



**APPLICATION DES METHODES D'ANALYSES STATISTIQUES  
MULTIVARIEES A L'ETUDE DE LA MINERALISATION DES EAUX  
DU SYSTEME AQUIFERE DE LA PLAINE DE GHRISS (NORD-  
OUEST ALGERIEN)**

**APPLICATION OF MULTIVARIATE STATISTICAL ANALYSIS  
METHODS TO THE STUDY OF THE MINERALIZATION  
OF THE AQUIFER SYSTEM WATERS THE PLAIN  
OF GHRISS (NORTH WEST ALGERIA)**

***BENADELA L., BEKKOUSSA B.***

Laboratoire des sciences et technologies de l'eau- Faculté des sciences et technologies-  
Université de Mascara, Algérie.

*laounhyd@gmail.com*

**RESUME**

La plaine de Ghriss, située dans le Nord-Ouest de l'Algérie, est une zone à climat semi-aride. Elle confine une ressource en eau souterraine très exploitée pour l'irrigation des parcelles et pour les besoins de la population locale. En l'absence d'autres ressources, conventionnelles ou non, les eaux souterraines de la plaine de Ghriss demeurent l'élément moteur du développement de la région. Ce travail a été mené à partir des résultats d'analyses de paramètres physico-chimiques des eaux et s'est appuyé sur un échantillon de 35 forages. La méthodologie appliquée est basée sur une approche statistique multivariée (Analyse en Composantes Principales (ACP) et Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)). La combinaison de ces différentes méthodes a permis d'apporter des réponses à notre problématique. Cette étude a permis d'identifier deux principaux mécanismes qui sont responsables de l'évolution de la minéralisation des eaux de la région. Le premier type, caractérisé par une forte minéralisation, représente l'infiltration des eaux de surface (pluie efficace et retour des eaux d'irrigation). Il se localise notamment dans la partie Nord-Est de la plaine. Le second type, très riche en bicarbonates, représente les eaux de recharge venant des formations carbonatées au Sud-Est de la plaine.

**Mots-clés :** Analyse en Composantes Principales, Classification Ascendante Hiérarchique, Eau Souterraine, Minéralisation, Plaine de Ghriss.

## **ABSTRACT**

Plain of Ghriss, located in the North West of Algeria, is a semi-arid climate zone. It borders a groundwater resource heavily exploited for irrigation plots and for the needs of the local population. In the absence of other resources, conventional or not, the groundwater in the plain of Ghriss remain the driving force of the development of the region. This work was led from the results of analysis of physical-chemical parameters of water and relied on a sample of 35 boreholes. The methodology is based on multivariate statistical approach (Principal Component Analysis (PCA) and Hierarchical Classification (AHC)). The combination of these methods helped provide answers to our problems. This study identified two main mechanisms that are responsible for the evolution of the mineralization of the waters of the region. The first type, characterized by high mineralization represents the infiltration of surface water (rain and effective return of irrigation water). It is located especially in the northeastern part of the plain. The second type, rich in bicarbonates, representing recharge water from carbonate formations in the southeast of the plain.

**Keywords:** Principal Component Analysis, Ascending Hierarchical Classification, Groundwater, Mineralization, Plain of Ghriss.

## **INTRODUCTION**

Les eaux souterraines représentent au total environ 97% des eaux douces continentales liquides (Bosca, 2002) et la présence de l'Homme ainsi que ses possibilités de survie dépendent dans plusieurs régions du globe de l'existence et de la qualité de cette ressource limitée et fragile. 75 à 90% de la population mondiale utilise une eau d'origine souterraine (Aît Boughrous, 2007). C'est dire l'importance de l'étude des nappes souterraines dans toutes leurs composantes en vue d'une meilleure connaissance de ces écosystèmes et d'introduire des concepts scientifiques nouveaux en matière de gestion, d'aménagement, de surveillance, de protection et de conservation (Danielopol et al., 2004).

Les eaux souterraines de la plaine de Ghriss sont l'élément moteur du développement de la région. Les principaux aquifères sont : l'aquifère des alluvions plio-quaternaires, l'aquifère des calcaires et grès du pliocène et l'aquifère des calcaires et dolomies du jurassique. Ils totalisent une recharge moyenne annuelle d'environ 65,3 millions de m<sup>3</sup>, dont une grande partie alimente la nappe plio-quaternaire (Bekkoussa, 2009). Mais la qualité de ses eaux a subi ces dernières années une certaine détérioration, à cause de rejets urbains non contrôlés, de l'utilisation intensive d'engrais chimiques et de fertilisants dans l'agriculture ainsi que de son exploitation désordonnée. Ces éléments modifient le chimisme de l'eau et la rendent impropre aux usages souhaités (Gouaidia, 2008). La présente étude vise principalement la caractérisation hydrogéochimique du système aquifère de la plaine de Ghriss, En appliquant une approche statistique multivariée (Analyse en Composantes Principales (ACP) et Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)), pour une meilleure compréhension de l'acquisition de la minéralisation des eaux souterraines de cette région.

## **SITUATION GEOGRAPHIQUE**

La plaine de Ghriss s'étend sur une superficie de 605 Km<sup>2</sup>, et se localise au Nord-ouest du territoire Algérien. Elle fait partie de bassin hydrologique de la Macta, couvrant ainsi une partie du sous bassin de l'oued Fekan. Plusieurs agglomérations s'y rattachent à savoir (Mascara, Tighenif, Ghriss Matemore....ect), comptant plus de 320800 Habitants selon un recensement réalisé en 2009. La plaine est une étendue plate de 470 m d'altitude moyenne, surplombée par des reliefs de bordure élevés jusqu'à 1100 m d'altitude au sud (montagne de Nesmoth).

Les limites géographiques de la plaine de Ghriss sont présentées comme suit (Figure 1) :

- Limite Nord : Les monts de Beni chougrane.
- Limite Sud : Les monts de Saida.
- Limite Est : Le plateau de Tighenifine.
- Limite Ouest : Les monts de Bouhanifia.

