

ORIGINE DE LA SALINITE DES EAUX SOUTERRAINES- CAS DES HAUTES PLAINES SETIFIENNES (NORD EST ALGERIEN).

Reçu le 15/05/2006 – Accepté le 30/12/2008

Résumé

La salinité des eaux souterraines pose un problème en zones arides et semi-arides, et détériore leur qualité. Le système aquifère mio-plio-quatenaire des hautes plaines sétifiennes est logé dans des formations argileuses et conglomératiques, et des calcaires lacustres. Il est interposé entre les séries telliennes au Nord et les séries hodnéennes au Sud. Il est essentiellement alimenté par les précipitations et par des failles conditionnant et favorisant l'écoulement des eaux souterraines. L'endoréisme est le caractère principal de la région. Pour la période d'observation prise en compte, la valeur moyenne de l'évapotranspiration réelle (E.T.R.) est souvent supérieure à 85 % des précipitations et celle du coefficient d'infiltration ne dépasse pas les 10 %. Les pompages d'essai exécutés dans la région montrent de bonnes transmissivités de l'ordre de 10^{-3} m²/s. L'étude temporelle et spatiale des paramètres physico-chimiques du système aquifère superficiel, suivie depuis 1991, leur représentation en matrice de corrélation et les rapports caractéristiques ont permis de définir les principaux traits caractérisant la salinité (teneur, origine et évolution) et de mettre en évidence les faciès hydrochimiques dominants. Les eaux de l'aquifère superficiel de la zone d'étude présentent une salinité moyennement à assez élevée. Cette dernière a même révélé une mauvaise potabilité.

Lors de leurs trajets en profondeur, les éléments chimiques dans l'eau ont évolué en deux faciès dominants : chlorure sodique et sulfaté calcique. L'analyse chimique a donc montré la dominance des ions salifères (Na⁺, Cl⁻) et des ions du gypse (Ca²⁺, SO₄²⁻) par rapport aux carbonates (Ca²⁺, HCO₃⁻).

Mots clés : Salinité- Eaux souterraines- Hautes plaines sétifiennes- Semi-aride- Colonne hydrogéologique- Masses résistantes- Forage- Chotts- Exutoires- Ecoulements endoréiques- Transmissivité.

Abstract

Groundwater salinity poses a problem in arid and semi-arid zones, and damages its quality. The Mio-plio-quadernary aquifer system of Setifian high lands is lodged in a clayey and conglomeratic formations, and lacustrine limestone. It is placed between the Tellian series at North and the Hodnean ones at South. It is essentially recharged by precipitation and by a faults governing and favoring groundwater flow. The endoreism is the main character of the region. With regard to the observation period taken into account, the real evapotranspiration mean value is often greater than 85 % of the precipitation and that of the infiltration coefficient does not exceed 10 %. The pumping tests carried out in the region show a good transmissivities about 10^{-3} m²/s.

The temporal and spatial study of the physical and chemical parameters dealing with the superficial aquifer, followed since 1991, their correlation matrix representation and the characteristic ratios have allowed to define the principal feature characterizing the salinity (content, origin and evolution) and to show the dominant hydrochemical facies. In the studied zone, the superficial aquifer waters present a moderately to quite high salinity. The latter has even revealed a poor quality.

During their paths in depth, water chemical elements have developed two dominant facies: sodium chloride and calcium sulfate. The chemical analysis has therefore shown the dominance of a saliferous ions (Na⁺, Cl⁻) and a gypsum ones (Ca²⁺, SO₄²⁻) comparing with the carbonates (Ca²⁺, HCO₃⁻).

Keywords: Salinity- Groundwater- Setifian high lands- Semi-arid- Hydrogeologic column- Resistant masses- Borehole- Salt lake basin- Groundwater outlets- Endoreic flows- Transmissivity.

M.S. GHEBOULI¹
M. BENCHEIKH ELHOCINE²

¹Laboratoire de géologie et de l'environnement.

²Laboratoire de chimie.

Université Mentouri,
Constantine.

Algérie

ملخص

ملوحة المياه الجوفية تطرح مشكل بالمياطين الجافة والشبه الجافة. زيادة على ذلك تهلك نوعيتها. نظام الطبقات الجيولوجية الحاوية على المياه ذوي العمر الميوليبورباقي للسهول العليا السطافية متركز في طبقات طينية و كنجولميراتية و حجر جيري بحيري. هذا النظام متواجد بين التشكيلات الجيولوجية بالتل في الشمال والأخرى بالحضنة في الجنوب. وهو مغدى أساسا بمياه الأمطار والفوالق التي تتحكم وتحفز مجرى المياه الجوفية. النظام الداخلي للمياه السطحية هو الميزة الخاصة للمنطقة. بالنسبة لفترة الدراسة، معدل القيمة للتبخر الحقيقي هو يتجاوز 95% من الأمطار. أما معامل ماء الرش لا يتجاوز 10%. تجارب ضخ المياه بالمنطقة بينت مردودية حسنة بقيمة 10^{-3} م²/ثا. الدراسة الزمنية والميدانية منذ سنة 1991 للمعطيات الفيزيائية والكيميائية التي تخص الجيب المائي السطحي وتمثيلها على شكل مصفوفات والنسب المميزة مكنتنا من معرفة الميزة الأساسية للملوحة (النسبة)، الأصل والتطور، كما بينت سحنة المياه السائدة. في منطقة الدراسة، مياه الجيب المائي السطحي بينت ملوحة متوسطة الى مرتفعة تقريبا. وهذه الأخيرة أظهرت نوعية ضعيفة. على طول مسارها، العناصر الكيميائية الموجودة بالمياه كونت سحنتان سائدة: كلورير الصديوم وسلفات الكلسيوم. التحليل الكيميائي بين إن سيطرة الأيونات الملحية (Na⁺, Cl⁻)، والجيبية (Ca²⁺, SO₄²⁻) عن الكربوناتية (Ca²⁺, HCO₃⁻).

الكلمات المفتاحية: الملوحة، المياه الجوفية، السهول العليا السطافية، شبه جافة، سلم هيدر و جيولوجي، الكتل المقامة الندر

I. INTRODUCTION

La demande croissante en eau, soit pour l'alimentation en eau potable, soit pour l'usage agricole et industriel, nécessite une étude hydrogéologique et hydrochimique très approfondie afin de mieux protéger et gérer cette ressource.

