



Séminaire International sur L'Hydrogéologie et l'Environnement

15 - 17 Octobre 2019, Ouargla (Algérie)



Séminaire International sur L'Hydrogéologie et l'Environnement

12 - 14 Mars 2019, Ouargla (Algérie)

Apport de l'hydrochimie et des éléments en traces à la connaissance des ressources en eaux souterraines de la nappe de la Mitidja

D. Khouss^a, A.S. Moulla^a, H. Ait-Amar^b, H. Chorfi^a, M. Benchabane^a, M. Belaid^a.

^a Centre de Recherche Nucléaire d'Alger, Bd. Frantz Fanon, B.P. 399, Alger-RP, 16000 Alger, Algérie

^b Faculté de Génie Mécanique et de Génie des Procédés, USTHB, B.P. 32, 16111, Bab-Ezzouar, Alger, Algérie

E-mail: dalelekh@yahoo.fr

Abstract— Une campagne d'échantillonnage a été réalisée au niveau de l'aquifère alluvial de la Mitidja et visait à faire l'état des lieux de la contamination des eaux souterraines par les métaux lourds, les nitrates et à identifier ainsi, les causes potentielles de ces différents types de dégradation de la qualité des eaux souterraines.

Il était question de faire une caractérisation physicochimique des eaux souterraines de cette nappe et de dresser un bilan des connaissances actuelles sur la qualité et les concentrations des eaux souterraines en divers éléments chimiques par une étude hydrochimique qui permet d'apporter de nombreuses informations sur le milieu aquifère, la nature de l'encaissant ainsi que sur la potabilité des eaux. Des méthodes géostatistiques ont été aussi appliquées afin d'identifier la distribution et l'origine des différents éléments chimiques ainsi que la détermination des différentes sources de minéralisation des eaux.

Nos travaux ont nécessité des mesures in situ, telles que : le pH, la conductivité, la température, la silice et l'oxygène dissous, le dosage des éléments chimiques (cations et anions) ainsi que des éléments en traces (Mn, Pb, Cd, Cr, Zn, Cu).

Les résultats obtenus montrent que les eaux sont neutres (pH_{moyen} de 7.4), ce sont des eaux qui sont moyennement minéralisées. Le faciès dominant est le chloruré sulfaté calcique. 40% des échantillons analysés en nitrates présentent des concentrations qui dépassent la norme préconisée par l'OMS (50 mg/L).

Le dosage des métaux lourds dans l'eau a montré que 40 % des points analysés en manganèse dépassent la norme recommandée par l'OMS (50 µg/L). 53% des échantillons analysés en

cadmium sont également supérieurs à la norme admissible et recommandée par l'OMS (3 µg/L). L'origine anthropique de cette pollution a été mise en évidence par l'analyse en composante principale (ACP).

Mots-clés : Mitidja – Hydrochimie – Nitrates – Métaux Lourds.

I. INTRODUCTION

La Mitidja est une plaine située au sud d'Alger, elle s'étend sur une superficie de 1450 km². Les aquifères qui la constituent représentent une des principales sources d'approvisionnement en eau potable de toute la région centre du pays.

Face à la demande croissante et à la dégradation continue de la qualité des eaux de surface, le recours systématique aux réserves en eaux souterraines est devenu une nécessité. Le bassin de la Mitidja constitue un réservoir en eaux souterraines, essentiel pour le développement agricole, urbain et industriel de l'agglomération algéroise. Les eaux du réservoir de la Mitidja connaissent depuis plusieurs années une dégradation notable de leur qualité. En effet, les eaux souterraines de la nappe de la Mitidja ont connu plusieurs types de pollution. Les rejets urbains drainés par les réseaux d'assainissement ainsi que les effluents industriels chargés d'éléments chimiques et organiques sont déversés sans traitement préalable dans le milieu récepteur. Ces substances souvent toxiques peuvent affecter de façon dangereuse la santé publique. L'agriculture, à son tour participe à cette dégradation par l'utilisation exagérée des pesticides, herbicides et autres engrais et le taux de

Séminaire International sur l'Hydrogéologie et l'Environnement

12 - 14 Mars 2019, Ouargla (Algérie)

fertilisation a atteint 400 kg d'azote/hectare d'où le phénomène de pollution par les nitrates.