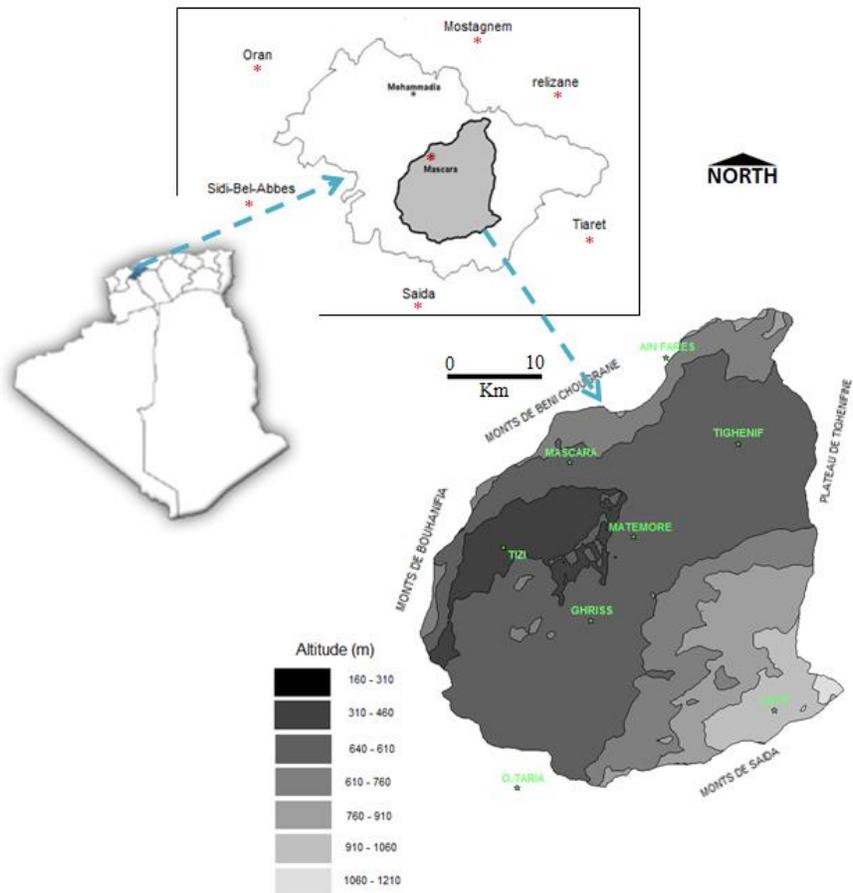


Figure 1 : Situation géographique et carte topographique de la zone d'étude.

## LE CLIMAT

La plaine est soumise à la fois aux influences climatiques méditerranéennes et sahariennes (Matari et al., 1995). Le climat est semi-aride caractérisé par l'irrégularité des précipitations d'une année à l'autre, la diminution de la précipitation du Sud au Nord, et une large période de sécheresse ayant favorisée la surexploitations et la vulnérabilité des ressources.

La température moyenne annuelle qui y règne est de 17°C et les précipitations moyennes annuelles, sur une période de 35 ans (71/72 – 2004/2005), sont estimées à 303 mm/an.

## **GEOLOGIE**

La plaine est une cuvette d'effondrement à topographie plane, encadrée de reliefs aux aspects géologiques divers (Figure 2)

### **Bordure Nord et Ouest**

Les Monts des Beni-Chougrane sont allongés en arc de cercle en direction Sud-Sud Ouest et Nord-Nord Est, très plissés, à ossature Crétacé et recouvrement Tertiaire très épais. Ce sont les vestiges de l'ancien sillon méditerranéen, effondrés et transportés par charriage en deux ensembles principaux ; le Crétacé moyen et supérieur et le Nummulitique (Eocène et Oligocène).

### **Bordure Sud**

Les Monts de Saida constituent la bordure Sud de la plaine. Ils ont subi une intense tectonique cassante ; ces ensembles s'enfoncent légèrement vers le Nord, ce qui favorise l'écoulement et le drainage des eaux vers la plaine. A Ain Fekan cet ensemble calcaréo dolomitique du Jurassique Supérieur est limité par une faille qui le met en contact avec le Crétacé inférieur argilo-gréseux. Cette interruption soudaine de la perméabilité des terrains est à l'origine des sources des Aiounes Fékan, où le Crétacé constitue un véritable barrage souterrain.

Des dépôts de destruction, sables argileux rouges et conglomérats, se sont amassés au pied des Monts de Sidi Kadda sur de grandes épaisseurs par endroits.

### **Bordure Est**

A L'Est de Tighenif, les affleurements de marnes et d'argiles de L'Oligocène et du Miocène forment une barrière imperméable qui limite nettement les bassins versants de la plaine de Ghriss et de l'Oued Mina. La surface topographique confirme cette séparation.

### Centre de la plaine

La cuvette correspond à une zone de subsidence marquée par la flexure des couches du Néogène, en bordure des Monts des BENI-CHOUGRANE ; les apports d'alluvionnement argilosableux de L'Oued MAOUSSA continuent de permettre à cette subsidence d'évoluer. Le substratum, effondré, est constitué par les calcaires dolomitiques du Jurassique Supérieur. Au-dessus, se sont déposé localement des conglomérats de base puis un remplissage marin d'argile et marne grisâtre et verdâtre du Miocène inférieur et moyen.

Au centre de la plaine, la subsidence a permis l'accumulation d'une grande épaisseur de calcaire Lacustres. (Sourisseau, 1972).

