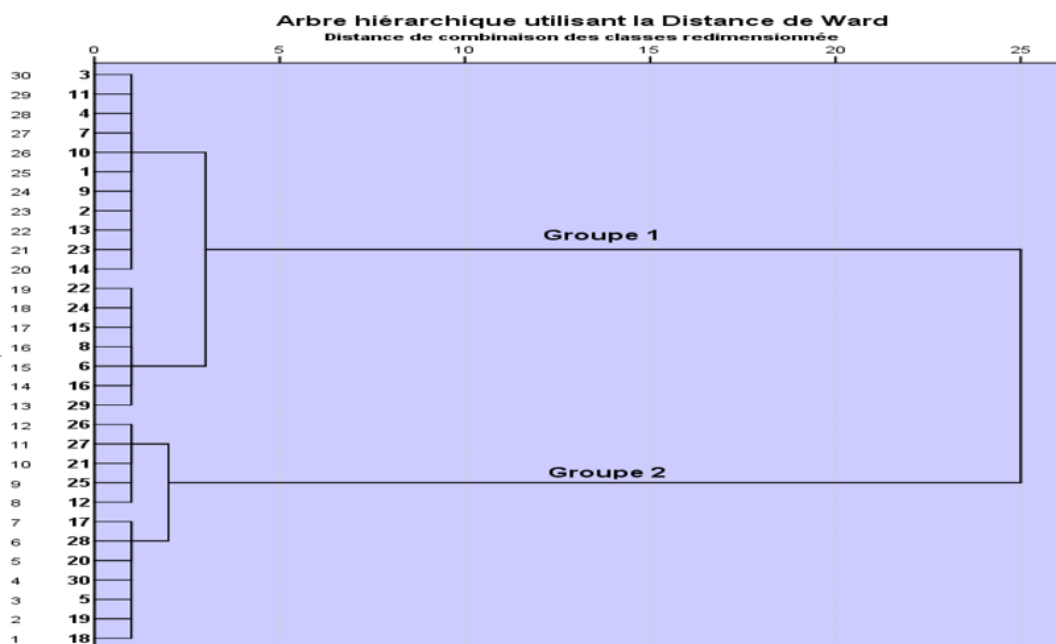


Figure 4 : Q-mode CAH

Tableau 2 : Corrélation entre les variables

	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	PH	EC	TH	TAC	SAR
Ca ²⁺	1												
Mg ²⁺	0,794	1											
Na ⁺	0,751	0,673	1										
K ⁺	0,13	0,155	0,287	1									
Cl ⁻	0,778	0,763	0,962	0,335	1								
SO ₄ ²⁻	0,788	0,92	0,65	0,031	0,688	1							
HCO ₃ ⁻	0,841	0,588	0,573	0,205	0,553	0,551	1						
NO ₃ ⁻	0,387	0,163	0,326	-0,03	0,305	0,151	0,104	1					
PH	-0,175	0,027	-0,141	-0,065	-0,159	-0,018	-0,029	-0,207	1				
EC	0,922	0,849	0,915	0,226	0,935	0,817	0,709	0,375	-0,181	1			
TH	0,969	0,92	0,757	0,147	0,812	0,882	0,782	0,317	-0,103	0,94	1		
TAC	0,845	0,589	0,579	0,203	0,559	0,554	1	0,112	-0,028	0,714	0,786	1	
SAR	0,374	0,461	0,432	0,039	0,423	0,482	0,303	0,058	0,144	0,437	0,426	0,308	1

La conductivité électrique est corrélée significativement avec les ions Ca²⁺ (0,92), Mg²⁺ (0,84), Na⁺ (0,91), Cl⁻ (0,93), SO₄²⁻ (0,81) et HCO₃⁻ (0,70). Elle évolue beaucoup plus sous l'influence des évaporites. Les valeurs des nitrates ne sont pas corrélées avec les valeurs des autres paramètres, ce qui confirme l'origine indépendante de cet élément.

Le tableau 2 et les figures (Fig. 5 a-d) montrent que la majorité des éléments sont bien corrélés

entre eux, D'après la figure 5e, nous constatons que la teneur en sulfates augmente moins vite que celles des chlorures, ce qui met en évidence leur origine évaporitique, souvent liée à la dissolution du gypse (CaSO₄.2H₂O) et de l'Halite (NaCl) pour les chlorures. Cette constatation a été confirmée par la figure 5b qui montre un alignement parfait, ce qui indique l'origine commune des sulfates et du magnésium,

liée à la dissolution des niveaux gypseux contenu dans l'aquifère. On remarque que certains forages présentent un excès en sulfates vis-à-vis du calcium, ce qui suppose d'autres origines différentes probablement anthropiques. Nous constatons également qu'il y a une

tendance aux ions Magnésium et aux ions Calcium de s'aligner (Figure 5f), rappelant l'origine carbonatée relative le plus souvent à la dissolution de la dolomite. La forte corrélation entre les chlorures et le Sodium (Fig. 5c) met en évidence leur origine chlorurée sodique (halite).