Tous ces types de pollution ont évidemment des répercussions sur le cycle de l'eau et des impacts sur les équilibres hydrauliques et hydrochimiques (bilan ionique, interaction, chimisme et qualité des eaux).

II. Situation géographique

La Mitidja est une vaste plaine alluviale du Nord algérien située au sud d'Alger, d'environ 80 kilomètre de longueur et de 10 à 20 kilomètre de largeur suivant une direction WSW-ENE et d'une altitude moyenne de 100 m, Elle couvre une superficie de 1500 km², réparties entre les wilayas d'Alger, Blida, Tipaza et Boumerdes. Elle est limitée à l'Ouest par le bassin de Menaceur et l'oued Boudouaou à l'Est. Au nord, elle est isolée par la ride du Sahel et au sud par les piémonts de l'Atlas (Fig. 1) [1].

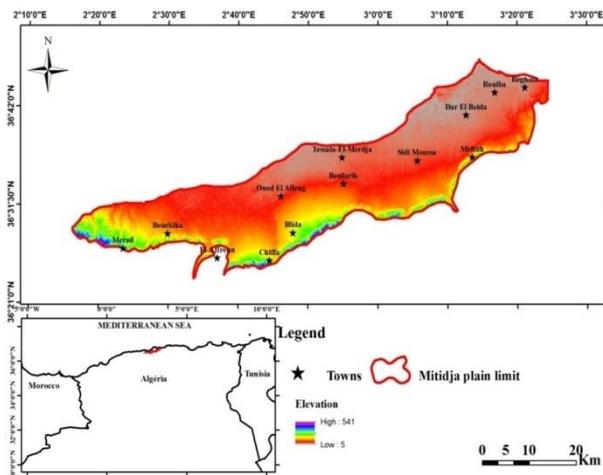


Fig. 1 : Situation géographique de la plaine de la Mitidja.

III. Géologie

La plaine de la Mitidja est un bassin néogène intra-montagneux de subsidence continue formé par effondrement rempli de dépôts d'âge Plio-Quaternaire. Ce bassin est constitué par un ensemble de terrains sédimentaires, métamorphiques et par endroits de roches éruptives. Cette plaine est circonscrite entre deux blocs positifs :

- Au nord, l'anticlinal du Sahel de 270 m d'altitude moyenne, bande collinaire côtière. Il est constitué par des roches anciennes surmontées par des terrains tertiaires plissés ;
- Au sud, l'Atlas Blidéen, vaste massif montagneux tranchant brusquement la plaine, et constitué d'épaisses séries d'âge Crétacé-Paléocène (Fig. 2) [2].

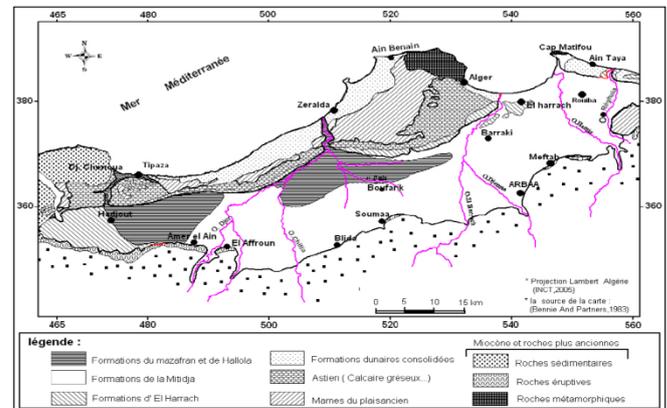


Fig. 2 : Carte géologique de la nappe de la Mitidja.

IV. Hydrogéologie

Dans la plaine, nous sommes en présence d'un vaste bassin hydrogéologique comportant un système aquifère complexe (Astien-Quaternaire) formant une structure synclinale dissymétrique reposant sur un substratum marneux Plaisancien, par endroits Miocène et Crétacé. Chaque horizon présente des propriétés hydrauliques propres [3]. Le réservoir d'eau souterraine de la plaine de la



Séminaire International sur L'Hydrogéologie et l'Environnement

15 - 17 Octobre 2019, Ouargla (Algérie)



Séminaire International sur L'Hydrogéologie et l'Environnement

12 - 14 Mars 2019, Ouargla (Algérie)

Mitidja constitué par l'Astien, est formé des calcaires et des grès d'origine continentale et le Quaternaire alluvial constitué essentiellement de galets et graviers. Ces deux réservoirs sont séparés dans toute la plaine par les marnes jaunes semi-perméables de la formation d'El-Harrach (Villafranchien) d'épaisseur très variable suivant les endroits sauf à l'Est au niveau de la poche de Rouiba où les deux aquifères sont en contact direct.

