

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة باجي مختار عنابة



BADJI MOKHTAR -ANNABA UNIVERSITY  
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR -ANNABA

Faculté des sciences de la terre  
Département de Géologie

Année 2004

## MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magister en Géologie

Spécialité : Hydrogéologie

Option : Hydrochimie

**Mécanismes d'acquisition de la salinité et de la fluoruration des  
eaux de la nappe phréatique de la basse Vallée de l'Oued Mya  
(Ouargla).**

Par : NEZLI Imed Eddine

Directeur de mémoire : DJABRI . L

Pr. Université de Annaba.

Devant le jury

Président : Mr. KHERICI . N

Pr. Université de Annaba

Examineurs : Mr. LAOUAR . R

Mc. Université de Annaba

Mr. HANNI . A

Mc. Université de Annaba

Mme. ACHOUR . S

Mc. Université de Biskra

Invité : Mr. Djaffer . R

Mc. Université de Annaba



## *Avant propos*

*Au terme de ce travail, je tiens à exprimer mes remerciements et toute ma reconnaissance au professeur Larbi Djabri pour m'avoir bien accueilli dans cette post-graduation et accepté de m'encadrer.*

*Je remercie chaleureusement le professeur Naceur Kherici d'avoir accepté de présider ce jury.*

*Mes remerciements s'adressent également aux Docteurs : Mr Rabah Laouar, Mme Samia Achour et Mr AzzEddine Hanni., qui m'ont fait l'honneur d'accepter de siéger dans ce jury et avoir voulu juger ce travail*

*J'adresse mes remerciements à mon ami Nafaâ et à sa moitié, qui m'ont ouvert les portes de chez eux durant mes nombreux séjours à Annaba. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.*

*Je tiens également à exprimer ma reconnaissance à tous ceux qui m'ont aidé à réaliser ce travail au laboratoire et sur terrain à Ouargla malgré les conditions climatiques sévères, plus particulièrement mon oncle Bachir et mon ami Mr Tahar Idder, ainsi que Mr Ahmed Maâmeri, le responsable du laboratoire des sols et des eaux et Mr Zahrouna Djelloul, le chef du service Hydrogéologie, de l'ANRH - Ouargla.*

*Je n'oublierai pas mes amis : Tayeb, Lakhdar, Mohamed, Sofiane, et tous les collègues de cette post-graduation. A toutes et à tous merci.*

### ***Je dédie ce mémoire :***

*A la mémoire de mon père ;*

*A mère ;*

*A ma femme ;*

*A mon fils Rami ;*

*A mes frères et sœurs : Mostefa, Faten, Madjda, Youcef, Aouatef, Hanane, Mediha Asma et Salima*

*A mes nièces et neveux,*



## Résumé

Les eaux de la nappe phréatique de la basse Vallée de l'Oued Mya (Ouargla) présentent une salinité excessive et une fluoration au dessus des normes. Cette pollution est supposée liée à la conjugaison de phénomènes : naturels et anthropiques. Ce mémoire constitue une contribution à l'étude des caractéristiques physico-chimique de ces eaux en vue de comprendre les processus d'acquisition de la salinité et de la fluoration des eaux, et l'impact de cette pollution sur la santé publique à Ouargla.

**Mots clés :** Nappe phréatique, Vallée de l'Oued Mya, salinité, fluoration, pollution.

## ملخص :

تتميز مياه الطبقة الفرياتيكية لواد ميه بوقلة بملوحة فائقة ونسبة من الفليور معتبرة هذا التلوث قد يكون مصدره طبيعيا أو من فعل الإنسان. الهدف من هذه المذكرة هو المساهمة في دراسة الخصائص الفيزيوكيميائية لهذه المياه لمحاولة فهم آليات اكتساب الملوحة والفلورة وتأثير هذا التلوث على الصحة العمومية بوقلة .

**الكلمات المفاتيح:** الطبقة الفرياتيكية، واد مية ، ملوحة، فلورة، تلوث.

## Sammary

Water of the phreatic ground water of the low Valley of Mya (Ouargla) presents an excessive salinity and a fluoridation at the top of the standards. This pollution is supposed to be related to the conjugation of phenomena natural and anthropic. This memory constitutes a contribution to the physicochemical study of the characteristics of this water in order to understand the processes of acquisition of salinity and the fluoridation of water, and the impact of this pollution on the public health at Ouargla.

**Key words:** Phreatic ground water, Valley of Mya, salinity, fluoridation, pollution.

## **AVANT PROPOS**

## **SOMMAIRE**

<b>INTRODUCTION GENERALE</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I : Contexte climatique</b>	<b>4</b>
Introduction	
I-1.Climatologie	4
I-1-1.Les précipitations	4
I-1-2.Les températures	5
I-1-3.Les vents	6
I-1-4.L'évapotranspirations potentielle (ETP)	6
I-1-5.L'humidité de l'air	6
I-1-6.L'insolation	7
I-2.Classification bioclimatique	7
I-3.Bilan hydrologique	9
I-3-1.Les apports	9
I-3-2.Les exhaures	9
<b>Conclusion</b>	<b>9</b>
<b>CHAPITRE II : Géologie</b>	<b>10</b>
Introduction	10
II-1.Structure géologique du bassin oriental	10
II-2.Lithostratigraphie de région de Ouargla	12
II-2-1.Le Secondaire	12
II-2-1-1.L'Albien	12
II-2-1-2. Le Vraconien	12
II-2-1-3.Le Cénomaniens	12
II-2-1-4. Le Turonien	12
II-2-1-5.Le Sénonien	13
II-2-1-5.1.Le Sénonien lagunaire	13
II-2-1-5-2. Le Sénonien carbonaté (Maestrichtien)	13
II-2-2.Le Tertiaire	17
II-3.2.1.L'Eocène	17
II-2-2-1-1.L'Eocène carbonaté (Yprésien)	17
II-2-2-1-2.L'Eocène évaporitique (Lutétien)	17
II-2-2-2.Le Mio-Pliocène	17
II-2-3. Le Quaternaire	19
II-3.Tectonique	19
II-4.Evolution géomorphologique du bassin au Quaternaire	20
II-5-Principaux aspects géomorphologiques de Ouargla	21
II-5-1.Les plateaux	21
II-5-2.Les glaciers	22
II-5-3.Les chotts et sebkhas	22
<b>Conclusion</b>	<b>23</b>

---

<b>CHAPITRE III : Hydrogéologie</b>	24
<b>III-1.Contexte hydrogéologique global</b>	24
Introduction	24
III-1.Les systèmes aquifères du bassin	24
III-1-1.Le Continental Intercalaire	24
III-1-2.Le Complexe Terminal	26
III-1-2-1.L'aquifère du Turonien	27
III-1-2-2.L'aquifère du Sénonien et de l'Eocène carbonatés	27
III-1-2-3.L'aquifère du Mio-Pliocène	27
III-1-3.Les aquifères utiles de la région de Ouargla	28
III-1-3-1.La nappe de l'Albien	28
III-1-3-2.La nappe du Sénono-Eocène (nappe des calcaires)	29
III-1-3-3.La nappe du Mio-Pliocène (nappe des sables)	29
III-1-4.La nappe phréatique	29
III-1-4-1.Lithologie de la nappe	30
III-1-4-2.Essai par pompage	32
<b>III-2.Piézométrie de la nappe phréatique</b>	34
Introduction	34
III-2-1.Profondeur de la nappe (Février 2002)	34
III-2-2.Interprétation de la carte piézométrique (Février 2002)	36
III-2-3.Confirmation de l'existence de la ligne de partage par les isotopes	37
<b>CHAPITRE IV : Hydrochimie</b>	41
<b>IV-1.Matériel et méthodes</b>	41
IV-1-1. Echantillonnage	41
IV-1-2.Analyses physicochimiques	41
<b>IV-2.Caractéristiques hydrochimiques des eaux</b>	44
Introduction	44
IV-2-1.Analyse statistique	44
IV-2-2.Principe de la méthode	44
IV-2-3.Classification ascendante hiérarchique <i>CAH</i>	45
IV-2-4.Etude des relations inter-éléments	49

---

<b>IV-3.Origines du chimisme des eaux</b>	<b>58</b>
IV- 3-1.Echanges de base	
IV-3-2.Relations complexes	59
IV-3-3. Détermination des faciès hydrochimiques des eaux	65
IV-3-4.Etude de l'évolution des minéraux et des éléments dissous	
IV-3-5.Aptitude des eaux à la consommation humaine	70
IV-3-6.Aptitude des eaux à l'irrigation	71
<i>Conclusion</i>	74
<b>IV-4. Le fluor dans les eaux de la vallée de l'Oued Mya</b>	<b>75</b>
Introduction	75
IV-4-1.Excès de fluor dans les eaux de la nappe phréatique. Résultats et discussion	75
IV-4-1-1.Origines du fluor	77
IV-4-2 Excès du fluor dans les eaux d'alimentation humaine. Effets et nuisances	82
IV-4-3.Exposition la population de Ouargla au fluor et à la fluorose	83
IV-4-3-1.Matériels et méthodes	83
IV-4-2.Résultats et discussions	84
<i>Conclusion</i>	89
<b>CONCLUSION GENERALE</b>	<b>90</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	
<b>ANNEXES</b>	

---



## Introduction générale

Le Sahara est le plus grand désert « hyper aride » de la planète couvrant une superficie de 8000 000 Km<sup>2</sup>. Il s'étend sur le tiers septentrional du continent africain ; de l'Atlantique à la mer rouge.

Ce travail porte sur la qualité des eaux d'une Oasis particulière du Sahara Nord-Est septentrional appelée Ouargla, ou Pays de la basse Vallée de l'Oued Mya (fig.1).

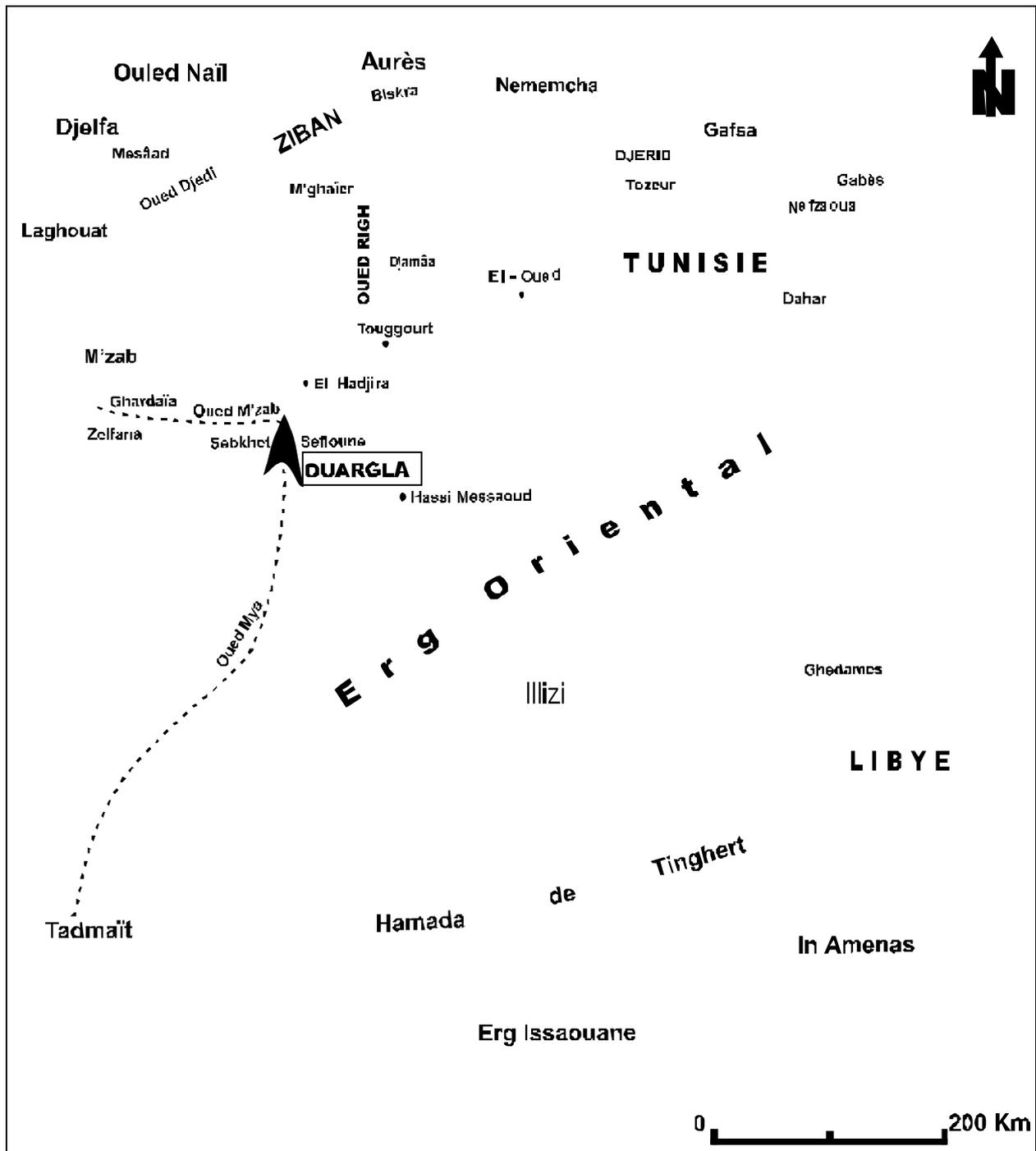


Figure 1: Situation géographique de la Basse Vallée de l'Oued Mya (Ouargla)

Elle correspond à une grande dépression qui s'étend sur une superficie de 750 Km<sup>2</sup> environ du lit quaternaire de la basse vallée fossile de l'Oued Mya, qui descend du plateau du Tadmaït au Sud et se termine à Sebket Sefioune à 40 Km au Nord de Ouargla (Dubief, 1953). Ce grand Oued quaternaire ne coule pas actuellement, quoique des eaux peu profondes étaient exploitées localement dès le VIII<sup>ème</sup> siècle sous forme de sources (Rouvillois-Brigol, 1975).

Ouargla est limitée ;

- au Nord et Nord-Est par les wilayas de Djelfa et d'El Oued
- au Sud et Sud-Est par les wilayas de Tamanrasset et d'Illizi
- à l'Ouest par la wilaya de Ghardaïa (Rouvillois-Brigol, 1975 ; ANAT, 1995)

Les conditions climatiques sévères de la zone d'étude n'ont pas empêché l'existence d'un immense réservoir souterrain, considéré jadis comme illimité. Les prospections ont montré que les bassins sédimentaires du Bas-Sahara recèlent deux aquifères d'une puissance considérable, appelés Complexe Terminal (CT) et Continental Intercalaire (CI). La nappe du Complexe Terminal (CT) couvre 35 000 Km<sup>2</sup> et celle du Continental Intercalaire (CI) couvre 600000 Km<sup>2</sup>. Le volume de cette dernière a été évalué à 60 000 milliards de m<sup>3</sup> (UNESCO, 1972).

La prolifération des forages et l'exploitation irrationnelle de ces eaux ont bouleversé les données hydrauliques dans cette région par une remontée des eaux de la nappe phréatique en surface. Cette dernière est sujette à une pollution par la salinité, la dureté et la fluoruration, qui serait liée aux phénomènes naturels et anthropiques.

Les conséquences de cette dégradation se font ressentir dans différents domaines ; l'agriculture (salinisation des sols) l'urbanisme (destruction des structures urbaines) et la santé publique (insuffisance rénale, fluorose ...).

Ce travail constitue une contribution à l'étude de la qualité physicochimique des eaux de la nappe de la basse Vallée de l'Oued Mya et les mécanismes d'acquisition de la salinité et de la fluoruration des eaux et à mettre en évidence certains problèmes auxquels est exposée la population de Ouargla, liés particulièrement à la fluoruration des eaux.

En se basant sur l'examen des conditions climatiques (*Chapitre I*), géologiques (*Chapitre II*), et hydrogéologiques (*Chapitre III*), ce mémoire s'articule sur l'hydrochimie des eaux de la nappe phréatique (*Chapitre IV*) et comporte :

\* L'étude des caractéristiques physico-chimiques des eaux ;

\*Les processus d'acquisition de la salinité des eaux ;

\*L'acquisition de la fluoruration des eaux.

En fin, nous avons essayé d'évaluer les effets et les nuisances du fluor sur la santé de la population de Ouargla, et ce par l'évaluation du niveau d'exposition des individus au fluor, apporté par l'eau de consommation ; en provenance de s nappes profondes du CI et du CT, et par les aliments fréquemment consommés; en l'occurrence le thé vert et les dattes.

## Introduction

L'étude climatologique est nécessaire, afin de pouvoir caractériser le climat de la zone d'étude et ses répercussions. Des valeurs moyennes des données climatiques de la période :1990-2000 (tab.1) ont été utilisées.

Tableau 1: Valeurs moyennes des données climatiques (1990-2000)

	T°min	T°max	T°moy	P(mm)	ETP(mm)	Vvent(m/s)	Ensolei(h)
Jan	4.76	18.01	11.39	8.69	163	2.82	110.09
Fev	6.24	20.88	13.56	1.54	189.01	3.06	140.73
Mar	9.62	24.4	17.01	6.23	221.73	4.03	165.82
Avr	14.31	28.76	21.54	4.11	268.18	4.7	207.64
Mai	19.01	34.27	26.64	2.82	270.73	4.77	220.64
Juin	24.53	40.03	32.28	0.32	311.4	5.05	308.64
Juil	26.6	42.69	34.65	0	316.64	4.55	338.45
Août	26.61	42.31	34.46	0	290.45	3.97	335.09
Sep	23.11	37.6	30.36	4.06	194.64	4.19	222
Oct	16.54	30.56	23.55	6	201.9	3.68	193
Nov	9.52	23	16.26	4.98	172.3	2.81	140.09
Déc	5.76	18.95	12.36	4.45	158.82	2.74	215.82
Tot				<b>43.20</b>	<b>2758.80</b>		
Moy	<b>15.55</b>	<b>30.12</b>	<b>22.84</b>				

Source : Station Météorologique de l'Aérodrome de Aïn El Beida (Ouargla)

## I-1. Climatologie

### I-1-1. Les précipitations

Les précipitations sont très faibles et très irrégulières, et d'une moyenne annuelle de 43.20 mm/an (1990-2000). Elles se produisent essentiellement en hiver et en automne après une période sèche généralement d'Avril à Octobre. Elles sont nulles pendant le mois de juin, juillet et août, à insignifiantes pendant toute l'année (fig.2). Toutefois le mois de janvier est relativement le plus pluvieux (8.69 mm).

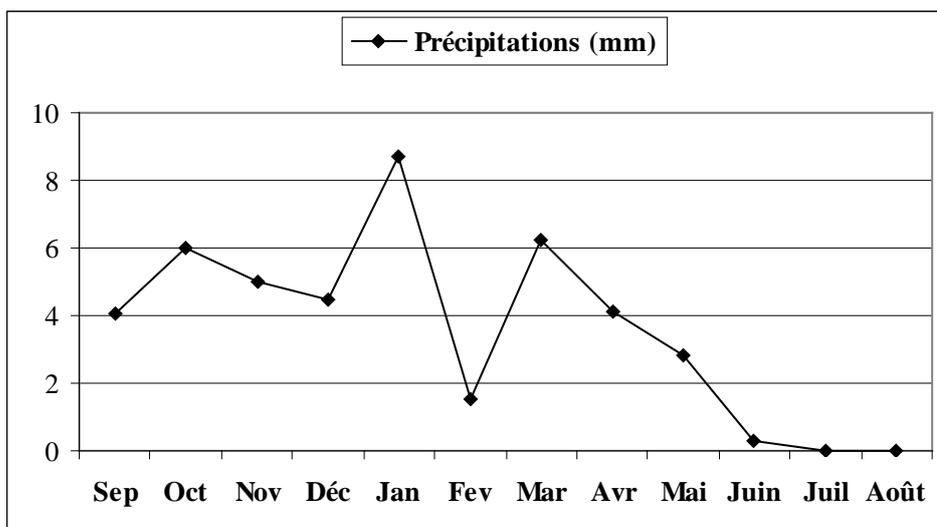


Figure 2: Evolution de la pluie mensuelle à Ouargla (1990-2000)

Des fluctuations très importantes de la pluie d'une année à l'autre (fig.3); des années relativement pluvieuses (1922, 1943, 1946 1957, 1958, 1962) de moyenne annuelle supérieure à 80 mm/an, et des années de sécheresse (1926,1929, 1936, 1937, 1947, 1950, et 1954), où la moyenne annuelle ne dépassait pas 10 mm/an ( 0 mm en 1929), en revanche la moyenne annuelle est de 44.15 mm/an sur les quarante huit années (1922 à 1949) (Dubief, 1963).

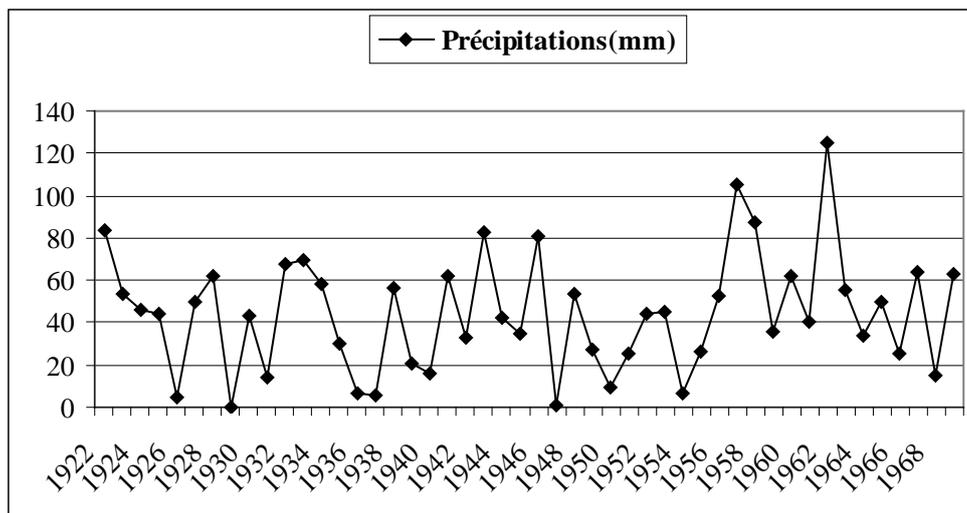


Figure 3: Evolution de la pluie annuelle à la station de Ouargla (1922-1969)

### I-1-2.Les températures

La température moyenne annuelle est de 22.7°C (fig.4), avec un maximum en juillet 34.65°C (maxima moyen 42.69°C), Les extrêmes de températures absolues observées depuis quarante ans environs varient de 52.7°C et -6.9°C (Dubief, 1963).

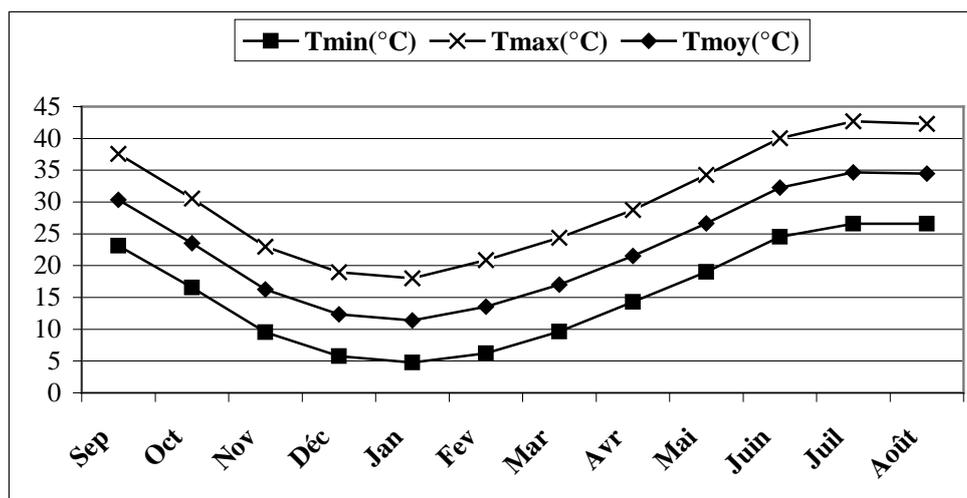


Figure 4: Evolution des températures moyennes mensuelles à Ouargla (1990-2000)

### I-1-3. Les vents

Les vents violents sont très favorables au transport des matériaux en surface par saltation, et à la mise en suspension des poussières dans l'atmosphère et concourent aux formations d'édifices éoliens, le dessèchement du milieu, et la dégradation de la végétation. A Ouargla les vents dominants ont une direction NNE-SSW.

Les vents violents (N, NE et W) à l'origine des tempêtes de sables, soufflent au printemps, en moyenne 50 jours par ans. Les vitesses moyennes sont de  $5.05 \text{ m.s}^{-1}$ , mais les vents les plus forts peuvent dépasser  $20 \text{ m.s}^{-1}$ .

### I-1-4. L'évapotranspiration potentielle (ETP)

Les températures élevées et les vents fréquents et violents provoquent une évapotranspiration potentielle considérable (cf.tab.1). Mesurée par un évapomètre Piche, le cumul dépasse largement 2000 mm/an (2758.80 mm) (fig.5), presque 60 fois celui de la pluviométrie. La période allant du mois de Mars au mois d'Août est la plus importante (plus de 1500 mm).

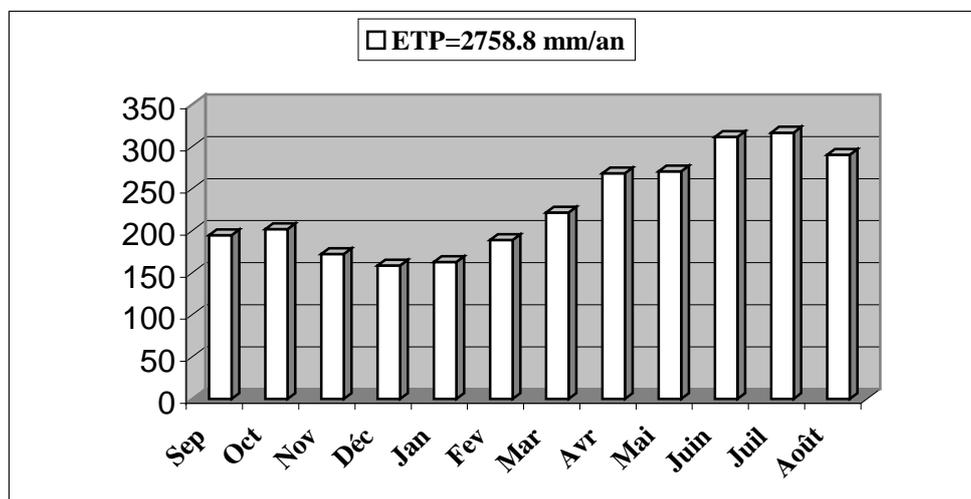


Figure 5: Evolution de l'ETP mensuelle à Ouargla (1990-2000)

### I-1-5. L'humidité de l'air

L'humidité relative de l'air est de l'ordre de 30%, cependant, la période hivernale est relativement humide (40-60%).

### **I-1-6.L'insolation**

La radiation solaire est très importante à Ouargla car l'atmosphère présente une grande pureté durant toute l'année. La durée moyenne d'insolation est d'environ 2600 heures/an avec un maximum de 348 h en juillet et un minimum de 110 en janvier. Cette forte insolation est un facteur favorable pour l'assimilation chlorophyllienne, mais elle a en revanche un effet desséchant car elle augmente la température (Dubief, 1963).

### **I-2.Classification bioclimatique**

Le diagramme pluviothermique de Gaussen (1957)(fig.6) montre que le climat de Ouargla est caractérisé par une sécheresse permanente où les précipitations sont toujours inférieures au double des températures.

Pour classer le bioclimat de Ouargla nous avons utilisé non plus le quotient pluviométrique d'Emberger (1955) ( $Q = 2000 * P / (M^2 - m^2)$ ), avec P: précipitations moyennes annuelles en mm, M, m : représentent respectivement la moyenne des températures maxima et minima en degré Kelvin) largement utilisé pour la caractérisation des bioclimats méditerranéens, mais les critères climatiques simples tels que : **P**, **m'** et **M'** ; proposés par Pouget (1980) à la suite des travaux de Le Houérou (1969) et Claudin et al (1979) sur la végétation des steppes algériennes.