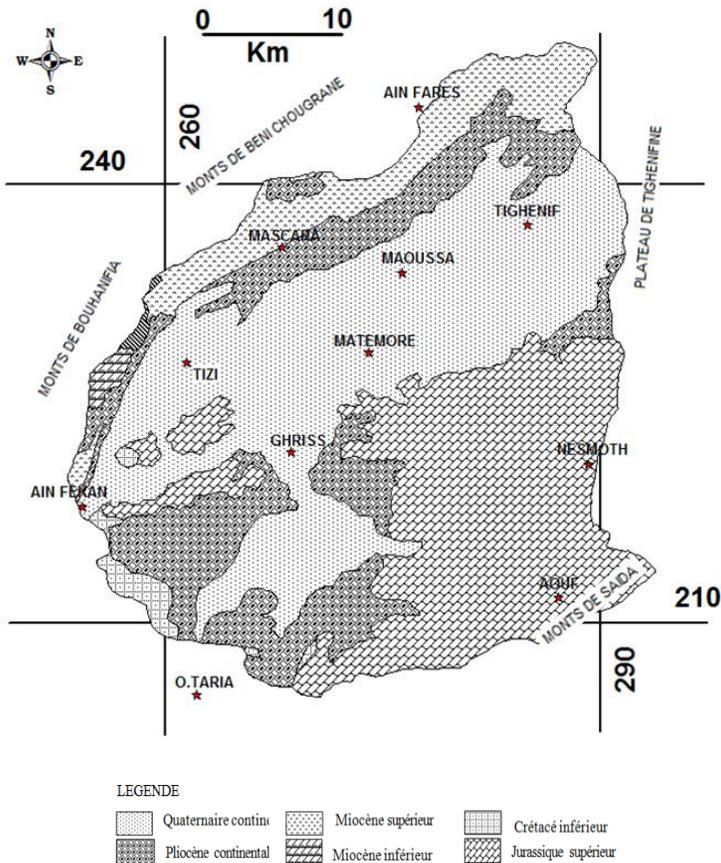


Figure 2 : Carte géologique de la plaine de Ghriiss.

## **HYDROGEOLOGIE**

L'étude géologique de la plaine de Ghriss a permis de progresser dans la connaissance du cadre hydrogéologique. Elle précise pour chaque aquifère les conditions d'alimentation.

L'étude hydrogéologique a pour but d'identifier les différentes nappes et leur distribution dans l'espace, et permettant de dégager une interprétation bien précise sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines des différentes nappes. Les études entreprises sur la région ont permis d'identifier trois aquifères :

### **L'aquifère des alluvions plio-quadernaires**

C'est une nappe superficielle continue dans les dépôts alluvionnaires et dans les terrains d'altération des roches sous-jacentes (Figure 3). Elle est alimentée généralement par l'infiltration des eaux de pluie, mais aussi par les apports latéraux venants de l'aquifère des calcaires et grès du pliocène au Nord, et de l'aquifère du jurassique au Sud. Le niveau de cette nappe varie en moyenne de -6 à -80 mètres par rapport au sol (Sourisseau, 1972).

### **L'aquifère des calcaires et grès du Pliocène**

#### *Nappe des calcaires lacustres*

C'est une nappe libre dans les bordures des monts de Beni-chougrane et captive sous la plaine localisée à sa moitié occidentale. Son impluvium est situé dans les monts Beni-Chougrane sur les bordures Nord et Ouest. Elle est suralimentée par les Grés de l'Astien du plateau de Mascara. Le niveau de la nappe contenue dans les calcaires lacustres varie de -23 à -50 mètres par rapport au sol.

#### *Nappe des grés de l'Astien*

C'est une nappe captive localisée dans le Nord de la plaine. Elle est alimentée par les affleurements de la région de Khalouia, où les affleurements de grés sont assez importants. le niveau de la nappe contenue dans les grés varie de -6 à -23 mètres par rapport au sol.

### L'aquifère des calcaires dolomitiques du Jurassique

C'est un aquifère de type karstique relativement évolué, l'impluvium de cette nappe est vaste, il occupe toute la partie Sud de la plaine. Cette nappe est drainée par les dépôts de galets et de conglomérats des piedmonts. Le niveau piézométrique de la nappe contenue dans les grès varie de -6 à -66 mètres par rapport au sol (Sourisseau, 1972).

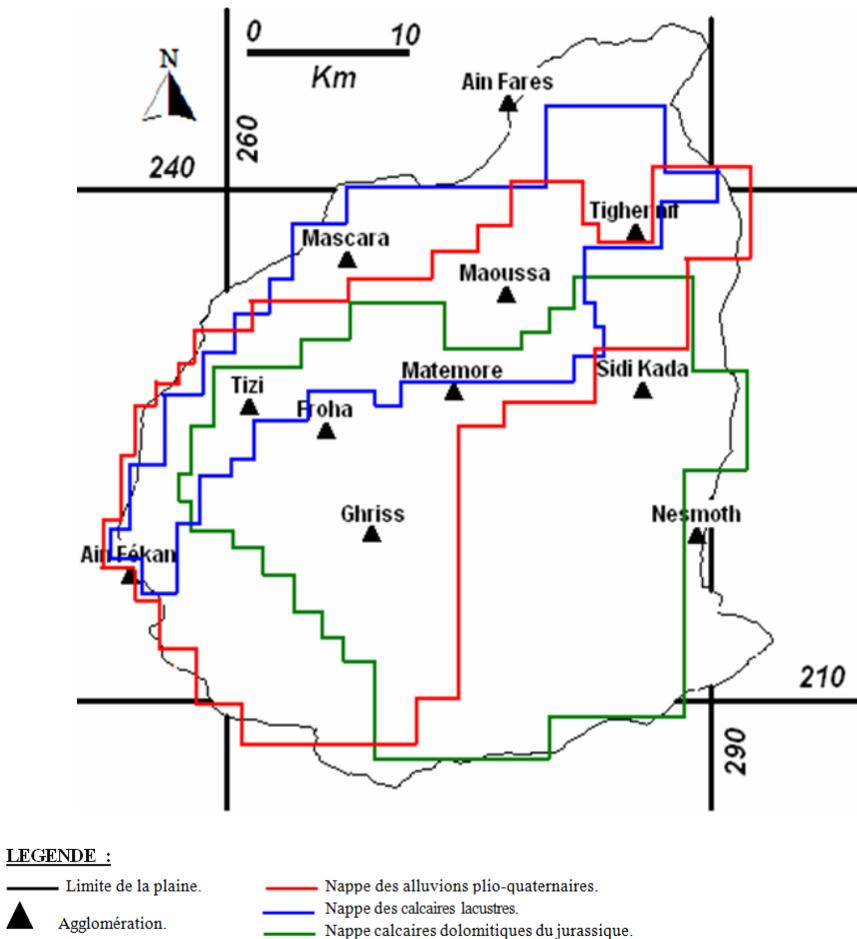


Figure 3 : Les principales nappes de la plaine de Ghriiss (Rezak, 2001).

## **ANALYSES ET METHODOLOGIE**

Les analyses physico-chimiques accomplies concernent les concentrations des éléments majeurs ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{NO}_3^-$ ) et les paramètres physiques (conductivité électrique, résidu sec et pH). La caractérisation de la composition de l'eau fait appel à différents procédés ; L'échantillonnage pour l'analyse des éléments chimiques (anion et cation) a été effectué dans des flacons en polyéthylène de 150 ml et conservés à 4°C. Les anions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{NO}_3^-$ ) ont été analysés par chromatographie ionique en phase liquide et les bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) par Titration d'alcalinité. Les cations ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$ ) sont analysés par spectromètre d'absorption atomique au laboratoire de l'ANRH.