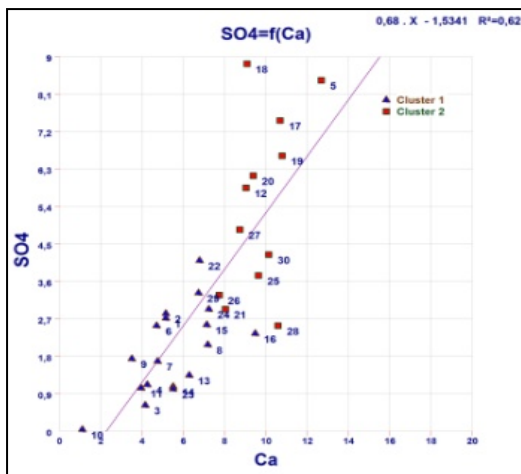


Figure 5a : Relation Sulfates-Calcium

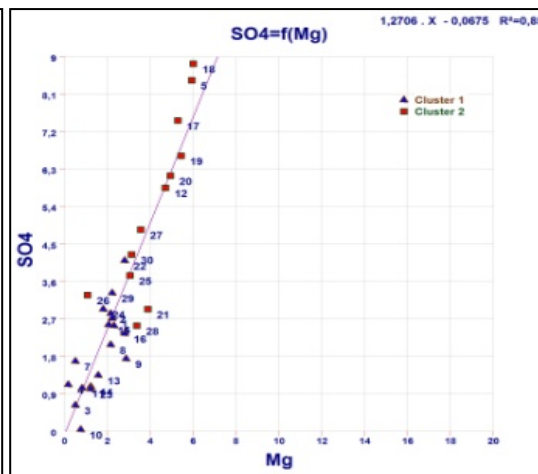


Figure 5b : Relation Sulfates-Magnésium

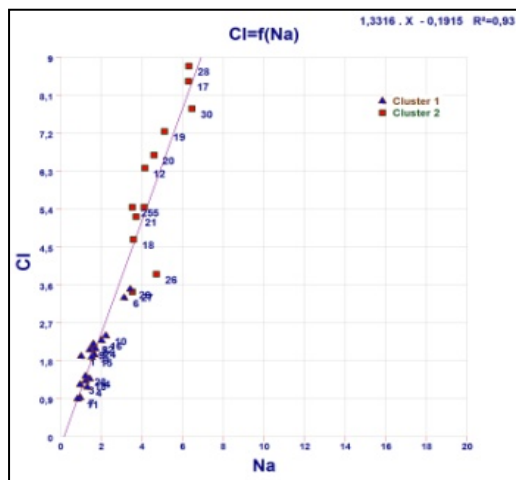


Figure 5c : Relation Chlorures-Sodium

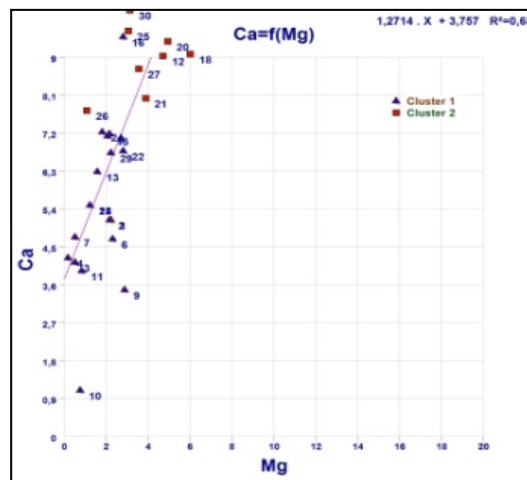


Figure 5d : Relation Calcium-Magnésium

Le critère de Kaiser [32] a été utilisé afin d'identifier le nombre total de facteurs significatifs. Ce critère, prend en considération que les facteurs ayant une valeur propre supérieure ou égale à 1. Ces derniers seront acceptés comme sources possibles de variance dans l'hydrogéochimie de la nappe (Tableau 3). On se basant sur ce critère, 4 composantes principales ont été retenues, elles représentent 85.13 % de la variance totale.

Le tableau 3 indique les corrélations Paramètre-Facteur après rotation.

Les facteurs F1et F2 expriment 63,7 % des informations et traduisent les processus naturels d'acquisition de la minéralisation notamment la dissolution des formations carbonatés et magnésiennes (Dolomite). Ces facteurs (F1et F2) définissent les eaux moyennement minéralisées riche en HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Mg^{2+} et Na^+ .