V. Matériels et méthodes

A. Echantillonnage et nature des points d'eau

L'analyse chimique et des éléments en traces sont basés sur 15 points de prélèvement au niveau de la plaine. Ces échantillonnages ont été réalisés dans des flacons en polyéthylène de 125 ml pour l'analyse hydrochimique des éléments majeurs, mineurs et en traces, deux flacons pour chaque échantillons (anions et cations). Pour les cations et métaux lourds, deux gouttes d'acide nitrique (HNO_3) ultra-pur sont ajoutées après échantillonnage afin d'éviter toute précipitation des minéraux dissous. Les échantillons sont immédiatement mis dans une glacière. Le pH, la température, ont été déterminés sur le terrain en utilisant une sonde Multi350i de WTW. La conductivité a été mesurée par une sonde Mettler-Toledo. La teneur en oxygène dissous a été déterminée à l'aide d'une sonde luminescente LDOTM HQ10 de Hach.

La méthode d'analyse utilisée pour déterminer les concentrations des différents éléments chimiques est la chromatographie ionique par l'intermédiaire du Dionex-120 à colonnes rapides. Les métaux lourds (Mn, Pb, Cd, Cr, Zn, Cu) ont été analysés par absorption atomique (Model Perkin Elmer A.Analyst 400).

VI. Résultats et discussion

A. Résultats des mesures « *in situ* »

Les valeurs des paramètres in situ sont illustrées dans le tableau I. Les températures enregistrées dans les eaux varient entre 20 et 23°C, pour une moyenne de 21,4. Ces températures sont dans l'ensemble assez proches de la température de l'air qui est de 25°C. Le pH donne des valeurs comprises entre 6.7 à 8.3, avec une valeur moyenne de 6.7. Les eaux souterraines de la région sont moyennement neutres. La conductivité électrique varie de 837 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ avec une moyenne de 1419 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Dans l'ensemble, elles sont moyennement minéralisées.

CODE	Nature	pH	T (°C)	Cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	O ₂ (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)
MTJ ₁	Forage	7.0	21.2	1716	6.6	14.7
MTJ ₂	Forage	6.9	20.0	1387	6.6	14.0
MTJ ₃	Forage	7.2	21.4	1686	7.0	13.9
MTJ ₄	Forage	7.0	20.0	1906	3.1	15.4
MTJ ₅	Forage	6.7	20.7	837	6.5	10.6
MTJ ₆	Forage	6.8	20.5	911	6.3	10.4
MTJ ₇	Forage	7.0	20.8	877	6.6	14.5
MTJ ₈	Piezomètre	8.2	22.0	1130	6.8	14.8
MTJ ₉	Puits	7.7	23.0	1510	6.6	14.6
MTJ ₁₀	Puits	7.4	22.0	1600	6.0	14.2
MTJ ₁₁	Forage	8.3	21.7	1370	5.5	14.0
MTJ ₁₂	Puits	7.8	22.2	2000	6.0	14.7
MTJ ₁₃	Puits	7.5	22.4	1800	5.6	13.6
MTJ ₁₄	Forage	7.8	21.6	861	5.4	14.5
MTJ ₁₅	Forage	8.0	22.4	1700	5.3	13.8

Tableau I : Résultats des paramètres mesurés in situ

B. Résultats des paramètres chimiques

- Cations majeurs

Les teneurs en calcium, oscillent entre 115 mg/L à 235 mg/L, pour une moyenne de 154 mg/L. Les valeurs de magnésium obtenues varient de 7 mg/L à 79 mg/L avec une valeur moyenne de 31 mg/L. Le sodium présente des concentrations qui varient de 16 mg/L à 146 mg/L pour une valeur moyenne de 72.1 mg/L. Les valeurs de potassium sont très basses, elles varient de 1 mg/L à 4 mg/L, pour une moyenne de 2.5 mg/L.