Les paramètres physico-chimiques sont mesurés sur terrain lors de l'échantillonnage. Les valeurs de la conductivité ont une précision de  $\pm 1\mu\text{S}/\text{cm}$  et les valeurs du pH sont données à  $\pm 0,05$  unités pH.

L'étude de l'évolution du chimisme des eaux de la nappe plio-quaternaire a été effectué en utilisant les données des trois années à savoir : 1999, 2005 et 2014. Les prélèvements sont mensuels, trimestriels ou annuels et l'échantillonnage ne se fait pas d'une manière régulière pour tous les puits.

Les échantillons éliminés présentent une balance ionique supérieure à 10% en valeur absolue (Lalbat, 2006). Au total 244, 203 et 141 échantillons correspondants respectivement aux années 1999, 2005 et 2014 ont été utilisés pour cette étude.

## **RESULTATS ET DISCUSSIONS**

### **Détermination des principaux faciès hydrochimiques**

Une vision générale des types d'eaux rencontrée dans l'aquifère de la nappe plio\_quaternaire pour les trois années étudiées est représentée par le diagramme de Piper sur la figure 4, Les trois digrammes sont très semblables et l'aquifère étudié est très inertiel et aucun bouleversement suffisamment important pour modifier les faciès chimiques n'est intervenu entre 1999 et 2014.

Les diagrammes montrent que l'eau évolue d'un faciès du type **HCO<sub>3</sub>-Mg** vers un faciès du type **Cl-Mg/Ca** (pour l'année 1999 et 2014) ou du type **Cl/SO<sub>4</sub>-Mg/Ca** (pour l'année 2005). Une influence notable du Pole chlorure est

observée pour les eaux de la nappe étudiée. Il s'agit d'une contamination des eaux souterraines soit par l'encaissant (évaaporites), soit depuis la surface par des activités anthropiques.

Les faciès chlorurés magnésien et calcique représentent la majorité des faciès observés pour les trois années (plus de 60% pour les trois années). On les retrouve dans toute la plaine. Ces faciès caractérisent des eaux minéralisées et constituent un mélange entre des eaux venant d'un environnement calcaréo-dolomitique, d'où la prédominance du magnésium et du calcium, ainsi que des eaux de recharge provenant des pluies efficaces ou/et de retour des eaux d'irrigation riche en Cl<sup>-</sup>.

Le faciès bicarbonaté magnésien (14% à 13% pour les trois années) caractérise les eaux de recharge latérale venant directement des formations carbonatées du jurassique. Il se localise près des bordures Sud avec les monts de Saida et à proximité des horsts d'Emfous et Bouradou. Ce faciès est typiquement représentatif des eaux d'origine karstique. Ces eaux constituent l'alimentation latérale de la nappe plio-quadernaire par les formations calcaréo-dolomitiques.

Le faciès chloruré sodique (19% à 31% pour les trois années) indique la présence d'eau ayant été en contact avec des évaporites sodique (halite), d'où la prédominance du sodium. Ce sont des eaux d'origine superficielle (eau de recharge de pluie et d'irrigation), caractérisées par une forte minéralisation. Ces différents faciès soulignent la complexité des processus hydrogéochimiques qui gouvernent la salinité des eaux de la nappe plio-quadernaire de la plaine de Ghriss (Fedrigoni et al., 2001).

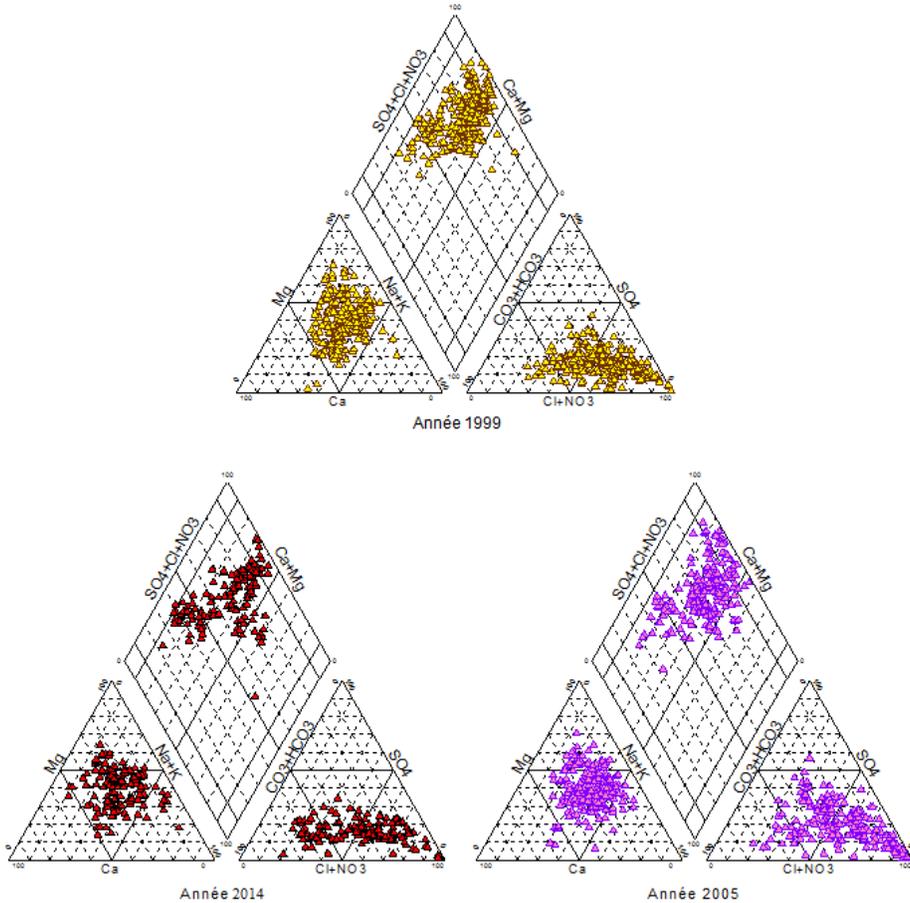
La figure 4 montre la prédominance de l'ion Cl<sup>-</sup> dans les eaux de la nappe plio-quadernaire pour toutes les années étudiées avec 76% à 84% des anions dissous, respectivement pour les années 2005 et 1999. La présence des bicarbonates est perceptible également pour les trois années, avec un pourcentage variant de 17% à 37%. Cet ion est l'indice de l'alimentation par les karsts. La présence de l'ion sulfate et l'augmentation de sa concentration moyenne pour l'année 2005 sont la conséquence d'une pollution locale qui sera abordée ultérieurement.