Ici, il s'agit des hautes plaines sétifiennes où une cartographie hydrogéologique devrait être faite.

Les zones étudiées se concentrent autour des secteurs suivants:

- Aïn Oulmène ;
- El Eulma ;
- Bir el Arech - Bellaâ ;
- Ras El-Ma ;
- Beïda Bordj ;
- Hammam Sokhna ;
- Sud de Tadjenanet.

Lors de ce travail, nous nous limiterons à donner quelques informations hydrogéologiques et hydrochimiques de base avec des interprétations qui peuvent être discutées. Ce qui nous incite à entreprendre d'autres études plus approfondies.

Nous axerons notre présent travail sur les points suivants :

- Situation géographique ;
- Identification géologique des aquifères de la région ;
- Etude géophysique ;
- Etude hydroclimatique ;
- Hydrogéologie ;
- Chimie des eaux.

II. SITUATION GEOGRAPHIQUE

Les hautes plaines sétifiennes occupent le centre de la feuille de Sétif au 1/200000 (Fig. 1). Elles sont caractérisées par des altitudes variant de 750 m à l'Est à 950 m à l'Ouest.

La limite méridionale de ces hautes plaines montre des accidents de reliefs isolés tels que Djebel Zdimm (1160 m), Djebel Youssef (1442 m), Djebel Braou (1263 m), Djebel Tnoutit (1192 m), etc... Ces hautes plaines atteignent l'angle Sud-Est de la feuille au Nord des Djebels Tafourer (1149 m), Agmérroual (1241 m) et Zana (1280 m).

Les dépressions, au centre et à l'Est de la feuille, coïncident avec Chott el Malah et Sebkhet Melloul (Sud de Sétif), Sebkhet Bazer, Sebkhet el Hamiet, Chott el Fraïn et Chott el Beïda (Sud d'El Eulma).

A l'exception du Nord de la feuille de Sétif, le réseau hydrographique est du type endoréique, où toutes les eaux convergent vers les chotts et les sebkhet.

Pour les périodes et stations observées (Tab. 1), les hautes plaines sétifiennes reçoivent des précipitations faibles de l'ordre de 400 mm/an.

Quelques massifs forestiers sont situés au Nord de la feuille, et un paysage steppique et un couvert également forestier sont à signaler au Sud.

Plaine	Période d'observation	Précipitation (mm)	Température (°C)	Ecoulement (%)
Aïn Oulmène	1965- 84	469	16,00 (1970-82)	14,28
Sud d'El Eulma	1965-84	385	14,77	4,00
Bir el Ahrèch - Bellaâ	1970-84	296	14,03	6,37
El Eulma	1970-84	430	14,03	9,02
Ras El-Ma	1970-92	398	14,90	8,28
Beïda Bordj	1984-93	331	15,29	1,42
Hammam Sokhna	1982-93	435	14,28	9,30
Sud de Tadjenanet	1969-92	327	14,77	2,62

Tableau 1 : Paramètres climatiques moyens interannuels de la région.

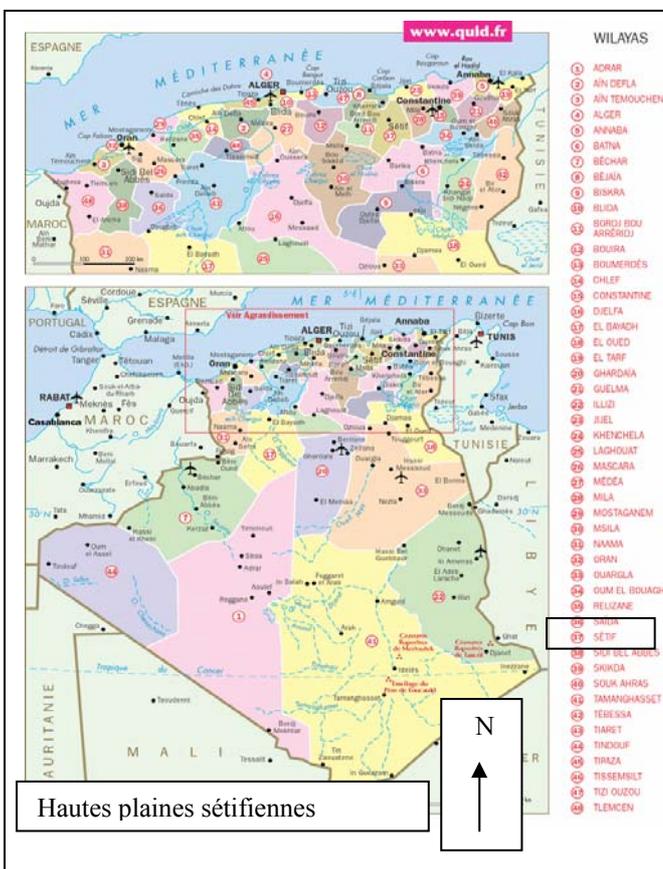


Figure 1 : Carte de situation des hautes plaines sétifiennes.

III. IDENTIFICATION GEOLOGIQUE DES AQUIFERES DE LA REGION

Sur l'esquisse de la carte géologique de Sétif au 1/200.000 (Fig. 2), à l'exception du domaine parautochtone et autochtone hodnéen plus au Sud, les hautes plaines sétifiennes sont limitées :

