

UTILISATION DES A.C.P ET DES RAPPORTS CARACTERISTIQUES DANS L'EXPLICATION DU CHIMISME DES EAUX SOUTERRAINES- CAS DE LA PLAINE DE BIR HADDADA (SUD DE SETIF).

M. GHEBOULI.S.

Laboratoire de géologie et de l'environnement, Faculté des Sc. De la Terre
Université Mentouri Constantine, Algérie

Reçu le 14/01/2009– Accepté le 17/12/2010

Résumé

La salinité des eaux souterraines pose un problème en zones arides et semi-arides, et détériore leur qualité. Le système aquifère mio-plio-quaternaire de la plaine de Bir Haddada est logé dans des formations détritiques. Il est essentiellement alimenté par les précipitations et par des failles conditionnant et favorisant l'écoulement des eaux souterraines. Pour la période d'observation prise en compte, la valeur moyenne de l'évapotranspiration réelle (E.T.R.) est de 93 % des précipitations et celle du coefficient d'infiltration est de 0,48 %. Les pompages d'essai exécutés dans la zone d'étude montrent de bonnes transmissivités de l'ordre de 10^{-3} m²/s. L'étude des paramètres physico-chimiques du système aquifère superficiel par l'analyse en composantes principales 'A.C.P' et les rapports caractéristiques ont permis de définir les principaux traits caractérisant la chimie des eaux souterraines (teneur, origine et évolution) et de mettre en évidence leurs faciès chimiques dominants. Les eaux de l'aquifère superficiel de la zone d'étude présentent une salinité faible à élevée.

Lors de leurs trajets en profondeur, les éléments chimiques dans l'eau ont évolué en deux faciès dominants : bicarbonaté calcique, et sulfaté et chloruré sodique. L'analyse chimique a donc montré la dominance des ions salifères (Na^+ , SO_4^{2-} et Na^+ , Cl^-) par rapport aux carbonates (Ca^{2+} , HCO_3^-).

Mots clés: A.C.P- Rapports caractéristiques- Eaux souterraines- Bir Haddada- Transmissivité- Echange de base- Formations évaporitiques et carbonatées.

Abstract

Groundwater salinity poses a problem in arid and semi-arid zones, and damages its quality. The Mio-plio-quaternary aquifer system of Bir Haddada plain is lodged in detritic formations. It is essentially recharged by precipitation and by a faults governing and favoring groundwater flow. With regard to the observation period taken into account, the real evapotranspiration mean value is 92 % of the precipitation and that of the infiltration coefficient 0.48 %. The pumping tests carried out in the studied zone show a good transmissivities about 10^{-3} m²/s.

The study of the physical and chemical parameters dealing with the superficial aquifer by the principal components analysis 'P.C.A' and the characteristic ratios have allowed to define the principal features characterizing the chemistry of groundwater (content, origin and evolution) and to show its dominant chemical facieses. In the studied zone, the superficial aquifer waters reveal low to high salinity.

During their paths in depth, water chemical elements have developed two dominant facieses: calcium bicarbonate, and sodium sulfate and chloride. The chemical analysis has therefore shown the dominance of a saliferous ions (Na^+ , SO_4^{2-}) and (Na^+ , Cl^-) comparing with the carbonate ones (Ca^{2+} , HCO_3^-).

Keywords: 'P.C.A'- Characteristic ratios- Groundwater- Bir Haddada- Transmissivity- Base exchange- Evaporitic and carbonated formations.

ملخص

ملوحة المياه الجوفية تطرح مشكل بالميادين الجافة والشبه الجافة. زيادة على ذلك تهلك نوعيتها. نظام الطبقات الجيولوجية الحاوية على المياه نوي العمر الميوليورباي لسهل بئر حدادة متركز في تشكيلات حطمية. وهو مغذى أساسا بمياه الأمطار والفوالق التي تتحكم وتحفز مجرى المياه الجوفية. بالنسبة لفترة الدراسة، معدل القيمة للتبخر الحقيقي هو 92 % من الأمطار. أما معامل ماء الرشح 0.48 %. تجارب ضخ المياه بالمنطقة بينت مرد ودية حسنة بقيمة 10^{-3} م²/ثا. الدراسة للمعطيات الفيزيائية والكيميائية التي تخص الجيب المائي السطحي بتحليل العناصر الأساسية 'A.C.P' والنسب المميزة مكننتنا من معرفة الميزة الأساسية لكيمياء المياه الجوفية (النسبة، الأصل والتطور)، كما بينت سحتنتها السائدة. في منطقة الدراسة، مياه الجيب المائي السطحي بينت ملوحة ضئيلة الى مرتفعة.

على طول مسارها، العناصر الكيميائية الموجودة بالمياه كونت سحتنتان ساندتان : بربونات الكلسيوم، و سلفات و كلورير الصديوم. التحليل الكيميائي بين إن سيطرة الأيونات الملحية (Na^+ , SO_4^{2-}) - (Na^+ , Cl^-) عن الكربوناتية (Ca^{2+} , HCO_3^-)
الكلمات المفتاحية: 'A.C.P'، نسب مميزة، مياه الجوفية، بئر حدادة، مردودية، تبادل قاعدي، تشكيلات متبخرة و كربوناتية.

UTILISATION DES A.C.P ET DES RAPPORTS CARACTERISTIQUES DANS L'EXPLICATION DU CHIMISME DES EAUX SOUTERRAINES- CAS DE LA PLAINE DE BIR HADDADA (SUD DE SETIF)

I. SITUATION.

La plaine de Bir Haddada se situe au Sud de Sétif à une distance de 30 km. Elle fait partie des hautes plaines sétifiennes et est située entre les Djebels Youssef au Nord et Sekrine au Sud (Figs 1 et 2).