**\*P:** précipitations annuelles moyennes (mm) pour caractériser les étages bioclimatiques.

**\*m':** température moyenne des minima du mois le plus froid (°C) pour caractériser les variantes thermiques.

**\*M':** température maxima (°C) pour caractériser les sous variantes thermiques.

Il est possible de construire un diagramme pluvio-thermique (fig.7) analogue à celui d'Emberger avec (m') en abscisse et (P) en ordonnée (Pouget, 1980). La région de Ouargla est donc caractérisée par un climat saharien à hivers tempérés (à hivers doux dans le diagramme d'Emberger), avec  $P = 43.20$  mm, et  $m' = 4.76$  °C (Période : 1990-2000)

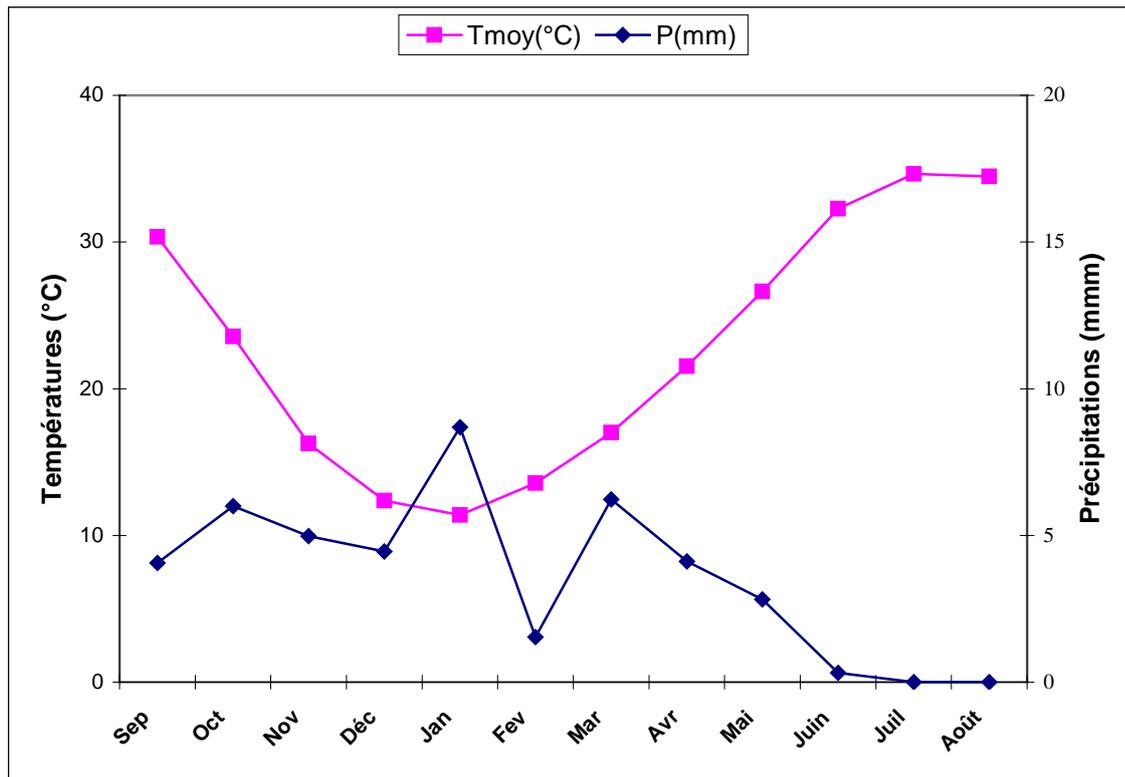


Figure 6: Courbe pluvio-thermique de Gausson (T = 2P) à station de Ouargla (1990-2000)

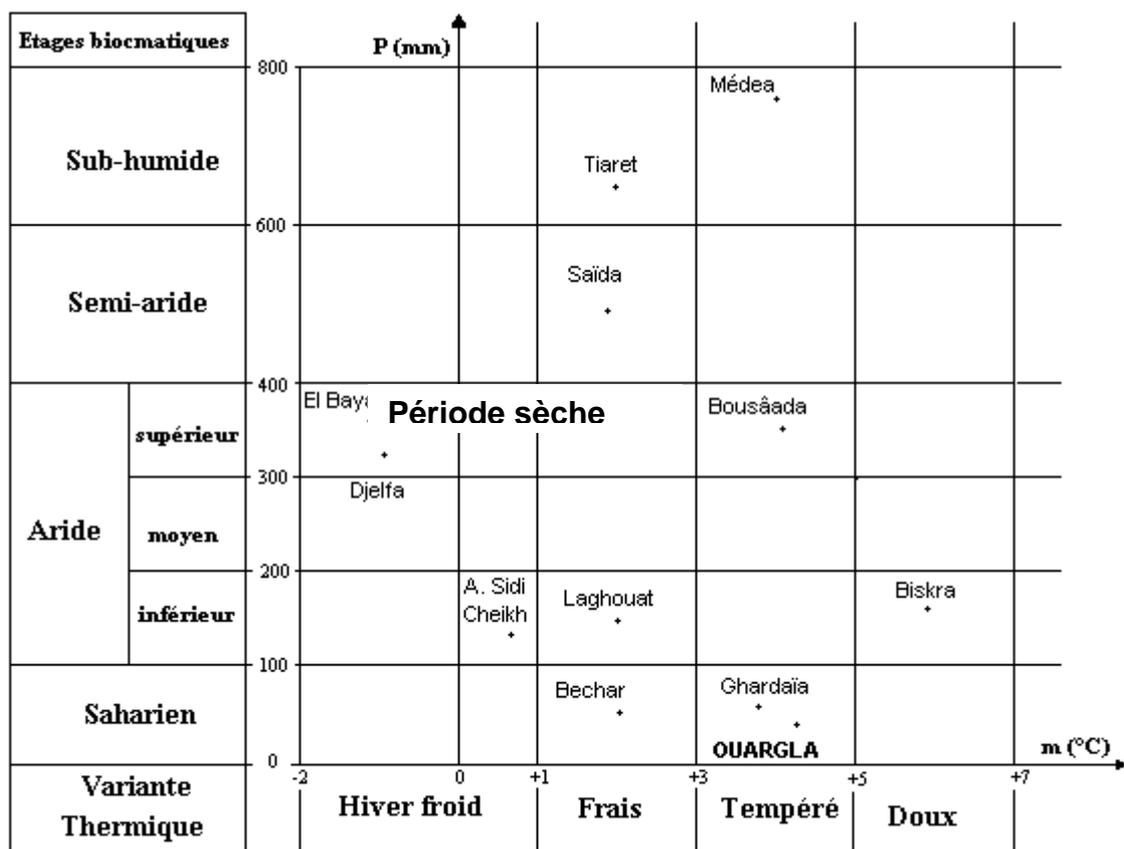


Figure 7 : Diagramme pluviothermique et bioclimatique, inspiré de Pouget (1980)

### **I-3. Bilan hydrologique**

Le calcul du bilan hydrologique est fonction de plusieurs facteurs du système hydrologique tels que: les précipitations, le ruissellement, l'infiltration et l'évaporation, sauf que ce système à Ouargla se trouve perturbé par les activités humaines qui ont créé une endoréisation anthropique.

Le bilan hydrologique naturel peut s'écrire donc par la formule suivante :

$$P \text{ (apports)} = E + R + I \text{ (exhaures)} \quad (\text{Castany, 1982})$$

Où, P : est les précipitations moyennes annuelles en mm

E: est l'évapotranspiration potentielle annuelle (ETP) en mm

R: est le ruissellement moyen annuel

I: infiltration moyenne annuelle en mm

#### **I-3-1. Les apports**

Sachant que les apports sont principalement d'origine souterraine, provenant des forages captant les nappes profondes du Complexe Terminal et du Continentale Intercalaire

(*Chapitre I, Chapitre II*) sous forme de rejets urbains et agricoles. Il est à noter que les communications inter-nappes sont aussi à considérer. Des apports qui sont à l'origine d'une remontée excessive des eaux en surface, constituant une véritable catastrophe vécue au quotidien dans cette région.

#### **I-3-2. Les exhaures**

Les exhaures sont l'Evapotranspiration potentielle de l'oasis (ETP), et l'évaporation (E) hors des oasis, ainsi que le pompage des eaux de drainages urbaines et agricoles vers l'extérieure de Ouargla.

Ce bilan s'avère donc difficile à établir en l'absence de données chiffrées pour la plus part de ses paramètres.

### **I-4. Conclusion**

La différence entre les températures de l'été (une longue période chaude) et celles de l'hiver (saison relativement froide) montre l'importance de la chaleur estivale. La correspondance entre ces fortes températures et les faibles précipitations indique sur le caractère saharien tempéré du climat.

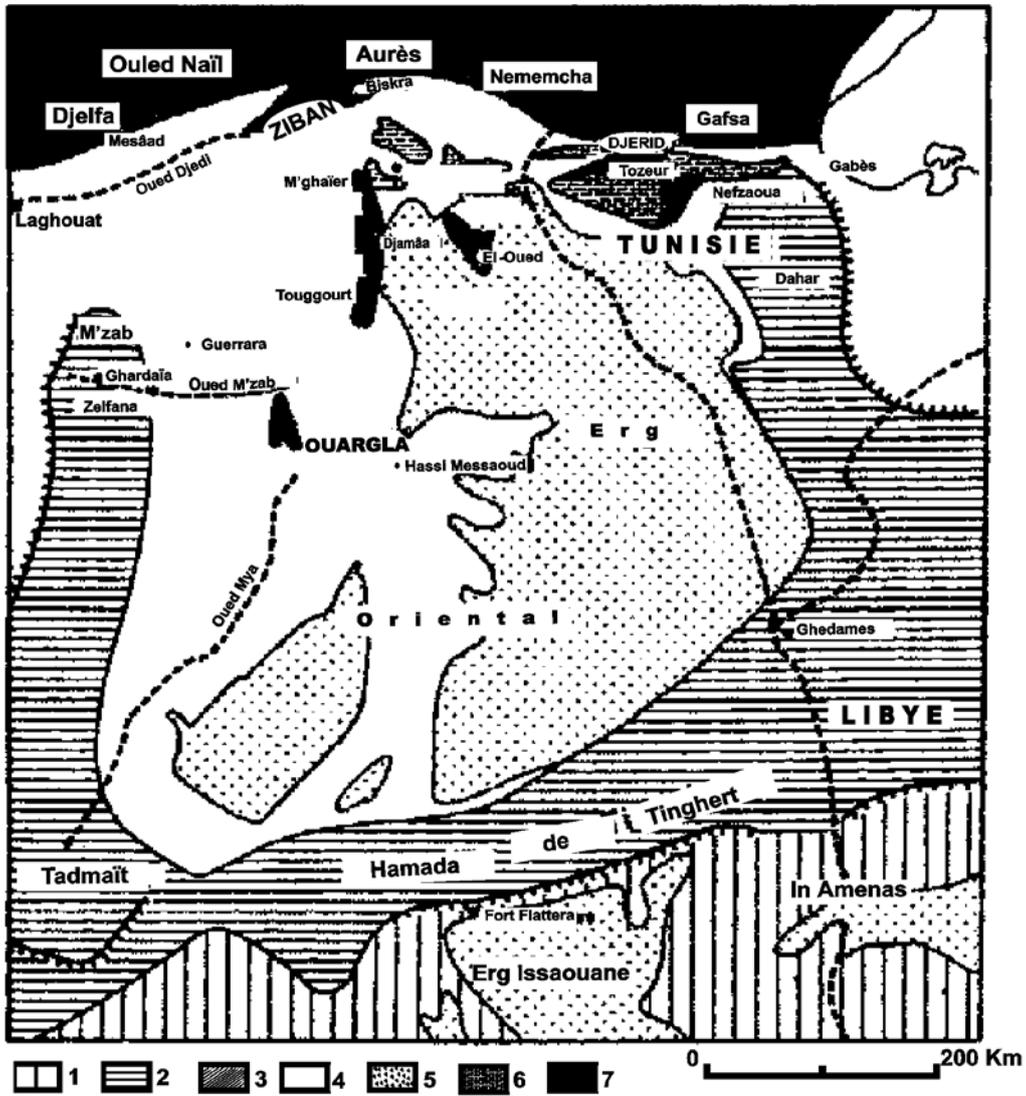


## Introduction

Lorsqu'on aborde le Sahara par le Nord on est surpris par la rapidité avec laquelle on passe des montagnes et plateaux de l'Atlas à la plate-forme désertique saharienne. Ce passage souligné par des affleurements de calcaires blancs sub-verticaux correspond à l'accident sud-atlasique, qui est selon les endroits un pli, un pli-faille, ou une flexure. Au sud de cet accident, qui va d'Aghadir au Golfe de Gabès, s'étend le bouclier africain qui a résisté aux plissements et sur lequel la mer s'est parfois étendue mais sans jamais atteindre de grandes profondeurs. C'est sur ce bouclier formé de roches éruptives et métamorphiques que se sont déposés plusieurs milliers de mètres de terrains sédimentaires allant du Cambrien au Quaternaire (Cornet, 1964). On y subdivise en deux (02) sous domaines : le bassin occidental et le bassin oriental, séparés par l'anticlinal du M'Zab. Ouargla ou Vallée de l'Oued Mya (fig.8), s'inscrit dans cette vaste cuvette sédimentaire occupant dès le Secondaire l'emplacement de l'actuel Sahara nord-oriental (septentrional) (Gouscov, 1952).

### II-1. Structure géologique du bassin oriental :

Le bassin oriental (fig.8) du Sahara, à couverture sédimentaire, d'âge paléozoïque au Récent, est nettement mieux connu que sa contre partie occidentale, grâce aux recherches pétrolières. Il est limité à l'Ouest par la dorsale du M'Zab et au Sud par les plateaux du Tadmaït et du Tinrhert, se plonge vers l'est en Tunisie et en Libye. Il comporte à la base des sédiments Paléozoïques plissés, et pénéplaines par l'orogénèse hercynienne, surmontés en discordance par des sédiments variés (marins et continentaux) du Secondaire et du Tertiaire sur une épaisseur de 2000 mètres environ. Le bassin oriental se présente également comme un vaste synclinal, ouvert vers le Nord. Dans sa moitié Sud, ce synclinal est traversé par un grand axe anticlinal Nord-Sud; siège de plusieurs gisements pétroliers. C'est le haut-fond d'Amguid-El Biod. Cet axe n'est plus apparent dans les formations du Mio-Pliocène ; il y a même inversion de relief puisque l'axe de l'actuel synclinal Mio-Pliocène se superpose à l'ancien haut-fond. Dans le bassin du Sahara septentrional, une seconde zone haute a existé, du Cénomaniens au Mio-Pliocène, entre Hassi-Messaoud et la frontière tunisienne. Cette structure est orientée est-ouest ; elle sépare la fosse des chotts, au nord, du reste du bassin. Il semble que cet axe joue un rôle important dans l'hydrogéologie de cette région.



1. Affleurements primaires
2. Plateaux Crétacés
3. Reliefs atlasiques
4. Remblaiement du Complexe Terminal
5. Ergs
6. Sebkhas
7. Grandes régions d'Oasis

Figure 8: Carte géologique du Bas-Sahara (d'après Nesson, 1978)

## **II-2.Lithostratigraphie de région de Ouargla**

D'après Cornet et Gouscov (1952) ; Cornet (1964) ; Bel et Cuche (1968 et 1971) ; et les travaux de l'Ecole des Mines de Paris en 1975 : La carte géologique (fig.9) de la région ne fait apparaître qu'une couverture tabulaire de terrains tertiaires, et de dépôts détritiques quaternaires. La lithostratigraphie est plus ou moins complète, elle n'est connue que grâce aux forages profonds d'exploration pétrolière ou hydraulique (fig.10)

### **II-2-1.Le Secondaire**

#### **II-2-1-1.L'Albien**

L'Albien est formé d'un dépôt gréseux continental d'épaisseur importante de 350 m environ. Son faciès est représenté par des grès fins à ciment argileux ou carbonaté, et intercalation de sables grossiers et des passées d'argiles pélitiques et sableuses brun-rouge.

#### **II-2-1-2.Le Vraconien**

Le Vraconien est représenté par de dépôts carbonatés de 75 m de puissance. Il est représenté par des dolomies microcristallines et de calcaires dolomitiques à intercalation d'argiles pélitiques et de marnes dolomitiques de couleur brune ou rouge.

Ce Vraconien carbonaté n'est qu'un terme de passage entre l'Albien gréseux (sommet du Continental Intercalaire), et le Cénomaniens argilo-carbonaté (base de Complexe Terminal) (fig.11).

#### **II-2-1-3.Le Cénomaniens**

Le Cénomaniens est formé d'une série argilo-lagunaire d'environ 150m d'épaisseur, représenté à la base par des argiles gypseuses et marnes grises, à passées de calcaires dolomitiques, au sommet par alternance d'argiles salifères à bancs métriques d'anhydrite et de marnes dolomitiques grises (l'épaisseur des bancs est de 1 à 5m).

#### **II-2-1-4. Le Turonien**

Le Turonien est, parmi toutes celles du bassin oriental du Sahara algérien, la formation sédimentaire la mieux caractérisée. Elle constitue donc un excellent niveau repère. D'une

épaisseur de 70m environ, dans la région d'étude, il est représenté par du calcaire crayeux blanc à grisâtre à microfaunes (Globigérines, Fusulines, Ostracodes ... ), calcaires dolomitiques fins à rares passées argileuses et dolomies cristallines vacuolaires.

#### **II-2-1-5.Le Sénonien**

Dans tout le bassin oriental du Sahara Algérien, le Sénonien est constitué de deux formations lithologiques superposées :

- le Sénonien lagunaire à la base
- le Sénonien carbonaté au sommet

##### **II-2-1-5.1.Le Sénonien lagunaire**

Le Sénonien lagunaire a une épaisseur qui varie de 0 à 500 mètres dans le bassin oriental (350 m environ à Ouargla). Il est représenté essentiellement par des bancs métriques d'anhydrite blanche à intercalations d'argiles grises(1 à 2 mètres), de sels massifs à passées d'argiles dolomitiques rouge, marnes et calcaires dolomitiques. La dolomie constitue parfois des barres plus importantes (10 à 15 mètres).

La limite du Sénonien lagunaire est généralement franche : les évaporites et les argiles sénoniennes se distinguent facilement des calcaires et des dolomies turoniennes.

##### **II-2-1-5-2. Le Senonien carbonaté (Maestrichtien)**

Le Sénonien carbonaté est, essentiellement constitué de calcaire crayeux fossilifère et argileux, dolomies beiges vacuolaires, dolomies calcaires à débris, marnes dolomitiques et marnes grises. L'épaisseur du Sénonien carbonaté dans la région de Ouargla est de 90 mètres environ.

La transition Sénonien lagunaire-Sénonien carbonaté est floue. On peut prendre comme limite supérieure du Sénonien lagunaire : soit le toit du dernier banc d'anhydrite lorsque le changement est franc, soit le niveau où le pourcentage des carbonates devient supérieure à celui des évaporites, lorsque le changement de faciès est progressif.



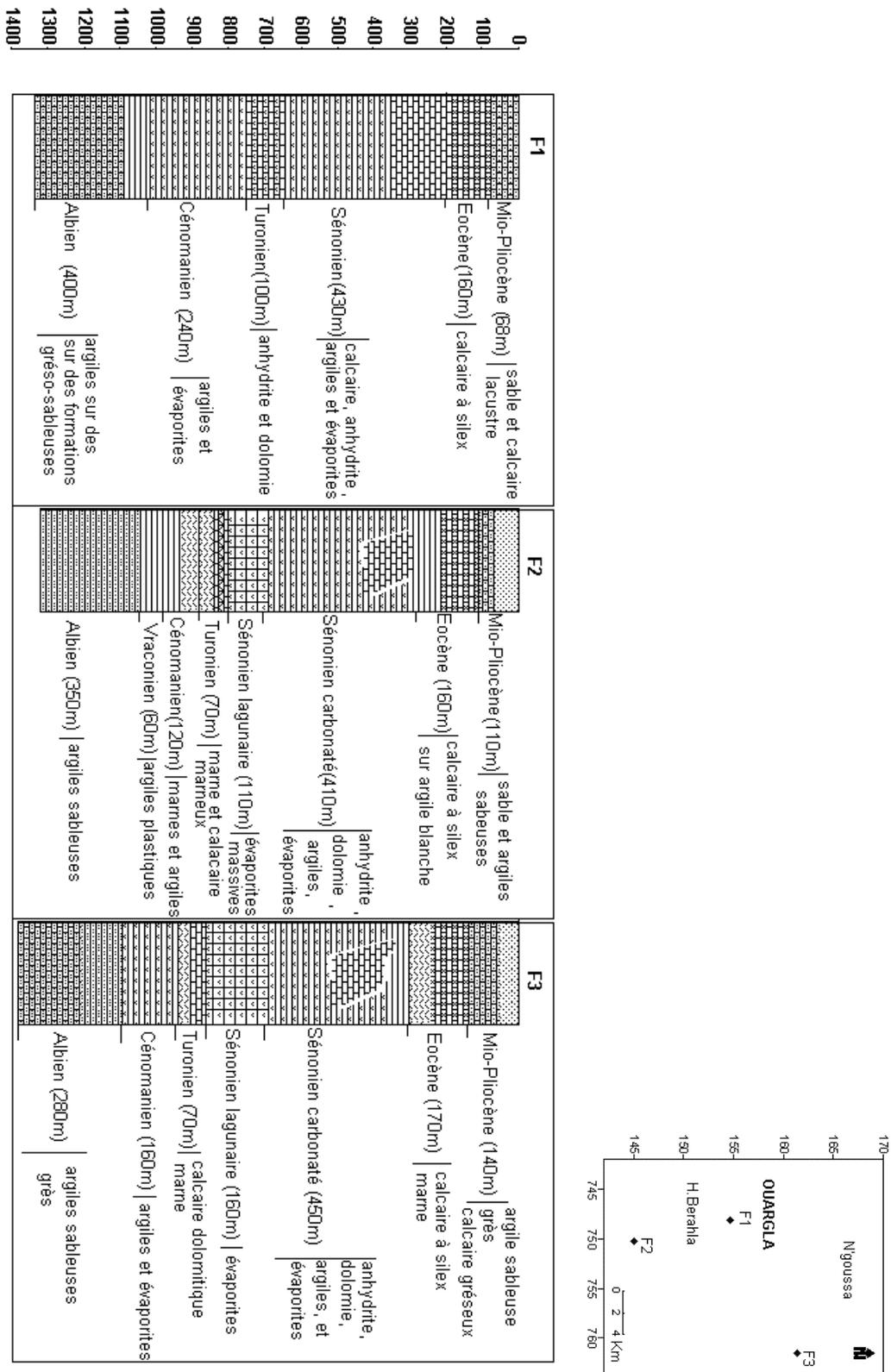


Figure 10 : Log stratigraphique des forages (Archives de l' ANRH, Ouargla)

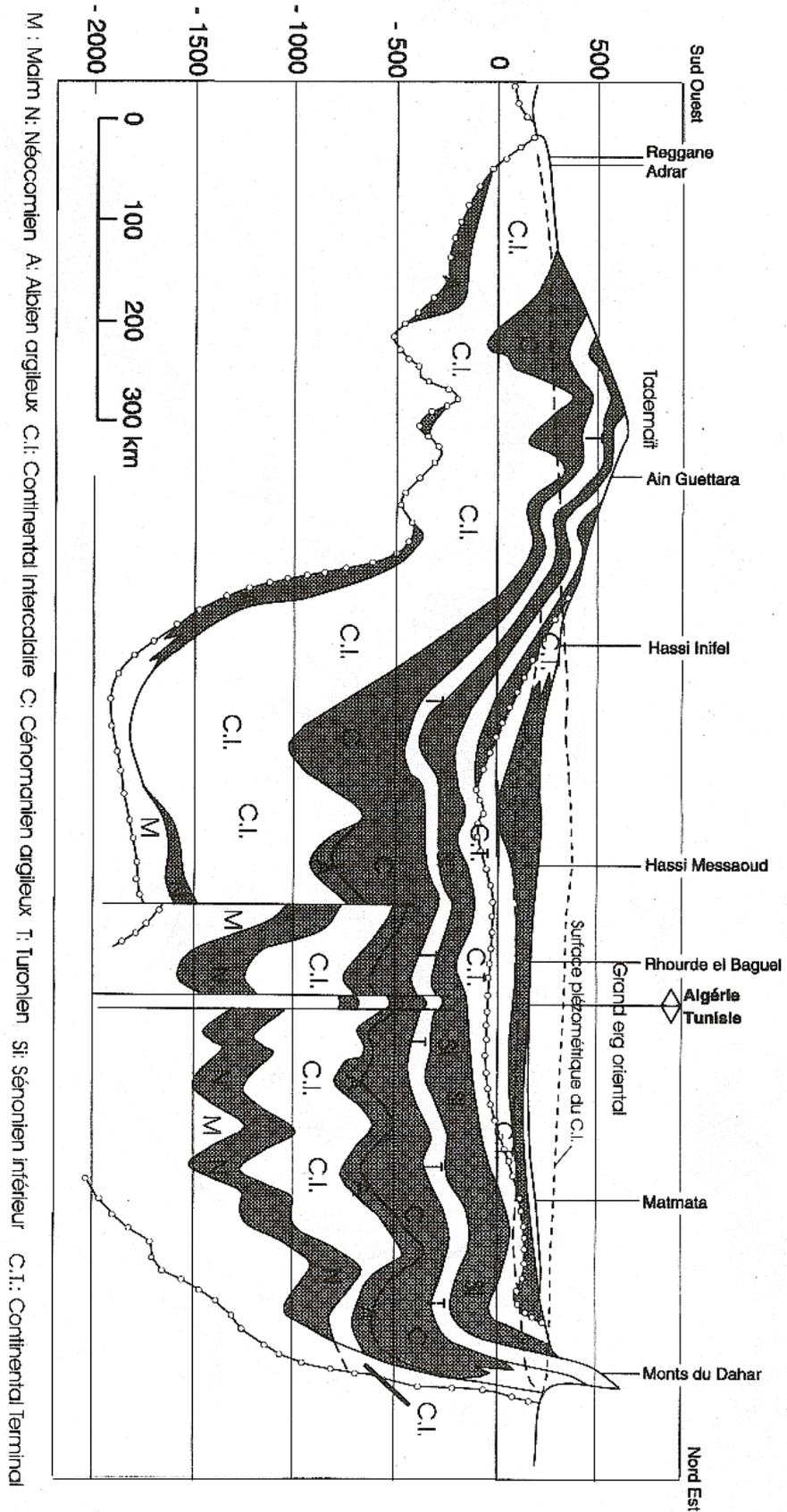


Figure 11 : Coupe géologique du Sahara (UNESCO, 1972)

## **II-2-2.Le Tertiaire**

### **II-3.2.1.L'Eocène**

Dans l'Eocène, on distingue deux formations lithologiques, comme dans le Sénonien :

- l'Eocène carbonaté à la base
- l'Eocène évaporitique au sommet

#### **II-2-2-1-1.L'Eocène carbonaté(Yprésien)**

L'Eocène inférieur ou carbonaté a des caractéristiques lithologiques qui le rendent difficile à distinguer des calcaires et des dolomies sénoniennes; seule la présence ou l'absence de certains fossiles caractéristiques (Nummulites), permet de faire la différence.

L'Eocène carbonaté a été rencontré au Nord de Ouargla, il est représenté par une alternance de dolomies et de calcaires dolomitiques microcristallins vacuolaires beiges très fossilifères (Nummulites, Operculines et Algues), calcaires crayeux à rognons de silex et à intercalation de marnes et argiles plastiques grises. Son épaisseur est de 140 mètres environ.

#### **II-2-2-1-2.L'Eocène évaporitique (Lutetien)**

Au Nord de Ouargla, au-dessus de l'Eocène carbonaté, on trouve une formation lagunaire, constituée d'une alternance de calcaires, d'argiles, de marnes et d'anhydrites, surmontées par des argiles beiges pélitiques et sableuses à traces de silex. A cette formation est associée une microfaune, d'âge éocène (moyen), constituée de nummulites, de milioles et de globigérines.