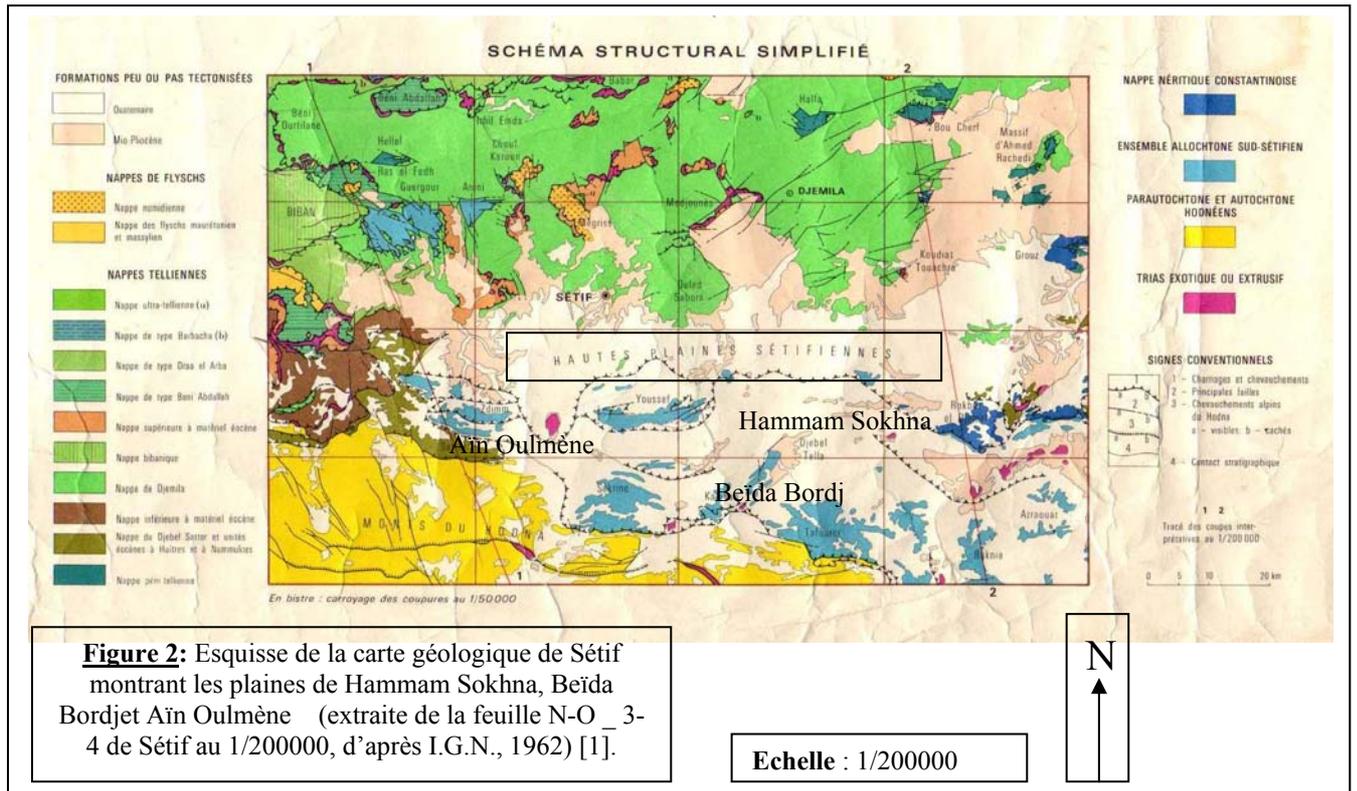


Figure 2: Esquisse de la carte géologique de Sétif montrant les plaines de Hammam Sokhna, Beïda Bordjet Aïn Oulmène (extraite de la feuille N-O_3-4 de Sétif au 1/200000, d'après I.G.N., 1962) [1].

- au Sud, par quelques massifs représentant le domaine sud-sétifien. Il s'agit des Djebels : Sekrine, Kalaoun, Tafourer, etc... ;
- à l'Est, par quelques massifs représentant le domaine néritique constantinois. Il s'agit des Djebels de Rokbet el Djemel et le Grouz ;
- et à l'Ouest, par quelques unités telliennes.

Du point de vue paléogéographique et structural, l'esquisse de la carte de Sétif au 1/200.000 montre certains phénomènes locaux du Lias au Lutétien et deux phases tectoniques majeures : la première concerne la phase atlasique ; et la seconde concerne la phase alpine. Cependant, certains auteurs intercalent entre celles-ci une autre phase relative au Miocène basal. Enfin, une néotectonique est responsable de l'orographie actuelle.

L'étude des colonnes hydrogéologiques établies à partir de plusieurs logs stratigraphiques synthétiques [2] et des perméabilités relatives, montre plusieurs unités hydrogéologiques ou aquifères, selon la disposition suivante :

- Aquifère superficiel, poreux et multicouche par endroits, relatif au Mio-plio-quadernaire et particulièrement certains niveaux de calcaires lacustres villafranchiens ;
- Aquifère se trouvant dans les formations éocènes carbonatées ;
- Aquifères profonds carbonatés d'âge crétacé et probablement jurassique.

L'absence presque générale d'exutoires naturels dans la région (exception faite pour les chotts), laisse penser à la présence d'eau souterraine en quantité énorme au niveau des formations profondes, en particulier celles du Crétacé et probablement du Jurassique où la limite néocomienne est parfois marneuse et parfois argileuse. Par conséquent, il en résulte une seule unité dite complexe hydrogéologique profond.

IV. ETUDE GEOPHYSIQUE

L'étude faite par la compagnie de géophysique (C.G.G.) en 1972-73 a révélé [3]:

- des masses résistantes de 200 à 800 ohm-m. Ce sont les formations géologiques profondes d'âge crétacé. Ces masses présentent des puissances de l'ordre de 500 m et même plus. En présence d'une intense fracturation et d'apports suffisants en eaux souterraines, ces dernières peuvent être considérées comme favorables à d'éventuelles exploitations ;
- des structures synclinales et des failles (ou plans de chevauchement) favorisant et conditionnant l'écoulement des eaux souterraines. A titre d'exemple, le forage proposé à 400 m de profondeur pour capter toute la formation du Crétacé (moyen et supérieur). Ce forage a été implanté dans