II. GEOLOGIE.

La plaine de Bir Haddada regroupe des formations (Fig. 2):

- peu ou pas tectonisées qui concernent les formations superficielles à peu profondes détritiques du Mio-plioquaternaire qui constituent un aquifère poreux;
- tectonisées de l'ensemble allochtone sud sétifien qui concerne les formations peu profondes à profondes du Crétacé moyen et supérieur - Eocène qui constituent un aquifère multicouche fissuré et karstique ;
- tectonisées de l'ensemble allochtone sud sétifien qui concerne les formations profondes du Crétacé inférieur qui constituent un aquifère multicouche karstique.

III. PARAMETRES CLIMATIQUES.

A partir de la valeur très faible de l'infiltration 0,48 % (Tab. 1), cela aurait pour conséquence un destockage important de l'aquifère superficiel.

Station	Période d'observation	Précipitation (mm)	Température (°C)	Ecoulement (%)	Infiltration (%)
El Eulma	1985- 97	343	13,69	7,26	0,48

Tableau 1 : Paramètres climatiques moyens interannuels de la région.

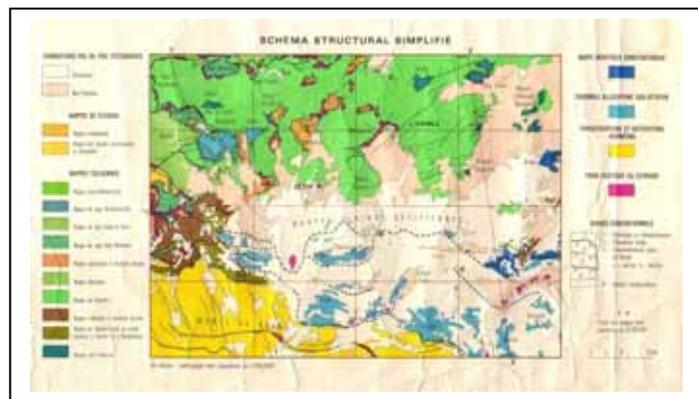
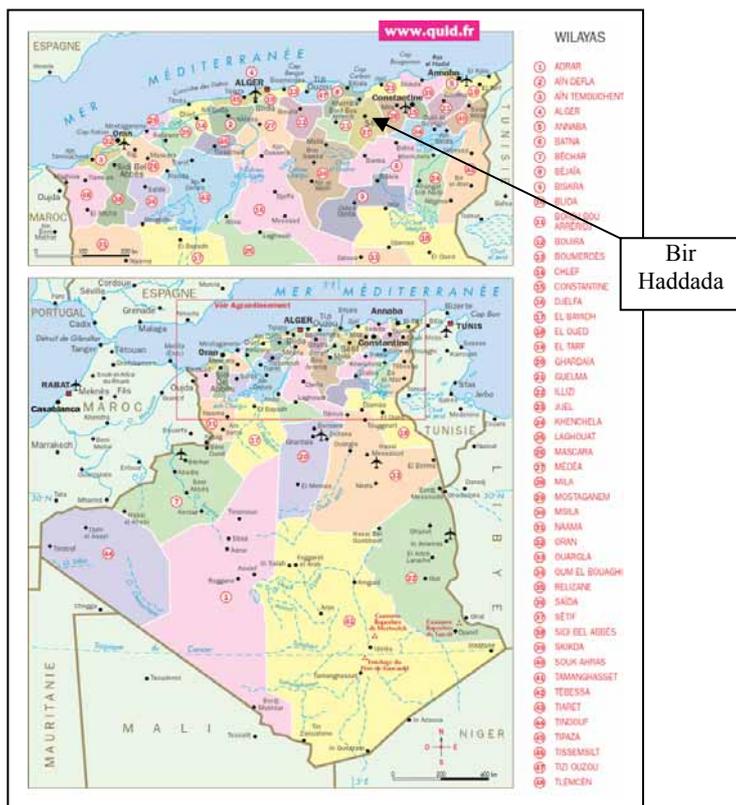
IV. PIEZOMETRIE ET YDRODYNAMIQUE.

Pour l'aquifère superficiel logé dans les formations détritiques du Mio-plioquaternaire, l'écoulement des eaux souterraines se fait des massifs du Djebel Youssef au Nord et du Djebel Sekrine au Sud vers la plaine de Bir Haddada au centre et vers la Sebkhha Melloul au Nord Ouest et la Sebkhha el Hamiet au Sud Est. Pour l'aquifère profond logé dans les formations carbonatées du Crétacé, la transmissivité moyenne est de l'ordre de $2,24 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

V. CHIMIE DES EAUX.

Les différents paramètres physico-chimiques ont été déterminés grâce aux techniques citées dans le tableau 2.

Les eaux de la zone d'étude sont faiblement chargées à chargées. Les valeurs de la conductivité s'étalent de 417,01 à 3169,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Il est important de signaler que cette salinité évolue généralement avec le sens d'écoulement des eaux souterraines [2]. Elle est faible près des zones d'alimentation (massifs carbonatés) et grande près des chotts et des sebkhetts.



Echelle : 1/200000

Figure 2 : Esquisse de la carte géologique de Sétif montrant la plaine de Bir Haddada (extraite de la feuille N-O _ 3-4 de Sétif au 1/200000, d'après I.G.N., 1962) [1].