Le facteur F3 exprime 12.07 % des informations, il énonce le facteur de pollution de la nappe de la Mitidja par les nitrates. Cette pollution est corrélée négativement par rapport aux autres variables, ce qui met en évidence une origine exogène des nitrates (origine anthropique), due à l'utilisation des engrais azotés en excès dans l'agriculture. La géologie de la Mitidja en forme de cuvette associée à une couche aquifère constituée de formations perméables (graviers et sables), a favorisé l'immigration des éléments azotés vers la zone saturée et la contamination de cette dernière. La projection des variables sur le plan factoriel 1×2

(Fig. 6a) met en évidence deux familles chimiques d'eaux qui s'opposent deux à deux. L'axe F1 et F2 montre les eaux bicarbonatées et chlorurées calcique et les eaux présentant des teneurs élevées en nitrates sont exprimées par l'axe F3. La projection des individus révèle deux familles de qualité d'eau (Fig. 6b), la première correspond aux zones de moyenne minéralisation avec un faciès bicarbonaté calcique et magnésienne (Fig. 7). La deuxième famille chlorurée calcique et sodique caractérise les zones polluées par les nitrates où l'utilisation des produits de fertilisation des sols (engrais azotés) dans l'agriculture est intense.

Tableau 3 : Caractéristique de l'ACP

	Composantes après rotation			
	1	2	3	4
Ca ²⁺	0,572	0,749	0,285	0,004
Mg ²⁺	0,791	0,467	0,013	0,020
Na ⁺	0,737	0,358	0,295	0,309
K ⁺	0,080	0,086	-0,015	0,944
Cl ⁻	0,771	0,351	0,291	0,338
SO ₄ ²⁻	0,784	0,447	0,029	-0,105
HCO ₃ ⁻	0,253	0,941	-0,011	0,108
NO ₃ ⁻	0,279	-0,005	0,728	-0,177
PH	0,153	-0,088	-0,764	-0,150
EC	0,747	0,547	0,310	0,158
TH	0,689	0,675	0,191	0,010
TAC	0,260	0,939	-0,007	0,106
SAR	0,732	0,033	-0,262	-0,035
Valeurs propres	4,51	3,76	10,57	1,21
% Variance	34,71	28,98	12,07	9,35
% cumulés	34,71	63,7	75,78	85,13

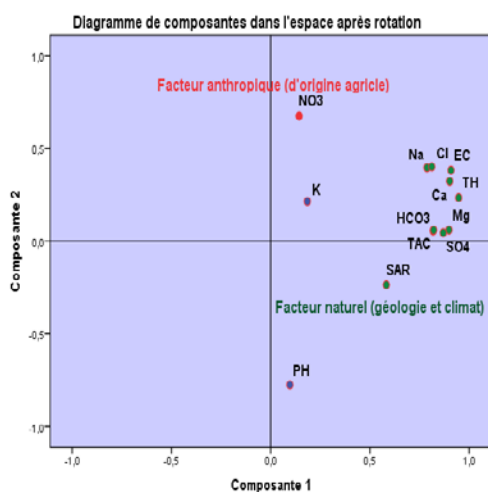


Figure 6a : Projection des variables sur le plan factoriel 1×2

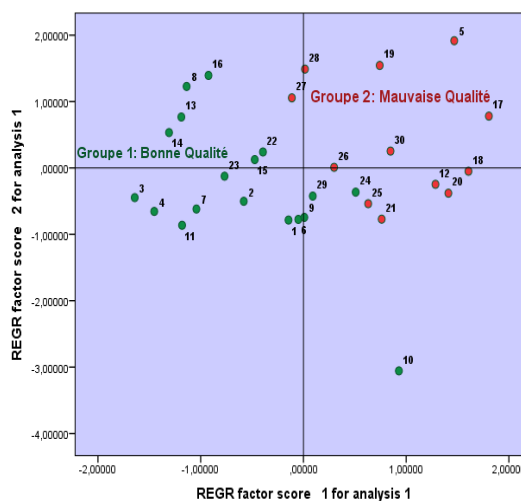


Figure 6b : Projection des individus sur le plan factoriel 1×2

Le report des résultats des analyses hydrochimiques sur le diagramme de Piper, Sholler-Berakallof et Stiff (Fig. 7) met en évidence la prédominance du faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésienne et Bicarbonaté calcique et magnésienne. On note également la présence de faciès chloruré sodique et potassique.