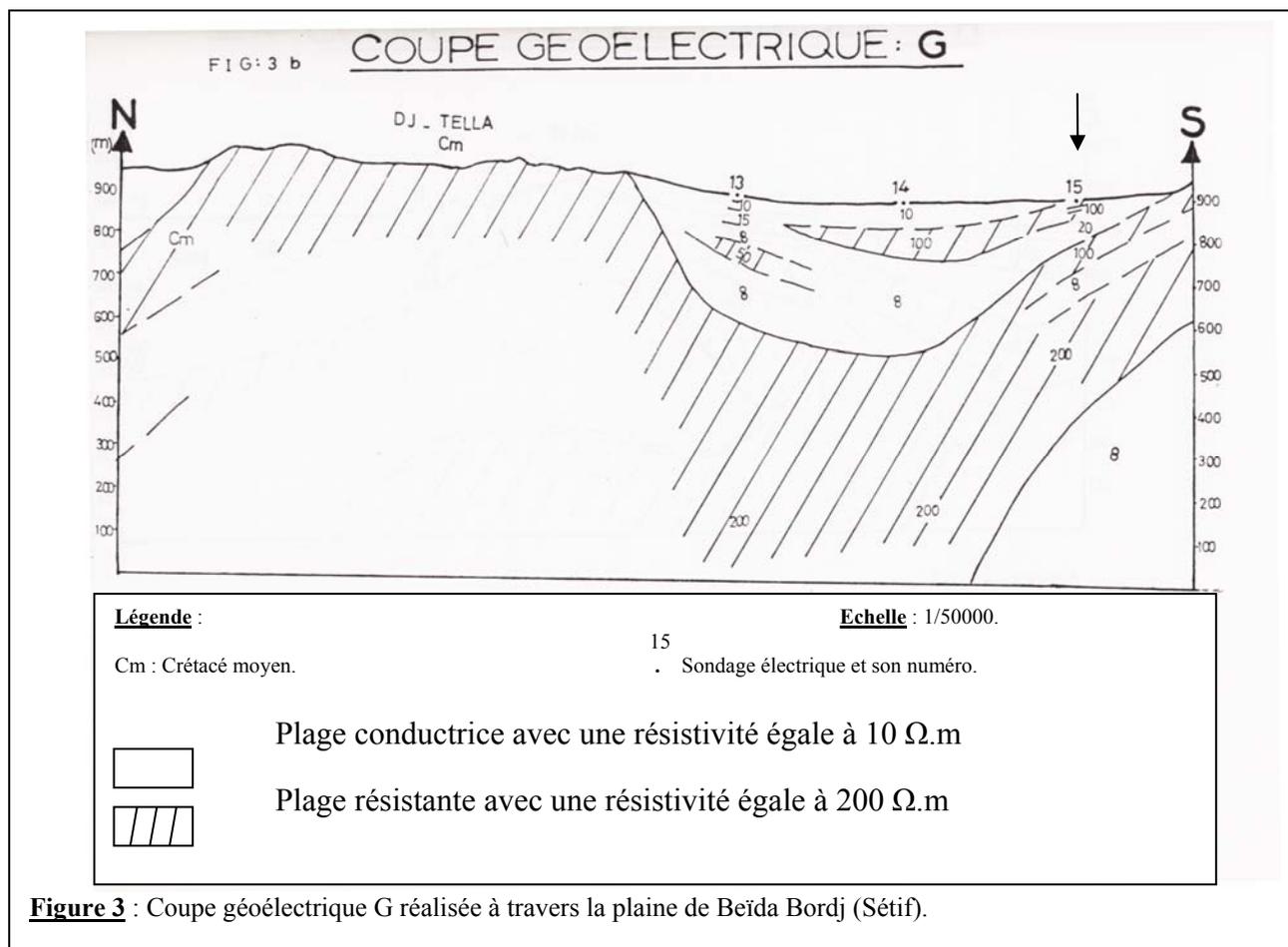


Figure 3 : Coupe géoélectrique G réalisée à travers la plaine de Beïda Bordj (Sétif).

- la plaine de Beïda Bordj. Il s'agit du sondage G₁₅ (Fig. 3).
- Ce choix a été pris en considération vu que la zone de l'exploitation de l'aquifère profond se trouve loin des influences des chotts en surface et sub-surface, et du Trias (se situant à plus de 500 m de profondeur), et surtout que le toit de cet aquifère est à 100 m par rapport au sol.
- des remontées du Trias et par conséquent des zones défavorables pour l'exploitation des eaux sont à proximité

L'apport des diagraphies exécutées dans la région révèle que les aquifères existants sont du type multicouche [4].

V. ETUDE HYDROCLIMATIQUE

Le climat est typiquement semi-aride avec des influences méditerranéennes en hiver et sahariennes en été. La période déficitaire s'étale de Mai à Octobre.

Quoique le réseau hydrographique est peu dense et non développé et que les écoulements sont souvent temporaires, les chotts qui peuvent constituer les exutoires de l'aquifère superficiel, sont également considérés comme les niveaux de base de ces écoulements endoréiques (Tab. 1).

Il en ressort d'après les bilans hydrologiques, que la valeur de l'évapotranspiration réelle moyenne (E.T.R.) est souvent supérieure à 85 % des précipitations [5] et que celle du coefficient d'infiltration moyenne ne dépasse pas les 10 % des précipitations. Ce dernier serait important pour les réserves des nappes s'il atteint la limite maximale de la porosité efficace.

VI. HYDROGEOLOGIE

Les cartes piézométriques établies dans la zone d'étude montrent des axes principaux d'écoulement suivant le schéma ci-dessous :

- Massifs carbonatés - plaines ;
- ou massifs carbonatés - chotts et sebkhas ;
- ou massifs carbonatés - plaines - chotts et sebkhas ;

ou massifs carbonatés - plaines - oueds.

L'examen de quelques valeurs de transmissivités (m^2/s), relatives aux aquifères superficiel et profond de la région montre que seuls ces derniers ont de meilleurs potentialités (Tab. 2).

Plaine	Aquifère superficiel	Aquifère profond
Aïn Oulmène	$1,00.10^{-4}$	$1,00.10^{-2}$
Sud d'El Eulma	$2,30.10^{-4}$	$1,15.10^{-3}$
Bir el Ahrèch - Bellaâ	/	$3,07.10^{-3}$
El Eulma	/	$1,78.10^{-3}$
Ras El-Ma	$3,40.10^{-3}$	$4,32.10^{-2}$
Beïda Bordj	/	$9,90.10^{-4}$
Hammam Sokhna	/	$2,31.10^{-2}$
Sud de Tadjenant	/	$4,75.10^{-3}$

/ : Valeur indéterminée.

Tableau 2 : Transmissivités (m^2/s) relatives aux aquifères superficiel et profond de la région (période : 1991- 2000).

VII. CHIMIE DES EAUX

Les différents paramètres physico-chimiques ont été déterminés grâce aux techniques citées dans le tableau 3.

Tableau 3 : Appareillage et méthodes.

Appareils et Méthodes	Paramètres physico-chimiques
Conductivimètre de terrain du type 'SCHOTT GERATE', CG 857.	Conductivité électrique
Absorption atomique- PYE UNICAM SP9- atomic absorption spectrophotometer.	Sodium Na^+ Et potassium K^+
Volumétrie	Calcium Ca^{2+} , dureté totale, bicarbonates HCO_3^- et chlorures Cl^-
Colorimètre du type 'JENWAY' 6060. Colorimétrie	Sulfates SO_4^{2-}

Les eaux de la région sont moyennement à assez chargées. Les valeurs de la conductivité s'étalent de 644 à 7567,43 $\mu S/cm$. Il est important de signaler que cette salinité évolue généralement avec le sens d'écoulement des eaux souterraines. Elle est faible près des zones d'alimentation (massifs carbonatés) [6] et grande près des chotts et des sebkhetts.