Le magnésium et le calcium qui sont les cations dominants pour les trois années reflètent encore une fois l'influence des formations carbonatées dans la chimie de la nappe plio-quadernaire. Le sodium est présent comme cation dominant notamment durant l'année 2014. L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution des formations salifères (halite). L'origine des principaux éléments majeurs sera exposée plus loin avec plus de précision.

### **Faciès chimiques du mois de février 2014.**

Les faciès les plus présents dans les eaux de la nappe Plio-Quaternaire sont :

Bicarbonaté-magnésien (26%), Chloruré-sodique (24%) et Chloruré calcique (24%) (Figure 4).



**Figure 4 : Diagramme de Piper et faciès chimiques des eaux de la nappe plio-quaternaire**

Le faciès bicarbonaté-magnésien se localise notamment dans la partie sud de la plaine (Figure 5). Ce sont des eaux venant de l'aquifère du jurassique (prédominance du magnésien et des bicarbonates). La présence de ce type d'eau indique clairement la recharge de la nappe plio-quaternaire par l'aquifère du

Jurassique sous-jacent sous forme de drainance ascendante dans la partie sud et par alimentation latérale au sud-est.

Les faciès Chloruré-calcique et chloruré-sodique se trouvent notamment dans la partie Est de la plaine. Ce sont des eaux très minéralisées et présentant parfois de forte concentration en chlorure, se sont vraisemblablement des eaux de recharge récente influencée par l'effet de l'évaporation et le contact avec l'évaporite.

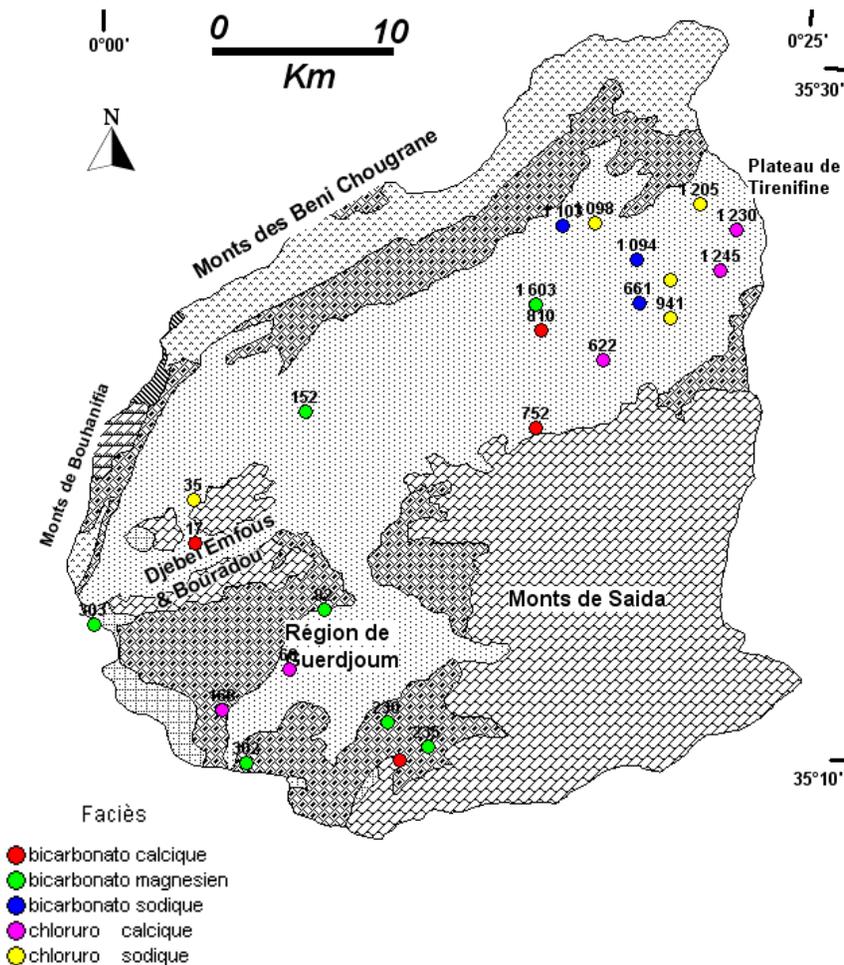


Figure 5 : Répartition géographique des faciès chimiques du mois de Février 2014.

Le faciès bicarbonaté-sodique est localisé dans le Nord et le Nord-est de la plaine. C'est un mélange entre des eaux riches en bicarbonate venant de la nappe du Pliocène (calcaire lacustre et grès), et des eaux de recharge superficielle par les précipitations qui ont mobilisé les sels présents dans le sol et dans la zone non saturée.

Le faciès bicarbonaté calcique se trouve dans les bordures des affleurements du jurassique. Ce sont des eaux d'alimentation latérale directe. Le calcium peut également provenir d'un échange cationique  $Mg \leftrightarrow Ca$  ou  $Na \leftrightarrow Ca$ .

La diversité des faciès chimiques implique l'intervention de plusieurs facteurs dans le chimisme de la nappe plio-quadernaire, ce qui rend l'interprétation très difficile en absence d'autres éléments tel que la géochimie isotopique, qui permet a priori de dater les eaux et de déterminer avec exactitude l'origine des eaux.

### Analyse en composante principale

L'analyse en composante principale effectuée sur l'ensemble des données recueillies durant l'année 2014 (Tableau 1), montre que trois facteurs seulement expliquent le système.