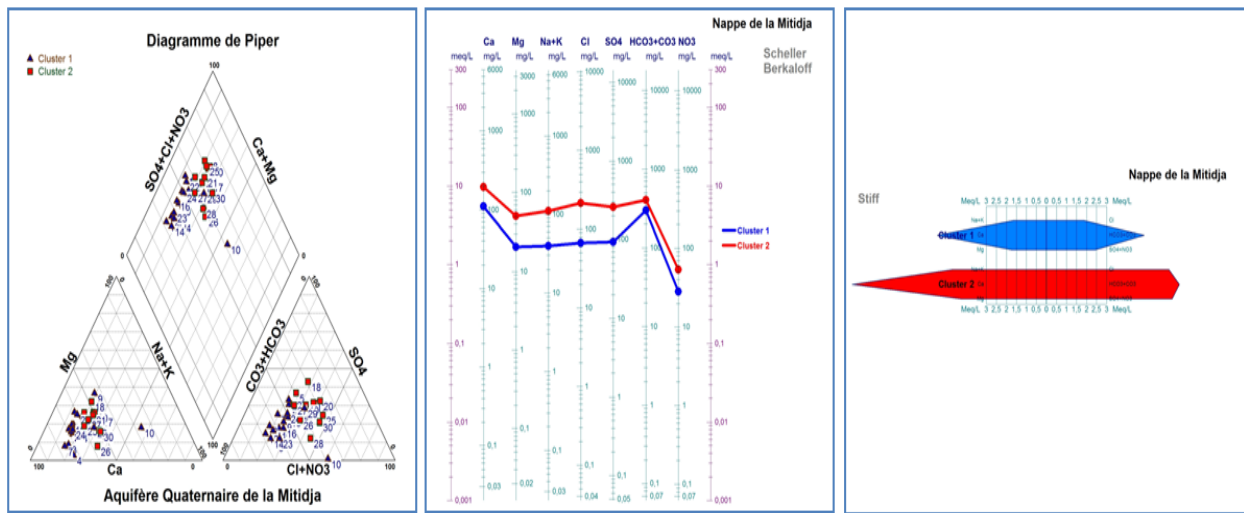


Figure 7 : Faciès chimique de la nappe de la Mitidja

1.2. Application de Système d'Information Géographique (SIG)

Les cartes d'isoteneurs en Sodium (Fig. 8a), Chlorures (Fig. 8b), Bicarbonates (Fig. 8c), et en CE (Fig. 8d), montrent que les zones à forte concentrations s'observent au niveau de la côte au Nord Est. C'est le phénomène de l'invasion marine qui persiste par l'avancé de la langue d'eau salée dans le continent. Basé sur les données géologiques et géographiques, les rejets d'eaux usées domestiques et industrielles ont été inclus comme source des concentrations élevées dans la Mitidja orientale (Baie d'Alger).

L'extrême Ouest de la plaine présente également des concentrations élevées en CE, TDS, Chlorures et Sodium. Ceci pourra s'expliquer par le lessivage des formations éruptives et des alluvions argileuses. Une contamination locale par les fosses septiques, les systèmes d'égouts, les engrais agricoles et la dissolution des formations évaporitiques pourraient être aussi responsables de cette élévation. La présence des Bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées qui bordent la nappe. Les plus fortes valeurs (Fig. 8c) sont enregistrées à la périphérie de la plaine. Ceci peut s'expliquer par le lessivage des formations carbonatées par les pluies hivernales.