Les faciès hydrochimiques les plus abondants sont de type chloruré sodique à sulfaté calcique. Cela montre l'influence du lessivage des terrains salifères et particulièrement les chotts et les sebkhetts, et celle des formations gypsifères du Trias.

Il faut noter également qu'il y'a un risque de salinité des eaux pour l'irrigation de type moyen à très élevé. Plusieurs travaux l'ont confirmés [7], [8], [9] et [10].

Prenant en considération les différentes valeurs temporelles et spatiales des éléments chimiques, les teneurs, l'évolution et l'origine de la salinité, nous avons jugé par commencer par une analyse statistique globale afin de dégager les grands traits de la chimie de la région.

7.1 Analyse en Composantes Principales (A.C.P) :

Une étude statistique par l'analyse en composantes principales (A.C.P) a été effectuée sur un tableau de 8 variables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , ($Na^+ + K^+$), HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , μ et p.H) et de 57 observations.

Les données concernent les plaines de Hammam Sokhna, Beïda Bordj et Aïn Oulmène.

Les deux premières plaines ont été sélectionnées du fait qu'elles ont une limite commune et qu'elles présentent les mêmes faciès hydrochimiques à des proportions variables. Cependant, la dernière plaine lointaine des deux premières, a été retenue tenant compte de la présence d'autres faciès de type bicarbonaté calcique et bicarbonaté sodique et ce pour bien cerner le chimisme des eaux souterraines [11].

Cette analyse a été poussée jusqu'à 3 facteurs et 75,25 % de la variance ont pu être exprimés.

Tableau 4 : Corrélation entre les éléments chimiques.

μ : Conductivité électrique de l'eau.

	Ca^{2+}	Mg^{2+}	($Na^+ + K^+$)	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	μ	p.H
Ca^{2+}	1,000000							
Mg^{2+}	0,481582	1,000000						
($Na^+ + K^+$)	-0,534304	-0,509768	1,000000					
HCO_3^-	-0,146558	0,116777	0,290424	1,000000				
SO_4^{2-}	0,748757	0,598357	-0,155190	0,023793	1,000000			
Cl^-	0,475430	0,498264	0,031387	-0,089025	0,452551	1,000000		
μ	0,651229	0,550848	-0,385040	-0,160458	0,704695	0,263175	1,000000	
p.H	0,037841	0,103314	0,104039	-0,280774	0,256448	0,187681	0,119812	1,000000

L'analyse des plans factoriels :

L'analyse du plan factoriel 1-2 montre que plus de 59 % de la variance totale sont exprimés. L'analyse dans ce plan est donc acceptable [12].

Le facteur 1 représente 43,33 % de la variance et il est déterminé par les éléments chimiques Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- et la conductivité électrique μ liés aux évaporites ($Ca SO_4$, $Ca SO_4 2H_2O$, $Mg SO_4$, $Ca Cl$, et $Mg Cl$) (Tab. 5) et (Fig. 4.1).

	Fact. 1	Fact. 2	Fact. 3
Ca^{2+}	0,869089	-0,136101	-0,028227
Mg^{2+}	<u>0,787841</u>	-0,117047	0,241325
$(Na^+ + K^+)$	-0,535091	<u>0,642717</u>	0,412306
HCO_3^-	-0,167838	-0,143305	<u>0,902857</u>
SO_4^{2-}	<u>0,849757</u>	0,209230	0,222124
Cl^-	<u>0,585228</u>	0,439196	0,229075
μ	<u>0,815534</u>	-0,083158	-0,051142
p.H	0,215362	<u>0,758499</u>	-0,346135

μ : Conductivité électrique de l'eau.

Tableau 5 : Corrélation facteurs – variables.

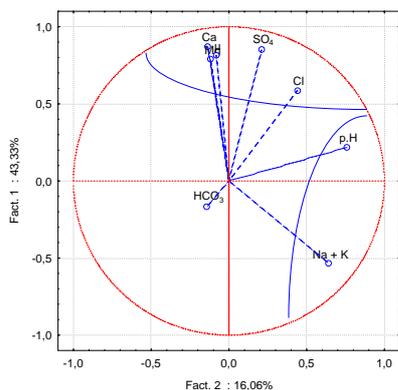


Figure 4.1: Projection des variables sur le plan factoriel 1 - 2.

Le facteur 2 représente 16,06 % de la variance et il est déterminé par deux pôles. Le premier est formé par les éléments chimiques liés aux évaporites $Na SO_4$ et $Na Cl$, et le second est formé par le p.H.

Le facteur 3 est fortement déterminé par les bicarbonates HCO_3^- . C'est donc le facteur des eaux d'origine profondes (Tab. 5) et (Fig. 4.2).

Selon Mangin, A., pour 57 individus et au seuil de 5 %, le coefficient de corrélation critique est de 0,477 [13].

Une corrélation positive significative a été observée entre $Ca^{2+} - SO_4^{2-}$, $Ca^{2+} - \mu$ et $SO_4^{2-} - \mu$.

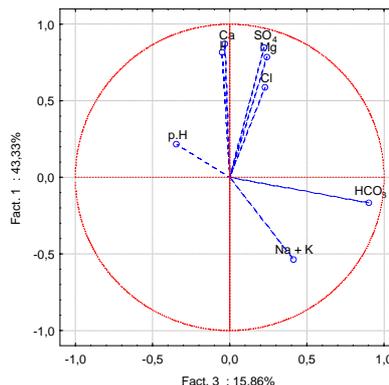


Figure 4.2: Projection des variables sur le plan factoriel 1 - 3.

Une corrélation positive moyennement significative a été observée entre $Mg^{2+} - Ca^{2+}$, $Mg^{2+} - SO_4^{2-}$, $Mg^{2+} - Cl^-$ et Mg^{2+} et μ .

Une corrélation négative moyennement significative a été observée entre $(Na^+ + K^+) - Ca^{2+}$ et $(Na^+ + K^+) - Mg^{2+}$ (Tab.4).

Ces liaisons témoignent de l'influence salifère sur le chimisme de l'eau de la région.