**Tableau 1 : Résultat de l'Analyse en Composante Principale**

	<b>Facteur 1</b>	<b>Facteur 2</b>	<b>Facteur 3</b>	<b>Facteur 4</b>	<b>Facteur 5</b>
<b>Ca (mg.l<sup>-1</sup>)</b>	<b>0.889</b>	-0.302	0.117	0.143	0.023
<b>Mg (mg.l<sup>-1</sup>)</b>	<b>0.867</b>	0.355	0.046	-0.041	-0.006
<b>Na (mg.l<sup>-1</sup>)</b>	<b>0.925</b>	0.255	-0.062	0.039	0.107
<b>K (mg.l<sup>-1</sup>)</b>	<b>0.860</b>	-0.212	0.113	0.301	-0.093
<b>Cl (mg.l<sup>-1</sup>)</b>	<b>0.992</b>	0.010	0.019	0.097	0.000
<b>SO<sub>4</sub> (mg.l<sup>-1</sup>)</b>	0.417	<b>0.698</b>	-0.305	-0.444	-0.095
<b>HCO<sub>3</sub> (mg.l<sup>-1</sup>)</b>	-0.379	0.468	<b>0.664</b>	0.050	0.434
<b>NO<sub>3</sub> (mg.l<sup>-1</sup>)</b>	0.451	<b>-0.590</b>	-0.245	-0.426	0.447
<b>pH</b>	-0.397	0.281	<b>-0.662</b>	0.486	0.293
<b>Conductivité (ms.cm<sup>-1</sup>)</b>	<b>0.988</b>	0.089	0.006	0.052	0.053
<b>Résidu Sec(mg.l<sup>-1</sup>)</b>	<b>0.987</b>	0.074	0.018	0.056	0.032
<b>Valeur propre</b>	6.749	1.475	1.066	0.746	0.507
<b>% cumulé de la variance</b>	61.359	74.767	84.457	91.241	95.853

Le premier axe (F1) exprime 61.36 % de la variance totale, le deuxième 13.41 % et le troisième 9.69 %. Ces trois axes suffisent donc pour expliquer la variance du système.

Dans l'espace des variables, le premier axe regroupe le calcium, le magnésium, le sodium, le potassium, les chlorures, la conductivité et le résidu sec. Il reflète donc la minéralisation totale de la nappe plio-quadernaire.

La pollution des eaux est représentée sur le deuxième facteur qui regroupe les nitrates et les sulfates en opposition, ce qui traduit deux origines distinctes de ces éléments.

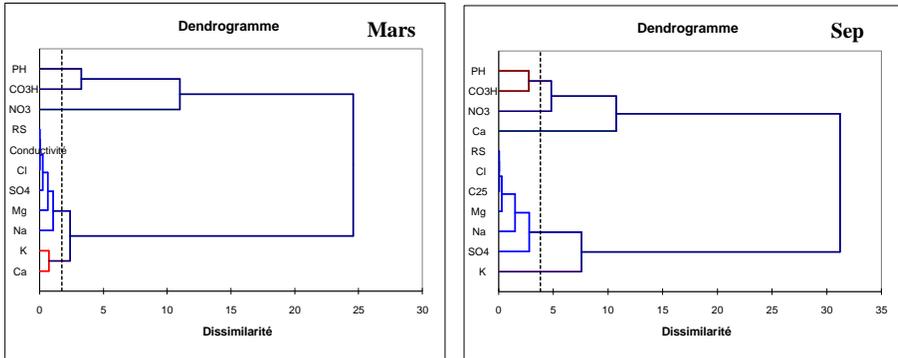
Le troisième facteur (F3) représenté par le  $\text{HCO}_3$  ce qui peut être interprété par l'alimentation de la nappe plio-quadernaire par les formations carbonatées du jurassique. L'emplacement du pH en opposition sur cet axe indique le rôle important de ce paramètre dans les équilibres calco-carbonique.

### **Classification ascendante hiérarchique (cah)**

L'objectif de cette méthode statistique est de grouper les individus en quelques classes distinctes (Demlei et al, 2007). Cinq classes ont été choisies arbitrairement, pour faire acquérir de nouvelles informations sur l'hydrochimie de la nappe plio-quadernaire. La méthode est appliquée sur deux campagnes représentatives des hautes eaux (mars 2014) et des basses eaux (septembre 2014) (Figure 6).

Au regard de cette figure on remarque que ces résultats confirment ceux obtenus par L'ACP, et la signification des classes correspond à celles des facteurs.

- La minéralisation des eaux de la nappe plio-quadernaire est présentée dans les classes N°1 et N°2 Tableau 1, en tenant la participation des ions habituels :  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ .
- La classe N°3 présentée par les bicarbonates, indique les eaux issues des formations carbonatées.
- La classe N°4 correspond au pôle de la pollution nitratée.
- La classe N°5 indique le rôle prépondérant du pH dans les réactions hydrochimiques qui produisent à l'échelle de la nappe.



**Figure 6 : Dendrogramme de CAH pour Mars et Septembre.**

## **ORIGINE NATURELLE**

On détermine ici l'origine géologique des éléments chimiques à partir de la bonne corrélation qui existe entre eux. Les régressions effectuées utilisent les données de tous les analyses réalisées au cours du suivi de l'année 2014. Les relations principales seront examinées.

### **Les éléments $\text{Na}^+$ - $\text{Cl}^-$**

Dans les eaux naturelles, la présence des deux éléments  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  est attribuée à la dissolution de la halite que l'on rencontre dans les formations triasiques (Debieche, 2002). Cependant, les chlorures comme le sodium peuvent avoir d'autres origines (naturelles ou anthropiques). La bonne corrélation qui existe entre les deux éléments représentés dans la figure 7, montre que les deux ions ont une origine commune qui est la dissolution de la halite, La représentation graphique de l'évolution du  $\text{Na}^+$  en fonction de  $\text{Cl}^-$  a montré aussi un excès des teneurs en  $\text{Na}^+$ , qui s'explique par l'existence d'une autre origine pour les ions sodiques (autre que l'halite). Le phénomène d'échange de base peut être l'explication de cet excès car les argiles peuvent libérer des ions  $\text{Na}^+$  après avoir fixé le  $\text{Ca}^{2+}$ .

### Les éléments $\text{Ca}^{2+}$ - $\text{Mg}^{2+}$

La figure 8 montre que la majorité des échantillons se regroupent autour de la droite de régression et indique ainsi que le calcium et le magnésium ont une origine commune qui serait la dissolution des calcaires dolomitiques des formations du jurassique. En revanche, des points se détachent du groupe et présentent un excès remarquable en calcium.