Séminaire International sur L'Hydrogéologie et l'Environnement

15 - 17 Octobre 2019, Ouargla (Algérie)



Séminaire International sur l'Hydrogéologie et l'Environnement

12 - 14 Mars 2019, Ouargla (Algérie)

- Anions majeurs

Les bicarbonates (HCO_3^-) affichent des teneurs comprises entre 181 mg/L et 625 mg/L, avec une moyenne de 371 mg/l. Les taux de chlorures enregistrés varient de 24 mg/L à 260 mg/L, pour une moyenne de 141 mg/L. Les teneurs en sulfates varient entre 93 mg/L et 253 mg/L avec une moyenne de 151 mg/L.

Séminaire International sur l'Hydrogéologie et l'Environnement

12 - 14 Mars 2019, Ouargla (Algérie)

C. Classification hydrochimique des eaux souterraines

Le faciès chimique des eaux souterraines de la Mitidja est donné par le diagramme de Piper (Fig. 3). Ce diagramme met en évidence majoritairement le faciès chloruré-sulfaté-calcique avec 80%, en deuxième position le bicarbonaté-calcique (20%).

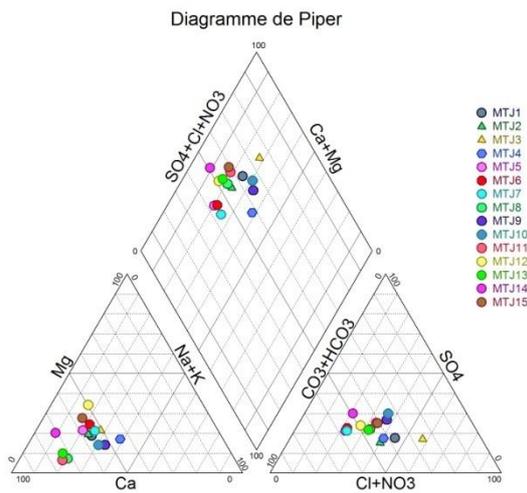
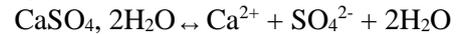


Fig. 3: Classification hydrochimique des eaux souterraines de la Mitidja.

D. Origine des éléments dans les eaux souterraines

L'étude des corrélations établies entre les concentrations des principaux éléments majeurs (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et K^+) et la conductivité des eaux ont permis de remonter à l'origine de la minéralisation des eaux du bassin de la Mitidja. La présence d'une corrélation positive entre les ions majeurs et la conductivité traduit la participation de ces éléments à l'acquisition de la minéralisation des eaux souterraines [4]. L'origine de ces éléments chimiques est dans l'ensemble liée à la nature des formations géologiques (carbonatées et évaporitiques). Les corrélations établies entre la concentration des éléments majeurs sont utilisées pour mettre en évidence les différents mécanismes

qui contribuent à la minéralisation des eaux. La participation des ions Cl^- et Na^+ à la minéralisation totale des eaux résulterait d'une éventuelle dissolution de la halite. Ceci est corroboré par la corrélation positive entre les chlorures et le sodium, affichant un coefficient de détermination (R^2) égal à 0.74 (Fig. 5). De même, la participation des ions Ca^{2+} et SO_4^{2-} à la salinisation indiquerait une éventuelle dissolution du gypse/ anhydrite, ce qui est confirmé par une corrélation entre ces deux éléments ($R^2 = 0.65$) (Fig. 6). La dissolution de ces évaporites est d'ailleurs confirmée par les indices de saturation (IS) calculés par le programme WateqF (Tab. II). En effet, les indices de saturation de l'ensemble des eaux vis-à-vis des minéraux concernés (halite, anhydrite et gypse) montrent un état de sous-saturation pour la majorité des échantillons (IS_{moyen} vis à vis de la halite: -6.67 ; IS_{moyen} vis à vis du gypse : -1.27 ; IS_{moyen} vis à vis l'anhydrite : -1.50). En effet la présence des ions (Ca^{2+} , SO_4^{2-}) dans l'eau est liée à la dissolution des formations triasiques (gypses, marnes bariolées carneules) selon la réaction :



L'ion Ca^{2+} provient également de la dissolution des formations carbonatées du Crétacé qui bordent la nappe alluviale au sud, et de la formation Pliocène du bourrelet du Sahel au nord et sud en bordure de l'atlas Blidéen, cela est confirmé par la corrélation positive entre le Ca^{2+} et les bicarbonates HCO_3^- ($R^2=0.61$) (Fig. 4).