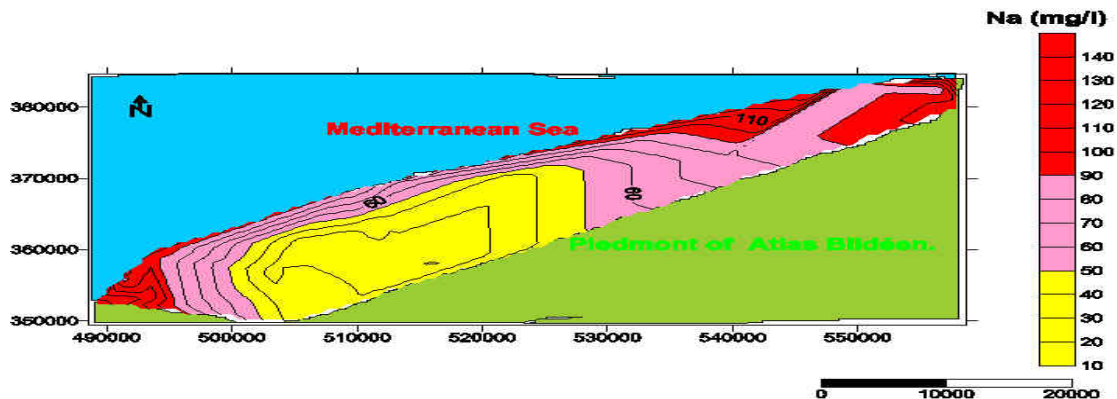


Figure 8a : Répartition spatiale des teneurs en Sodium

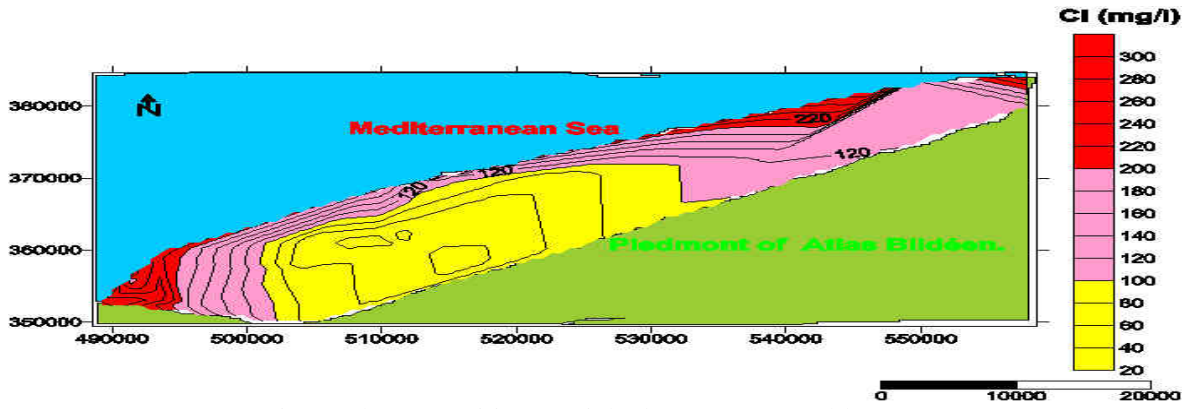


Figure 8b : Répartition spatiale des teneurs en Chlorures

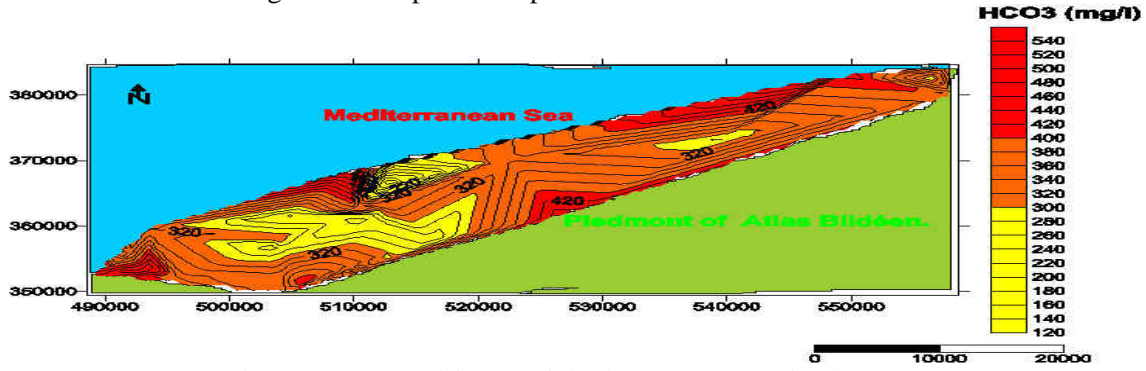


Figure 8c : Répartition spatiale des teneurs en Bicarbonates

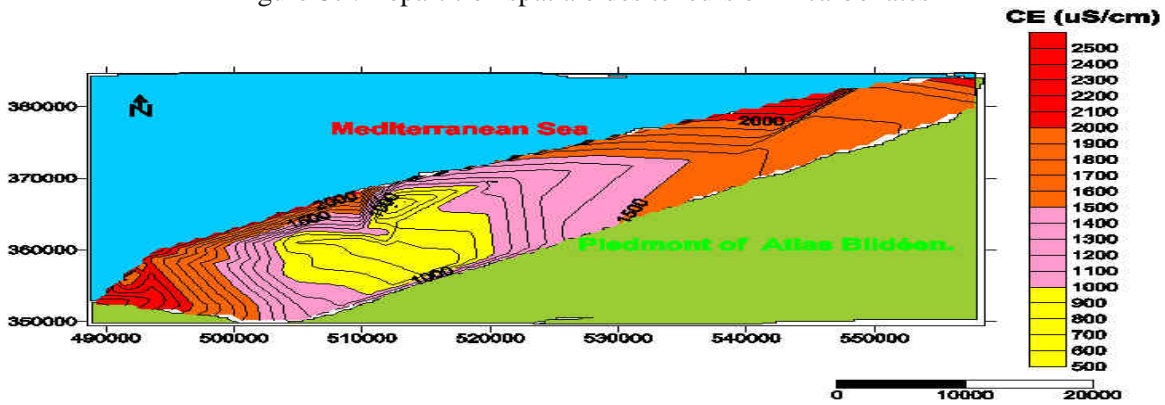


Figure 8d : Répartition spatiale des teneurs en CE

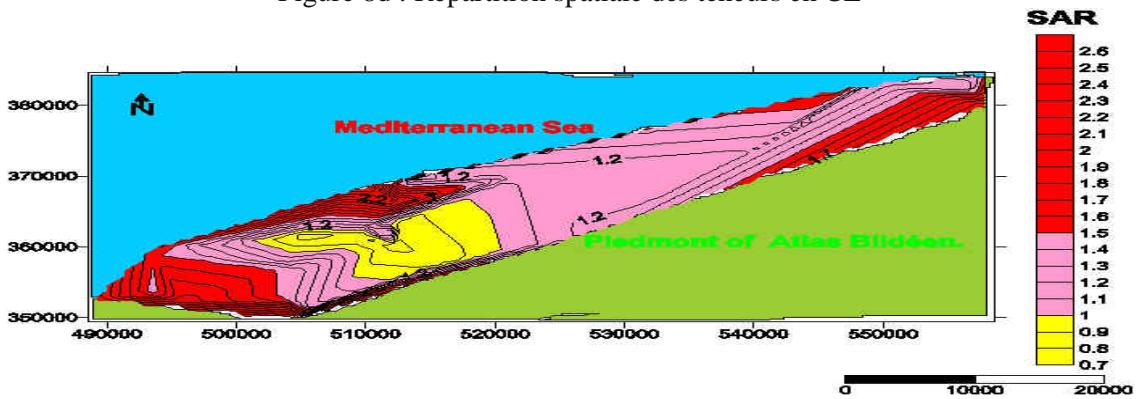


Figure 8e : Répartition spatiale des teneurs en SAR

2. Etat de la qualité de la nappe en vue d'un usage agricole.

L'irrigation avec des eaux salées peut entraîner la fixation de sodium par le complexe adsorbant du sol. L'intensité du processus de salinisation dépend des caractéristiques du sol, de la qualité des eaux utilisées, des conditions de leur emploi et en particulier de l'efficacité du système de drainage [33]. Afin d'étudier l'aptitude de la nappe quaternaire de la Mitidja à l'irrigation, nous avons utilisé les méthodes de classification de Richards et Wilcox, les plus fréquemment utilisées. Après avoir reporté tous les points d'eau sur le diagramme de RIVERSIDE et WILCOX (Fig. 9), selon la conductivité électrique, le % Na⁺ et le SAR,

on a pu dégager la présence de deux classes suivantes : C2S1 (16,67%) et C3S1 (83,33%).

- La classe C2S1 : caractérise une eau bonne pour l'irrigation avec une faible salinité et un faible pouvoir alcalinisant et pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes aux sels. Cette classe représente les eaux de faible minéralisation que l'on rencontre dans le centre de la nappe (Fig.8e).