Les faciès hydrochimiques les plus abondants sont du type bicarbonaté calcique, et sulfaté et chloruré sodique. Cela montre l'influence du lessivage des terrains carbonatés et salifères et également des formations gypsifères du Trias.

Prenant en considération les différentes valeurs 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 du chimisme des eaux souterraines de la zone d'étude.

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⁻)

Tableau 2 : Appareillage et méthodes.

5.1 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 9 variables (Ca²⁺, Mg²⁺, (Na⁺ + K⁺), HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, μ, p.H et T) et de 31 observations. Les données concernent la plaine de Bir Haddada [3]. Cette analyse a été poussée jusqu'à 3 facteurs et 80,05 % de la variance ont pu être exprimés (Figs 3.1 et 3.2). **Analyse des plans factoriels :**

L'analyse du plan factoriel 1-2 montre que plus de 68 % de la variance totale sont exprimés.

L'analyse dans ce plan est donc acceptable [4]. Le facteur 1 représente 52,12 % de la variance et il est déterminé par les éléments chimiques Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ + K⁺, SO₄²⁻, Cl⁻ et la conductivité électrique μ liés aux vaporites (Ca SO₄, Ca SO₄ 2H₂O, Mg SO₄, Na SO₄, Ca Cl, Mg Cl et Na Cl) (Tab. 3) et (Fig. 3.1).

Le facteur 2 représente 15,89 % de la variance et il est déterminé par deux pôles. Le premier est formé par les bicarbonates HCO₃⁻. C'est donc le facteur des eaux d'origine profondes. Le second est formé par le p.H (Tab. 3) et (Fig. 3.1).

	Fact. 1	Fact. 2	Fact. 3
Ca ²⁺	<u>0,855350</u>	-0,116253	0,079328
Mg ²⁺	<u>0,820903</u>	-0,276829	-0,246719
(Na ⁺ + K ⁺)	<u>0,754466</u>	0,215131	0,355366
HCO ₃ ⁻	-0,254249	<u>-0,728857</u>	0,288588
SO ₄ ²⁻	<u>0,922651</u>	0,019117	-0,030132
Cl ⁻	<u>0,887655</u>	0,073046	0,243835
μ	<u>0,957738</u>	-0,111986	0,017564
p.H	0,226058	<u>0,596659</u>	-0,574267
T	0,210270	-0,623183	<u>-0,645373</u>

μ : Conductivité électrique de l'eau.

Tableau 3: Correlation facteurs – variables.

UTILISATION DES A.C.P ET DES RAPPORTS CARACTERISTIQUES DANS L'EXPLICATION DU CHIMISME DES EAUX SOUTERRAINES- CAS DE LA PLAINE DE BIR HADDADA (SUD DE SETIF)

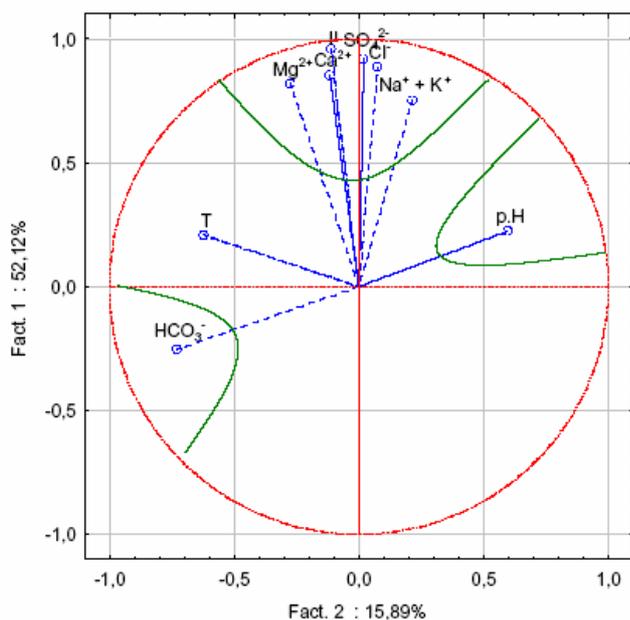


Figure 3.1 : Projection des variables sur le plan factoriel 1-2.

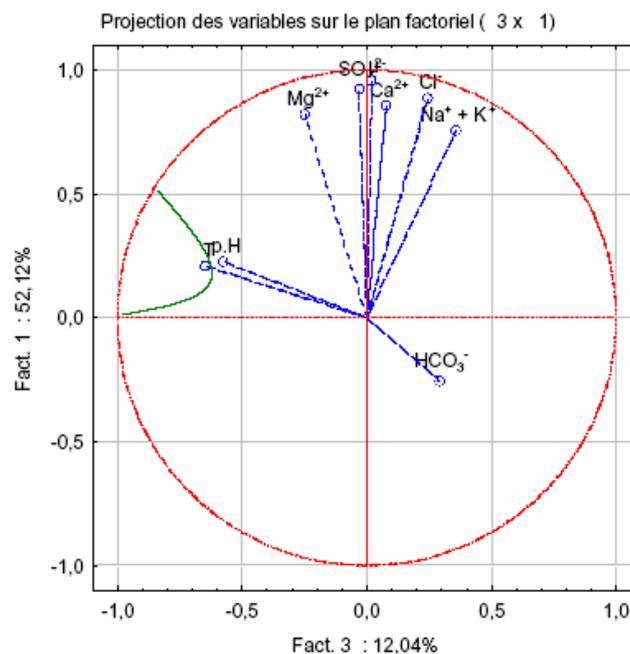


Figure 3.2 : Projection des variables sur le plan factoriel 1-3.