Dans le bas Sahara, cette formation est connue sous l'appellation d'Eocène évaporitique. Son épaisseur est faible.

#### **II-2-2-2.Le Mio-Pliocène**

Les formations du Mio-Pliocène résultent du démantèlement de reliefs bordiers engendrés par l'orogénèse alpine, au cours d'une période pendant laquelle le Sahara était complètement exondé.

Dans le bassin oriental le Mio-Pliocène, est un puissant ensemble, constitué de sables et d'argiles, qui repose, en discordance, sur diverses formations antérieures : Primaire, Cénomanién, Turonien, Sénonien ou Eocène. Les niveaux sableux, argileux, ou argilo-sableux ont une structure lenticulaire. Le Mio-Pliocène est donc caractérisé par une forte hétérogénéité, aussi bien dans la direction verticale que dans les directions horizontales.

Bel et Dermagne (1966) ont tenté de différencier à l'échelle du bassin oriental du Sahara Algérien, quatre niveaux différents dans le Mio-Pliocène, alternativement sableux ou argileux ;

**Niveau 1:**

De faible épaisseur et essentiellement argileux, constitue la partie inférieure du Mio-Pliocène, représenté surtout dans le centre du bassin (chott Melrhir, Merouane), suivant une bande nord-sud.

Ce niveau est représenté à Ouargla par un banc d'argile rouge sableuse de 1 à 20 mètres d'épaisseur. (Cornet, 1964).

**Niveau 2:**

Grésosableux, est le niveau le plus épais (maximum à Gassi-Touil :400m) et le plus constant. Il s'étend sur l'ensemble du Sahara oriental et continue dans le Sahara occidental. A sa " base" on trouve parfois des graviers. Le " sommet" est composé d'argiles marquant le passage au niveau 3.

Selon Cornet (1964), cet horizon à Ouargla est un ensemble détritique de 12 à 35 mètres de sables grossiers blancs ou jaunes, contenant la nappe du Mio-Pliocène.

**Niveau 3:**

Représente une petite formation argilo-sableuse, dont les limites inférieures et supérieures sont assez mal définies. Cette couche imperméable n'existe que dans certaines zones. Elle n'est épaisse et constante que dans la région des chotts. Les argiles sableuses du niveau 3, séparent des niveaux 2 et 4.

Dans notre région, la formation sus-indiquée, est un imperméable de 15 à 20 mètres de calcaires et de marnes lacustres, généralement très durs, dont la base est formé par un banc d'argile plus ou moins sableuse (Cornet, 1964).

#### **Niveau 4:**

Est le deuxième niveau sableux du Mio-Pliocène. Dans certaines zones, il est confondu avec le deuxième niveau lorsque le troisième niveau est absent. Au niveau des chotts son épaisseur est considérable, son sommet, affleurant sur de grandes surfaces, est constitué par une croûte de calcaire gréseux "Croûte Hammadienne".

Ce niveau à Ouargla est de 10 à 25 mètres de sables généralement rose ou rouges, avec intercalation de bancs de grès rose, difficile à distinguer des sables quaternaires qui les surmontent (Cornet, 1964).

#### **II-2-3.Le Quaternaire :**

La série tertiaire se termine par des formations argilo-sableuses rouges, avec dépôts évaporitiques, puis par quelques bancs calcaire assez épais. Une croûte de grès conglomératiques à ciment siliceux en forme la surface. Cette période, d'abord nettement sub-aride atténuée, correspond vraisemblablement au Plio-Villafranchien (Aumassip. et al., 1972).

Mais ces dernières formations n'apparaissent pas dans la vallée. Que ce soit par érosion fluviale (la subsidence récente des chotts Melghir et Merouane provoquant l'encaissement progressif de l'Oued Mya dans le plateau des Ganntra), ou par déflation éolienne, les couches supérieures de la série tertiaire ont disparu du fossé et le remblaiement quaternaire, constitué de sables alluviaux ou éoliens, fins à moyen, et sables gypseux et parfois argileux ou carbonaté, vient reposer en discordance et irrégulièrement dans la vallée sur les séries moyennes du Continental Terminal. Les épaisseurs de ce dépôt détritique augmentent considérablement du Sud au Nord du bassin (10 mètres environ).

#### **II-3.Tectonique :**

Le bassin est relativement stable. La plate-forme saharienne était le siège de mouvements épi-orogéniques au cours du Secondaire et du Tertiaire, parfois émergée, sur laquelle se déposait un matériel continental, et d'autres fois immergée favorisant le dépôt de plate-forme néritique. Cependant, des mouvements orogéniques affectaient les sillons atlasiques et telliens formant de véritables chaînes de montagnes.

Un effondrement de la partie centrale du bassin suivant un axe qui longe sensiblement les vallées de l'Oued Mya et de l'Oued Rhir a marqué le Cénomaniens, et des phases orogéniques alpines d'âge Eocène moyen et supérieur responsables de la fermeture du sillon atlasique, ont

donné naissance à la chaîne intracrâtonique de l'Atlas saharien. Les répercussions de ces mouvements, marquées par un exhaussement général permettent d'expliquer l'absence de l'Oligocène dans tout le Sahara, ceci est suivi par un mouvement de descente dès le Miocène et dure encore actuellement.

Des ondulations Sub-méridiennes à grandes amplitudes de 50 à 100 m de large (la dorsale du M'zab), dont le prolongement des grandes failles méridiennes du Hoggar et leur rejet seront responsables (Fabre, 1976).

#### **II-4. Evolution géomorphologique du bassin au quaternaire :**

Le Quaternaire est marqué par l'alternance des périodes humides et autres plus arides, donnant ainsi au Sahara septentrional son modèle géomorphologique typique, comme on le connaît actuellement.

Le réseau hydrographique (fig.12) à écoulement endoréique, vers les points les plus bas dans les zones des chotts fut formé vers deux millions d'années (Oued Mya, Oued Rhir, et Oued Igherghert).

D'après les travaux de Gouscov(1952), trois étapes ont marqué l'évolution du relief au cours du Quaternaire:

##### **Première étape :**

A la suite d'un effondrement brusque du centre du bassin les cours d'eau venant de la dorsale du Mzab de l'Ouest, et du Sud du plateau du Tadmait façonnent dans la couverture mio-pliocène des vallées profondes et larges.

Les Oueds : Rhir et Ighergher qui descendaient de l'Atagor (Hoggar) formaient un seul Oued. L'Oued Mya qui descendait du plateau de Tadmait était un principal affluent.

##### **Deuxième étape :**

Un remblaiement partiel des vallées par des éventails alluvionnaires provoque une surélévation locale du sol. Les Oueds se séparèrent : l'Oued Rhir par érosion régressive se prolonge en plus vers le Sud, le cours inférieur de l'Oued Ighergher dépose son matériel solide

dans la région située entre Fort-Lallemand et Hassi-Belgbour. L'Oued Mya qui demeure sans exutoire, forme une zone de chott entre Ouargla et Touggourt.

**Troisième étape :**

Le centre du bassin saharien subissait un lent mouvement de descente, tandis que les vallées des Oued Rhir et Igbergher, sous l'apport intense fluvio-éolien se comblent et se transforment ainsi en nappes souterraines. Après, c'est les dunes de l'Erg oriental qui viennent recouvrir les zones de l'Oued Igbergher et l'Oued Rhir.

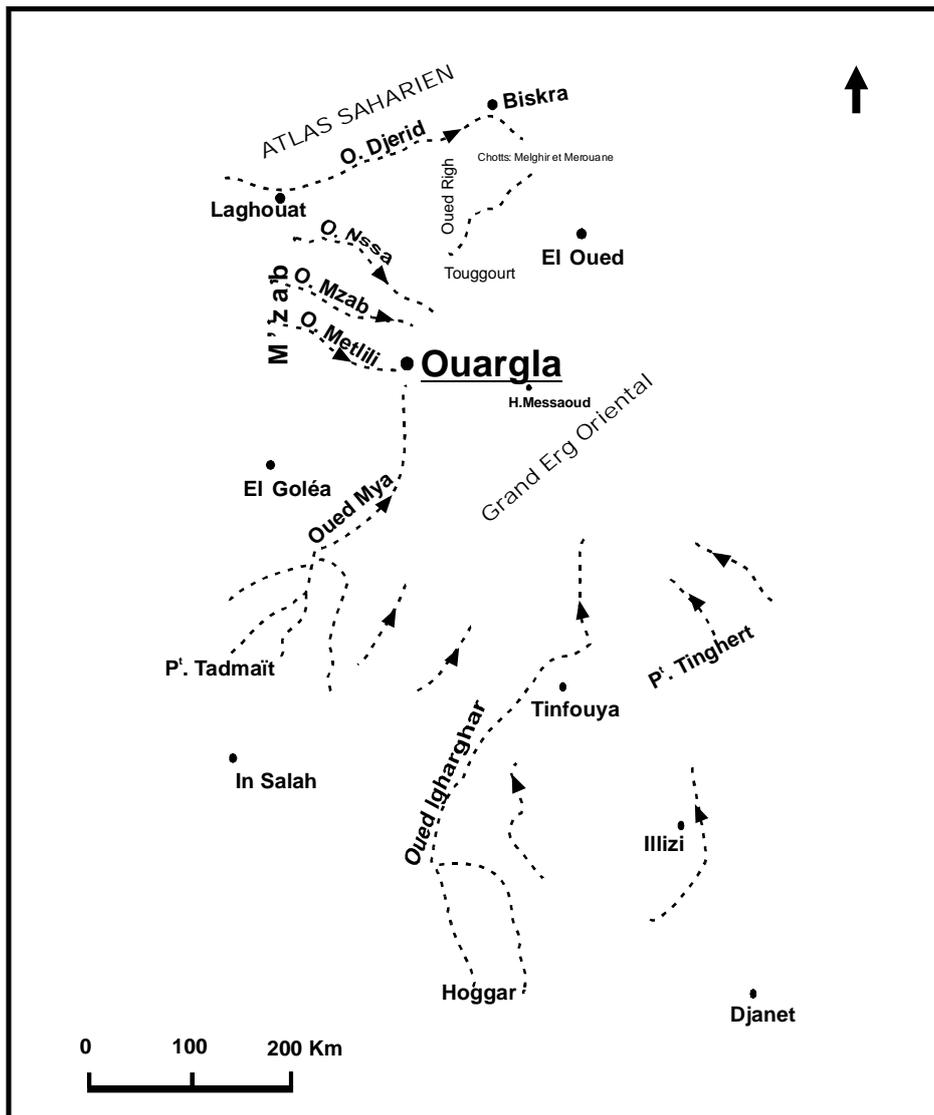


Figure 12: Réseau hydrographique du Sahara Septentrional (Dubief, 1963)

**II-5-Principaux aspects géomorphologiques de Ouargla:**

**II-5-1.Les plateaux:**

La région de Ouargla se trouve encaissée au fond d'une cuvette très large de la basse

vallée de l'oued Mya (fig.13). Cette dernière est mise en évidence par une dissymétrie marquée par la présence d'une falaise gréseuse occidentale (le baten) particulièrement nette et continue, avec une pente très abrupte, tandis que la limite orientale est imprécise.

A l'Ouest, un plateau calcaireux de la Hamada Pliocène, surplombe la cuvette à environ 230 mètres d'altitude, s'abaisse légèrement d'ouest en est, il est fortement érodé, laissant dans le paysage une série de buttes témoins appelées localement "Gours" (pluriel de Gara).

A l'Est, on constate un plateau avec une altitude ne dépassant pas les 160 mètres et les limites ne sont pas nettes. Les rebords de ce plateau disparaissent souvent sous les sables des Ergs: Etouil, Boukhezana et El Arfdji.

Au Sud, un massif dunaire recouvre les ruines de Sedrata; Son altitude dépasse 155 mètres et domine de 20 mètres le point le plus bas de la vallée qui à cette altitude se trouve au pied du baten occidental.

Au Nord, la vallée reprend une direction SSO-NNE. La Sebket Sefioune occupe le centre, tandis que ses rives sont recouvertes par les massifs dunaires (Rouvillois-Brigol, 1975 ; ANAT, 1995, Hamdi-Aïssa, 2001)

### **II-5-2.Les glacis:**

Sur le versant Ouest de Ouargla s'étagent des glacis caractéristiques, du plus ancien au plus récent, d'Ouest en Est sur quatre niveaux de 200 à 140 mètres. Les glacis de 180 et de 160m très visibles se caractérisent par l'affleurement du substrat gréseux du Mio-Pliocène. La pente de ce substrat est faible, est souvent recouverte de sables et de graviers.

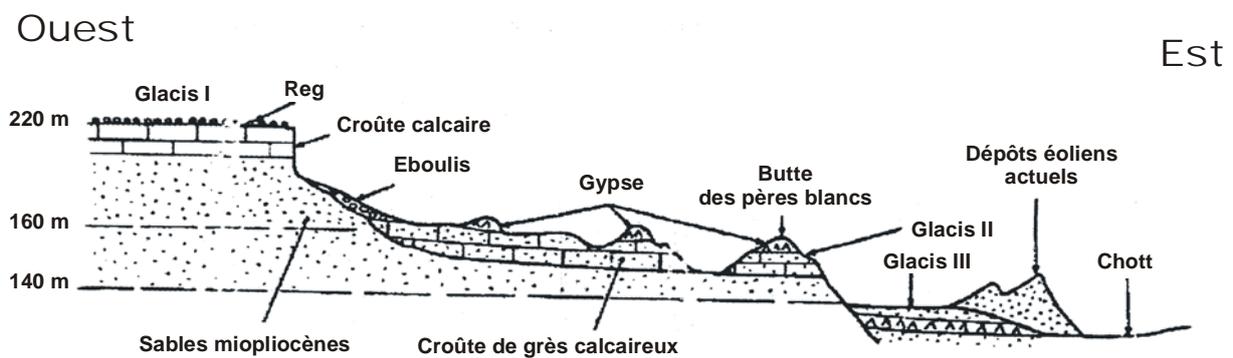
L'Est de Ouargla est un vaste glacis alluvial, de 150 mètres d'altitude à sable grossier (Hamdi Aïssa, 2000)

### **II-5-3.Les chotts et sebkhas:**

Les formations Quaternaires occupent généralement les points bas des grands bassins sédimentaires et forment des zones appelées en terme arabe "sebkhas" et "chotts". Une sebkha

désigne un bas fond fermé et stérilisé par l'accumulation des sels, tandis que un chott, est une zone plus étendue entourant une sebkha. Ce sont donc des surfaces d'évaporation et d'exutoire dans lesquelles aboutissent des cours d'eau.

Le niveau le plus bas de la vallées de l'Oued Mya est un très vaste glacis, il constitue un chott dans lequel s'encaisse l'immense sebkha de Ouargla en forme de croissant qui entoure la ville. C'est sur le chott que sont implantées les principales oasis de Ouargla.



---

Figure 13: Coupe géomorphologique schématique de la Vallée de l'Oued Mya d'après Lelièvre (1969).

## Conclusion

Notre zone d'étude fait partie du grand bassin sédimentaire du Sahara septentrional, qui présente une tectonique relativement stable et moins prononcée. Elle est creusée dans un dépôt détritique de terrains tertiaires (miopliocènes) et quaternaires de la basse Vallée de l'Oued Mya, dans lequel les sables dominent avec alternance des argiles, des calcaires et du gypse.



---

## Introduction

Le bassin du Sahara septentrional (fig.14) constitue un grand bassin hydrogéologique de 780 000 Km<sup>2</sup> qui se prolonge en Tunisie et en Libye, d'une épaisseur de 4000 à 5000 mètres environ. Deux sous-bassins hydrogéologiques ont été individualisés :

\*sous-bassin occidental de 280 000 Km<sup>2</sup>, drainé vers le Sud et recouvrant partiellement Grand Erg Occidental ;

\*sous-bassin oriental, le plus étendu avec 500 000 Km<sup>2</sup>, drainé vers le Nord-Est (dépression des grands chotts), et occupé en grande partie par le Grand Erg Oriental.

### III-1. Les systèmes aquifères du bassin

On distingue deux systèmes principaux : le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT) (Cf. fig.11).

#### III-1-1. Le Continental Intercalaire

Dans cet immense bassin sédimentaire du Sahara septentrional, s'est développé la nappe du Continental Intercalaire dans des formations sableuses et argilo-gréseuse du Barremien et de l'Albien (Cornet, 1964 ; Cornet & Gouscov, 1952 ). C'est l'un des aquifères les plus étendus de la planète. Il s'étend sur plus de 600 000 Km<sup>2</sup>, dont l'une des particularité est de constituer une ressource en eau souterraine fossile, puisque très peu alimenté avec les conditions climatiques actuelles (UNESCO, 1972).. Ce type d'apport ne se produit que certaines années exceptionnellement humides et concerne uniquement les zones d'affleurement du réservoir. André Cornet (1961) estimait l'alimentation de la nappe du C.I. à 25m<sup>3</sup>/s, et sur la base d'informations complémentaires, elle est évaluée 15 m<sup>3</sup>/s en 1963. Enfin 8.5 m<sup>3</sup>/s en 1990, contre des sorties de l'ordre de 23 m<sup>3</sup>/s (UNESCO, 1972 ; Dubost, 1992).

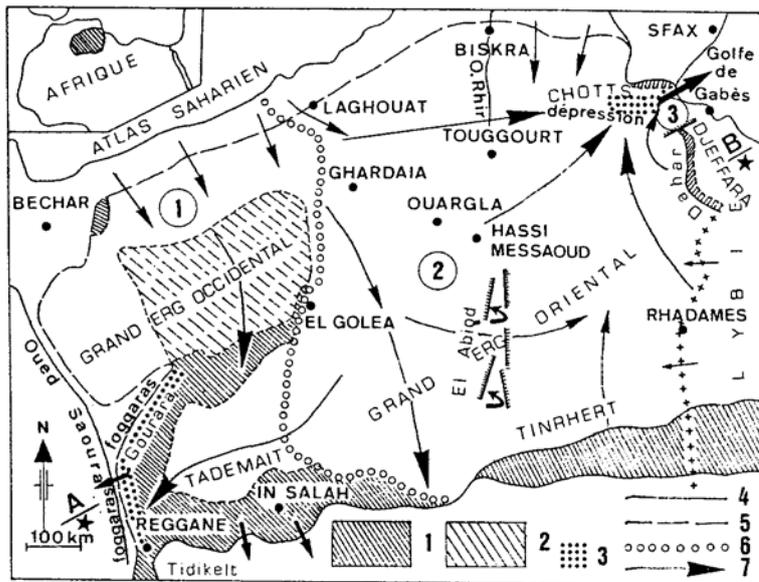
D'après : Cornet (1964) ; l'étude ERESS de l' UNESCO (1972) ; Margat (1990 et 1992) ; les travaux de l'étude du BRL-BNEDER (1999) : Quelques failles (Cf. fig.11) importantes affectent le réservoir, il s'agit des accidents méridiens de la dorsale d'Amguid-El Biod qui se prolonge jusqu'à Rhourd-El Baguel. Ces accidents à forts rejets découpent et compartimentent peut être localement le réservoir principal dans la direction est-ouest, mais il reste de toute façon connecté au réservoir principal vers le Nord.

La carte des conditions aux limites, établie en 1970 pour les besoins de l'étude ERESS de l'UNESCO (1972), montre que :

\*Les eaux en provenance du Nord-Ouest (piedmonts de l'Atlas), alimentent le sous bassin du Grand Erg Occidental, et s'écoulent vers les foggaras du Touat-Gourara et du Tidikelt : seules sorties visibles naturelles.

\*Au Nord-Est, le sous bassin du Bas-Sahara est alimenté également par les piedmonts de l'Atlas, et qui a comme exutoire le chott Fedjej et la plaine côtière de Gabès en Tunisie. La nappe côtière de Gabès constitue l'exutoire de la majeure partie de la nappe du C.I. par l'intermédiaire de la faille de Mednine (ou El Hamma). Le chott Fdjej qui entaille un anticlinal crétacé inférieur est pour partie alimenté par ascensum par la nappe du C.I.

\*Les eaux en provenance du plateau du Tinrhert-Grand Erg Oriental, dans le Sud-Ouest, s'écoulent vers le Nord-Est vers l'exutoire tunisien.



1-affleurement du CI ; 2- affleurement du CI sous les sables du Erg Occidental (alimentation par drainance ascendante) ; 3-zones d'émergence des foggaras; 4-limite du bassin hydrologique; 5-limite du bassin hydrologique; 6-ligne de partage des eaux souterraines; 7- grands axes de l'écoulement souterrain; AB, trace de la coupe fig.11.

Figure 14: Bassin hydrogéologique du Sahara Septentrional et cadre général de la nappe du CI (UNESCO, 1972)

---

### III-1-2. Le Complexe Terminal

Bel et Dermagne (1966), regroupent sous le terme du Continental Terminal, toute la série allant du Cénomaniens au Mio-Pliocène. Et les aquifères contenues dans les formations perméables, sont groupés sous le nom de « nappe du Complexe Terminal » (cf. fig.11) ; un terme qui est utilisé pour désigner une unité hydrogéologique.

Dans le bassin occidental, entre le M'zab et la Saoura, à l'exception de la zone située immédiatement au sud de la flexure saharine, on constate que la nappe du Complexe Terminal est en liaison étroite avec la nappe du Continental Intercalaire par l'absence de formations intermédiaire entre les sables de cette dernière et les sables du Mio-Pliocène.

Dans le Sud-ouest, sous le plateau du Tadmaït, cette nappe est peu importante et même parfois absente.

Dans le bassin oriental, la nappe s'étale sur près de 350 000 Km<sup>2</sup>, et limitée à l'Ouest par la dorsale du M'zab, au nord par l'accident majeur de l'Atlas saharien, à l'est par le Dahar, au sud par la ligne passant au nord de l'axe de In Salah-Zarzaïtine sous l'Erg Oriental. Elle présente un intérêt majeur comme formation aquifère indépendante ; car la communication des eaux de ladite nappe entre le bassin oriental et le bassin occidental paraît peu importante (UNESCO, 1972).

Le Turonien, le Sénonien, l'Eocène et le Mio-Pliocène sont avec le Quaternaire les dernières formations déposées au Bas-Sahara. Elles couvrent la majeure partie du territoire saharien septentrional. Elles sont caractérisées par l'absence de déformations tectoniques importantes, et les surfaces qui les limitent sont quasi horizontales ou ont de très grands rayons de courbure. Selon (Cornet, 1964 ; UNESCO, 1972), elles abritent trois aquifères à importance variable:

#### III-1-2-1.L'aquifère du Turonien

Le Turonien calcaire-dolomitique peut être considéré comme aquifère étendue. Il devient imperméable dans l'extrême nord du Sahara oriental, où il est très marneux. Sa faible potentialité et sa forte minéralisation (eau salée) ne lui confèrent guère une nappe exploitable.

---

**III-1-2-2.L'aquifère du Sénonien et de l'Eocène carbonatés :**

Le Sénonien et l'Eocène carbonatés forment un seul et même ensemble lithostratigraphique, de nature calcaire, dont l'épaisseur varie de 50 à 250 mètres. Cet ensemble constitue un aquifère de faible perméabilité à l'échelle du bassin oriental du Sahara. Localement, comme à Biskra et à Ouargla et dans d'autres points du Sahara, la fissuration secondaire confère à cet ensemble des propriétés hydrogéologiques intéressantes.

**III-1-2-3.L'aquifère du Mio-Pliocène :**

Le Mio-Pliocène est une formation globalement aquifère, exploitée un peu partout dans le Sahara septentrional, d'une épaisseur qui augmente de 50 à 100 mètres dans la direction Sud-Ouest / Nord-Est.

La partie supérieure de cet aquifère est difficile à schématiser, suite au changement rapide du faciès ; plus argileux à l'intérieur du bassin. C'est ainsi qu'au niveau de l'Oued Rhir Septentrional deux unités aquifères lenticulaires ont été reconnues et individualisées au Mio-Pliocène, suite au changement lithologique ; une première et une deuxième nappe, situées respectivement à 40 et 130 mètres de profondeur. Les niveaux argileux et la topographie, confèrent aux deux nappes un artésianisme dans le fond de la Vallée.

L'écoulement des eaux souterraines de la nappe du CT s'effectue vers les chotts du nord du Sahara Oriental : Melrhir & Merouane, en Algérie, Rharsa et Djerid en Tunisie. Alors que dans le bassin occidental les eaux de la nappe se mélangent avec celle du Continental Intercalaire

L'hypothèse d'une contribution de la nappe captive du Continental Intercalaire à alimenter les nappes sus-jacentes du C.T est admise, soit par drainance (ascensum) à travers son toit semi-perméable, soit par contournement et relais successif des eaux en bordure du bassin (Gouscov, 1952) .

**III-3.Les aquifères utiles de la région de Ouargla :**

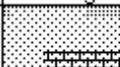
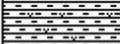
Trois aquifères existent dans le sous-sol de la région de Ouargla, de bas en haut nous avons (tab.2) :

\*Les grès et argiles sableuses du CI avec la nappe dite de l'Albien ;

\*Les calcaires avec la nappe du Sénono-Eocène carbonatés ;

\*L'ensemble détritique (sables et argiles) des formations continentales avec la nappe du Mio-Piocène ;

Tableau 2 : Récapitulatif des différentes nappes aquifères de la basse Vallée de l'Oued Mya

Chronostratigraphie	Unités hydrogéologiques		Prof	Lithostratigraphie	Lithologie	
Quaternaire	Nappe phréatique		20m	Mio-Pliocène		
Tertiaire	Nappe du Complexe Terminal	Nappe des sables	120m	Eocène évaporitique		
		Impermeable		Eocène carbonaté		
		Nappe des calcaires (Sénono-Eocène)	520m	Sénonien carbonaté		
Secondaire	Crétacé	Impermeable	700m	Sénonien lagunaire		
		Nappe du turonien	1100m	Turonien		
		Impermeable		Cénomaniens		
		Nappe du Continental Intercalaire	Nappe de l'Albien	2000m	Vraconien	
					Albien	
Aptien						
Barrémien						

### III-3-1.La nappe de l'Albien :

Elle est située à une profondeur de 1100 à 1400 mètres, avec une épaisseur utile près de 640 mètres, et constituée de grès fins, gris, à ciment argileux, parfois dolomitiques, avec intercalation de marnes dolomitiques et argiles sableuses. La nappe est jaillissante et exploitée par des forages destinés à l'A.E.P.

L'exploitation de la nappe à Ouargla remonte à l'année 1960 avec des forages de reconnaissances, et depuis les prélèvements sont en multiplication (fig.15) le premier forage d'exploitation est creusé à El Hadeb à l'Est de la région, à une profondeur de 1343 mètres et une température de 51 °C, avec un débit aux essais: 330 l/s.

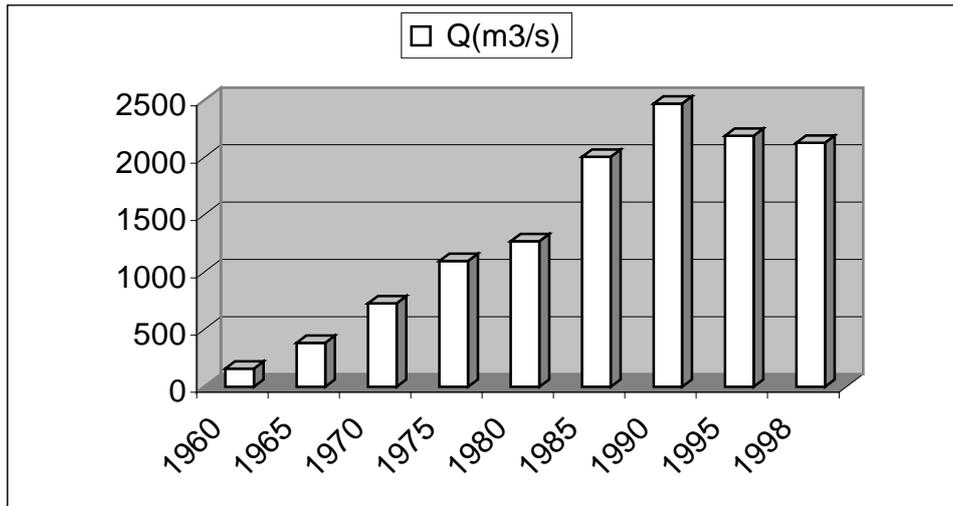


Figure 15: Historique des prélèvements du CI à Ouargla, d'après l'étude du BRL-BNEDER, (1999)

### III-3-2. La nappe du Sénono-Eocène (nappe des calcaires):

La nappe se situe à une profondeur de 120 mètres en moyenne. Elle est formée de calcaires poreux à silex très coquilliers, gris jaunâtre, à intercalation de marnes blanches et dolomitiques. Les eaux de la nappe sont exploitées essentiellement pour l'A.E.P.