Pour les premiers facteurs, il n'est pas souhaitable qu'un individu contribue excessivement, car cela serait un facteur d'instabilité le fait de le retirer [14].

7.2 Analyse et interprétation des diagrammes de dispersion représentant les différentes relations entre les paramètres chimiques, certains rapports caractéristiques et la conductivité électrique :

Deux familles d'eau dominantes feront la base de notre travail:

- famille des eaux sulfatées calciques ;
- famille des eaux chlorurées sodiques.

En plus de ces familles d'eau, d'autres faciès chimiques de moindre importance sont également à noter, il s'agit des eaux bicarbonatées calciques, sulfatées magnésiennes et sulfatées sodiques.

Pour expliquer quelques relations existantes entre les éléments chimiques, certains graphes ont été représentés.

Couple $SO_4^{2-} - Cl^-$:

Tenant compte de la dominance des faciès chloruré et sulfaté, il est important de vérifier la relation entre ces deux éléments.

Le graphe montre une dispersion des points indiquant une évolution proportionnelle des deux éléments ayant donc une origine salifère commune (Fig. 5).

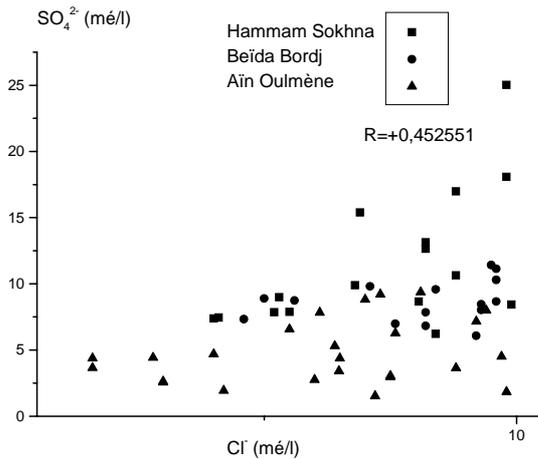


Figure 5 : Relation SO_4^{2-} - Cl^- .

Couple SO_4^{2-}/Cl^- - Conductivité :

L'influence de ces deux éléments sur la conductivité électrique de l'eau a été vérifiée à l'aide du graphe 6. On note que la conductivité est influencée par les sulfates que par les chlorures. La représentation graphique montre que 55 % des points présentent un rapport supérieur à 1, indiquant une dominance des ions du gypse par rapport aux ions chlorurés.

Il est aussi important de noter que les valeurs de conductivité les plus élevées sont observées au niveau de la plaine de Hammam Sokhna où l'influence du Trias se fait beaucoup plus sentir.

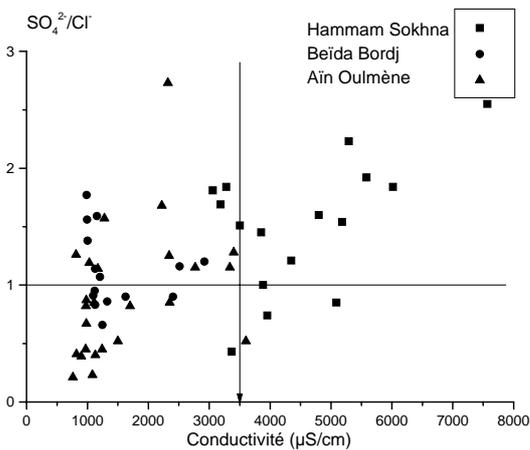


Figure 6 : Relation SO_4^{2-} / Cl^- - Conductivité électrique.

Couple Mg^{2+} - Na^+ :

Tenant compte de la corrélation exponentielle qui existe entre les deux éléments, nous soupçonnons probablement un échange de base entre le sodium et le magnésium [15] (Fig. 7).

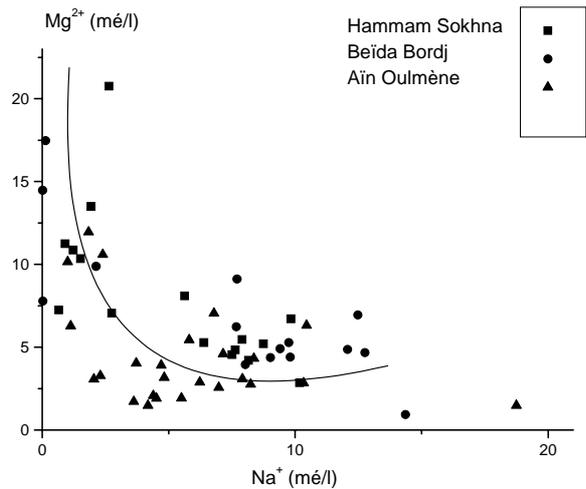


Figure 7: Relation Mg^{2+} - Na^+ .

Couple Mg^{2+} - SO_4^{2-} :

L'examen de cette relation montre une évolution proportionnelle des sulfates et du magnésium (Fig. 8). Cette relation traduit la dissolution d'un sulfate de magnésium d'origine salifère.

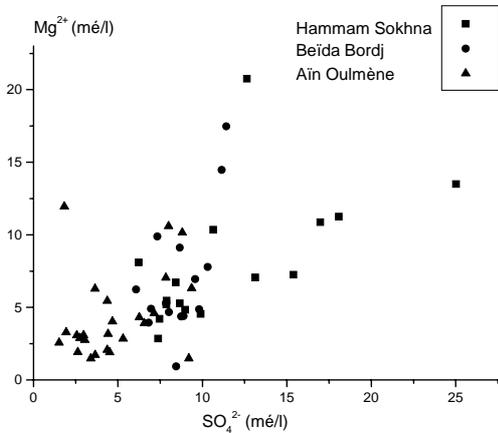


Figure 8: Relation Mg^{2+} - SO_4^{2-} .

Couple Na^+ - SO_4^{2-} :

Le graphe montre une dispersion des points indiquant que les deux éléments chimiques ont des origines différentes (Fig. 9). Cette relation ne confirme pas également l'existence du faciès sulfaté sodique. Cette relation montre une diminution du sodium alors que les sulfates restent en évolution.