- La classe C3S1 : renferme des eaux de forte salinité admissibles pour l'irrigation des cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés ou de bonne perméabilité où la salinité doit être contrôlée. La classe C3S1 caractérise la majorité des forages (83,33%).

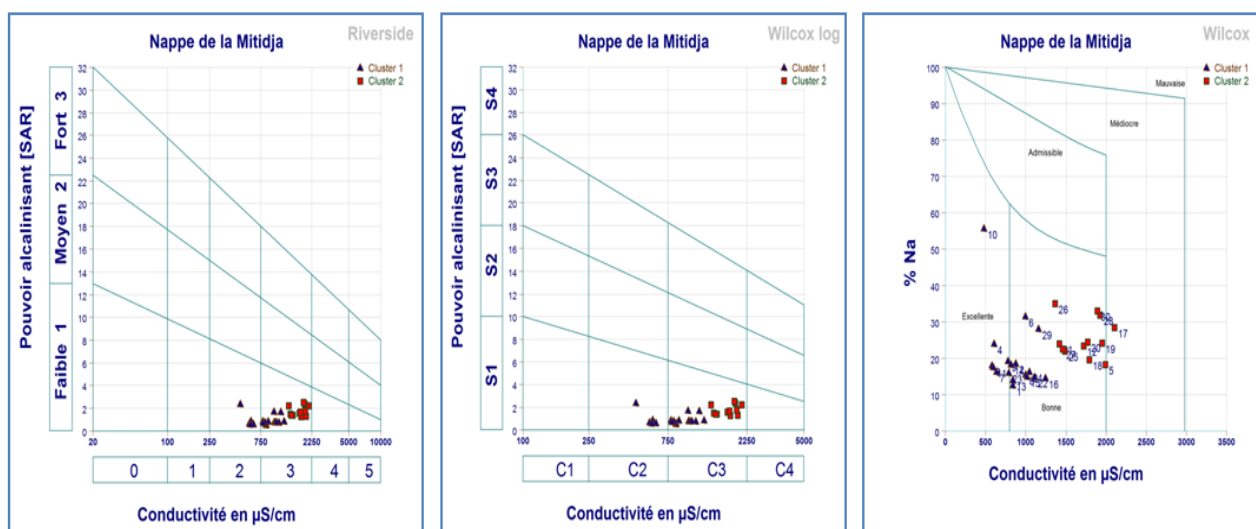


Figure 9 : Qualité de la nappe de la Mitidja selon la Classification de Wilcox et Richard

DISCUSSION

Durant notre étude, l'interprétation des résultats des analyses hydrochimiques, pour l'ensemble des forages analysés, a permis d'avoir une idée sur les faciès chimiques de la nappe alluviale de la Mitidja et de leur évolution dans l'espace, ainsi que sur les conditions naturelles à l'origine de ces faciès. Le type d'eau le plus important est le bicarbonaté calcique et magnésienne (groupe 1). Il est situé à la bordure sud de la nappe, du côté de l'Atlas Blidéen, caractérisant les zones de recharge des eaux, fondamentalement dominées par les bicarbonates et le calcium.

D'après Belaidi et Salhi [34], ce type de faciès tire son origine des formations carbonatées bordant la nappe. Le deuxième type d'eau est le chloruré calcique et sodique, il est concentré dans l'extrême Ouest et Est de la plaine, reflétant les zones de transition et de décharge des eaux (groupe 2). Ce type d'eau peut être interprété comme la première étape des interactions d'eau-roche se produisant dans les solutions diluées, et s'expliquée par l'abondance des formations carbonatées et évaporitiques dans la couche aquifère ce qui leur donne une signature géochimique chloruré calcique et sodique [30]. Sur le plan qualitatif, le groupe 1, dont le type d'eau dominant est Ca-Mg-HCO₃⁻ possède la meilleure qualité d'eau.