### III-3-3. La nappe du Mio-Pliocène (nappe des sables) :

A une profondeur allant du 20 jusqu'à 60 mètres, la nappe est constituée de sables fins à grossiers graveleux, à intercalation de calcaires blancs tendres et marnes sableuses, d'argiles sableuses roses et passées de grès et de gypses.

L'exploitation de cette nappe à eau relativement chargée, remonte à une époque lointaine, par des puits traditionnels. Actuellement, plusieurs centaines de forages creusés sont exploités pour l'irrigation des palmeraies et des cultures sous-jacentes.

### III-4. La nappe phréatique:

Les sables de surface du Quaternaires renferment la nappe *Phréatique* de l'Oued Mya. La nappe est présente partout à l'échelle de la région à des profondeurs très rapprochées de la surface du sol. Sa frange capillaire affleure souvent sur la surface du sol sous forme de petits chotts qu'on trouve de part et d'autre de la ville de Ouargla. Les eaux de rejet urbaines et agricoles

(palmeraies) maintiennent des niveaux piézométriques très élevées par rapport à la morphologie du terrain (remontée de la nappe), et entraînent la déstabilisation des structures urbaines et entravent le développement agricole de la région.

### III-4-1. Lithologie de la nappe

La lithologie de la nappe (fig.16) a été mise en évidence par des sondages (piézomètres) (fig.17) (tab.1. en annexes) réalisés par l'ENAGEO (1990), de profondeur allant de 6 à 10 mètres. Au Sud de Ouargla la nappe est constituée de sable fin à moyen argileux, rarement grossier, et plus vers le Nord (N'goussa et Sebkhet Sefiounes) les sables sont riches en gypse, qui devient dominant à Sebkhet Sefiounes.

En outre, on note la continuité lithologique qui existe entre les sables miopliocènes sous-jacent et les sables du quaternaire ce qui suggère que les deux formations constituent pratiquement le même aquifère.

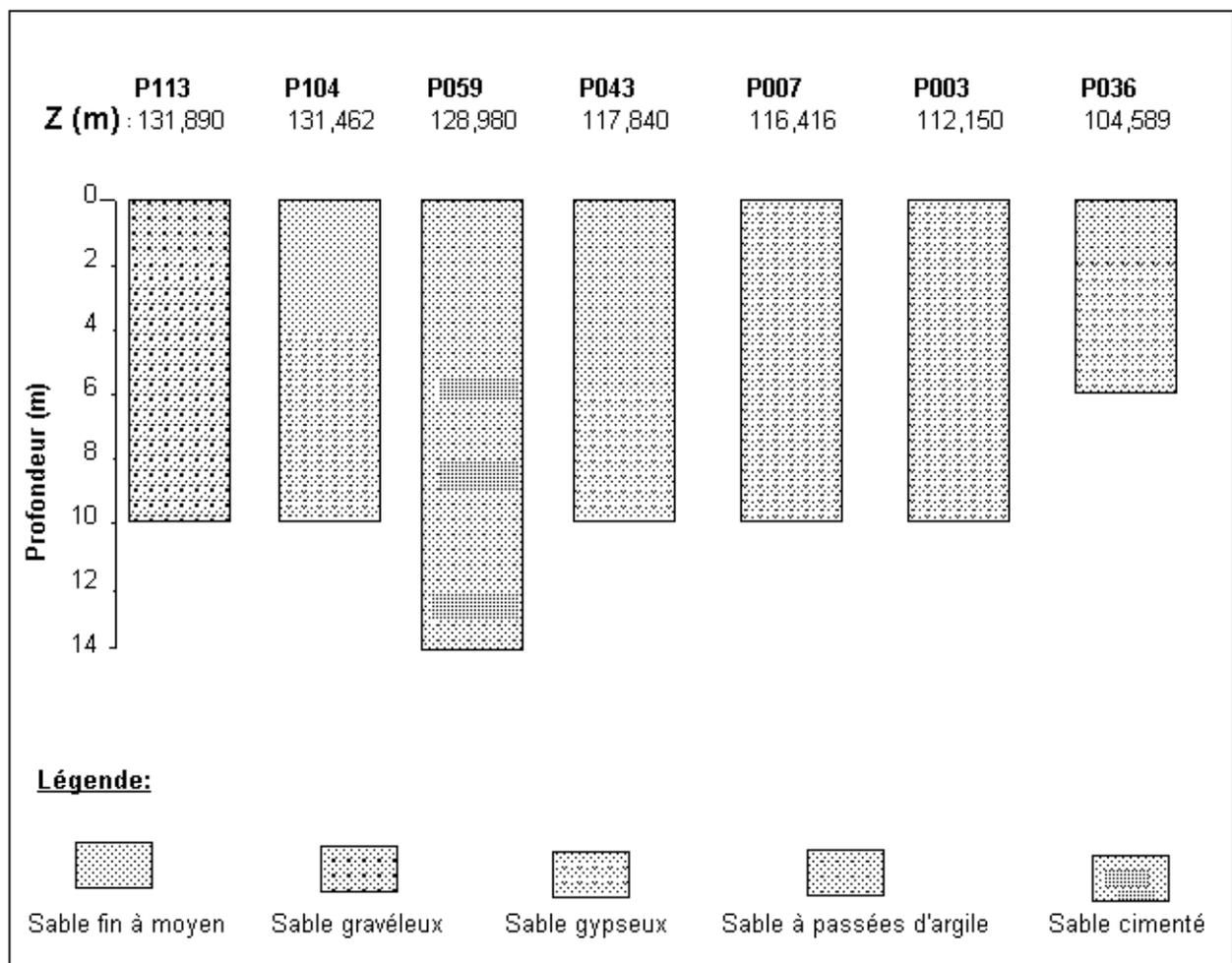


Figure 16 : Log géologiques de piézomètres au Quaternaire dans la Vallée de l' Oued Mya d'après l'ENAGEO (1990)



### III-4-1. Essais par pompage

D'après les essais par pompages effectués par le bureau d'étude Suisse B&G ; chargé de l'étude de l'assainissement des eaux de la vallée de Ouargla, sur des puits (fig1. en annexes) dans la nappe phréatique de la basse Vallée de Ouargla, les valeurs de transmissivités obtenues (tab. 3) par la méthode de Theis sont homogènes sur chaque puits d'essai. Les valeurs sont semblables dans le puits et dans les piézomètres, que ce soit en pompage ou après l'arrêt de celui-ci (remontée).

Des transmissivités élevées proches de  $1 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$  ont été observées sur deux stations d'essais complètes, comprenant un puits de pompage peu profond servant usuellement à l'irrigation et trois piézomètres. Il s'agit du P426 à Bamendil où la valeur de T est égale à  $1.86 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$  ( la plus élevée) et du P402, à Aïn Moussa où une transmissivité de  $9.37 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  à été calculée.

Les faibles transmissivités, proches de  $3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ , sont plus largement réparties.

\* Au Sud de Ouargla (P413), une transmissivité de  $T = 3.19 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$  à été calculée dans un puits de la plantation de Gara Krima (H.Berahla).

\*En ville de Ouargla, la transmissivité est de  $1.4 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$  au P428, et à moins d'un kilomètre elle est de  $9.09 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$  et  $2.63 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ , respectivement au P427 et P434.

\*Au Nord de Ouargla, la transmissivité est de  $5.85 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$  à Bour El Haïcha sur un puits creusé dans les formations sablo-graveleuses du Mio-Pliocène du flanc occidental de la Vallée (P408). Ce puits profond de 5.5 m exploite de petites venues d'eau alimentant une nappe libre.

\*Plus au Nord, à Aïn Mousa, la transmissivité est de  $3.29 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$  au P415 distant d'à peine plus d'un kilomètre du P402 ; où la transmissivité est près de trente fois plus élevée ( $9.37 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ ), ce qui dénote une forte hétérogénéité du remplissage de la Vallée.

Tableau 3 : Résultats des essais par pompage dans la nappe phréatique de la basse Vallée de l'Oued Mya obtenus par B&amp;G (2003)

Localités	Puits d'essai	avec/sans piézomètres	Q (m <sup>3</sup> /h)	K(m/s)	T(m <sup>2</sup> /s)	S(%)
H,Berahla	P413	sans	19,6	1,04*10E-4	3,19*10E-4	
Ville de Ouargla	P427	sans	8,2	5,78*10E-4	9,09*10E-4	
Ville de Ouargla	P434	sans	9,7	1,14*10E-4	2,63*10E10-4	
Ville de Ouargla	P428	avec	1,1	4,46*10E-5	1,46*10E-4	11
Bamendil	P426	avec	26,47	1,24*10E-2	18,6*10E-2	5,89
Bour El Haïcha	P408	sans	3,9	5,27*10E-4	5,85*10E-4	
Aïn Moussa	P402	avec	39,7	9,37*10E-3	9,37*10E-3	7,11
Aïn Moussa	P415	sans	20,22		3,29*10E-4	

**Q** : débit (constant) du pompage ; **K** : perméabilité du terrain aquifère ; **T** : transmissivité de l'aquifère  
**S** : coefficient d'emmagasinement (porosité efficace).

### **III-2. Piézométrie de la nappe phréatique:**

Les études de Lelièvre (1969), et de Nesson (1978), montrent d'une manière générale, comme d'ailleurs dans tout le bassin oriental du Bas-Sahara que le sens de l'écoulement des eaux de la nappe phréatique suit celui de la nappe du Complexe Terminal, c'est à dire que du Sud vers le Nord (axe Ouargla-Chott Melrhir).

Cependant, la carte piézométrique établie à l'échelle de Ouargla par l'ENAGEO (1990) (fig. 18) montre qu'il existe deux zones distinctes séparées par une ligne de partage des eaux au niveau Bor El-Haïcha ce qui se traduit par :

\*un écoulement principal vers le Nord (Sebkhet Sefioune)

\*des écoulements secondaires vers les Sebkhass d'autour de Ouargla.

Trente neuf (39) piézomètres ont fait l'objet de ce mémoire (Cf. fig.17), qui se trouvent concentrés dans et autour de la ville de Ouargla, et s'étendent en une ou deux lignes vers le Nord jusqu'à Sebkhet Sefioune selon l'axe de la Vallée de l'Oued Mya. Leur répartition permet d'avoir une bonne vision de la pente de la nappe selon l'axe de la vallée.

#### **III-2-1. Profondeur de l' eau (Février 2002)**

A l'aide d'une sonde électrique de profondeur d'investigation de 100m, nous avons effectué les mesures de la profondeur de l'eau, ou du niveau statique (NS) de la nappe phréatique de la zone d'étude.

Les observations faites par nos soins sur 34 ouvrages (tab.1 en annexe) pendant le mois de février 2002, montrent que sur la plupart des piézomètres, l'eau est à moins de 2m sous la surface du sol (fig.19). La profondeur s'étend sur une large plage de 0.48m jusqu'à 10.51 m. La région du Sud-Ouest présente une nappe relativement profonde : entre 6 et 10 m. Elle est à plus 8 m au piézomètre P121 à Hassi Berahla, alors que vers le Nord ; à Bor El-Haïcha, nous enregistrons une profondeur de 10.51 m au niveau du piézomètre P059 ; la nappe est donc profonde dans ce point d'eau, car l'ouvrage est implanté dans les formations sablo-graveleuses du Mio-Pliocène (nappe libre).

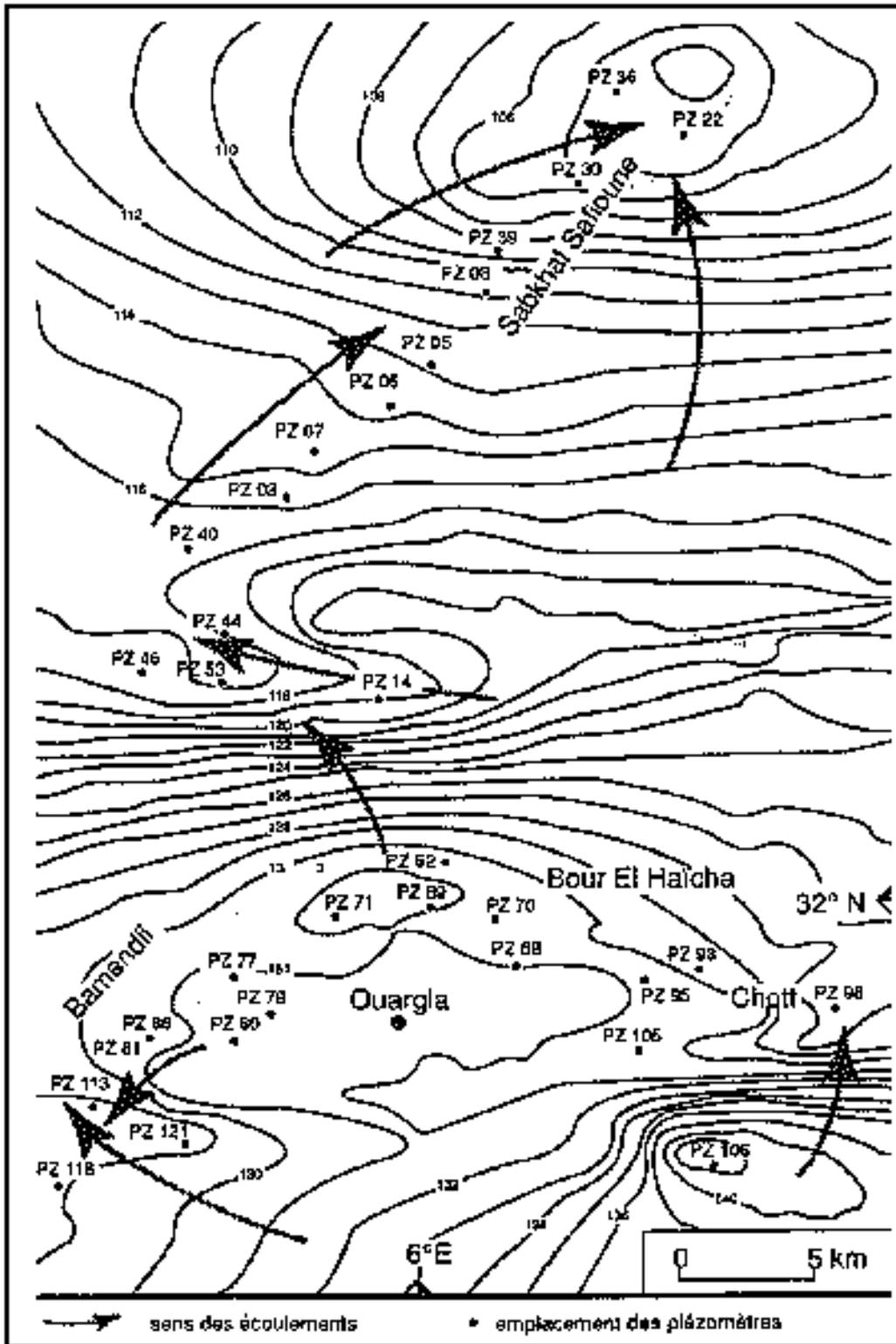
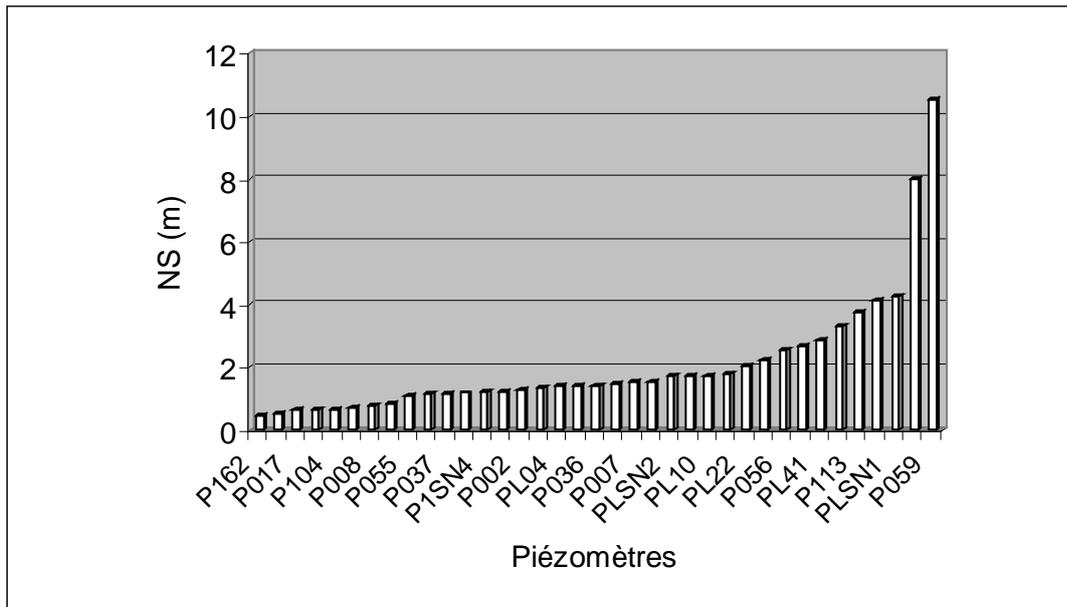


Figure 18 : Carte piézométrique de la nappe phréatique de basse Vallée de l'Oued Mya, d'après l'ENAGEO (1990)



Figure

19: Profondeur de l'eau (février 2002)

### III-2-2. Interprétation de la carte piézométrique (Février 2002):

Nos mesures et observations au niveaux des 34 ouvrages pendant le mois de Février 2002, montrent que le niveau piézométrique passe de 136 m d'environ au Sud à 100 mètres au Nord, suivant l'allongement de la vallée (tab.2 enannexe).

La carte piézométrique que nous avons établie à ce sujet (fig.20) montre quasiment les mêmes informations tirées des cartes antérieures :

\*Des écoulements secondaires s'orientent vers les sebkhas d'alentour de Ouargla (Aïne El Beïda, Oum Eraneb, et Bamendil), avec de gradients hydrauliques respectivement de l'ordre de 0.92 ‰ ( $I_1$ ), 0.53 ‰ ( $I_2$ ), et 0.85 ‰ ( $I_3$ );

\*Les eaux en provenance de Sebkhia Ou Erneb vers Bour El Haïcha, par un gradient hydraulique ( $I_4$ ) de 2 ‰ finiront dans une dépression piézométrique autour du piézomètre P059 ;

\*Le sens d'écoulement principal est vers le Nord de la région, obtient comme exutoire la Sebkhia de Sefioune avec un gradient hydraulique ( $I_5$ ) de l'ordre de 0.85 ‰ ;

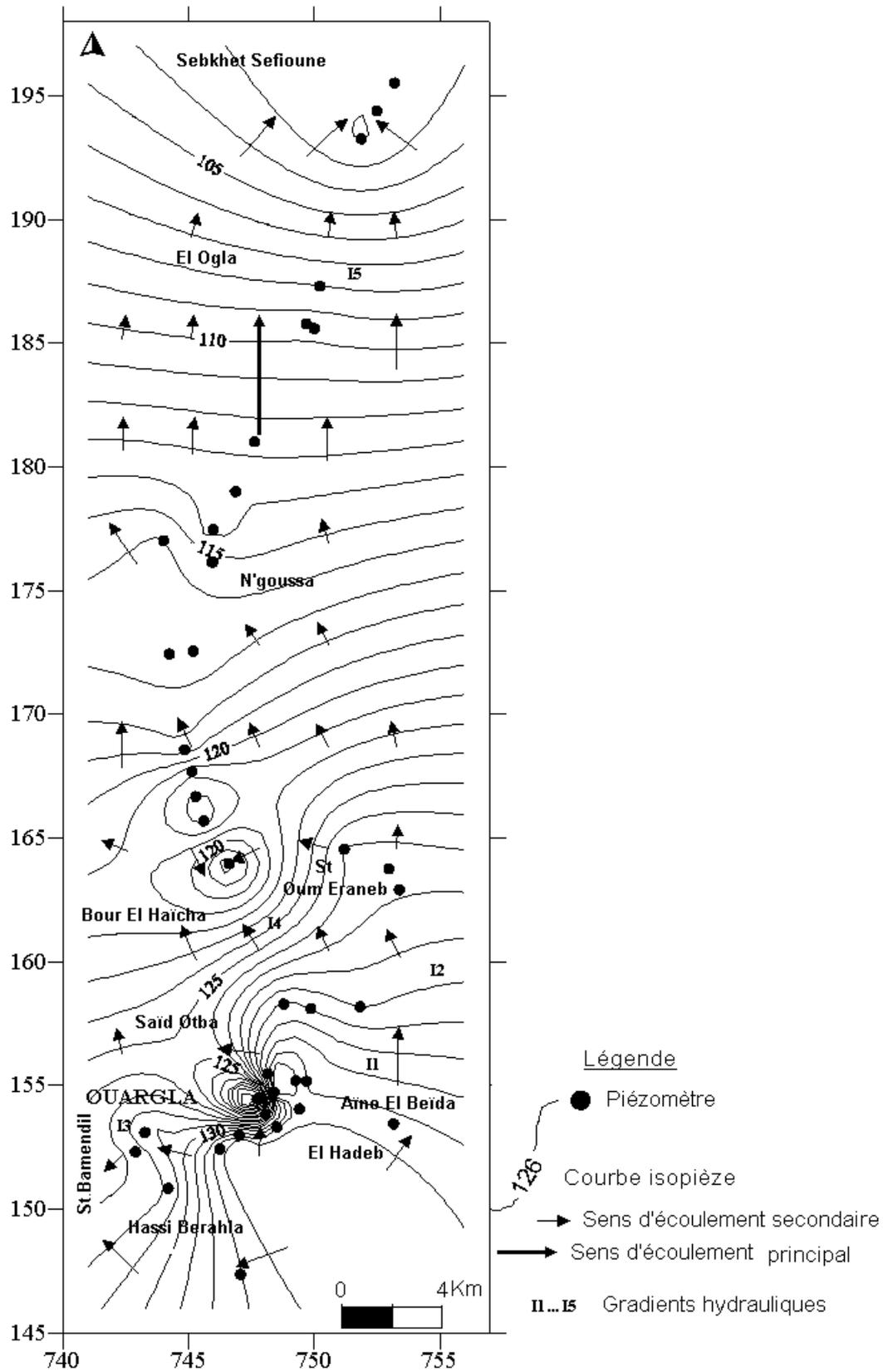


Figure 20 : Carte piézométrique de la nappe phréatique de la Vallée de l'Oued Mya (février 2002)

\*Un dôme piézométrique localisé au Sud-Ouest de N'goussa est sans doute le résultat d'une surcharge de la nappe par les eaux d'irrigation, ce qui fait paraître un axe de drainage au Sud-ouest de N'goussa, à partir du piézomètre P054, et qui tend à regagner le sens d'écoulement principal de la nappe à partir du P008, après avoir été interrompu au droit des piézomètres P043, P044, et P017, à cause de l'importance du gypse et les passées d'argile et probablement les lentilles argileuses (Cf. fig.16), car l'espacement des courbes isopièzes est très important dans cette région.

<sup>2</sup>\*Un dôme piézométrique au Sud-Est de Ouargla (El Hadeb), est également observée et qui serait due à la suralimentation de la nappe dans cette zone.

\*Une ligne de partage des eaux, localisée au niveau de Bour El Haïcha due à une percolation verticale des eaux des nappes profondes en charge (CT, CI).

### III-2-3. Mise en évidence de la ligne de partage des eaux :

L'apport des nappes profondes (drainance verticale) de la nappe du CI vers les aquifères superficiels a été soulevé et suspecté lors des études antérieures sur le Sahara Nord-Est Septentrional (UNESCO, 1972 ; Gofiantini et al, 1974 ; Guendouz, 1985).

En effet les données hydrochimiques et isotopiques (Cl<sup>-</sup>, O<sup>18</sup>, et H<sup>3</sup>), disponibles à ce sujet pour notre région d'étude, dévoilent que les eaux des nappes du CT, et la nappe phréatique sont similaires à ceux de la nappe du CI. Nous avons utilisé les résultats hydrochimiques et isotopiques obtenus par Guendouz et al (1992).

Sur des diagrammes semi-log (fig.21, fig.22) nous rapportons respectivement les teneurs en chlorures en fonction de la composition isotopique en oxygène<sup>18</sup> (O<sup>18</sup> : isotope stable) et les teneurs en chlorures en fonction de la composition isotopique en tritium (H<sup>3</sup> : isotope radioactif) des différentes nappes, nous révélons ainsi trois pôles :

**Pôle A :** Des eaux de nappes de CI (Albien) et CT (Sénonien, et Mio-Pliocène).

Les eaux de l'Albien, montrent des teneurs en  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$  entre -7.88 et -8.02 ‰ VS SMOW, alors que les eaux du Sénonien, et du Mio-Pliocène, montrent également des teneurs proches de ceux de l'albien, les valeurs varient entre -7.85, et -8.32 ‰ VS SMOW (fig.21).

Les eaux de l'ensemble des deux nappes montrent des teneurs en tritium très basses (fig.22) ce qui renseigne sur le caractère homogène et ancien de ces eaux.

Ce pôle comprend également des échantillons d'eau de la nappe phréatique ;

**Pôle B :** Eaux de nappe phréatique, très évaporées à de teneurs en oxygène 18 très enrichies : 3.12, 3.33, et 3.42 ‰ VS SMOW , et des teneurs en tritium élevées comprises entre 5.7 et 8.8 UT à causes de la recharge de la nappe par les pluies récentes de l'année 1990 ;

**Pôle C :** Eaux de nappe phréatique, très évaporées de teneurs en oxygène 18 et en tritium similaires à celles de la nappe profonde du CI.

Ces diagrammes de mélange montrent que l'apport de la nappe de CI vers les nappes qu'elles surmontent du CT et de la nappe phréatique, se produit dans les zones suivantes :

- La Ville de Ouargla et ses environs ;
- A Bour El Haïcha ;
- L'axe de l'Oued Mya.