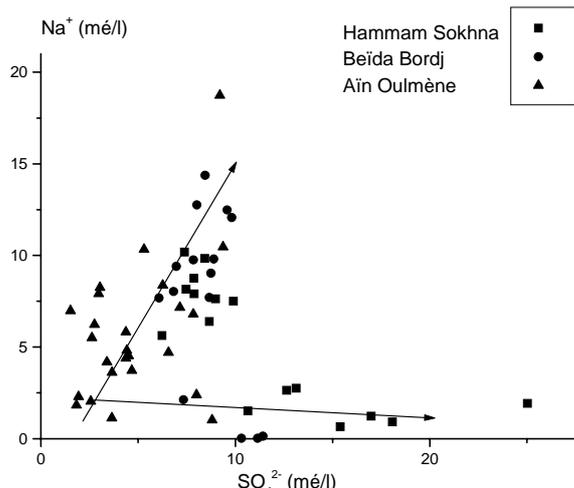


Figure 9: Relation $Na^+ - SO_4^{2-}$.

Diagramme $Ca^{2+} / (HCO_3^- + SO_4^{2-}) - Na^+ / Cl^-$:

Les études d'échange ionique dans les formations géologiques ont révélé, qu'en général, au cours du processus d'échange, un des ions est retenu très fortement contre tout déplacement par les autres ions. C'est une adsorption préférentielle connue par sélectivité d'échange ionique [16].

Le report de tous les points d'eau sur le diagramme montre que 46 % des points d'eau ont subi un échange de base, 45 % des points présentent un déficit en Na^+ et en Ca^{2+} , et 9 % des points présentent un excès en Ca^{2+} par rapport aux ions HCO_3^- et SO_4^{2-} . L'excès en Na^+ qui s'accompagne par un déficit en Ca^{2+} témoigne la responsabilité de l'échange de base dans l'augmentation des teneurs en Na^+ (Fig. 10).

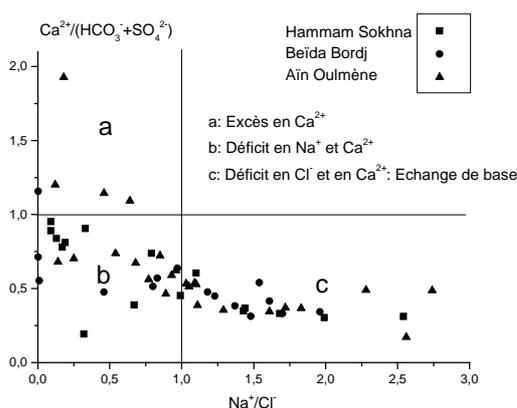


Figure 10 : Échange de base.

Au cours de leurs trajets souterrains, les eaux entrent en contact avec différentes formations géologiques qui ont la propriété d'échanger leurs ions contre ceux contenus dans les eaux.

Ici, l'échange des alcalins Na^+ et K^+ de l'eau s'est réalisé contre les alcalino-terreux des formations argileuses à des proportions égales (46 % des points d'eau analysés).

Origine du Calcium.

Eléments $Ca^{2+} - HCO_3^- - SO_4^{2-}$: (Figs 11 A et B).

La figure 11 A montre l'évolution du calcium en fonction des bicarbonates. Les points se positionnant sur la droite de pente 1 indiquent l'origine carbonatée des ions du calcium. Cependant, les autres points montrent un excès du calcium suite à la dissolution du gypse. La figure 11 B confirme cette tendance [17].

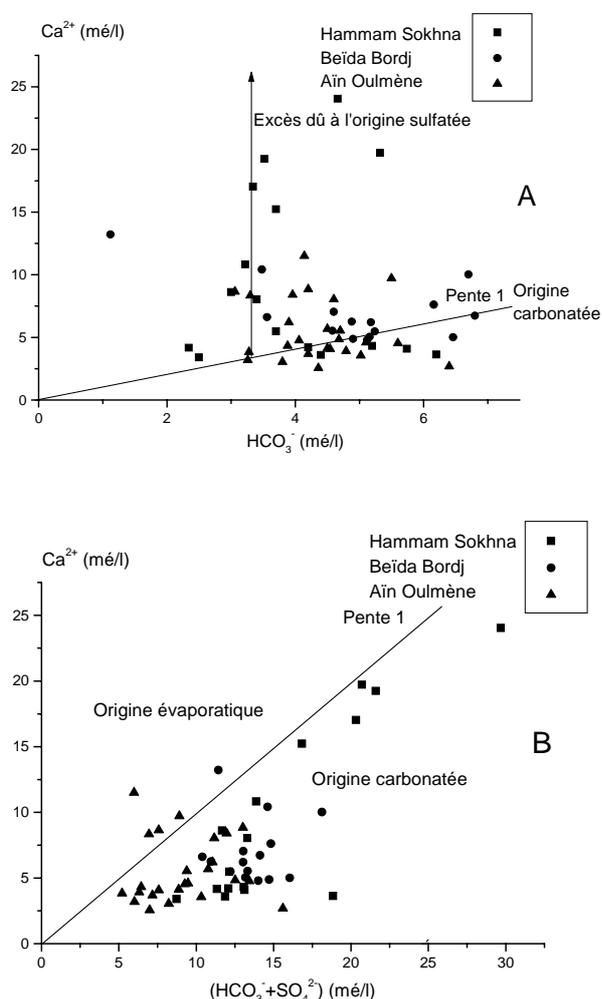


Figure 11 : Évolution du calcium.

Rapport $HCO_3^- / (Cl^- + SO_4^{2-}) - Conductivité électrique$:

La représentation graphique des points d'eau sur ce diagramme montre une diminution du rapport en fonction de la conductivité électrique suite à la

dissolution des formations salifères qui se fait sentir à partir de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Fig. 12). L'examen de la figure 13 confirme cette tendance et montre que la conductivité électrique de l'eau est beaucoup plus due aux sulfates qu'aux chlorures.

CONCLUSIONS

Cette synthèse hydrogéologique et particulièrement hydrochimique permet de dire qu'on a une dominance des ions salifères (Na^+ , Cl^-) et (Ca^{2+} , SO_4^{2-}) par rapport aux ions carbonatés (Ca^{2+} , HCO_3^-). L'échange de base entre les eaux de la nappe et les formations argileuses se fait très sentir et a beaucoup contribué à l'équilibre chimique. Ce chimisme est lié à la nature lithologique de l'aquifère par la dissolution des formations géologiques perméables. Il s'agit des formations évaporitiques et carbonatées. De plus, il est en relation avec le régime pluviométrique, à l'évaporation intense, au pompage, à l'irrigation et à l'utilisation intensive et extensive des engrais.