Selon Mangin, A., pour 31 individus et au seuil de 5 %, le coefficient de corrélation critique est de 0,638 [5].

Une corrélation positive significative a été observée entre $Ca^{2+} - SO_4^{2-}$, $Ca^{2+} - \mu$, $Mg^{2+} - \mu$, $(Na^+ + K^+) - Cl^-$, $SO_4^{2-} - \mu$ et $Cl^- - \mu$ (Tab. 4).

Une corrélation positive moyennement significative a été observée entre $Ca^{2+} - Cl^-$, $Mg^{2+} - SO_4^{2-}$, $Mg^{2+} - Cl^-$, $(Na^+ + K^+) - SO_4^{2-}$, $SO_4^{2-} - Cl^-$ (Tab. 4).

Ces liaisons témoignent de l'influence évaporitique et / ou salifère sur le chimisme de l'eau de la région.

Pour les premiers facteurs de l'analyse des plans factoriels, il n'est pas souhaitable qu'un individu contribue excessivement, car cela serait un facteur d'instabilité le fait de le retirer [6].

	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$(Na^+ + K^+)$	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	μ	p.H	T
Ca^{2+}	1,000000								
Mg^{2+}	0,614783	1,000000							
$(Na^+ + K^+)$	0,474080	0,421357	1,000000						
HCO_3^-	-0,162374	-0,035058	-0,150695	1,000000					
SO_4^{2-}	<u>0,801687</u>	<u>0,750420</u>	<u>0,694096</u>	-0,297033	1,000000				
Cl^-	<u>0,689783</u>	<u>0,650809</u>	<u>0,838386</u>	-0,182329	<u>0,691225</u>	1,000000			
μ	<u>0,897647</u>	<u>0,817573</u>	0,611764	-0,174897	<u>0,846565</u>	<u>0,828175</u>	1,000000		
p.H	0,046484	0,184983	0,174850	-0,370685	0,178285	0,145033	0,131041	1,000000	
T	0,149376	0,392402	-0,070861	0,143106	0,190501	0,045698	0,210935	-0,009972	1,000000

Tableau4: Corrélation entre les éléments chimiques. μ : Conductivité électrique de l'eau.

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

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

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

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

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. 4).

De plus, le graphe montre que quelques points présentent un excès de sulfates et d'autres un excès de chlorures. Cela traduit la dominance du faciès de l'un sur l'autre.

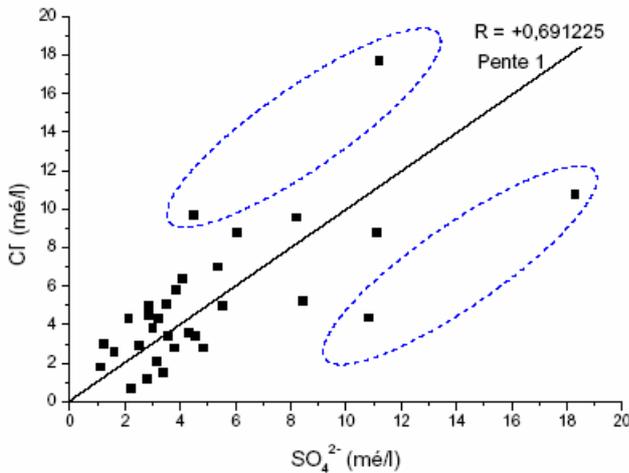


Figure 4: Relation SO_4^{2-} - Cl^- .

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

Ce rapport permet de déterminer la manière selon laquelle évolue la mise en solution des ions évaporitiques en fonction de la conductivité électrique. D'une autre manière l'influence de ces ions sur la conductivité électrique de l'eau a été vérifiée à l'aide du graphe (Fig. 5). On note que la conductivité est influencée par les sulfates et par les chlorures.

La représentation graphique montre que 55 % des points analysés présentent un rapport supérieur à 1, indiquant une légère dominance des ions du gypse par rapport aux ions chlorurés (45 % des points analysés).

Couple Ca^{2+}/Mg^{2+} - Conductivité :

L'influence de ces deux éléments sur la conductivité électrique de l'eau a été vérifiée à l'aide de la figure 6. On note que la conductivité est influencée par le calcium et par le magnésium. La représentation graphique montre que 58 % des points analysés présentent un rapport supérieur à 1, indiquant une dominance des ions du calcium par rapport aux ions magnésiens (42 % des points analysés).

De plus, le graphe montre, en général, que pour les valeurs de conductivité supérieures à 2100 $\mu S/cm$, la conductivité n'est influencée que par le calcium.

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

Le graphe met trois tendances (Fig. 7):

- une diminution du calcium alors que le sodium reste en évolution.

Nous soupçonnons probablement un échange de base entre le calcium et le sodium [7].

- le calcium évolue indépendamment du sodium (origine autre que les évaporites).
- une évolution simultanée du calcium et du sodium (dissolution des évaporites).

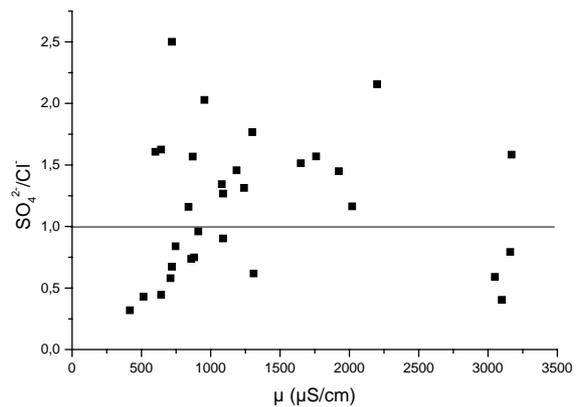


Figure 5: Relation SO_4^{2-}/Cl^- - μ .