Cet excès en calcium est accompagné par un déficit en magnésium, ce qui peut être expliqué par un échange cationique  $\text{Ca}^{+2} \leftrightarrow \text{Mg}^{+2}$ . Ce phénomène géochimique est observé lors des substitutions isomorphiques au niveau des argiles, des réactions de précipitation ou de recristallisation de la calcite ou encore une dissolution incongrue de la dolomite, (Huneau, 2000 ; Kamel et al., 2006). L'excès en  $\text{Ca}^{+2}$  provient également des échanges cationiques entre les eaux et la matrice argileuse. Cet excès en  $\text{Ca}^{+2}$  est accompagné d'un déficit en  $\text{Na}^{+}$ .

### Les éléments $\text{Ca}^{2+}$ - $\text{HCO}_3^-$ - $\text{SO}_4^{2-}$

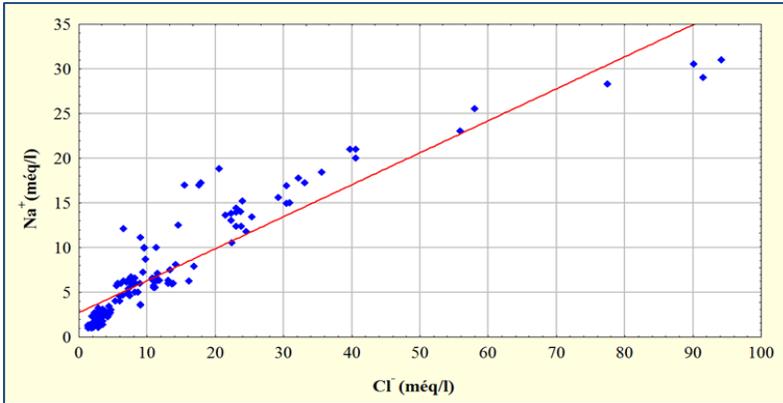
Le calcium tire son origine des carbonates et du gypse, la détermination de l'origine de chaque concentration en  $\text{Ca}^{2+}$  est nécessaire pour connaître les mécanismes du chimisme de la nappe. Établi un graphe où nous avons représenté le calcium en fonction des bicarbonates et des sulfates (Figure 9). L'analyse de ce graphe montre que 85 échantillons sur 142 ont une origine carbonatée soit 60% de l'ensemble des échantillons.

### Les éléments $\text{HCO}_3^-$ , $\text{Cl}^-$ et $\text{SO}_4^{2-}$

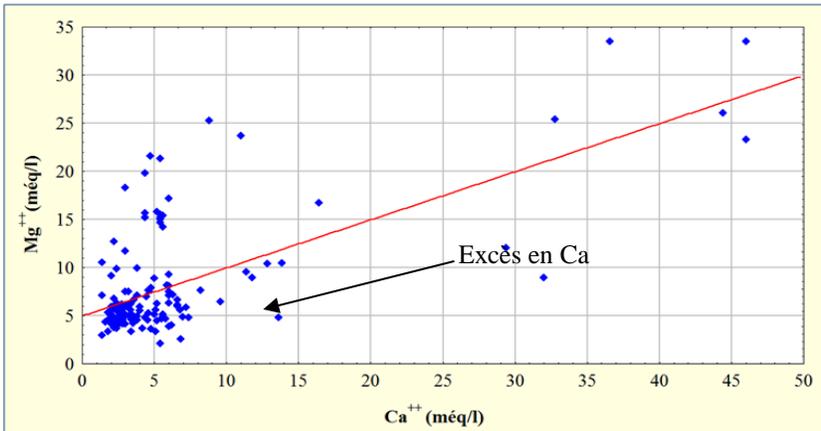
La réalisation d'un diagramme ( $\text{HCO}_3^- / \text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ ) - Conductivité électrique (Figure 10) a montré la présence de deux pôles : le premier est carbonaté et représente 15.4 % des puits, il se caractérise par une dominance des ions  $\text{HCO}_3^-$  pour des conductivités inférieures à  $800 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ . Le second, évaporitique, représente la majorité des points d'eau (84.6%), les ions  $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  y dominent. Ce pôle est accompagné d'une conductivité plus importante qui atteint  $8730 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ .

L'évolution de la conductivité électrique commence par des valeurs faibles ( $<600 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ ) qui sont liées aux formations carbonatées des bordures, caractérisant les puits ayant un faciès bicarbonaté calcique. Lorsque les eaux

souterraines s'écoulent en contact avec les dépôts évaporitiques, elles se chargent en ions  $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  et acquièrent des valeurs de conductivité très importantes, qui dépassent  $5000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .



**Figure 7 : Relation entre  $\text{Cl}^-$  et  $\text{Na}^+$  dans la nappe plio-quaternaire.**



**Figure 8 : Relation entre  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  dans la nappe plio-quaternaire.**

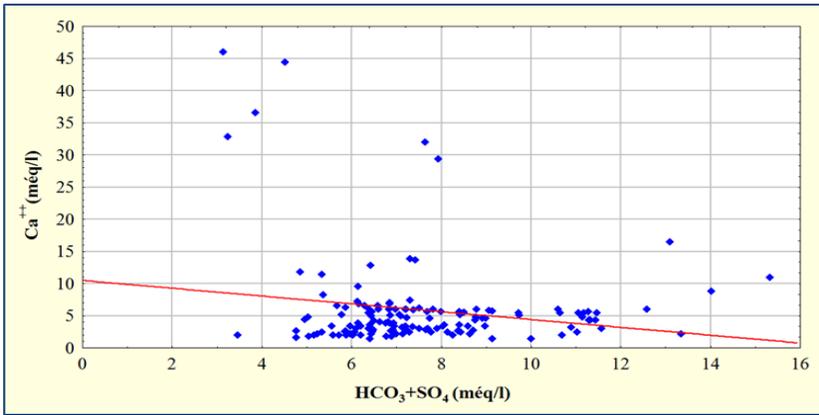


Figure 9 : Relation entre  $\text{HCO}_3+\text{SO}_4$  et  $\text{Ca}^{2+}$  dans la nappe plio-quaternaire.