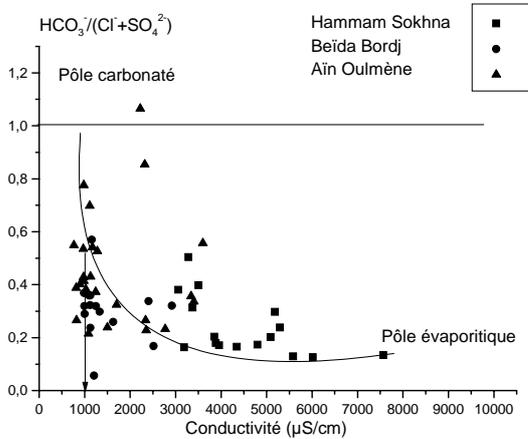


Figure 12 : Origine de la salinité en fonction des rapports caractéristiques.

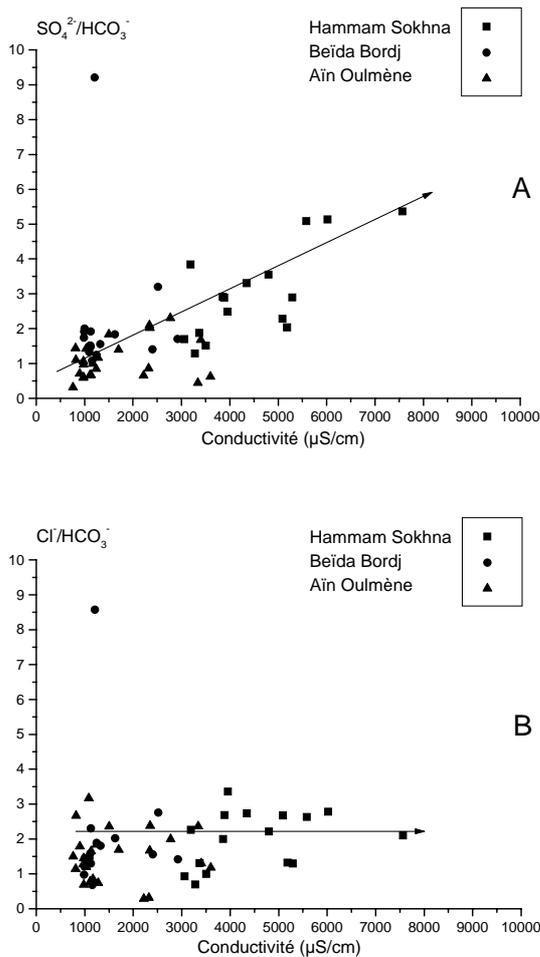


Figure 13 : Origine de la salinité en fonction des rapports caractéristiques.

REFERENCES

[1]- I.G.N. "Esquisse de la carte géologique de Sétif au 1/200000. Feuille N-O_3-4", Direction des mines et de la géologie, Service de la carte géologique de l'Algérie, (1962).

[2]- Anonyme, "Logs stratigraphiques des forages", D.H.W., Sétif, (1993).

[3]- C.G.G., "Rapport de géophysique des hautes plaines sétifiennes", D.H.W., Sétif, (1972-73).

[4]- Ghebouli S., "The aquifer and geophysical properties of some Devonian, Carboniferous and Permian sandstones", M. Phil. Thesis, University of Newcastle upon Tyne, (1988), pp. 122-128.

[5]- Boudoukha A., "Etude hydrogéologique et modélisation du système aquifère fermé d'El Eulma – Aïn el Ahdjar (Région : Est de Sétif – Algérie)", Thèse de Doctorat, Université de Besançon, France, (1988), 186 p.

[6]- UNESCO, "International glossary of hydrogeology", First preliminary edition, Technical documents in hydrology, U.N.E.S.C.O., SC-77/WS/71, Paris, (1978), p. 120.

[7]- Goumidi N. et Kaouache S., "Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine de Hammam Sokhna (Sétif)", Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Géologie; option: Hydrogéologie, Université Mentouri, Constantine, (1995), 151 p.

[8]- Boutelba F. et Hammadi N., “Contribution à l’étude hydrogéologique de la plaine de Beïda Bordj (Sétif)”, Mémoire d’Ingénieur d’Etat en Géologie; option: Hydrogéologie, Université Mentouri, Constantine, (1995), 150 p.

[9]- Aliouche M. et Hamdi D., “Etude hydrogéologique de la plaine de Aïn Oulmène (Sétif)”, Mémoire d’Ingénieur d’Etat en Géologie; option: Hydrogéologie, Université Mentouri, Constantine, (1989), 135 p.

[10]- Boutelliten S. et Mihoub R., “Contribution à l’étude hydrogéologique de la plaine d’Aïn Oulmène (Sétif)”, Mémoire d’Ingénieur d’Etat en Géologie; option: Hydrogéologie, Université Mentouri, Constantine, (2000), 177 p.

[11]- Rodier J., “ L’analyse de l’eau- Eaux naturelles- Eaux résiduaire- Eaux de mer”, Dunod technique, Sixième édition, Paris, (1978), p. 55.

[12] - Athamena M., “Etude des ressources thermales de l’ensemble allochtone sud sétifien”, Thèse de Magister, Option : mobilisation des ressources hydriques, Département de l’hydraulique, Faculté des sciences de l’ingénieur, Université de Batna, (2006), 131 p.

[13]- Mangin A., “Contribution à l’étude hydrodynamique des aquifères karstiques. Concepts méthodologiques adoptés. Systèmes karstiques étudiés”, Ann. Spéléol., (1974), pp. 294, 495, et 601.

[14] - Saporta, G., “Théorie et méthodes de la statistique”, Editions Technip, Paris, (1978), p.387

[15]- Brinis N., Djabri L. et Kardache R., “La salinité des eaux souterraines de la région Est de la plaine d’El-Outaya, Biskra, Algérie”, Colloque International Terre et Eau, C.I.S.T., Terre-Eau, Département de géologie, Faculté des sciences de la terre, Université Badji Mokhtar, Annaba, (2004), pp. 273- 276.

[16]- Assa A. D., “Phénomène de sélectivité d’échange cationique dans certains minéraux argileux. 1. La sélectivité du potassium dans un système potassium-calcium”, Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XIV, n° 3, (1976), pp. 219-226.

[17]- Debieche T. H. 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, Doc. Univ. Franche Comté, France, (2002).