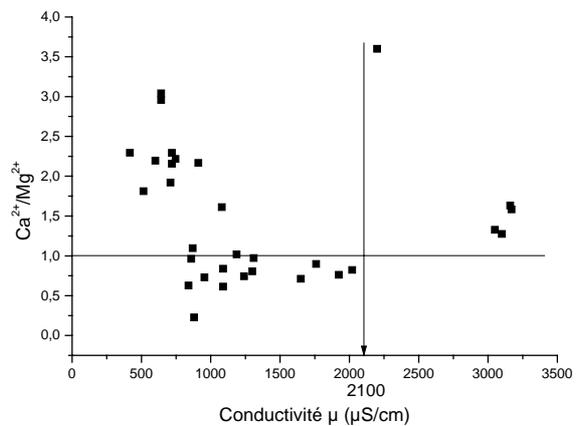


Figure 6: Relation Ca^{2+}/Mg^{2+} - μ .

UTILISATION DES A.C.P ET DES RAPPORTS CARACTERISTIQUES DANS L'EXPLICATION DU CHIMISME DES EAUX SOUTERRAINES- CAS DE LA PLAINE DE BIR HADDADA (SUD DE SETIF)

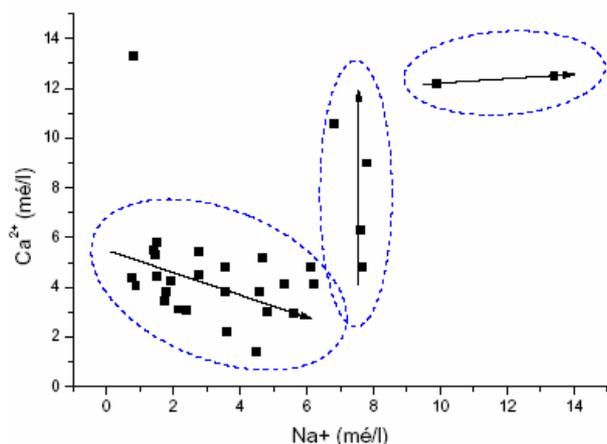


Figure 7: Relation Ca^{2+} - Na^+ .

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

Le graphe met également trois tendances (Fig. 8):

- une évolution simultanée du magnésium et du sodium (dissolution des évaporites).
- le magnésium évolue indépendamment du sodium (origine autre que les évaporites).
- une diminution du magnésium alors que le sodium reste en évolution.

De même, nous soupçonnons probablement un échange de base entre le magnésium et le sodium.

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

L'examen de cette relation montre une évolution proportionnelle des sulfates et du calcium (Fig. 9). Cette relation traduit la dissolution d'un sulfate de calcium d'origine évaporitique.

Cette relation confirme l'existence du faciès sulfaté calcique.

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

L'examen de cette relation montre une évolution proportionnelle des sulfates et du magnésium (Fig. 10). Cette relation traduit la dissolution d'un sulfate de magnésium d'origine salifère.

Cette relation confirme aussi l'existence du faciès sulfaté magnésien.

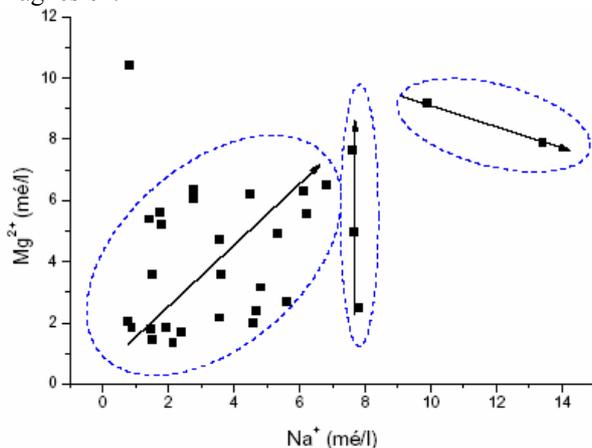


Figure 8: Relation Mg^{2+} - Na^+ .

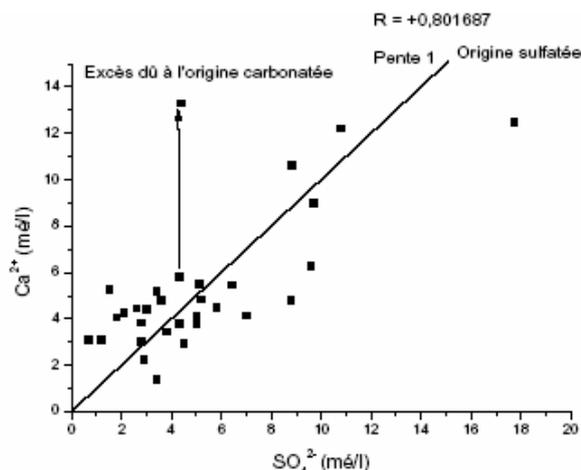


Figure 9: Relation Ca^{2+} - SO_4^{2-} .