Séminaire International sur l'Hydrogéologie et l'Environnement

12 - 14 Mars 2019, Ouargla (Algérie)

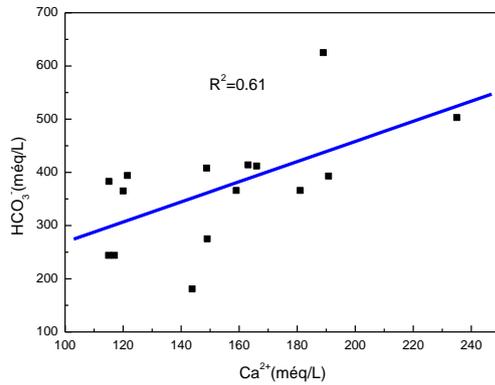


Fig. 4 : Relation entre Ca^{2+} et HCO_3^- dans les eaux souterraines de la Mitidja.

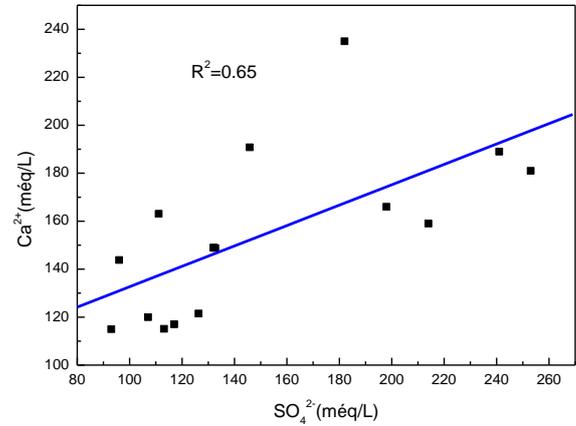


Fig. 6 : Relation entre SO_4^{2-} et Ca^{2+} dans les eaux souterraines de la Mitidja.

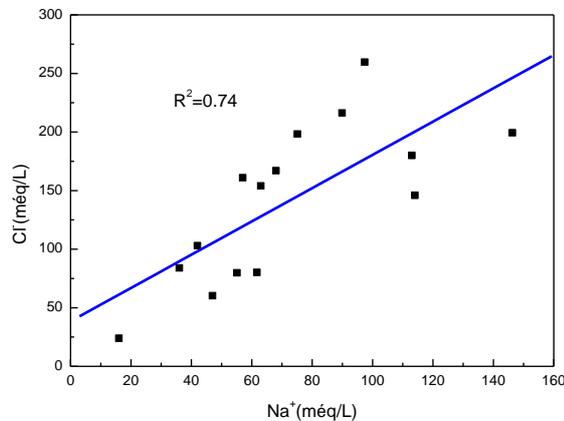


Fig. 5 : Relation entre Na^+ et Cl^- dans les eaux souterraines de la Mitidja.

Tableau II : Indices de saturation des eaux souterraines dans le bassin de la Mitidja.

Code	IS		
	Halite	Gypse	Anhydrite
MTJ ₁	-6,21	-1,23	-1,47
MTJ ₂	-6,43	-1,38	-1,61
MTJ ₃	-6,31	-1,47	-1,70
MTJ ₄	-6,14	-1,35	-1,58
MTJ ₅	-7,14	-1,45	-1,69
MTJ ₆	-6,95	-1,40	-1,64
MTJ ₇	-6,90	-1,45	-1,69
MTJ ₈	-6,40	-1,13	-1,35
MTJ ₉	-6,31	-1,02	-1,25
MTJ ₁₀	-6,53	-1,22	-1,45
MTJ ₁₁	-6,96	-1,28	-1,51
MTJ ₁₂	-6,57	-1,09	-1,32
MTJ ₁₃	-6,63	-1,06	-1,29
MTJ ₁₄	-8,00	-1,40	-1,63
MTJ ₁₅	-6,65	-1,16	-1,39

E. Présence des nitrates dans les eaux souterraines

Les nitrates NO_3^- représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble. Sa présence dans les eaux souterraines est liée à l'utilisation intensive des engrais chimiques [5]. Les résultats montrent que Les concentrations moyennes en nitrates des eaux souterraines est de 52.1 mg/L qui sont supérieurs à la norme de potabilité, et qu'un pourcentage de 40% des