Contrairement, le groupe 2 de type d'eau dominant Ca-Na-Cl, peut présenter des problèmes de qualité d'eau lié à des dépassements en chlorures, en sulfates et en nitrates. Les résultats de cette étude montrent que la composition chimique de la nappe est directement influencée par l'alimentation de l'aquifère ; c'est-à-dire par la dissolution des formations calcaires des bordures où les eaux sont bicarbonatées, par contre la présence des chlorures est conditionnée par la présence des argiles, des sables ...etc. Ajoutant à cela la contamination de la nappe par les eaux de la mer Méditerranéenne surtout dans la baie d'Alger (Mitidja orientale). C'est le phénomène d'invasion marine qui touche cette nappe côtière depuis les années Quatre-vingts. Plusieurs facteurs, favorisant ce phénomène, ont été attribués, notant le développement démographique qui provoque une demande en eau de plus en plus importante ainsi que la longue période de sécheresse de ces deux décennies associée à des facteurs géographiques liés à la localisation côtière de la nappe et la faible pente de l'aquifère. Les mêmes résultats ont été signalés dans des études antérieures notamment ceux d'Ait Ouali [6] et Djoudar-Allal [35].

CONCLUSION

Les eaux souterraines de la plaine de la Mitidja présentent une forte salinité et un faible danger d'alcalinisation. Ceci pourrait s'expliquer par les valeurs de la conductivité électrique qui restent inférieures au seuil de 3 dS/m et la valeur moyenne du SAR qui reste inférieure à 5 méq/l. Globalement, la salinité des eaux s'acquiert par dissolution des formations géologiques et évaporation de la nappe avec une influence plus au moins importante de l'invasion marine dans la Mitidja orientale. Des processus anthropiques, liés principalement à l'utilisation irrationnelle des engrais chimique dans l'agriculture sont également attribuables. Cette situation a été confirmée par les résultats de l'analyse en composantes principales et par la cartographie hydrochimique, qui a montré une zonalité des concentrations d'éléments chimiques ; où on constate une élévation de la salinité dans l'extrême Est et Ouest de la plaine.

Deux types d'eau ont été reconnus par les méthodes de RICHARDS et de WILCOX, des eaux bonnes admissibles à l'irrigation (91,67%) et des eaux médiocres convenant aux espèces plus tolérantes aux sels. En terme de perspective, un suivi sur terrain en parallèle avec une étude expérimentale au laboratoire se révèle être nécessaire pour développer les aspects hydrogéochimiques et hydrogéologiques.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. **Rouabhia A (2006).** Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocènes de la plaine d'El Ma El Abiod (Algérie).Thèse de doctorat. Université d'Annaba.
- [2]. **Maoui A. (2006).** Evolution et origine du chimisme des eaux de l'aquifère superficiel de Zaâfrane : région de la steppe Sud Algéroise .Etude de la variation spatiale de la salinité et ses risques sur les sols et la végétation. Thèse de doctorat, Université d'Annaba.
- [3]. **Ferrah A., Yahiaoui S. (2004).** *Eau et agriculture en Algérie. Groupe de recherche pour le développement de l'agriculture algérienne*, Alger, 17 p.
- [4]. **Bradai A., Douaoui A., Marlet S. (2009).** Qualité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risques de dégradation des sols dans la plaine du Bas-Cheliff Algérie. Colloque- CD-Rom Mostaganem, Algérie.
- [5]. **Imache A., Le Goulven P., Bouarfa S., Chabaca M. (2007).** Evolutions de la demande en eau agricole dans la plaine irriguée de la Mitidja, Algérie. Actes du troisième atelier régional SIRMA (Nabeul, Tunis), CD-Rom, Édit. CIRAD, Montpellier (France)2 p.
- [6]. **Ait-Ouali, A. (2007).** Synthèse hydrogéologique et vulnérabilité à la pollution du système aquifère quaternaire de la Mitidja. Mémoire de magistère USTHB.
- [7]. **Yahiaoui, S. (2011).** Evaluation de la qualité des eaux souterraines de la Mitidja et leur aptitude à l'irrigation. Mémoire de magister. Génie de l'eau. ENSH.
- [8]. **Mimouni O., Gaid A., Chibane B., Akli A. (1989).** Pollution par les nitrates des eaux souterraines de la plaine de la Mitidja. *Rev. Eaux et sols d'Algérie* N° 3, ANRH, Alger.