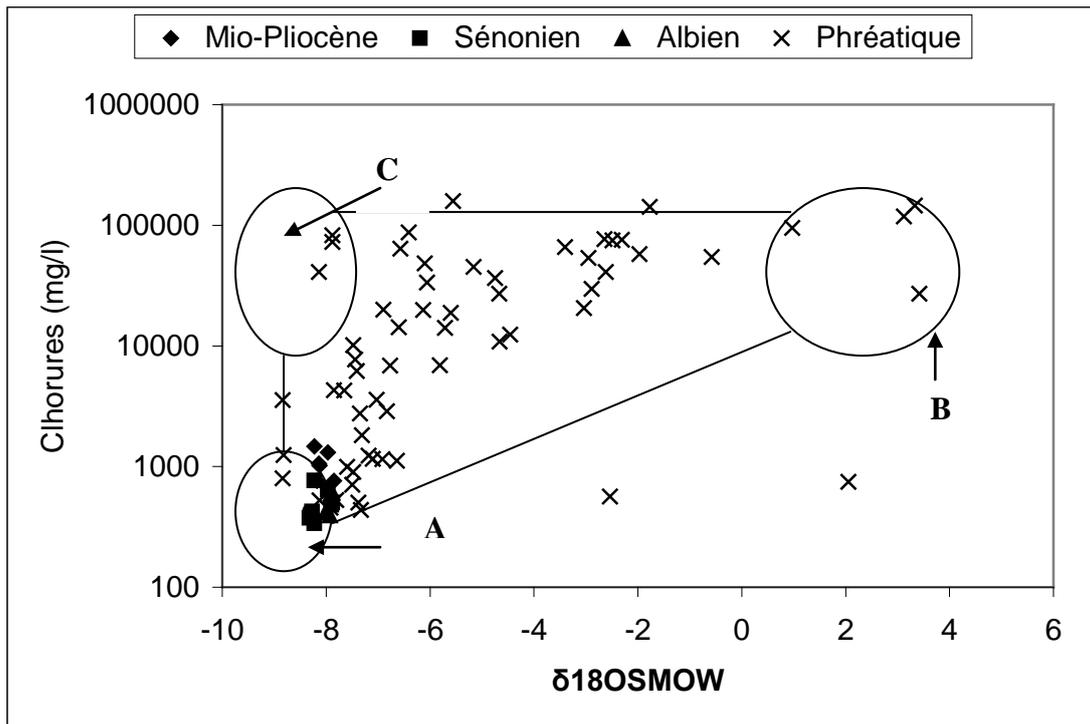


Figure 21: La relation Chlorures-oxygène18 dans les eaux des différentes nappes de la Vallée de l'Oued Mya (phréatique, CT, et CI)

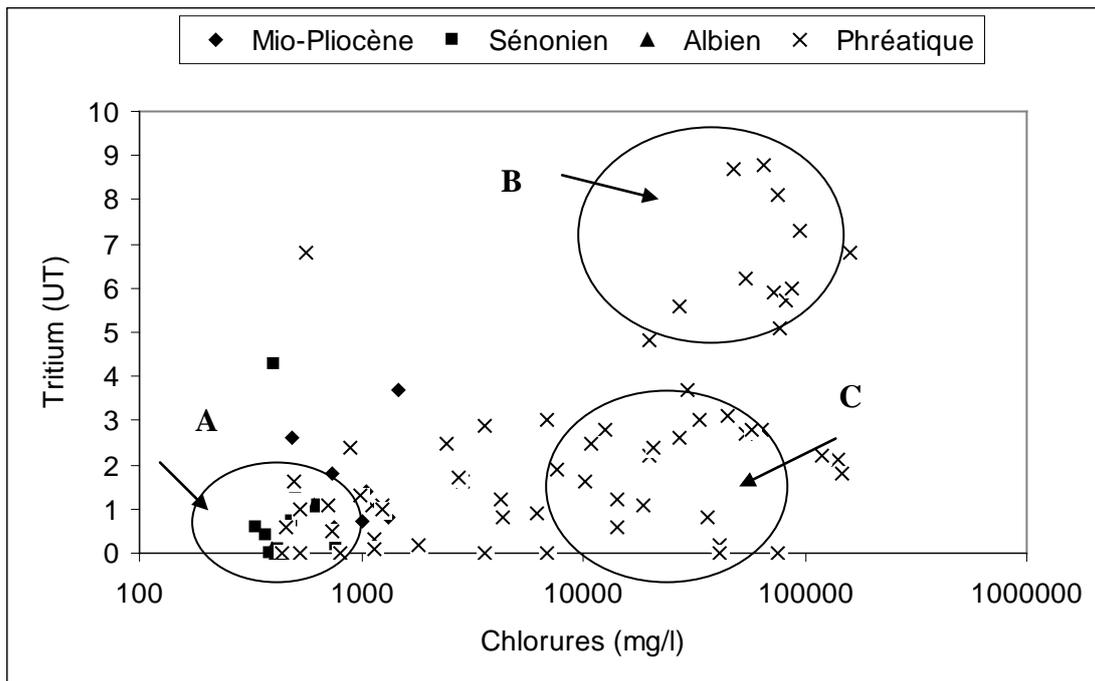


Figure 22 : La relation Tritium-chlorures dans les eaux des différentes nappes de la Vallée de l'Oued Mya (phréatique, CT, et CI)



## IV-1. Matériels et méthodes

### IV-1-1. Echantillonnage

Les échantillons destinés aux analyses physico-chimiques sont prélevés dans des flacons en plastique à partir des points d'eau pendant deux périodes (février et juin 2002) en ce qui concerne les piézomètres de la nappe phréatique, alors que pour les forages pendant le mois de février 2002. Ces flacons sont rincés à l'eau distillée et égouttés avant d'être rincés trois fois et remplis par l'eau à analyser.

### IV-1-2. Analyses physico-chimiques

Les différentes analyses des paramètres physico-chimiques des eaux de la nappe phréatique et les eaux de quelques forages des nappes profondes de la région d'étude ont été effectuées au laboratoire de l'ANRH.DRS de Ouargla.

#### IV-1-2-1. Le pH

La mesure a été effectuée par potentiométrie

**Appareil** : ph-mètre type 632 Swiss made ( METLOOHM)

**Réactifs**: Solution tampons; pH = 4, pH = 9

#### IV-1-2-2. La Conductivité Electrique (CE)

La mesure a été effectuée par un conductimètre

**Appareil**: Conductimètre type CO150 (HACH).

**Réactifs**: Solution de KCl à 0.02 N

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> à 0.02 N

#### IV-1-2-3. Les Carbonates (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) et les Bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

Les dosages ont été effectués par potentiométrie.

**Appareil** : ph-mètre type 632 Swiss made ( METLOOHM)

Appareil de titrage automatique

**Réactifs**: H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> à 0.02 N

**IV-1-2-4. La dureté totale TH ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ )**

La mesure a été effectuée par complexométrie, et par conséquent :  $\text{Mg}^{2+} = \text{TH} - \text{Ca}^{2+}$

**Réactifs:** Sel disodique de l'acide Ethylène Diamino Tétra Acétique (EDTA)

Noir d'iriochrome T (indicateur coloré)

Solution tampon pH = 10

**IV-1-2-5. Le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), le sodium ( $\text{Na}^+$ ) et le potassium ( $\text{K}^+$ )**

Ont été déterminés par spectrophotométrie de flamme.

**Appareil:** Un spectrophotomètre à flamme type 410 CORNING (à une longueur d'onde de 422,50 nm pour le Na, de 585,00 nm pour le SO et de 766,50 nm pour le K)

**Réactifs:** Solutions étalons de chaque élément

Les courbes d'étalonnage correspondantes au dosage de ces éléments sont représentées dans les figures : fig.2 fig.3 fig.4 en annexes.

**IV-1-2-6. Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) et les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ )**

Ont été déterminés par spectrométrie

**Appareil:** Un spectrophotomètre type DR2000 (HACH)

Longueur d'onde de 500 nm pour les nitrates ;

Longueur d'onde de 450nm pour les sulfates ;

**Réactifs:** En gélules: pour les nitrates: NitraVer 5

pour les nitrates: SulfaVer 4

**IV-1-2-7. Les chlorures ( $\text{Cl}^-$ )**

Ont été déterminés par colorimétrie

**Appareil:** Colorimètre type DR2000 (HACH)  
de longueur d'onde 455 nm

**Réactifs:** Solutions étalons

La courbe d'étalonnage correspondante au dosage de cet élément est représentée dans la figure fig.5 en annexes.

#### **IV-1-2-8. Le fluor (F<sup>-</sup>)**

A été déterminé par spectrométrie

**Appareil:** Un fluorimètre type (HACH)

Longueur d'onde de 580nm pour les fluorures.

En solution: pour les fluorures: Spands Regent

## **IV-2. Caractéristiques hydrochimiques des eaux de la nappe phréatique de la vallée de l'Oued Mya**

### **Introduction :**

La composition chimique d'une eau joue un rôle important dans la détermination des possibilités de son utilisation pour l'AEP, l'irrigation et d'autres usages. La nappe superficielle de la basse vallée de l'Oued Mya (Ouargla) est caractérisée par une salinité excessive et une fluoruration au-dessus des normes, associés à une dureté permanente. Cette pollution est supposée liée à l'interférence des phénomènes : naturels et anthropiques.

Par le biais du présent travail, nous cherchons à mettre en évidence l'importance de cette pollution et son mode d'acquisition dans les eaux de la nappe de la Vallée.

### **IV-2-1. Analyse statistique des données physico-chimiques des eaux de la nappe**

Pour l'analyse statistique de nos données physico-chimiques (tab.3 et tab.4 en annexes) en vue de mettre en évidence les liens entre deux ou plusieurs paramètres physicochimiques (les familles géochimiques) nous avons traité nos données par la méthode de classification ascendante hiérarchique *CAH*.

### **IV-2-2. Principe de la méthode**

La méthode de classification ascendante hiérarchique (CAH) choisie pour notre cas est celle de Ward ; une méthode reposant sur un critère d'optimisation assez naturel. Selon Gilbert Saporta, (1990), elle constitue la meilleure méthode de classification hiérarchique sur données euclidiennes. Elle consiste à classer ("**n**" variables, "**p**" observations); telle que chaque observation comporte **n** variables mesurables. Les éléments à classer sont des vecteurs, et l'ensemble qu'ils constituent est muni d'une distance euclidienne : on peut alors construire une matrice des distances entre les variables et les observations. On définit ensuite un critère d'affectation ou d'"inertie" de regroupement de ces vecteurs, c'est à dire une règle de calcul des distances entre les groupements disjoints de variables ou observations. Les deux groupements dont la distance est la plus faible (selon ce critère) se réunissent alors, et on itère le processus jusqu'à regroupement complet de classes. On peut représenter la classification ascendante hiérarchique par un arbre, appelé dendrogramme ou arbre de classification (fig.23, fig.24, fig.25).

### IV-2-3. Classification ascendante hiérarchique (CAH):

#### Février 2002

L'analyse du dendrogramme des variables (fig.23), permet de distinguer deux familles bien corrélables (tab.4), clairement relationnelles par leur nature évaporitique et carbonatée.

Le premier groupe est formé par les variables :  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ , le deuxième est formé par les variables :  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , et  $\text{Ca}^{2+}$ , emboîtées sous la conductivité.

Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), paraissent déviés par rapport aux autres ions (ne présentent pas de corrélations significatives).

Les fluorures ( $\text{F}^-$ ), sont aussi écartés de l'ensemble des ions, mais présentent des corrélations significatives avec le magnésium les bicarbonates, le calcium et les chlorures.

Tableau 4: Matrice de corrélation entre les éléments physicochimiques (février 2002)

	F	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	CE
F	1									
Ca	<b>0.40</b>	1								
Mg	<b>0.51</b>	<b>0.59</b>	1							
Na	0.25	<b>0.74</b>	<b>0.69</b>	1						
K	0.10	<b>0.48</b>	<b>0.52</b>	<b>0.74</b>	1					
Cl	<b>0.38</b>	<b>0.70</b>	<b>0.85</b>	<b>0.94</b>	<b>0.65</b>	1				
SO4	0.11	<b>0.55</b>	<b>0.47</b>	<b>0.65</b>	<b>0.74</b>	<b>0.55</b>	1			
HCO3	<b>0.41</b>	<b>0.60</b>	<b>0.78</b>	<b>0.82</b>	<b>0.77</b>	<b>0.85</b>	<b>0.70</b>	1		
NO3	0.21	-0.17	0.05	0.01	0.02	0.04	0.14	0.22	1	
CE	0.13	<b>0.50</b>	<b>0.69</b>	<b>0.78</b>	<b>0.60</b>	<b>0.85</b>	<b>0.48</b>	<b>0.64</b>	0.03	1

\* La matrice des données comporte 10 variables et 37 individus.

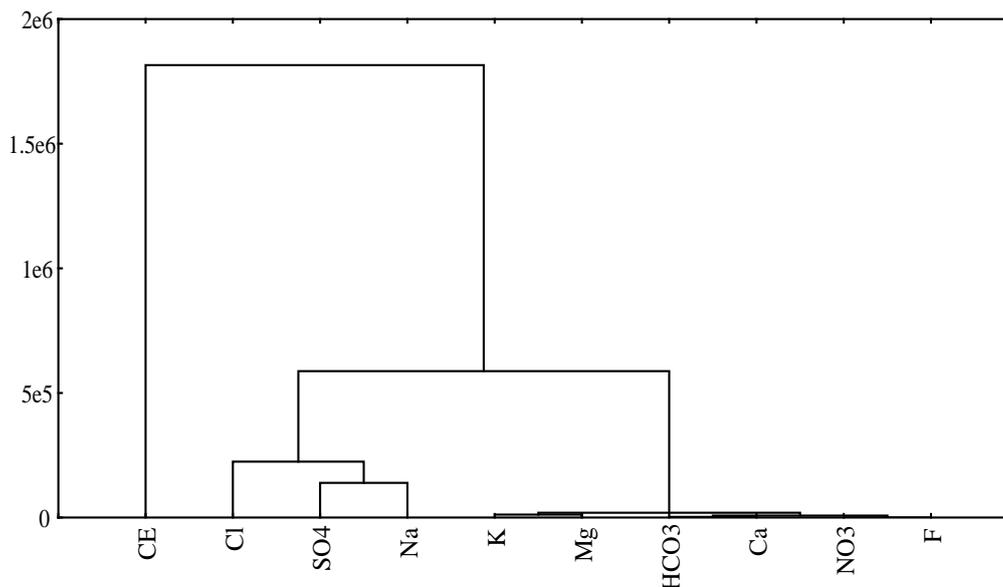


Figure 23: Dendrogramme des paramètres physicochimiques des eaux de la nappe phréatique (février 2002)

### Juin 2002

L'analyse du dendrogramme (fig.24), permet de distinguer également deux familles bien corrélables (tab.5), famille des évaporites et des carbonates. Le premier groupe est formé par les variables : CE et Cl, le deuxième est formé par les variables : SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, et Ca<sup>2+</sup>.

Le deuxième groupe peut être divisé en deux sous groupes, un sous groupe des évaporites : formé par SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, et Na<sup>+</sup>, et l'autre sous groupe comprend le reste des variables (les carbonates).

Les nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), demeurent déviés par rapport aux autres éléments. Quand aux fluorures (F), elles sont également déviées de l'ensemble, et présentent des corrélations très importantes cette fois-ci avec les chlorures (0.75), et d'un degré moindre avec le magnésium.

Tableau 5: Matrice de corrélation entre les éléments physicochimiques (juin 2002)

	F	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	CE
F	1									
Ca	0.18	1								
Mg	<b>0.46</b>	<b>0.59</b>	1							
Na	0.14	<b>0.95</b>	<b>0.65</b>	1						
K	0.23	<b>0.92</b>	<b>0.76</b>	<b>0.96</b>	1					
Cl	<b>0.75</b>	<b>0.48</b>	<b>0.44</b>	<b>0.51</b>	<b>0.50</b>	1				
SO4	0.08	<b>0.84</b>	<b>0.56</b>	<b>0.87</b>	<b>0.81</b>	<b>0.41</b>	1			
HCO3	0.19	<b>0.94</b>	<b>0.62</b>	<b>0.93</b>	<b>0.91</b>	<b>0.47</b>	<b>0.87</b>	1		
NO3	0.04	0.13	0.23	0.07	0.11	-0.07	0.23	0.05	1	
CE	0.17	<b>0.93</b>	<b>0.68</b>	<b>1.00</b>	<b>0.97</b>	<b>0.54</b>	<b>0.83</b>	<b>0.91</b>	0.05	1

\* La matrice des données comporte 10 variables et 36 individus.

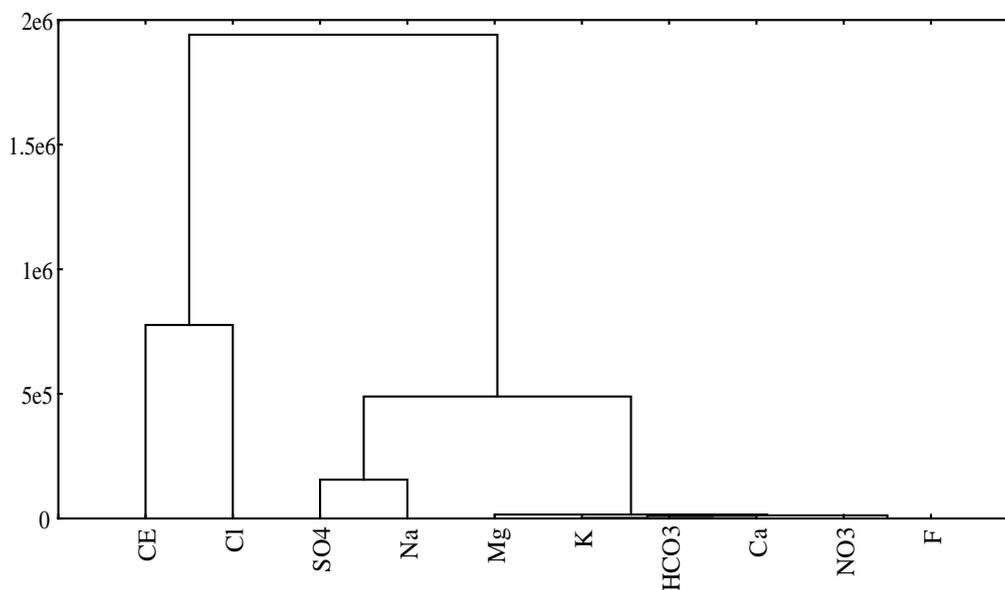


Figure 24: Dendrogramme des paramètres physicochimiques des eaux de la nappe phréatique (juin 2002)

**Février - juin 2002**

L'analyse du dendrogramme global des variables (fig.25), révèle également les mêmes conclusions tirées des deux dendrogrammes précédents: deux familles bien corrélées (tab.6), de nature évaporitique et carbonatée. Le premier groupe est formé par les variables : CE et Cl<sup>-</sup>, le deuxième est formé par les variables: SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, et Ca<sup>2+</sup>.

Les fluorures (F<sup>-</sup>), demeurent relationnels avec les chlorures, le magnésium, et les bicarbonates.

Quant aux observations, nous distinguons les familles suivantes:

**F1:** Famille des eaux fortement minéralisées:

\* Sous-famille des points d'eau de conductivités extrêmes (CE > 60 000 μS/cm) ;

\*Sous-famille des points d'eau de conductivités (CE) supérieures à 30 000 μS/cm, riches chlorures ( $420 < rCl^- < 700$  meq/l) ;

**F2:** Famille des points d'eau riches en sulfates et en sodium ;

**F3:** Famille des points d'eaux riches en magnésium.

Tableau 6: Matrice globale de corrélation entre les éléments physicochimiques (fév/juin 2002)

	F	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	CE
F	1									
Ca	<b>0.25</b>	1								
Mg	<b>0.49</b>	<b>0.55</b>	1							
Na	0.18	<b>0.88</b>	<b>0.64</b>	1						
K	0.13	<b>0.54</b>	<b>0.57</b>	<b>0.70</b>	1					
Cl	<b>0.53</b>	<b>0.52</b>	<b>0.48</b>	<b>0.58</b>	<b>0.38</b>	1				
SO4	0.09	<b>0.74</b>	<b>0.50</b>	<b>0.79</b>	<b>0.67</b>	<b>0.42</b>	1			
HCO3	<b>0.29</b>	<b>0.81</b>	<b>0.68</b>	<b>0.88</b>	<b>0.72</b>	<b>0.52</b>	<b>0.80</b>	1		
NO3	0.16	-0.04	0.13	0.01	0.07	-0.06	0.15	0.08	1	
CE	0.15	<b>0.71</b>	<b>0.69</b>	<b>0.86</b>	<b>0.67</b>	<b>0.54</b>	<b>0.64</b>	<b>0.75</b>	0.04	1

\* La matrice des données comporte 10 variables et 73 individus.

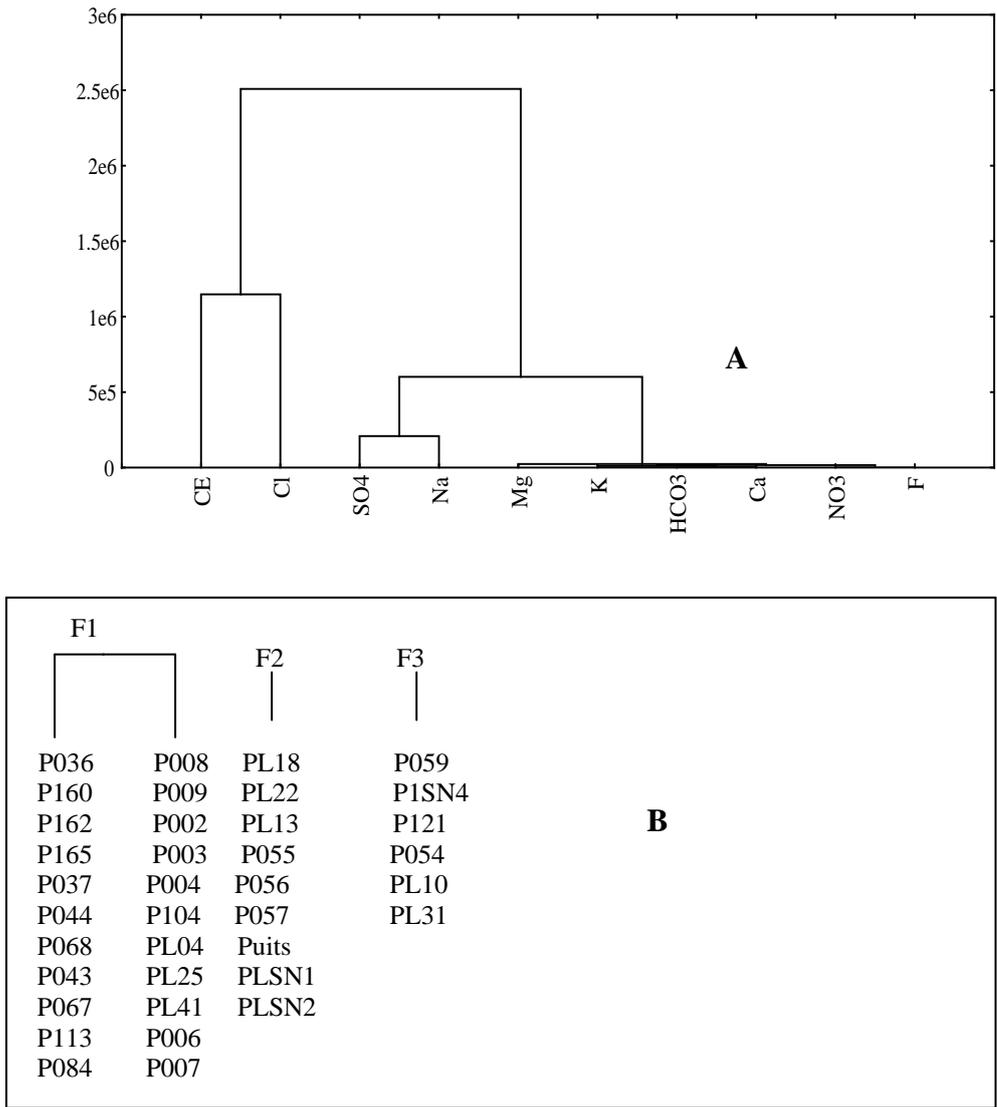


Figure 25: Dendrogramme global (A), et familles (B) des points d'observation des eaux

#### IV-2-4. Etude des relations inter-éléments

Les tableaux et les dendrogrammes précédents (tab4, tab5 et tab6) montrent que la majorité des éléments sont bien corrélés entre eux, voir mieux avec la conductivité. Une conductivité électrique, qui évolue beaucoup plus sous l'influence des évaporites.

**IV-2-4-1. La relation :  $\text{SO}_4^{2-}$  -  $\text{Cl}^-$** **Février 2002**

D'après la dispersion des différents points (fig.26), nous constatons que la teneur en sulfates augmente moins vite que les chlorures. Leur tendance de s'aligner met en évidence leur origine évaporitique ; souvent liée à la dissolution du Gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) et de l'Halite ( $\text{NaCl}$ ).

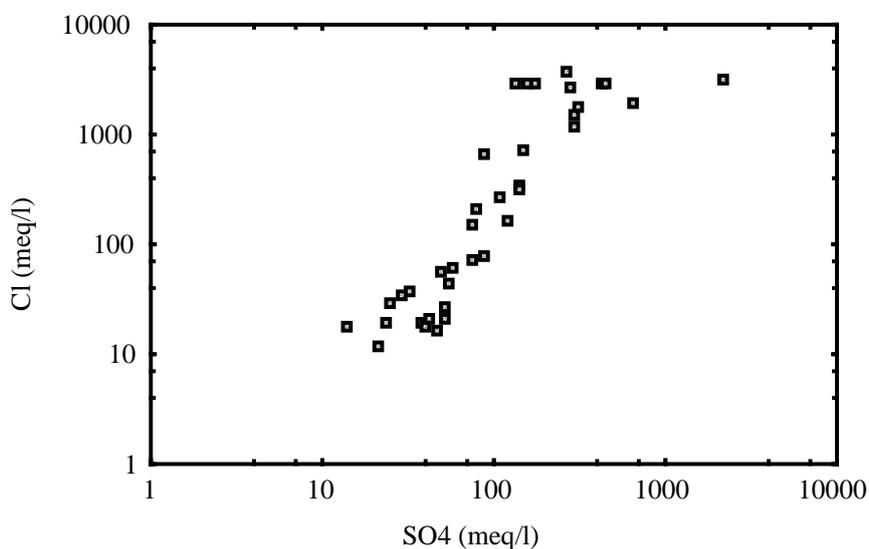


Figure 26 : La relation Chlorures-sulfates dans les eaux (février 2002)

**Juin 2002**

La dispersion des différents points (fig.27) montre également que les deux éléments ont une origine commune (évaporitique) ; liée à la dissolution du gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) et de l'halite ( $\text{NaCl}$ ).

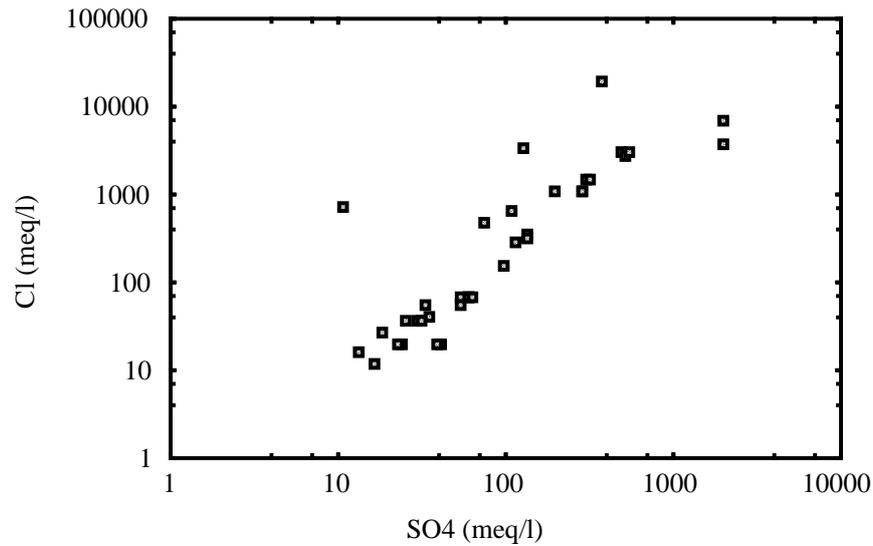


Figure 27 : La relation Chlorures-sulfates dans les eaux (juin 2002)

#### IV-2-4-2. La relation $\text{Na}^+$ - $\text{Cl}^-$

##### Février 2002

Le nuage de points (fig.28), et la forte corrélation entre les deux éléments mettent en évidence leur origine chlorurée sodique (halite).

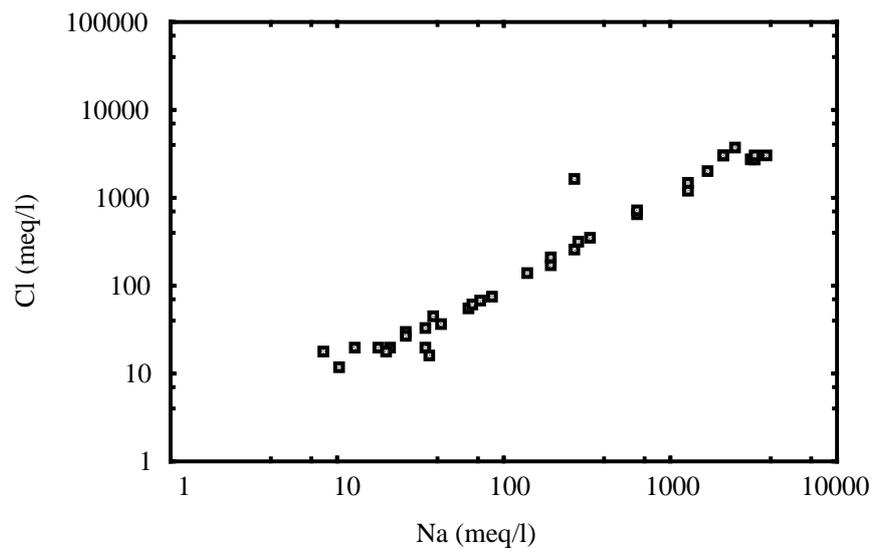


Figure 28 : La relation Chlorures-sodium dans les eaux (février 2002)

**Juin 2002**

Le nuage de points (fig.29), indique l'origine chlorurée sodique (halite) des deux éléments. Cependant la diminution relative du coefficient de corrélation peut être expliquée par l'existence d'une autre origine pour les ions sodium.