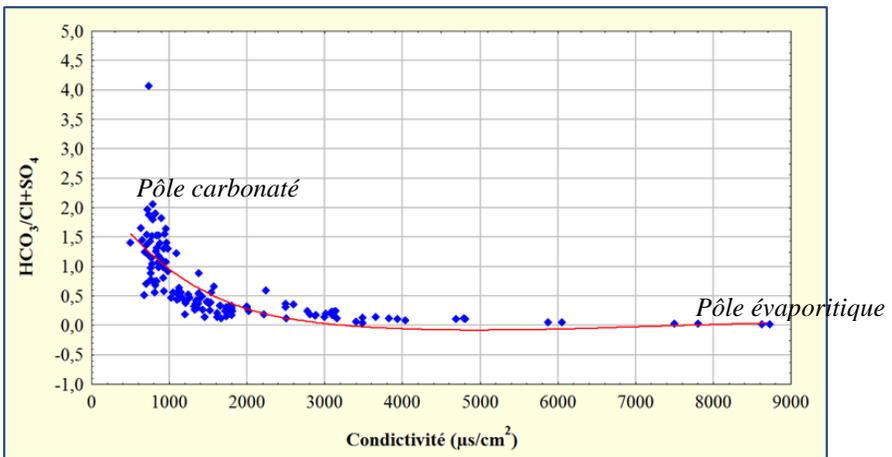


Figure 10 : Evolution des anions en fonction de la conductivité électrique.

## CONCLUSION

La présente étude, qui a porté sur la nappe plio-quaternaire de la plaine de Ghriss, située au Nord-Ouest de l'Algérie, a abouti aux conclusions suivantes :

Un climat méditerranéen de type semi-aride a été mis en évidence avec un hiver froid et pluvieux, et un été chaud et sec, influencé par des facteurs géographiques (éloignement de la mer, altitude et orientation des reliefs).

L'étude hydrogéochimique des eaux de la nappe du Plio-Quaternaire de Ghriss permet de dire que les eaux sont caractérisées par une forte minéralisation et par la présence de trois faciès dominants, qui sont le chloruré magnésien, le chloruré calcique et le bicarbonaté magnésien.

Les ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  qui existent dans les eaux de la nappe superficielle (nappe plio-quaternaire) proviennent majoritairement de la dissolution de la halite. Cependant, un enrichissement en ion  $\text{Cl}^-$  provient d'une contamination anthropique qui affecte toute la nappe étudiée avec des proportions différentes.

Les ions  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  et  $\text{HCO}_3^-$  proviennent principalement de la dissolution des formations carbonatées du jurassique. L'alimentation au nord par les formations des calcaires lacustres du pliocène représente un apport secondaire en ions  $\text{Ca}^{+2}$  et  $\text{HCO}_3^-$ . L'ion calcium est issu également de la dissolution des formations évaporitiques gypseuses localisées notamment dans le nord-ouest et le sud-ouest de la plaine. Cependant, un excès en  $\text{Ca}^{+2}$  par rapport à  $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$  (représentant l'origine carbonatée et évaporitique) observé pour quelques échantillons accompagné d'un déficit en  $\text{Mg}^{+2}$  indique un échange cationique  $\text{Ca}^{+2} \leftrightarrow \text{Mg}^{+2}$ .

La diversité des sources de contamination anthropique souligne la difficulté de compréhension de l'origine des éléments majeurs présents dans les eaux de la nappe plio-quaternaire en utilisant seulement les rapports binaires et en absence d'autre outil d'analyse géochimique.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE**

- AÏT BOUGHROUS, A., (2007). Biodiversité, écologie et qualité des eaux souterraines de deux régions arides du Maroc : le Tafilalet et la région de Marrakech. Thèse de doctorat, Université Cadi Ayyad, Maroc (207 p).
- BEKKOUSSA, B., (2009). Modélisation du transfert et de la propagation des nitrates dans les eaux souterraines de la plaine de Ghriss. Thèse de doctorat, Université d'Oran, Algérie (155 p).
- BOSCA, C., (2002). Groundwater law and administration of sustainable development, Mediterranean. Magazine Science, training & Technology, 13-17.
- DANIELOPOL et al., (2004). Incorporating ecological perspectives in European groundwater management policy. Environmental Conservation 31, 3 : 185-189.
- DEBIECHE, T. H., (2002). Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et minéraux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la basse plaine de la Seybouse- Nord-Est Algérien. Thèse de doctorat, U. F. R. des Sciences et Techniques de l'Université de Franche-Comté, France (199 p).

- DEMLIE, M., WOHNLICH, S., WISOTZKY, F. & GIZAW, B., (2007). Groundwater recharge, flow and hydrogeochemical evolution in a complex volcanic aquifer system, central Ethiopia. *Hydrogeology Journal* (2007) 15: 1169–1181.
- FEDRIGONI, L., KRIMISSA, M., ZOUARI, K., MALIKI, A. & ZUPPI, G. M., (2001). Origine de la minéralisation et comportement hydrogéochimique d'une nappe phréatique soumise à des contraintes naturelles et anthropiques sévères : exemple de la nappe de Djebeniana (Tunisie). *Earth and Planetary Sciences* 332 (2001): 665–671.
- GOUAIDIA, L., (2008). Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physicochimiques des eaux d'une nappe en zone semi aride, cas de la nappe de Meskiana nord-est algérien. Thèse de doctorat (130 p).
- HUNEAU, F. (2000). Fonctionnement hydrologique et archives paléoclimatiques d'un aquifère profond méditerranéen, étude géochimique et isotopique du bassin miocène de Valréas (Sud-Est de la France). Thèse de doctorat, université d'Avignon et des pays de Vaucluse, France, (192 p).
- LALBAT, F., (2006). Fonctionnement hydrodynamique de l'aquifère du miocène du bassin de Carpentras. Thèse de doctorat, université d'Avignon et des pays du Vaucluse, France (231 p).
- MATARI, A. & DOUGUEDROIT, A., (1995). Chronologie des précipitations et des sécheresses dans l'ouest Algérien. Les stratégies pour le contrôle des sécheresses. 9eme Conférence régionale afro-asiatique des Irrigations et du Drainage. Alger, 5 et 6 juin 1995 : 266–278.
- SOURISSEAU, B., (1972). Etude hydrogéologique de la plaine de Ghriss. Rapport Agence Nationale des Ressources Hydraulique, Alger, Algérie.