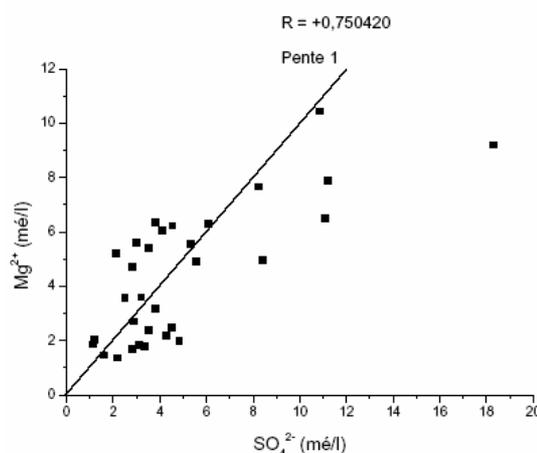


Figure 10: Relation Mg^{2+} - SO_4^{2-} .

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

L'examen de cette relation montre une évolution proportionnelle des sulfates et du sodium (Fig. 11).

Cette relation confirme également l'existence du faciès sulfaté sodique.

68 % des eaux analysées de la plaine étudiée présentent un indice d'échange de base positif allant de $1,7 \cdot 10^{-2}$ à $8,17 \cdot 10^{-2}$. Par conséquent, un échange de base s'est effectué entre les alcalins de l'eau contre les alcalino-terreux de l'eau. On peut donc confirmer que les eaux sulfatées sodiques sont le résultat d'un échange de base qui a eu lieu entre le sodium et le magnésium à partir des eaux sulfatées magnésiennes.

Couple Ca^{2+} - Cl^- :

L'examen de cette relation montre une évolution proportionnelle des chlorures et du calcium (Fig. 12).

Cette relation confirme l'existence du faciès chloruré calcique.

Notons que ce faciès 'anormal' est le résultat d'un signe de pollution (cas du puits P₄₆) (Fig.18) et / ou d'un mélange des eaux de l'aquifère superficiel et profond.

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

L'examen de cette relation montre une évolution proportionnelle des chlorures et du magnésium (Fig. 13).

Cette relation traduit la dissolution d'un chlorure de magnésium d'origine salifère.

Cette relation confirme aussi l'existence du faciès chloruré magnésien.

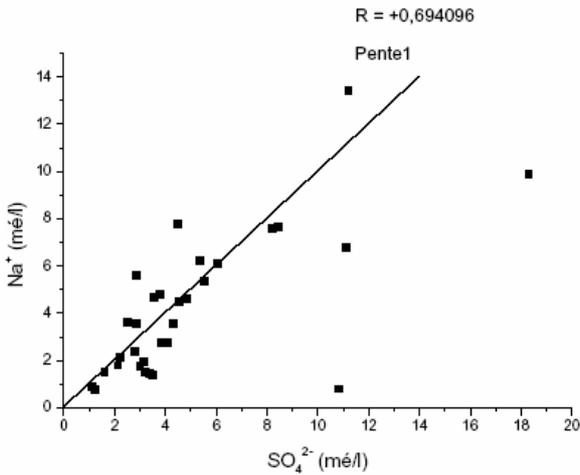


Figure 11: Relation $\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-}$.

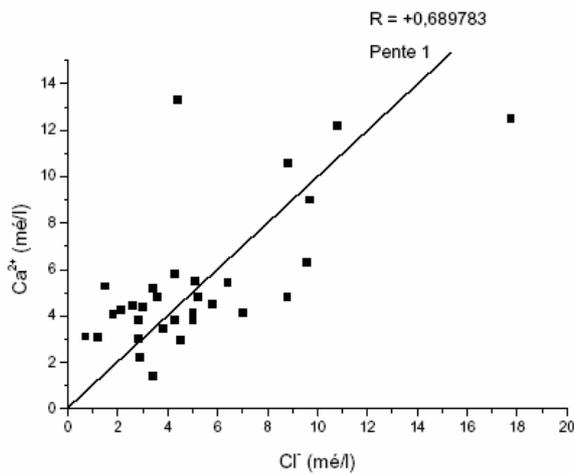


Figure 12: Relation $\text{Ca}^{2+} - \text{Cl}^-$.

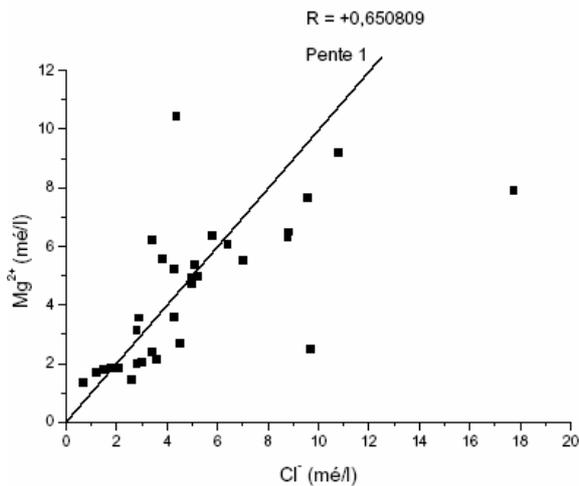


Figure 13: Relation $\text{Mg}^{2+} - \text{Cl}^-$.

Couple $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$:

L'examen de cette relation montre une évolution proportionnelle des chlorures et du sodium (Fig. 14). Cette relation traduit la dissolution d'un chlorure de sodium d'origine salifère.

Cette relation confirme également l'existence du faciès

chloruré sodique.

D'une manière générale, les figures 9, 10, 11, 12, 13 et 14 montrent un ensemble de points qui se positionnent sur la droite de pente 1 indiquant une même origine salifère des ions du calcium, magnésium et sodium. Cependant les points qui présentent un excès des teneurs en traduisent une autre origine.