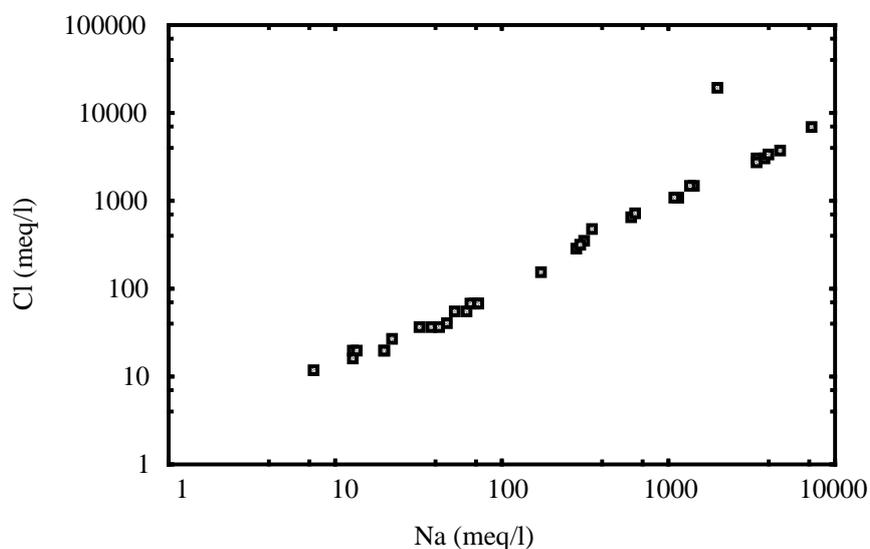


Figure 29 : La relation Chlorures-sodium dans les eaux (juin 2002)

**IV-2-4-3. La relation  $\text{Ca}^{2+}$  -  $\text{SO}_4^{2-}$** **Février 2002**

Le nuage de points (fig.30) ne s'aligne pas parfaitement. On remarque qu'un certains points présentent un excès des sulfates vis-à-vis du calcium, alors que d'autres montrent l'excès de calcium vis-à-vis des sulfates, ce qui suppose d'autres origines différentes aux deux ions.

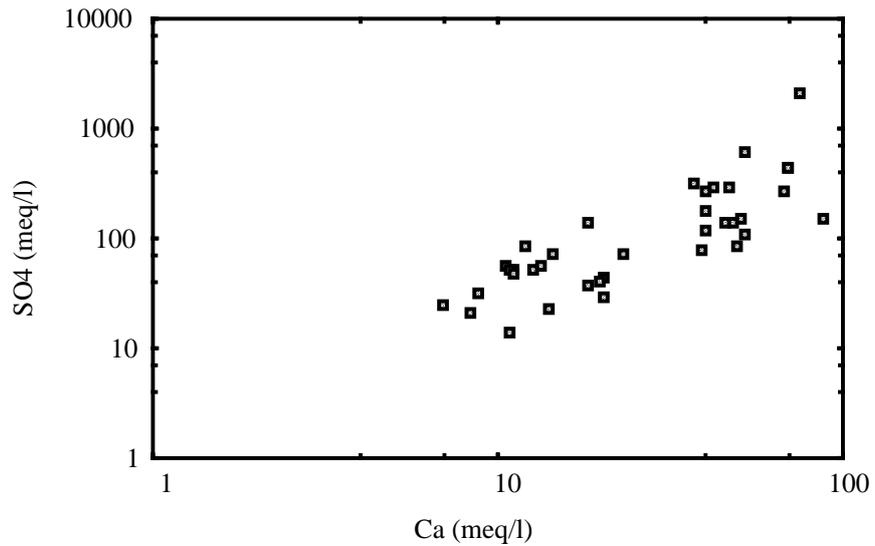


Figure 30 : La relation Sulfates-calcium dans les eaux (février 2002)

### Juin 2002

Le nuage de points (fig.31) montre que les points s'alignent presque, ce qui indique sur l'origine commune des deux éléments, liée à la dissolution des niveaux gypseux contenu dans l'aquifère.

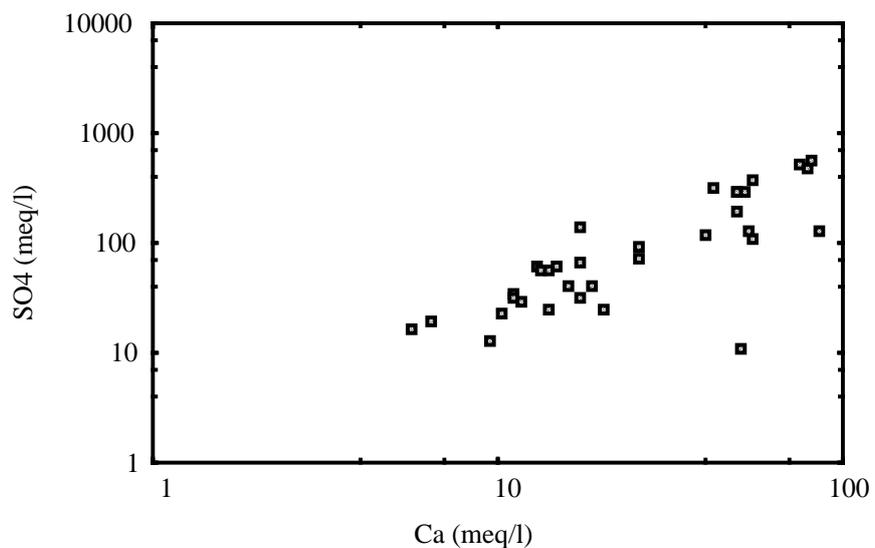


Figure 31 : La relation Sulfates-calcium dans les eaux (juin 2002)

**IV-2-4-4. La relation  $\text{Na}^+$  -  $\text{SO}_4^{2-}$** **Février 2002**

L'évolution des sulfates est moins vite par rapport au sodium, mais l'alignement du nuage de points (fig.32), fait nettement apparaître des origines autres que le gypse aux sulfates (sels sulfatés sodiques).

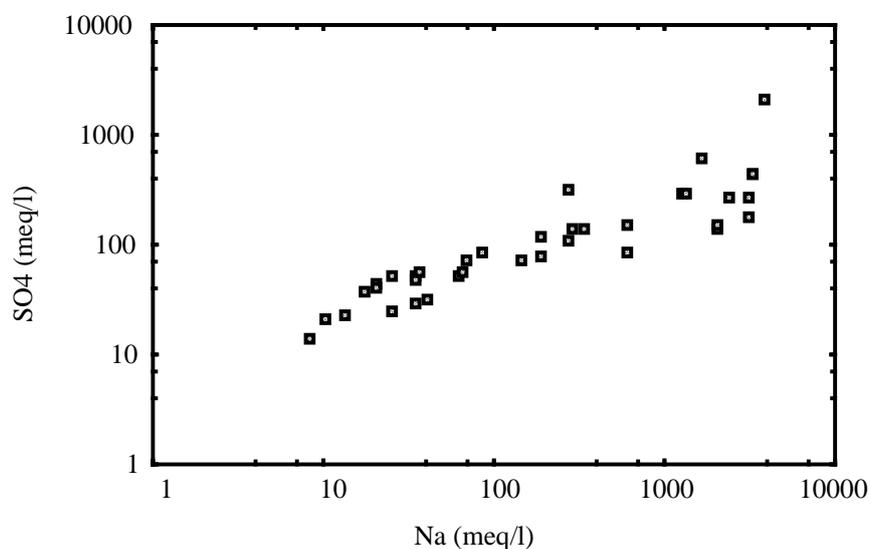


Figure 32 : La relation Sulfates-sodium dans les eaux (février 2002)

**Juin 2002**

L'évolution des sulfates demeure moins vite que le sodium (fig.33), mais la dispersion des différents points met en évidence l'origine commune de ces deux éléments.

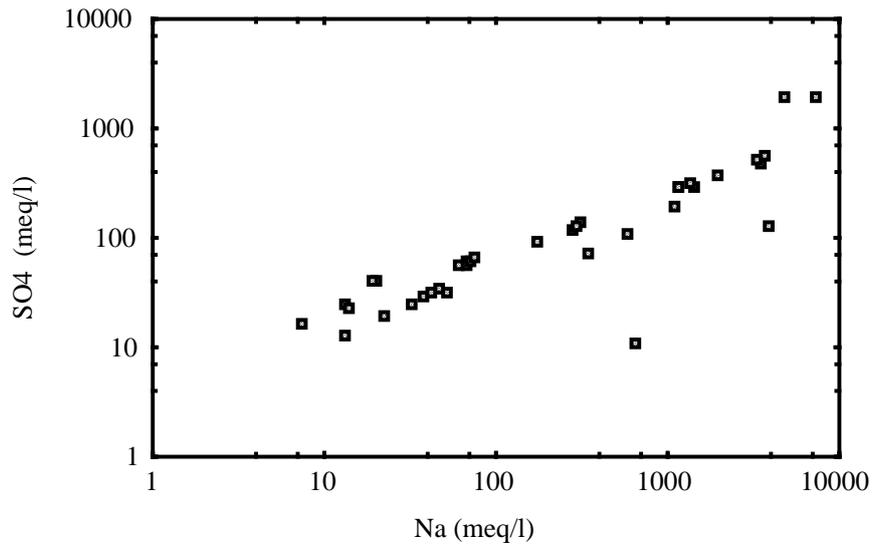


Figure 33 : La relation Sulfates-sodium dans les eaux (juin 2002)

#### IV-2-4-5. La relation $Mg^{2+}$ - $SO_4^{2-}$

##### Février 2002

L'alignement des différents points (fig.34), montre qu'il s'agit d'une évolution parallèle des deux éléments, et fait suggérer une origine sulfatée au magnésium.

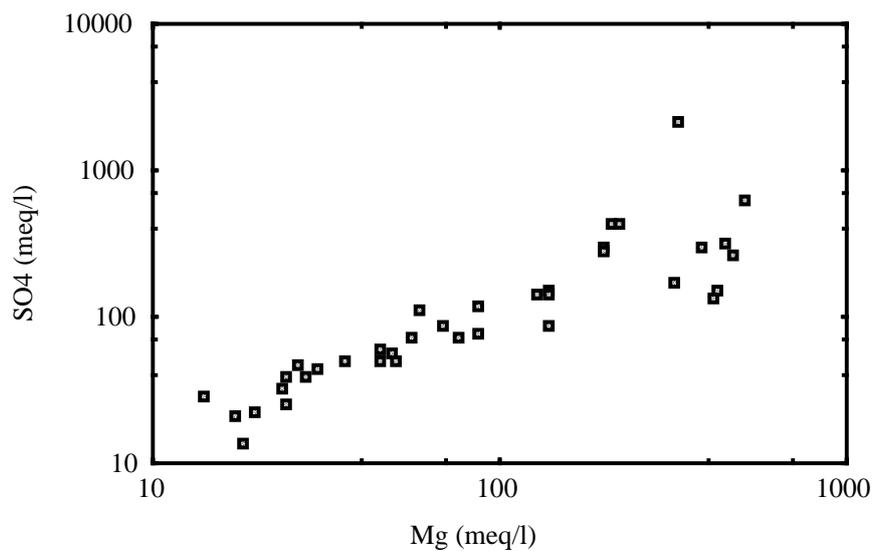


Figure 34 : La relation Sulfates-magnésium dans les eaux (février 2002)

**Juin 2002**

Le nuage de points (fig.35), montre également qu'il s'agit d'une origine évaporitique commune des deux éléments.

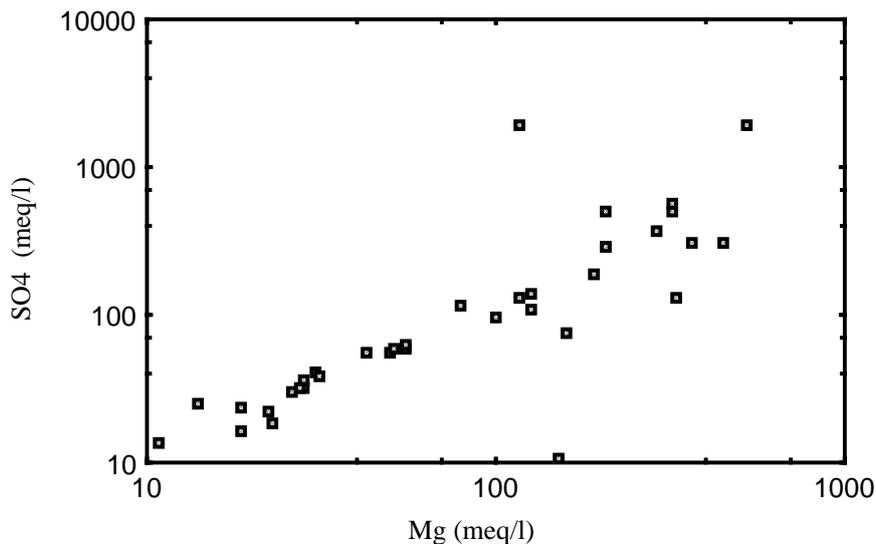


Figure 35 : La relation Sulfates-magnésium dans les eaux (juin 2002)

**IV-2-4-6. La Relation  $\text{Ca}^{2+}$  -  $\text{Mg}^{2+}$** **Février 2002**

Nous constatons qu'il y a une tendance des deux ions de s'aligner (fig.36) surtout au début de concentration des éléments, rappelant l'origine carbonatée (dolomite) ; relative le plus souvent à la dissolution de la dolomite. Toutefois, on observe un excès en magnésium ( $> 100$  meq) quant il n'y aura plus d'apport en calcium.

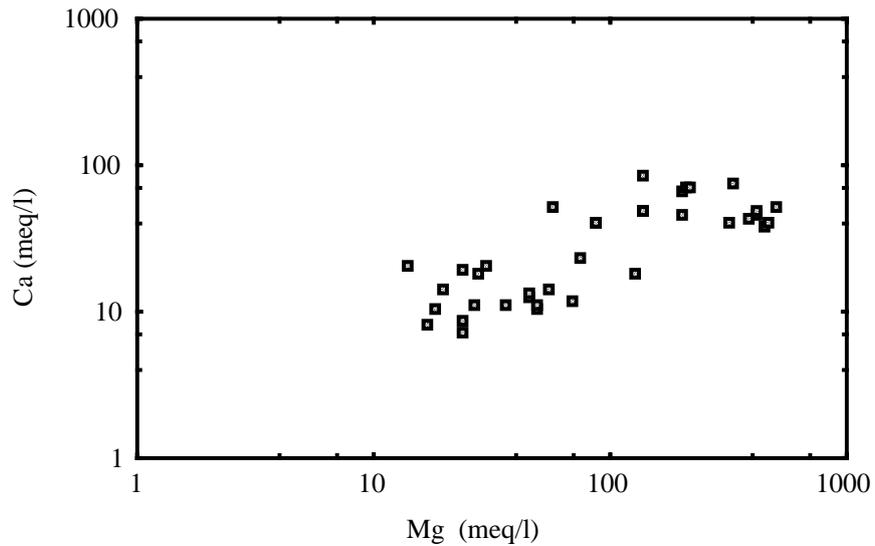


Figure36: La relation Calcium-magnésium dans les eaux (février2002)

### Juin 2002

La dispersion relative des différents points (fig.37) rappelle également de l'origine carbonatée des deux éléments (dolomite).

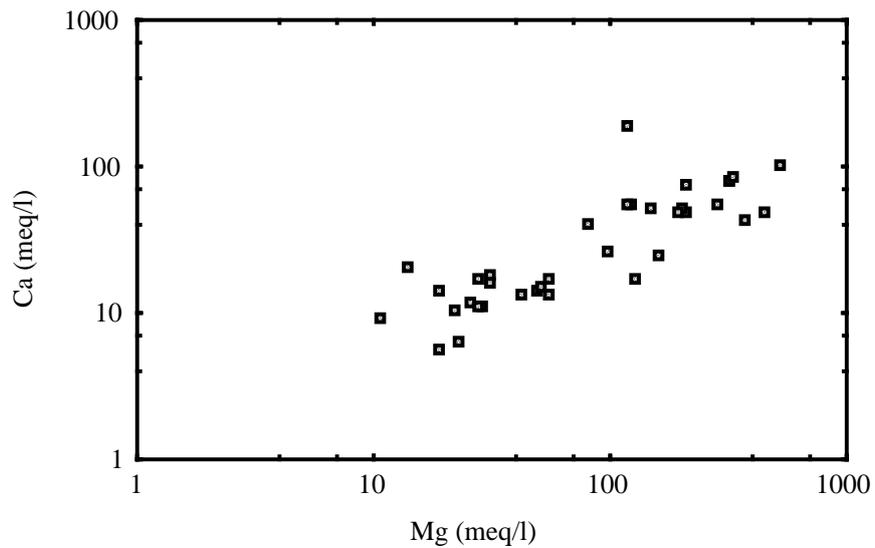


Figure 37: La relation Calcium-magnésium dans les eaux (juin 2002)

### IV-3. Origine du chimisme des eaux.

#### V-3-1.Echanges de base

Les eaux souterraines au cours de leurs trajets souterrains, se chargent de plus en plus en matières dissoutes, elles rentrent en contact avec des substances ayant la propriété d'échanger leurs ions contre ceux de l'eau; une faculté particulière des argiles; dont les feuillets présentent une charge négative. Celle-ci est compensée au niveau des espaces inter- foliaires par des cations ( $H^+$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ , et  $Mg^{2+}$ ) échangeables (Schoeller, 1962 ; Schoeller, 1963 ; Droubi, 1976 ; Droubi, et al, 1976). L'indice d'échange de base (*i. e. b*), tel que :

$i. e. b = r Cl - r(Na + K) / rCl$  ; avec *Cl*, *Na*, et *K* en (meq/l). Pour qu'il y aura un échange de base, *i.e.b* doit être positif. Si le rapport est grand, cela signifie que l'échange est grand (Schoeller, 1962 ; Schoeller, 1963)

Pendant nos deux périodes d'observations (février et juin 2002), nous avons constaté que les phénomènes d'échange de base se produisent et se répartissent d'une façon irrégulière le long de la vallée (tab.V-1-4), 50 % de nos échantillons ayant un *i. e. b* >0 (positif), cela suppose que les eaux de la nappe phréatiques se concentrent avec une influence relativement moyenne des argiles.

Tableau 7 : Evolution spatiale de l'indice d'échange de base (*i. e. b*)

Février 2002		Juin 2002		Février 2002		Juin 2002	
Piézo	i.e.b	Piézo	ieb	Piézo	i.e.b	Piézo	ieb
P113	-0.08	P113	-0.05	P037	0.29	P1SN4	0.20
P121	0.10	P121	0.19	PL31	0.03	PLSN2	-0.01
P084	0.82	P084	-0.03	P1SN4	0.33	PL04	-0.08
P068	0.15	P068	0.08	PLSN2	0.12	PL41	-0.04
P067	0.04	P067	0.10	PL04	0.08	PL25	-0.12
P104	0.01	P162	-0.31	PL41	-0.11	PL18	-0.16
P162	-0.15	P160	-0.07	PL25	-0.11	PLSN1	-0.06
P160	-0.30	P165	-0.09	PL18	-0.11	P036	-0.19
P165	-0.15	P055	-0.02	PLSN1	-0.12	P017	-0.17
P055	-0.02	P044	0.90	P036	0.33	P057	0.12
P044	0.30	P008	0.05	P035	-0.15	Puits	-0.05
P008	0.11	P009	0.00	P017	-0.14	PL22	-0.13
P009	0.00	P054	0.32	P057	-0.10	P007	0.01
P054	0.06	P059	0.36	Puits	-0.01	PL13	-0.09
P056	-0.70	P043	0.04	PL22	-0.10	PL10	-0.04
P059	0.54	P003	0.08	P007	0.09	P002	-0.01
P043	0.10	P006	-0.10	PL13	0.00	P004	0.26
P003	0.02	P037	-0.16	PL10	-1.16		
P006	-0.15	PL31	0.27				

**IV-3-2.Relations complexes**

**IV-3-2-1.Le rapport  $rSO_4^{2-}/rCl^-$**

Ce rapport est inférieur à 1 sur l'ensemble de la vallée (fig.38). Il varie entre 1 et 2 dans les zones présumées d'alimentation de la nappe phréatique (ville de Ouargla), pour devenir trop faible dans les zones de perte (chotts & sebkhas), ceci est dû principalement à la forte solubilité des chlorures par rapport aux sulfates le long des directions d'écoulement (Schoeller, 1963).

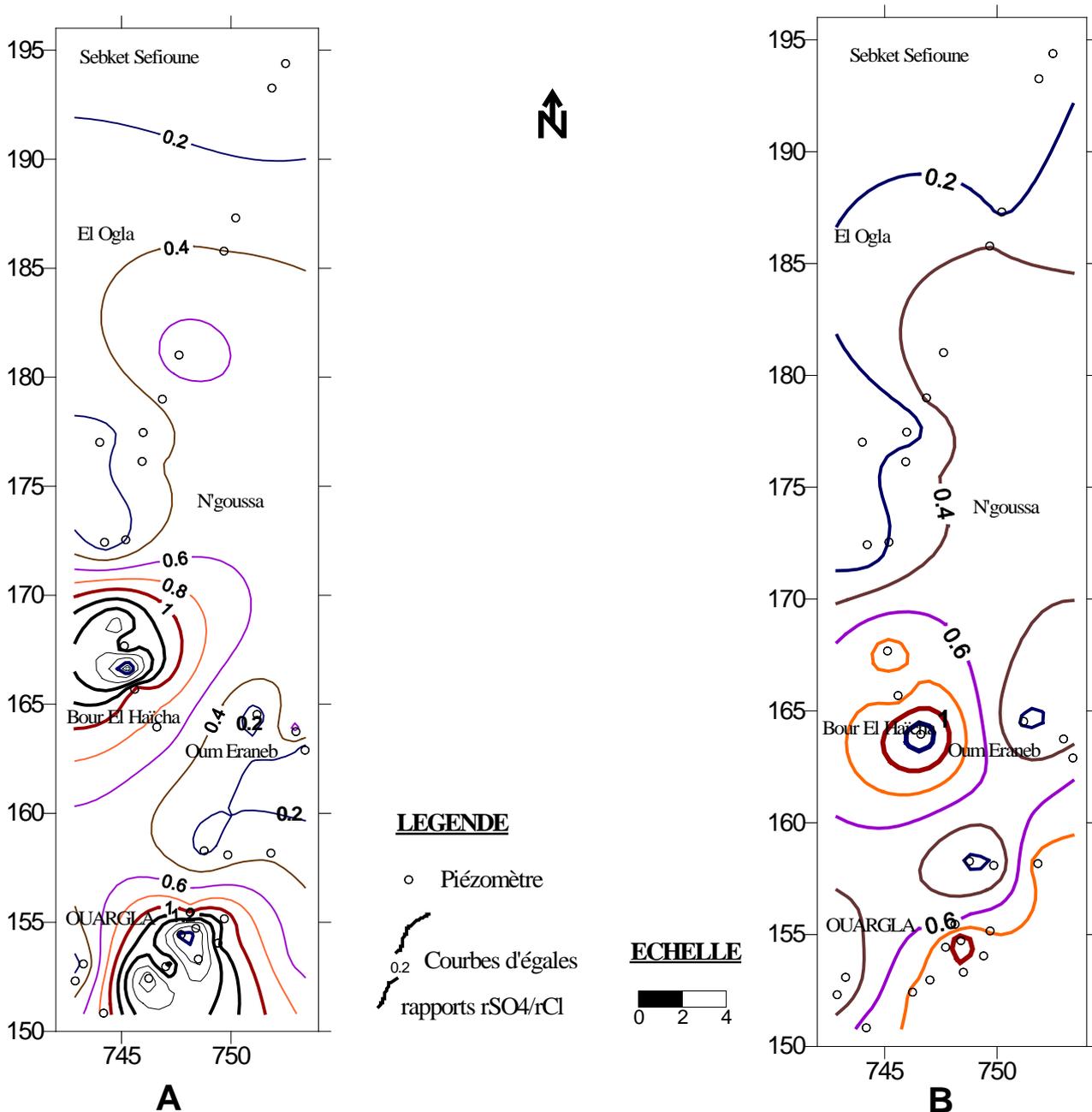


Figure 38: Evolution spatiale du rapport  $rSO_4/rCl$  dans les eaux, A (février 2002) et B (juin 2002)

**IV-3-2-2. Le rapport  $rCa^{2+}/rMg^{2+}$**

Ce rapport est également inférieur à 1 dans l'ensemble de la vallée (fig.39). Il diminue de l'amont vers l'aval de la nappe, chose qui est imputable au manque d'apport en calcium, probablement que les eaux sont saturées à l'origine par la Calcite ( $CaCO_3$ ).

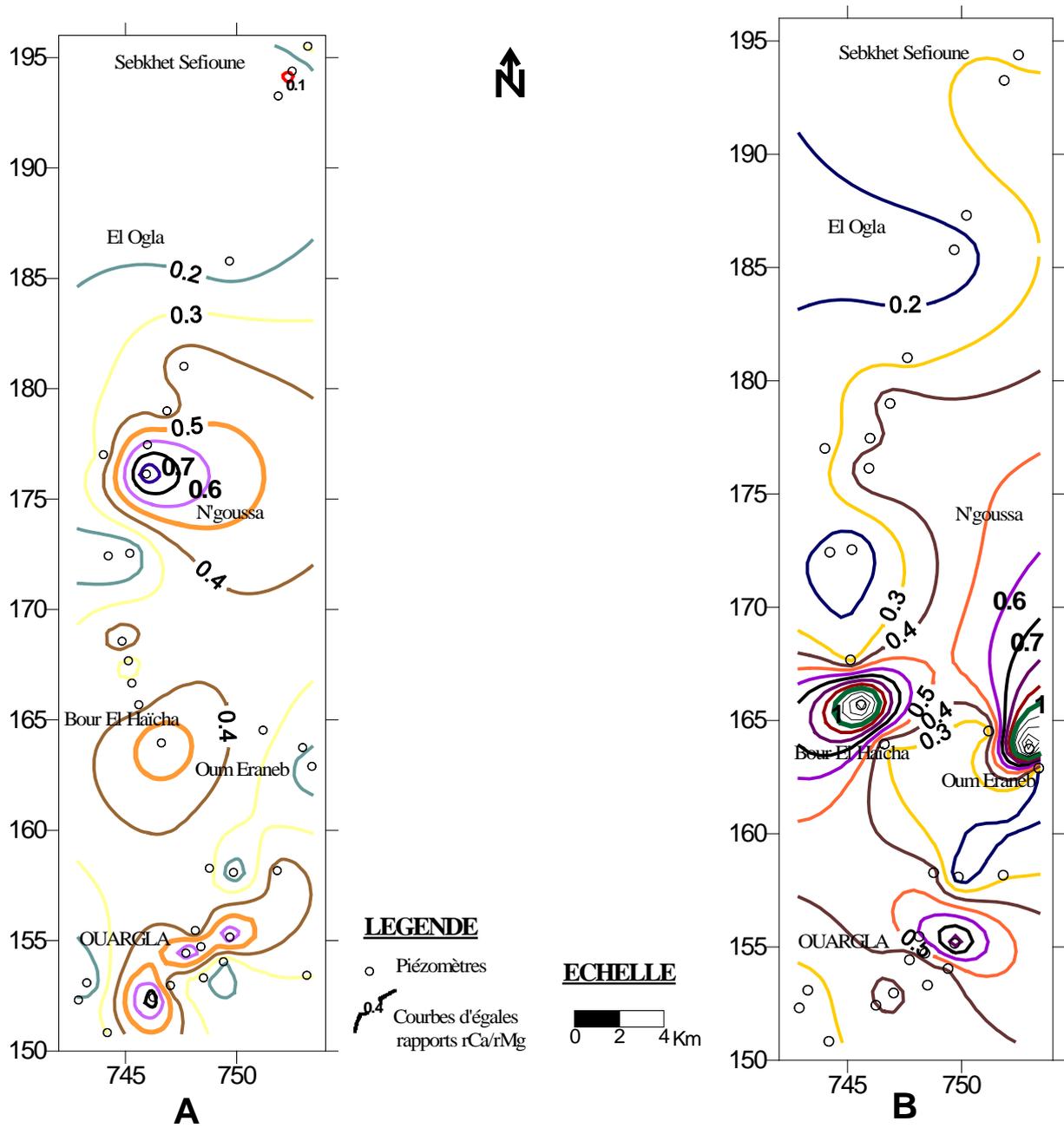


Figure 39 : Evolution spatiale du rapport rCa/rMg dans les eaux, A (février 2002) et B (juin 2002)

### IV-3-2-3. La relation $rCa^{2+}/rMg^{2+} - rSO_4^{2-}/rCl^-$

Le gypse renferme toujours une proportion plus ou moins élevée en magnésium, et sa dissolution est moins rapide que celle des sels magnésiens, d'où l'augmentation en ions  $Mg^{2+}$  et  $Cl^-$  (Schoeller, 1962 ; 1963) c'est ce qui explique l'apparition des écha

ntillons présentant des sels chlorurés calciques et sulfatés magnésiens en excès, en l'absence des sels de sulfate de calcium ( $CaSO_4$ ) sur la figure ci-après (fig.40). Ainsi des échanges de bases entre le  $Ca^{2+}$  et le  $Mg^{2+}$  peuvent avoir lieu.