Séminaire International sur L'Hydrogéologie et l'Environnement

15 - 17 Octobre 2019, Ouargla (Algérie)



Séminaire International sur L'Hydrogéologie et l'Environnement

12 - 14 Mars 2019, Ouargla (Algérie)

échantillons analysés dépasse les 50 mg/L, norme préconisée par l'OMS. Le forage MTJ₉ situé à Rouiba représente le forage le plus pollué avec une valeur de 125 mg/L, par contre le forage MTJ₇ situé à El Hamiz donne la valeur la moins concentrée de 16.3 mg/l. les ions nitrates sont corrélés au sulfate ($R^2=0.746$) ceci laisse pensé que ces éléments peuvent avoir une origine commune. elle serait attachée à l'activité anthropique liée à l'agriculture utilisant dans la région des produits chimiques (fertilisant) à base de sulfates comme le sulfate d'ammoniaque et le sulfo-phosphate d'ammoniaque ainsi que l'utilisation extensive de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, MgSO_4 sur des terrains perméables, ces derniers permettant une infiltration directe de la forme azotée (nitrate) vers la nappe.

F. Pollution par les métaux lourds

Le dosage en manganèse à montrer que 40% des échantillons dépassent les 50 $\mu\text{g/L}$, norme préconisée par l'OMS, MTJ₁₃ est le forage le plus contaminé et il donne une valeur de 4900 $\mu\text{g/L}$, ce dernier se situe à Meftah, par contre la concentration minimale de 25 $\mu\text{g/L}$ s'observe pour le forage MTJ₄ situé à Rouiba. Sachant que le manganèse est présent en quantité très importante dans la nature, beaucoup de roches métamorphiques et sédimentaires en contiennent essentiellement sous forme d'oxydes, Les minerais les plus abondants sont la pyrolusite (MnO_2), la psilomélane ($[(\text{Ba},\text{H}_2\text{O})_2\text{Mn}_5\text{O}_{10}]$) et la rhodochrosite (MnCO_3), sa présence est attribué également aux activités anthropiques (fabrication d'acier, fabrication de verre, peinture, engrais chimiques...). En ce qui concerne le cadmium, un pourcentage de 53% d'échantillons est également supérieur à la norme recommandée par l'OMS (3 $\mu\text{g/L}$). Les forages les plus contaminés sont MTJ₉ et MTJ₁₅ avec une valeur de 21 $\mu\text{g/L}$, ces deux forages se situent à Rouiba et Larbaa respectivement. Par contre, les forages les moins

contaminés sont le MTJ₈ et MTJ₁₂ avec une valeur de 6 $\mu\text{g/L}$, ces derniers se situent à Rouiba et El Hamiz respectivement. Le cadmium naturel est présent à l'état de traces, il provient aussi des activités anthropiques (résidus de placage électronique et des engrais chimiques, décharges, et pesticides) [6].

VII. Conclusion

L'étude hydrochimique des eaux souterraines de la Mitidja montrent que les eaux sont neutres et moyennement minéralisées dans l'ensemble. Les paramètres chimiques de qualité sont pour la plupart en dessous de la norme de potabilité OMS, excepté pour les nitrates qui dépassent cette norme pour 40 % des échantillons analysés. Les eaux de la région se regroupent autour de deux principales familles où les eaux chlorurées sulfatées calciques sont majoritaires suivies des eaux bicarbonatées calciques. La caractérisation hydrochimique a permis de montrer que les différents processus responsables de l'acquisition du chimisme des eaux souterraines seraient issus de l'altération des roches et le contact des eaux avec l'encaissant. La dissolution du gypse, de la halite et/ou l'anhydrite contribuerait à la minéralisation des eaux. Ceci est d'ailleurs en parfait accord avec l'état de sous-saturation des eaux vis à vis de ces minéraux pour la majorité des points échantillonnés. L'infiltration de substances liées aux activités anthropiques est également responsable de l'acquisition du chimisme des eaux souterraines.

REFERENCES

- [1] Mimouni O., Chibane B. (1989). Predicting nitrate pollution of Mitidja plain groundwater (Northern Algiers-Algeria). Environ. Softw., 4(3),136-141.
- [2] Benziada M. (2003). Hydrogéologie de la plaine de la Mitidja orientale (Algérie). Bulletin des Sciences Géographiques., 11, 43-52.