Diagramme $\text{Ca}^{2+} / (\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}) - \text{Na}^+ / \text{Cl}^-$:

Le report de tous les points d'eau sur le diagramme montre que 32 % des points d'eau ont subi un échange de base, 61 % des points présentent un déficit en Na^+ et en Ca^{2+} , et 7 % 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. 15 A).

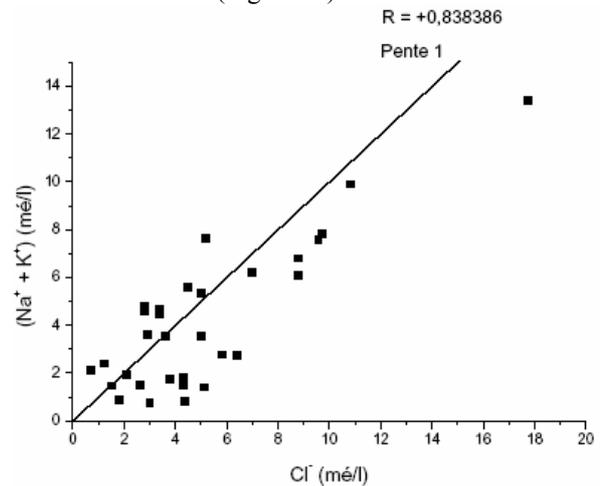


Figure 14: Relation $(\text{Na}^+ + \text{K}^+) - \text{Cl}^-$.

Diagramme $\text{Mg}^{2+} / (\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}) - \text{Na}^+ / \text{Cl}^-$:

Le report de tous les points d'eau sur le diagramme montre qu'également 32 % des points d'eau ont subi un échange de base et 68 % des points présentent un déficit en Na^+ et en Mg^{2+} . L'excès en Na^+ qui s'accompagne par un déficit en Mg^{2+} témoigne la responsabilité de l'échange de base dans l'augmentation des teneurs en Na^+ (Fig. 15 B).

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 [8] et [9].

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 de ces formations à des proportions égales (32 % des points d'eau analysés).

UTILISATION DES A.C.P ET DES RAPPORTS CARACTERISTIQUES DANS L'EXPLICATION DU CHIMISME DES EAUX SOUTERRAINES- CAS DE LA PLAINE DE BIR HADDADA (SUD DE SETIF)

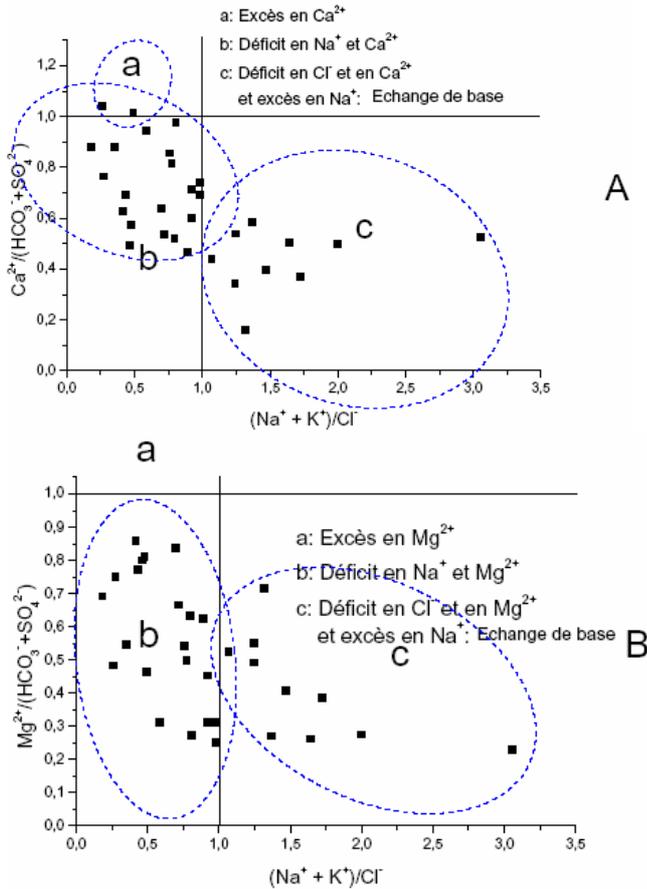


Figure 15: Echange de base.

Origine du Calcium.

Éléments $Ca^{2+} - HCO_3^- - SO_4^{2-}$: (Figs 16 A et B).

La figure 16 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 16 B confirme cette tendance [10].

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

La représentation graphique des points d'eau sur ce diagramme montre une diminution logarithmique du rapport en fonction de la conductivité électrique (Fig. 17). Deux pôles sont observés. L'un carbonaté (3 % des points d'eau analysés) est caractérisé par une dominance des ions carbonatés ($\mu < 500 \mu S/cm$) et l'autre représente le pôle évaporitique (97 % des points d'eau analysés) et affirme une dominance des ions sulfatés et chlorurés. Ce pôle apparaît pour les conductivités électriques supérieures à $500 \mu S/cm$.

La représentation graphique des points d'eau sur ce diagramme montre alors une diminution du rapport en fonction de la conductivité électrique suite à la dissolution des formations salifères qui se fait sentir à partir de $500 \mu S/cm$ (Fig. 17).

L'examen de la figure confirme donc que la conductivité électrique de l'eau est due aux sulfates et aux chlorures avec une légère dominance des sulfates (Fig. 5).