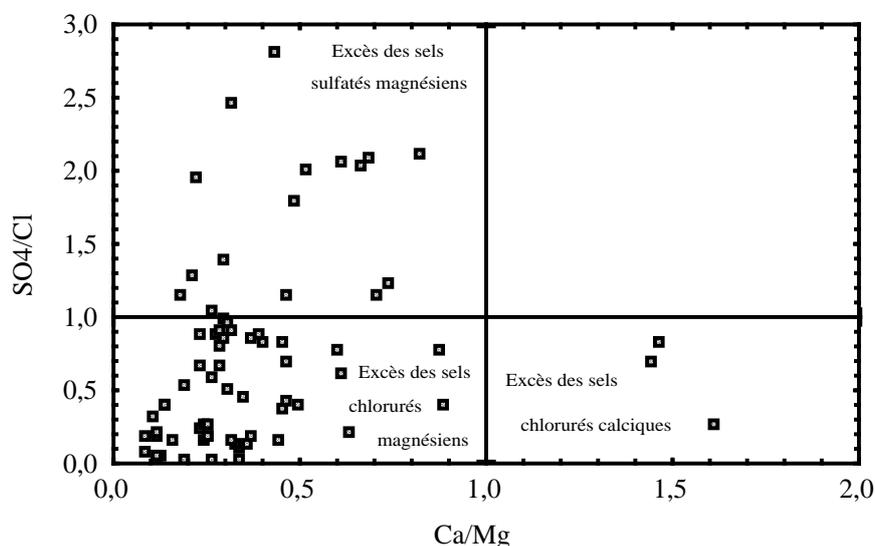


Figure 40: La relation  $rCa^{2+}/rMg^{2+} - rSO_4^{2-}/rCl^-$  dans les eaux (février & juin 2002)

### IV-3-2-4. La relation $rCa^{2+}/rNa^+ - rSO_4^{2-}/rCl^-$

La présence des échantillons riches en sulfates de sodium en excès vis-à-vis des échantillons riches en sulfates de calcium est probablement liée à un échange de base entre le  $Ca^{2+}$  et le  $Na^{2+}$  (fig.41).

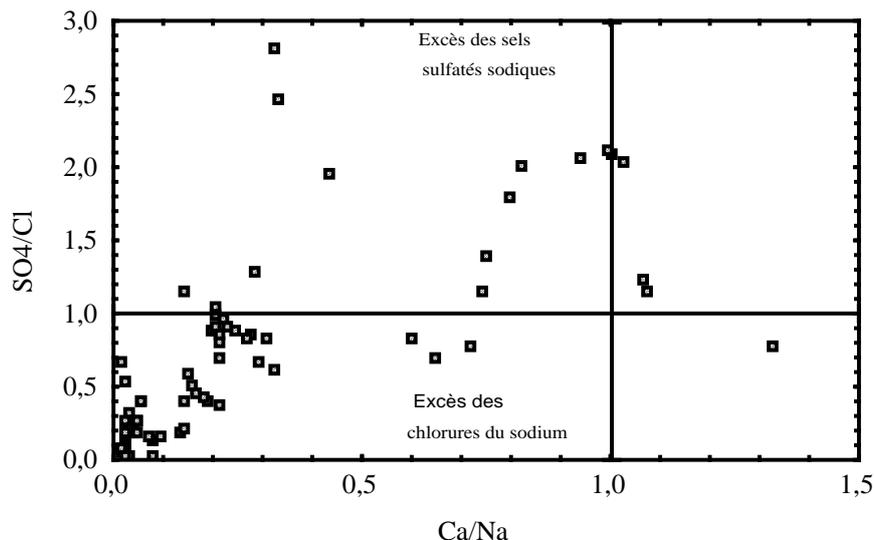


Figure 41: La relation  $rCa^{2+}/rNa^+ - rSO_4^{2-}/rCl^-$  (février & juin 2002)

**IV-3-2-5. La relation  $rNa^+/rCl^- - rCa^{2+}/r(HCO_3^- + SO_4^{2-})$**

Pour des teneurs en chlorures relativement faibles, un déficit en calcium par rapport aux bicarbonates et aux sulfates accompagne un excès en sodium (fig.42). La projection des différents points sur un diagramme  $Na^+/Cl^- - Ca^{2+}/(HCO_3^- + SO_4^{2-})$ , révèle des échantillons d'eau ayant probablement subi un échange de base, lié aux minéraux argileux qui fixent un ion  $Ca^{2+}$  après la libération de deux ions  $Na^+$ .

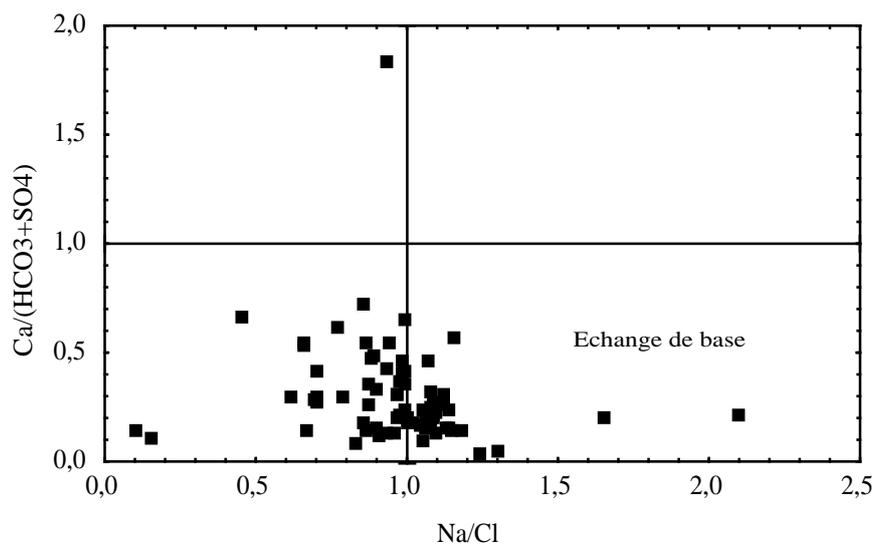


Figure 42: La relation  $rNa^+/rCl^- - rCa^{2+}/r(HCO_3^- + SO_4^{2-})$  (février & juin 2002)

#### IV-3-2-6. La relation $rNa^+/rCl^- - rMg^{2+}/r(HCO_3^- + SO_4^{2-})$

La projection des différents points sur un diagramme  $Na^+/Cl^- - Mg^{2+}/(HCO_3^- + SO_4^{2-})$ , montre que pour de faibles concentrations en chlorures, un enrichissement en sodium accompagne un appauvrissement en magnésium par rapports aux bicarbonates et aux sulfates (fig.43), résultant probablement à un échange de base entre  $Na^+$  et  $Mg^{2+}$ .

Un excès en magnésium s'est manifesté sur le diagramme (fig.43) dû aux formations carbonatées et évaporitiques, qui fournissent plus d'ions  $Mg^{2+}$  que ne peut consommer l'effet de la précipitation chimique ou l'effet de fixation du magnésium par les argiles.

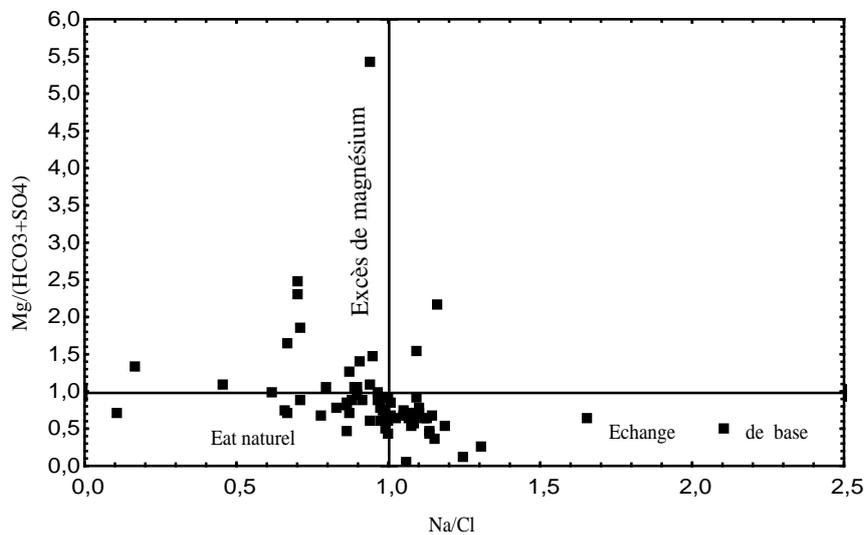


Figure 43 : La relation  $rNa^+/rCl^- - rMg^{2+}/r(HCO_3^- + SO_4^{2-})$  (février & juin 2002)

#### IV-3-2-7. La relation $rHCO_3^-/r(Cl^- + SO_4^{2-})$ -Conductivité électrique

Les eaux de la nappe phréatique de la basse Vallée de l'Oued Mya sont riches en éléments évaporitiques ( $Na^+$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Ca^{2+}$ , et  $Mg^{2+}$ ) et carbonatés ( $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ , et  $HCO_3^-$ ). Le rapport  $rHCO_3^-/r(Cl^- + SO_4^{2-})$ -CE (fig.44) montre que les évaporites sont à l'origine de l'augmentation de la conductivité des eaux par rapport aux carbonates.

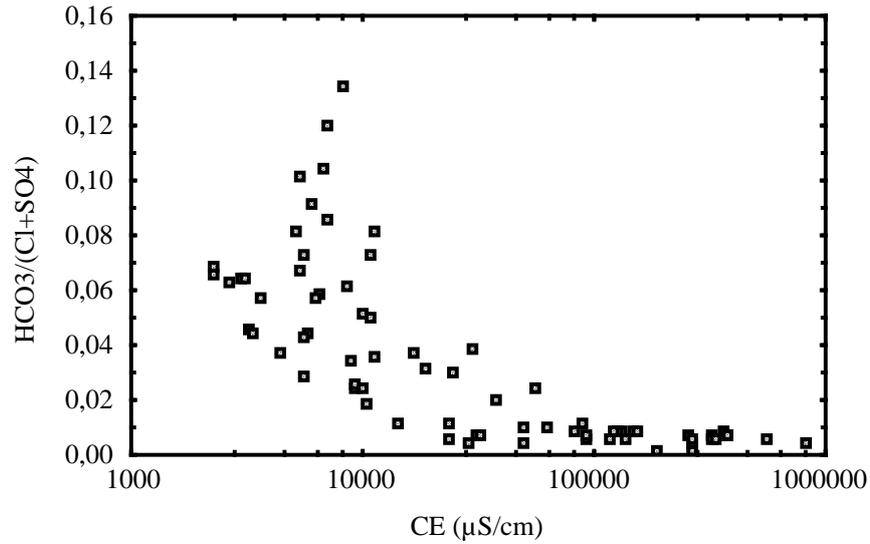


Figure 44 : La relation  $r\text{HCO}_3^-/r(\text{Cl} + \text{SO}_4^{2-})$ -CE (février & juin 2002)

#### IV-3-2-8. La relation $r\text{Cl}^-/r\text{SO}_4^{2-}$ -Conductivité électrique

Cette relation (fig.45) montre qu'au delà d'une conductivité de 10 000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , uniquement le chlore (traceur) contrôle (influence) l'augmentation de la conductivité électrique des eaux par rapport aux sulfates.

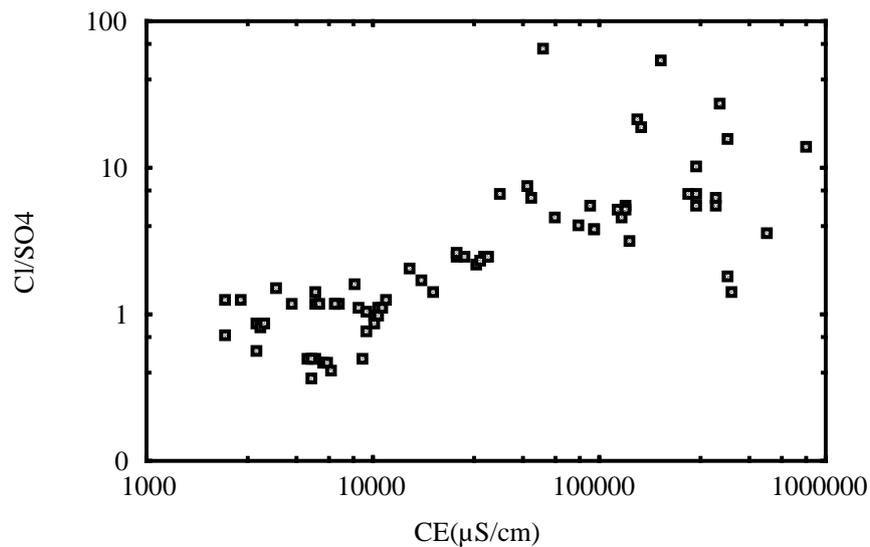


Figure 45 : La relation  $r\text{Cl}^-/r\text{SO}_4^{2-}$ -CE (février & juin 2002)

Cet ion semble augmenter sous l'effet de l'évaporation, tout en se rapprochant de la surface du sol (nappe peu profonde : < 2m) (fg.46) et il devient relativement faible tout en s'approfondissant de celle-ci.

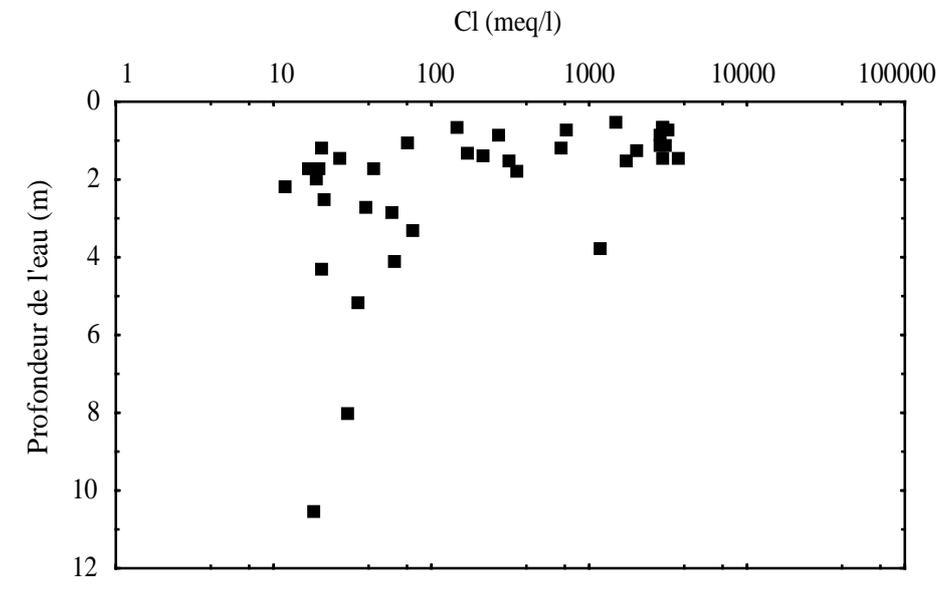


Figure 46: Relation  $rCl^-$  – profondeur de l'eau (février 2002)

### IV-3-3. Détermination des faciès hydrochimiques par la relation : $rMg^{2+}/rNa^+ - rSO_4^{2-}/r Cl^-$

#### Février 2002

L'observation de l'évolution des faciès chimiques des eaux de la nappe (fig.47) fait ressortir les constatations suivantes:

-L'importance du faciès *chloruré sodique* (A) (67.56% des piézomètres) des eaux et d'un degré moindre du faciès *sulfaté magnésien* (D) (21.62%). De faciès intermédiaires peuvent naître : eaux *sulfatées chlorurées sodiques* (B), eaux *sulfatées magnésiennes sodiques* (C)

-La faible représentativité du faciès *chloruré magnésien* (F)

-Des eaux *sulfatées chlorurées magnésiennes* (E) intercalent les faciès : *sulfaté magnésien* et *chloruré magnésien*.

La présence des eaux chlorurées magnésiennes, *sulfatées chlorurées sodiques* et *sulfatées magnésiennes sodiques* semble à l'origine d'un échange de base ; préalablement signalé, qui se produit entre le  $\text{Na}^+$ , et le  $\text{Mg}^{2+}$ .

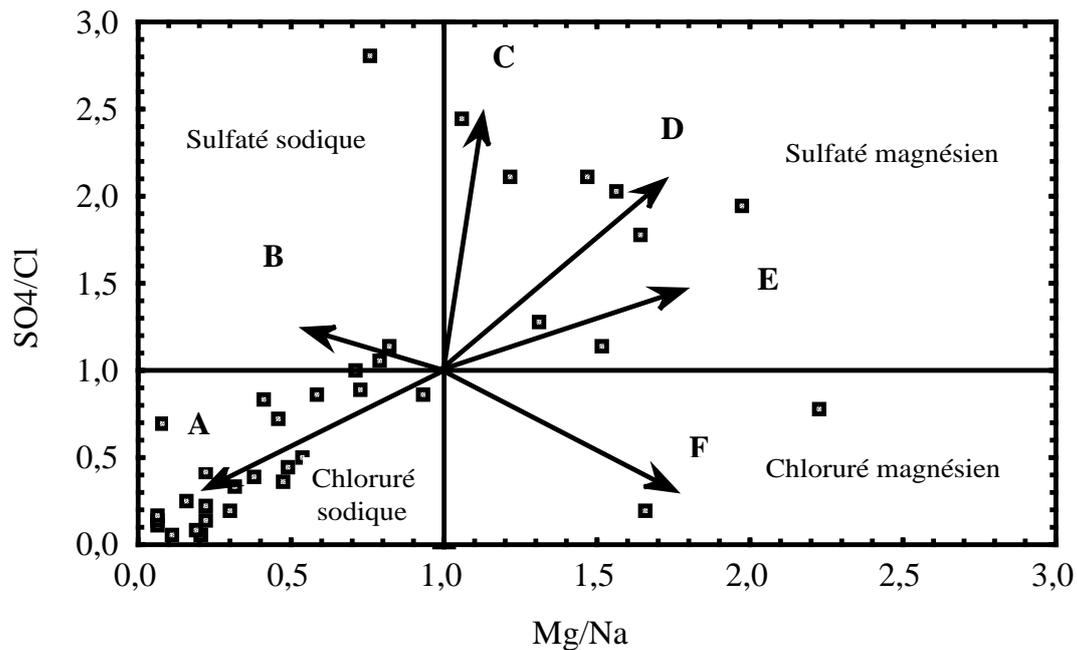


Figure 47 : Faciès chimiques des eaux par la relation  $r\text{Mg}^{2+}/r\text{Na}^+ - r\text{SO}_4^{2-}/r\text{Cl}^-$  (février 2002)

### Juin 2002

L'observation de l'évolution des faciès chimiques des eaux de la nappe pendant cette période (fig.48), révèle cette fois-ci la dominance presque totale du faciès *chloruré sodique* (A) (83.33%), et la régression du faciès *sulfaté magnésien* (13.88%).

Présence insignifiante du faciès *chloruré magnésien*.

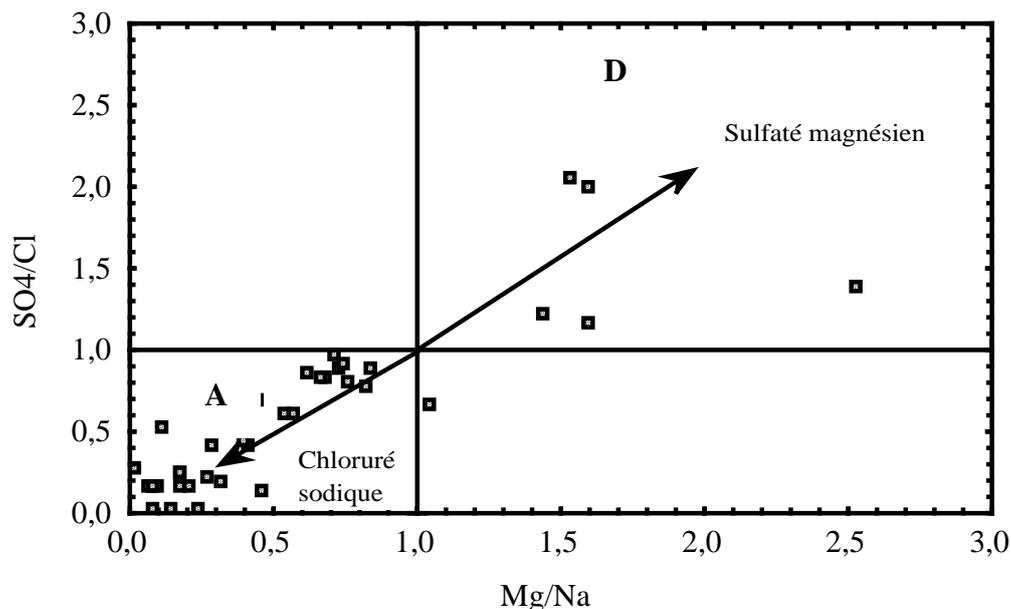


Figure 48 : Faciès chimiques des eaux par la relation  $rMg^{2+}/rNa^{+} - rSO_4^{2-}/rCl^{-}$  (juin 2002)

En conclusion ; la dominance du faciès chloruré sodique marqué par des eaux fortement salines, situées plus particulièrement au niveau des zones d'affleurement et de déperdition de la nappe (chotts et sebkhas)

#### IV-3-4. Etude de l'évolution des minéraux chimiques dissous dans les eaux de la nappe

La dissolution d'un assemblage minérale ou la concentration d'une solution par évaporation aboutit à l'augmentation de la quantité des éléments fournis ou présents dans la solution. A partir du moment où la solution en question devient saturée par rapport à un minérale, la précipitation de ce dernier se produit (Droubi, 1976).

**Indice de saturation (SI):** Le degré de saturation, de sous saturation, ou l'état d'équilibre d'une eau vis-à-vis d'un minérale n'est apprécié que par la détermination de l'indice de saturation  $SI$  :  $SI = \text{Log} (IAP/K)$  ; où :  $IAP$  est le produit d'activité ionique ;  $K$  : la constante d'équilibre ( $SI=0$  : état d'équilibre,  $SI>0$  : sur-saturation ;  $SI<0$  : sous-saturation)

Le calcul de ( $SI$ ) a été mené en utilisant la loi de Debye & Hückel (1923) à l'aide du logiciel *Wateq* (version 2.11) (Larry Rollins, 1987). On considère que l'équilibre est atteint dans l'intervalle  $-0.5$  et  $0.5$ .

La majorité des échantillons sont sur-saturés vis-à-vis des carbonates (tab.5 et tab.6 en annexes) (fig.49, et fig.50) ayant un indice de saturation ( $SI$ ) qui varie comme suit :

Dolomite ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ )	entre 0.243 et 4.516 ;
Huntite ( $\text{CaMg}_3(\text{CO}_3)_4$ )	entre -2.8 11 et 6.630 ;
Magnésite ( $\text{Mg CO}_3$ )	entre -0.042 et 2.612 ;
Calcite ( $\text{Ca CO}_3$ )	entre -0.475 et 1.906 ;
Aragonite ( $\text{Ca CO}_3$ )	entre -0.619 et 1.762 ;

Alors que ces mêmes échantillons sont sous-saturés vis-à-vis de l'Hydromagnésite ( $\text{Mg}_4(\text{CO}_3)_3(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), et peu entre eux se trouve à l'équilibre ou sur saturé. L'indice de saturation varie entre -10.881 et 2.365. La plus part des échantillons sont sous saturés vis-à-vis de la Nesquehonite ( $\text{Mg CO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), dont le (*SI*), varie entre -3.067 et -0.560.

Pour le groupe des évaporites nous avons :

Le Gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), d'indice de saturation (*SI*) oscillant entre -1.023 et 1.414, et l'Anhydrite ( $\text{CaSO}_4$ ) entre -1.212 et 1.441, se trouvent proches de l'équilibre à sur-saturés.

La majorité des échantillons sont sous-saturés vis-à-vis de la Halite ( $\text{NaCl}$ ) de (*SI*) variant entre -5.800 et -0.171. Cependant certains échantillons concentrés sont proches de l'équilibre (P017, P036, P162, et P160).