- [9]. **Chibane, B. (1993).** Etude des Nitrates da la Mitidja Thèse 3^{em} Cycle ,USTHB,Alger.
- [10]. **Hadjoudj O., Bensemmane R., Saoud z et Reggabi M. (2014).** Pollution des eaux souterraines de la mitidja par les nitrates : Etat des lieux et mesures correctives. *Eur. j.waterqual*, 45: 57-68.
- [11]. **Khouli M R., Djabri L. (2011).** Impact of use of agricultural inputs on the quality of groundwater case of Mitidja plain (Algeria). *GeographiaTechnica*, 2 :35- 44.
- [12]. **Mokrani K. (2005).** Favorisées par la commercialisation anarchique des produits à usage domestique, les intoxications par pesticides, un problème de santé publique. J. La Tribune (Algeria), edition of 20 November 2005.
- [13]. **Lebik, H. Ait-amar, H. (2013).** Pesticides occurrence in groundwater sources of Mouzaïa (Algeria). *African Journal of Agricultural Research*. 8(31) :4269-4279.
- [14]. **Dalachi, M-N. (1999).** Recherche et dosage des résidus de pesticides dans différentes eaux du grand Alger. Projet de fin d'études, ENP Alger.
- [15]. **DPVCT. (2007).** Direction de la Protection des Végétaux et des Contrôles Techniques. Index des produits phytosanitaires à usage agricole. Ministère de l'agriculture et du développement rural (Algérie).
- [16]. **Lounis A, Hartani T, Aidaoui A, Sellam F. (2011).** Qualité des eaux souterraines dans la Mitidja : Enjeux liés à l'intensification agricole (Cas du bassin versant de Sidi Rached). Ground Water Conférences sur la gestion des ressources en eau souterraine Orléans - France (14-16 Mars 2011).
- [17]. **Moussaoui KM, Boussahel R, Tchoulak Y, Haouchine O, Benmami M, Dalachi N. (2005).** Utilisation, Evaluation, et impacts des pesticides en Algérie, Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Environnement : Ecole Nationale Polytechnique.
- [18]. **Sekkal R. (1986).** Hydrologie de la nappe de la Mitidja (Algérie) : étude hydrodynamique des champs captants de la ville d'Alger. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, France.
- [19]. **Glangeaud, L. (1932).** Etude géologique de la région littorale de la province d'Alger. Bull Serv. Cartes Géol. Algérie
- [20]. **Binnie & Partners. (1983).** Schéma d'aménagement des ressources en eau de la région d'Alger et du Sébaou.
- [21]. **Glangeaud, L., Aym, A. (1935).** Notice détaillée de la carte géologique au 1/50 000 de l'Arbaa et essai d'hydrologie de la Mitidja. Services de la carte géologique de l'Algérie 2^{em} série, n° 11 ONIG .Alger.
- [22]. **Meghraoui, M. (1988).** Géologie des zones sismiques du Nord de l'Algérie : Plaéosismologie, tectonique active et synthèse sismotectonique. Thèse de Doctorat, spécialité sciences naturelles, mention géologie structurale, Université de Paris Sud, Centre Orsay N° 3495 Paris.
- [23]. **Boudiaf, A. (1996) :** Etude sismotectonique de la région d'Alger et de la Kabylie. Thèse de doctorat, Université Montpellier II. 254 p.
- [24]. **Rodier J., Legube B., Merlet N., Brunet R. (2009).** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 8^{eme} édition. Dunod, Paris, France.1579 p.
- [25]. **Wilcox L V. (1948).** The quality of water for agricultural use. Édit.US Department of Agriculture, Technical Bulletin, vol. 962, Washington (USA), 40 p.
- [26]. **Richards L A. (1954).** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agric. Handbook 60,USDA, Washington D.C, p160.
- [27]. **FAO. (1985).** Water quality for agriculture. FAO irrigation and drainage paper 29, Rev. 1, FAO, Rome (Italie).
- [28]. **Douaoui A., Hartani T., Lakehal M. (2006).** La salinisation dans la plaine du Bas-Cheliff : acquis et perspectives.Economies d'eau en Systèmes Irrigués au Maghreb. Deuxième atelier régional du projet Sirma, Marrakech, Morocco.6 p.
- [29]. **Gouaidia L.,Guefaïfia O.,Boudoukha A., Laidhemila M., Marti C. (2012).** Évaluation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risques de dégradation des sols : exemple de la plaine de Meskiana (Nord-Est Algérien) », *Physio-Géo*, Volume(6).

- [30]. **Belhiri L. (2011).** Étude de la pollution des eaux souterraines : cas de la plaine d'Ain Azel - Est Algérien. Thèse de Doctorat. Université de Batna.
- [31]. **Ward J.H. (1963).** Hierarchical grouping to optimize an objective function. *J Am Stat Assoc*, 69: 236-244.
- [32]. **Kaiser H. F. (1960).** The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and Psychological Measurement*, 20, 141- 5.
- [33]. **Khadidja A-H. (2016).** Caractérisation des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère de Tadjnant –Chelghoum Laid et impact de la pollution des eaux de surface sur les eaux souterraines. Thèse de doctorat. Université de Batna 2.
- [34]. **Belaidi M et Salhi M. (2011).** Note sur la piézométrie de la nappe de la Mitidja. Agence national des ressources hydrauliques. 7 p.
- [35]. **Djoudar-Hallal, D. (2014).** Approche méthodologique de la vulnérabilité de la ressource en eau souterraine en milieu fortement urbanisé : exemple en Algérie des plaines littorales (Mitidja). Thèse de doctorat. USTHB.