Couple T- p.H :

L'examen de cette relation montre que les eaux analysées sont relativement homogènes. Ces eaux révèlent une température moyenne de $13,6 \text{ }^\circ C$ et un p.H moyen de 7,4 (Fig. 18).

Cependant, les eaux des puits P₁₀ et P₄₆ font exception du fait qu'elles présentent des faciès 'anormaux'. L'eau du puits P₁₀ est bicarbonatée sodique et celle du puits P₄₆ est chlorurée calcique. Ces dernières témoignent d'un mélange des eaux de l'aquifère superficiel et profond, et d'un signe de pollution respectivement.

Il est vraisemblable que l'eau bicarbonatée sodique du puits P₁₀ est le résultat d'un échange de base qui a eu lieu entre le sodium et le calcium à partir des eaux bicarbonatées calciques.

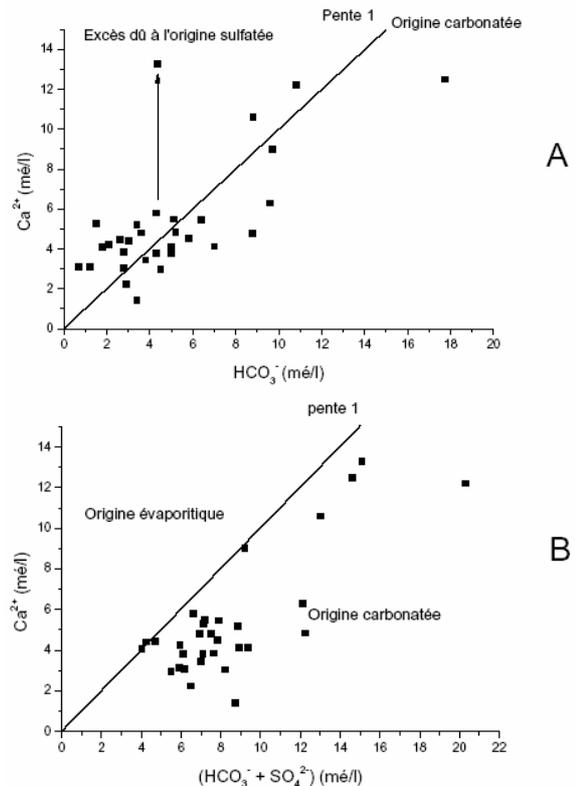


Figure 16: Evolution du calcium.

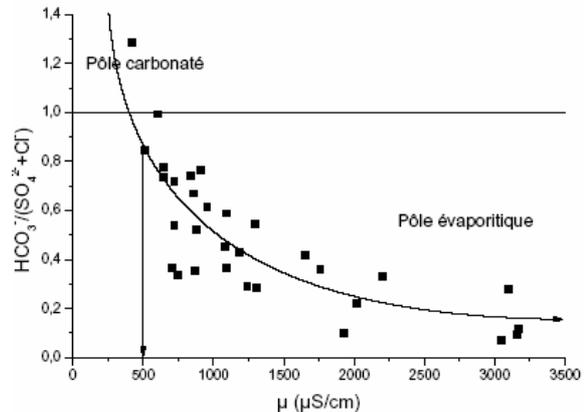


Figure 17: Origine de la salinité en fonction des rapports caractéristiques.

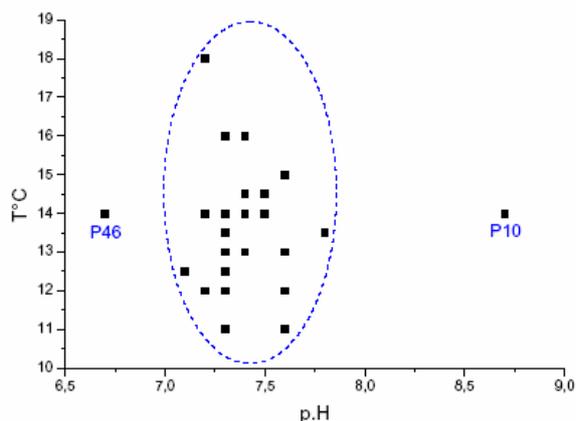


Figure 18: Relation T – p.H

VI. CONCLUSION

Cette synthèse hydrochimique permet de dire qu'on a une dominance des ions salifères (Na^+ , SO_4^{2-}) et (Na^+ , Cl^-) par rapport aux ions carbonatés (Ca^{2+} , HCO_3^-).

L'échange de base entre les eaux et les formations géologiques se fait très sentir et a beaucoup contribué à l'équilibre chimique.

Le chimisme des eaux souterraines est lié à la nature lithologique des aquifères de la zone d'étude 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.

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]- 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.
- [3]- Abdesselam O. et Djessas H., "Hydrogéologie de la plaine de Bir Haddada (Sétif)", Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Géologie; option: Hydrogéologie, Université Mentouri, Constantine, (1999), 180 p.
- [4] - 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.
- [5]- Mangin A., "Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. Concepts méthodologiques adoptés. Systèmes karstiques étudiés", Ann. Spéléol., (1974), pp. 294, 495, et 601.
- [6] - Saporta, G., "Théorie et méthodes de la statistique", Editions Technip, Paris, (1978), 387 p.
- [7]- 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.

[8]- 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.

[9]- Ghebouli S. et Bencheikh Lehocine M., "Origine de la salinité des eaux souterraines- Cas des hautes plaines sétifiennes (Algérie)", Sciences et Technologie, N° 28 A, Revue Semestrielle de l'Université Mentouri, Constantine, Algérie, (2008), pp. 37 - 46.

[10]- 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).