D'autres sels sulfatés sodiques sont également sous-saturés, entre autres : la Mirabilite ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), la Thénardite ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), la Nahcolite ( $\text{NaHCO}_3$ ). La plus part de nos échantillons sont largement sous-saturés vis-à-vis du Natron ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), du Thermonatrite ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), et du Trôna ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

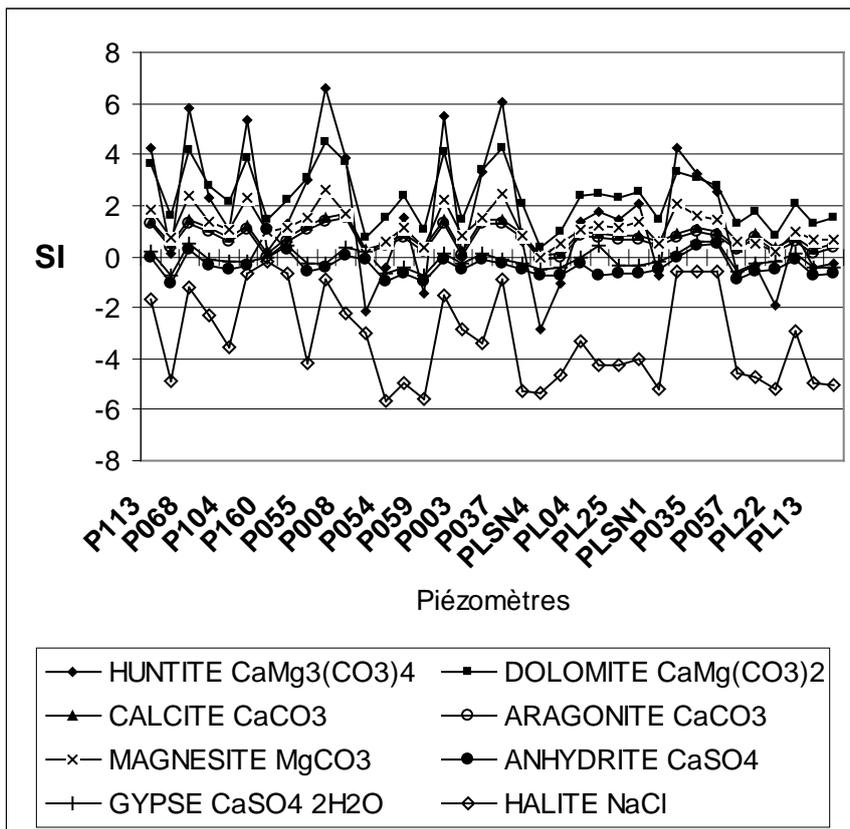


Figure 49 : Ordre de précipitation minéralogique (février 2002)

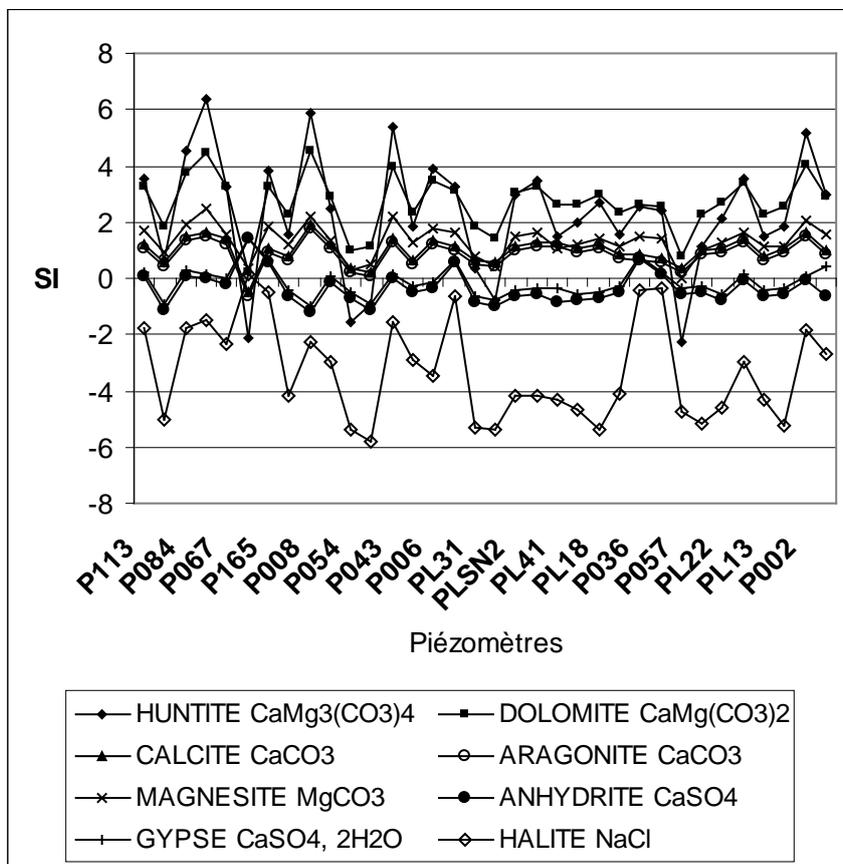


Figure 50: Ordre de précipitation minéralogique (juin 2002)

### **IV-3-5. Aptitude des eaux de la nappe à la consommation humaine**

Les principales marques des eaux de la nappe phréatique de la région, sont les teneurs excessives en éléments chimiques majeurs, surtout en ce qui concerne: les chlorures, les sulfates, associées à des pH alcalins, des conductivités abusive et des duretés permanentes.

#### **IV-3-5-1. Le pH**

Les eaux de la nappe ont de pH alcalins ( $7.29 < \text{pH} < 8.3$ ) (Rodier, 1976)

#### **IV-3-5-2. La conductivité électrique (CE)**

Les eaux de la nappe montrent une salinité abusives ( $2230 < \text{CE} < 817850 \mu\text{S}/\text{cm}$ ).

#### **IV-3-5-3. La dureté (TH: titre hydrotimétrique) :**

Les eaux de la nappe phréatique, présentent de duretés dépassent  $100 \text{ }^\circ\text{F}$  ; elles sont donc très dures (Germain et al, 1976)

Le titre alcalimétrique complet TAC ( $^\circ\text{F}$ ) est bicarbonaté dans les eaux de la nappe, car le pH, est  $< 8.3$  (Rodier, 1976).  $\text{TH-TAC} > 0$  (dureté permanente).

Une telle dureté dans l'eau à consommation humaine peut traduire de cas de lithiase urinaire, certains défauts du système nerveux, l'anencéphalie et différents cancers (OMS, 1994).

#### **IV-3-5-4. Les chlorures**

La majorité (plus de 67%) des échantillons se trouvent au dessus de la limite supérieure de la potabilité permanente (plus  $40 \text{ meq}/\text{l}$ ) (Schoeller, 1962) des eaux de la nappe sont classées non potables selon la concentration en chlorures. Près de 33% des échantillons dépassent la chloration de l'eau de la mer ( $560 \text{ meq}/\text{l}$ ) (Schoeller, 1962).

Les eaux chlorurées alcalines peuvent poser des problèmes aux personnes atteintes de maladies cardio-vasculaires ou rénales (OMS, 1994)

#### **IV-3-5-5. Les sulfates**

La majorité des échantillons (89 %) présentent des teneurs en sulfates au dessus de la limite supérieure de la potabilité permanente ( $24 \text{ meq}/\text{l}$ ) (Schoeller, 1962).

Entre 58.83 et 62.16% des échantillons ont de teneurs en sulfates dépassant celles rencontrées dans les eaux de la mer ( $58 \text{ meq}/\text{l}$ ) (Schoeller, 1962). De telles concentrations auront

un effet purgatif ou entraînent la déshydratation et l'irritation gastro-intestinale du consommateur (OMS, 1994)

#### **IV-3-6. Aptitude des eaux à l'irrigation :**

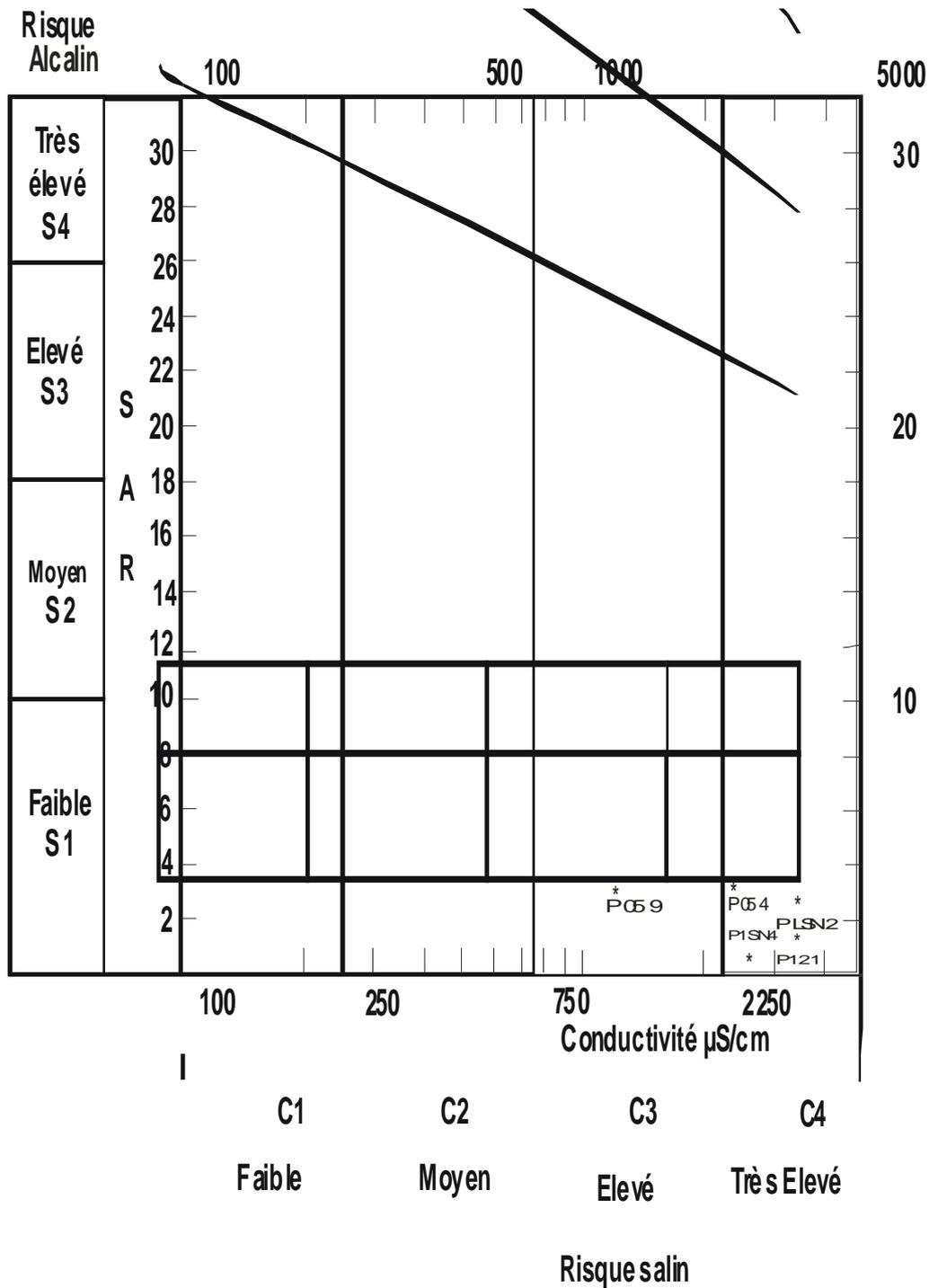
Les résultats de la classification de la qualité chimique des eaux de la nappe phréatique d'après le diagramme de Richards et al, 1954 (fig.51 et fig.52) montre que plus 86 %, des échantillons de ladite nappe, sont hors échelle de classification, c'est à dire que ces échantillons présentent une conductivité  $CE > 5\ 000\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (*extrêmement salés*) et/ou un  $\text{SAR} > 30$  (*très fortement sodiques*). Cependant le reste de nos échantillons se regroupent en deux (02) classes selon le degré de risque: alcalin et salin, qu'ils présentent au sols :

##### **1-Classe admissible (C3-S1):**

En générale, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel, sur des sols bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée. Seul les eaux du piézomètre P059 au droit de la ligne de partage des eaux (drainance ascendante) qui figure dans cette classe

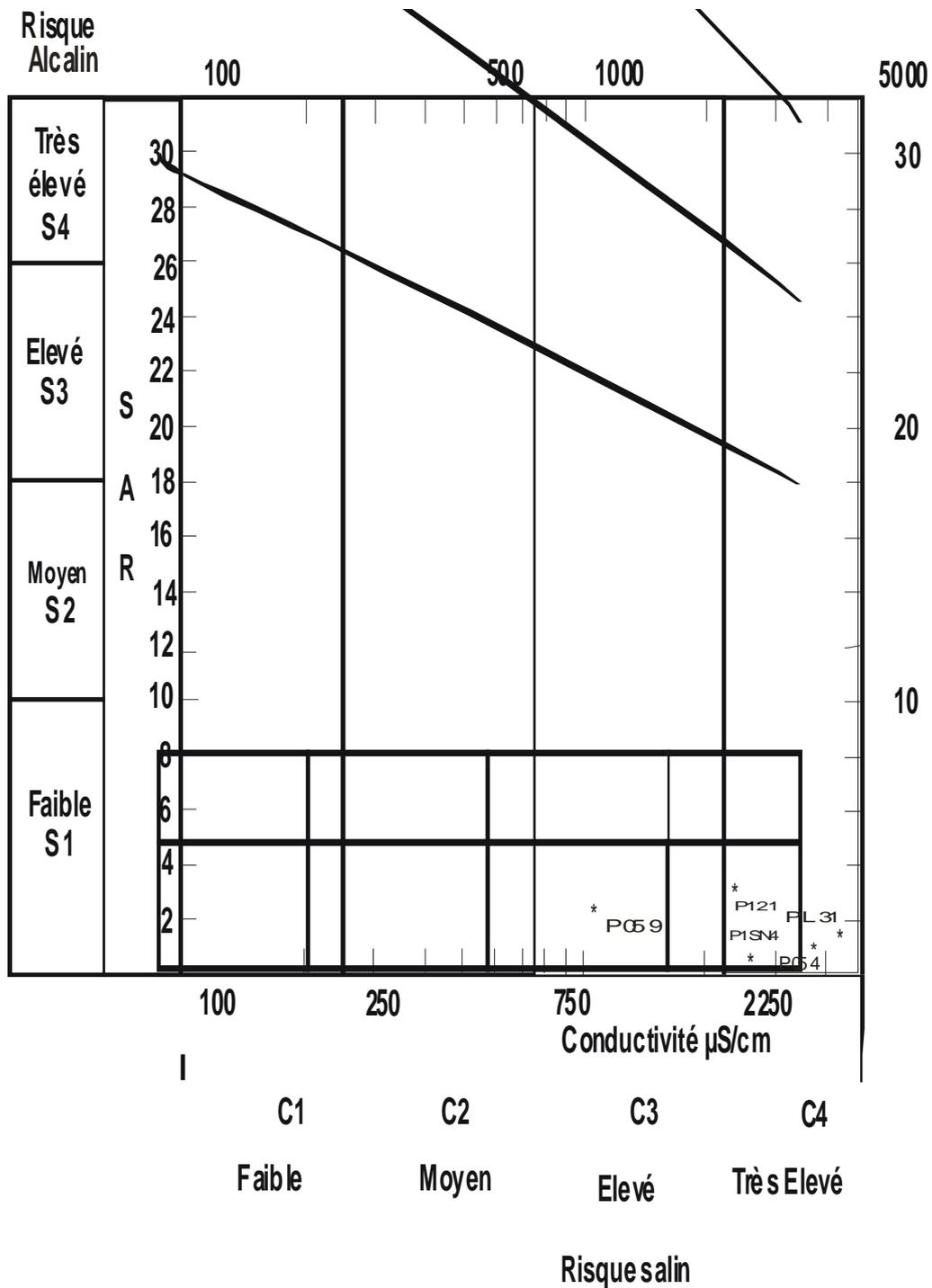
##### **2- Classe médiocre (C4-S1):**

En générale, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel sur des sols bien drainés.



$$SAR = Na^+(meq/l) / \sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})(meq/l) / 2}$$

Figure51 : Diagramme de classification de Richards et al (1954) de l'aptitude des eaux de la nappe phréatique à l'irrigation (février 2002)



$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+(\text{meq/l})}{\sqrt{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})(\text{meq/l})/2}}$$

Figure52 : Diagramme de classification de Richards et al (1954) de l'aptitude des eaux de la nappe phréatique à l'irrigation (juin 2002).

## **Conclusion**

Les eaux de la nappe phréatiques sont très fortement minéralisées et de dureté permanente. La salinité des eaux s'acquiert par dissolution des formations géologiques et évaporation de la nappe à l'air libre avec une influence plus au moins moyenne des argiles (échanges de bases).

## **IV-4. Le Fluor dans les eaux de la vallée de l'Oued Mya (Ouargla)**

### **Introduction**

Le fluor est un élément très réactif et n'apparaît dans la nature que sous forme chimiquement liée (fluorure) avec d'autres éléments (fluorure de calcium, d'aluminium, de sodium...). Certains composés fluorés de la partie supérieure de l'écorce terrestre sont relativement solubles dans l'eau. C'est ainsi que les eaux de surface et les eaux souterraines peuvent être fluorées naturellement (Potelon & al, 1998)

Le fluorure de sodium est soluble dans l'eau (C.I.R.C, 1982) mais les fluorures d'aluminium, de calcium et de magnésium sont peu solubles (O.D.W, 1982). Ils sont présents naturellement dans l'eau à des teneurs généralement inférieures à 1 mg/l dans les eaux superficielles et qui peuvent atteindre parfois 10 mg/l, voir plus ; 100 mg/l dans les eaux profondes (Potelon & al, 1998.). Ces eaux contiennent des proportions variables de fluor en fonction de nombreux facteurs tels que : la lithologie des formations, la consistance du sol, la porosité des roches, le pH, la température... etc (OMS, 1994).

Les eaux souterraines des régions de la zone orientale du Sahara septentrional, présentent des teneurs en fluorures qui dépassent souvent les concentrations limites recommandées par l'OMS, et affectent la santé des populations par une fluorose endémique. Le problème à été soulevé par des études épidémiologiques (Boudiaf, 1974 ; Azout, 1978 ; Aroua, 1981) par la suite, diverses études on mis en exergue l'excès de fluorure dans ces eaux et les possibilités de leur traitement (Achour, 1990 ; Youcef, 1998).

Ouargla est l'une des régions du Sahara confrontée à ce problème.

### **IV-4-1. Excès de fluor dans les eaux de la nappe phréatique. Résultats et discussions**

Les concentrations observées en fluorures au niveau de la nappe phréatique de la Vallée de l'Oued Mya varient entre 1mg/l et 3.6 mg/l (fig.53 et fig.54) au cours des deux campagnes effectuées, excepté la valeur rencontrée au niveau du piézomètre P044 à Sebket N'goussa au Nord 7.6, 6.2 mg/l, respectivement pendant février et juin 2002. Un troisième prélèvement a été effectué du même ouvrage (P044) pendant le mois de juillet de

la même année, et il a été remarqué une diminution de la teneur en fluorures à 4.1 mg/l. Cependant l'augmentation des concentrations affecte l'ensemble des points d'eau entre les deux périodes (fig.55).

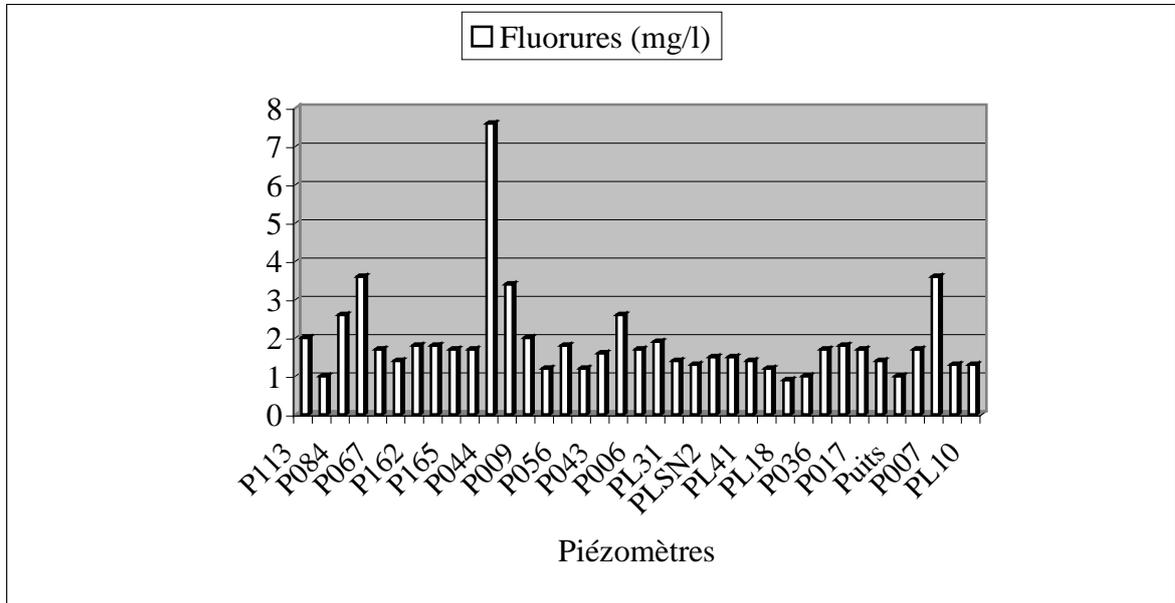


Figure 53: Teneur en fluorures dans les eaux de la nappe (février 2002)

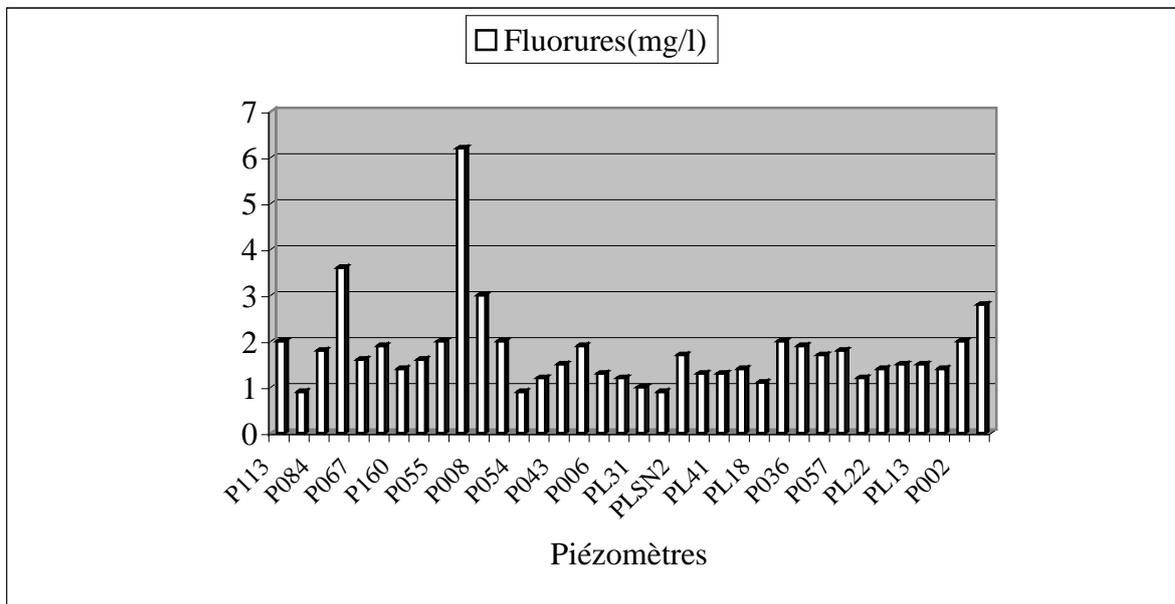


Figure 54: Teneur en fluorures dans les eaux de la nappe (juin 2002)

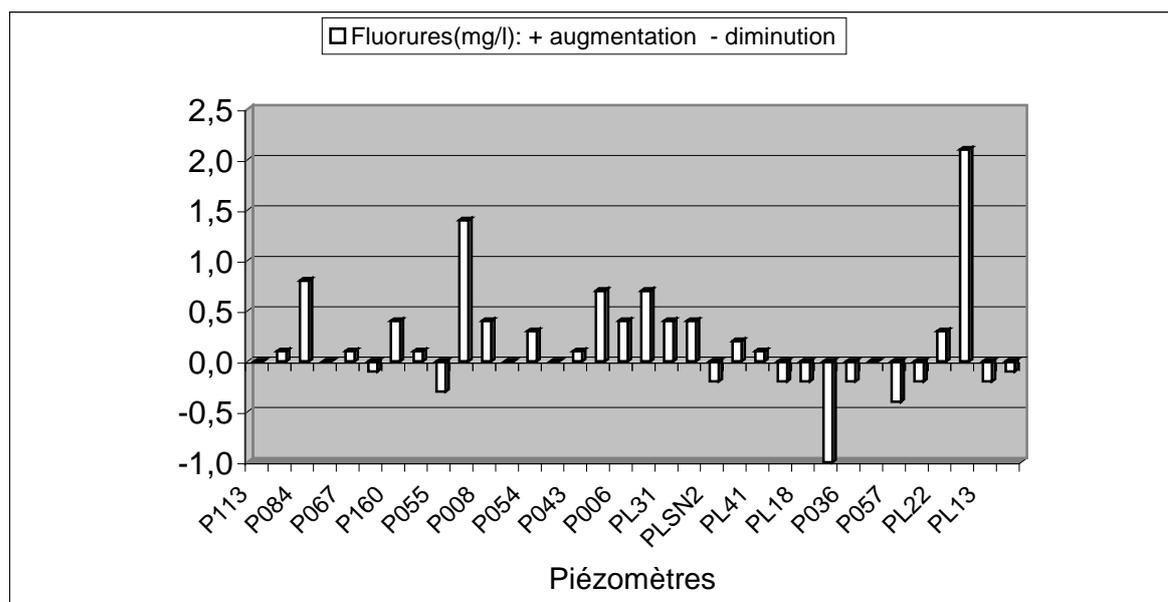


Figure 55: Fluctuation de F<sup>-</sup> dans les eaux de la nappe (Février-juin 2002)

#### IV-4-1-1. Origines du fluor :

Diverses recherches ont montré des sources naturelles (géologiques) et/ou anthropiques de fluor, mais également des processus d'ordre chimique et hydrologique sont à l'origine dans les eaux souterraines.

##### IV-4-1-1-1. Origine naturelle

Des corrélations relativement importantes ont été observées entre le fluor et les autres éléments dans les eaux de la nappe phréatique de la basse Vallée de l'Oued Mya (cf. tab.4, tab.5 et tab.6) à savoir : les chlorures, le magnésium, les bicarbonates et le calcium ; permettant ainsi de soulever l'hypothèse de l'origine géologique de cet élément.

D'après les travaux de Fleischer et Robinson (1963), cités par Travi (1993), les grès renferment jusqu'à 180 ppm de fluorure, les calcaires 220, les dolomites 260, les argiles 800 ; ces roches constituent les principales formations des aquifères : phréatique, CT et CI.

En effet, en raison de la précipitation des carbonates (Calcite et Aragonite) ainsi que les évaporites ( Gypse et Anhydrite) dans les eaux de la nappe phréatique de la basse Vallée de l'Oued Mya, le calcium est soustrait des solutions dès les premières étapes de

concentration sous l'effet du climat ( $T^\circ$ ) (cf. *chapitre I*), le caractère alcalin des eaux ( $7.29 < \text{pH} < 8.3$ ) ainsi que le déséquilibre initiale  $\text{TH} \gg \text{TAC}$  avec de fortes teneurs en magnésium diminuent l'activité chimique du calcium, ce qui génère la solubilité du fluorure (Travi, 1993 ; Chernet, 2001 ; Barbiero, 1994 ; Mazet, 2003).

Les résultats obtenus montrent que les indices de saturation ( $SI$ ) vis-à-vis de la fluorine  $\text{CaF}_2$  :  $\text{Log } K_{ps} = -10.57$  (Smyshlyayev et al, 1992) calculés dans les eaux de la nappe phréatique sont très proches de l'équilibre (34.29 % des échantillons), en équilibre (60 % des échantillons) et sursaturés (5.71%).

Les échantillons saturés sont ceux prélevés des piézomètres situés dans les zones d'affleurement de la nappe (P044, P008, P160, et P162) (fig.56, fig.57 et fig.58) (tab.5 et tab.6 en annexes).

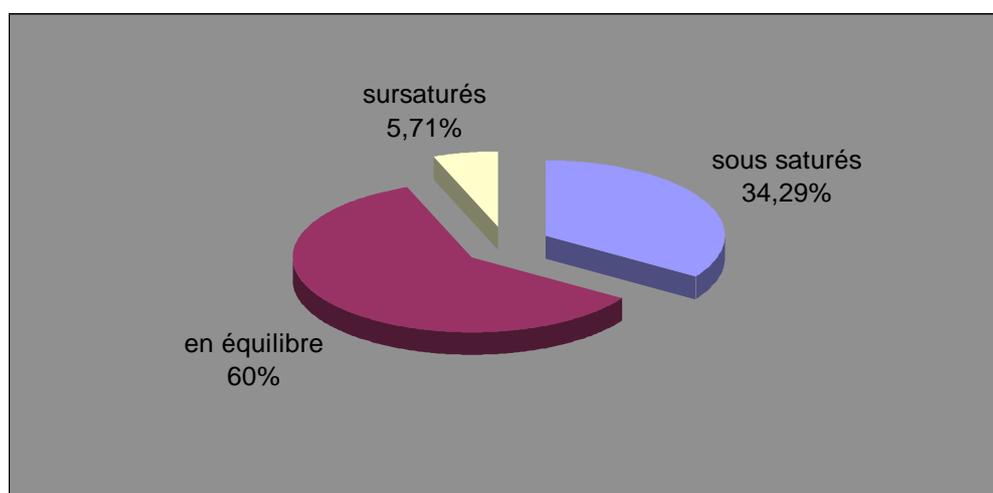


Figure 56: Taux de saturations des eaux par rapport à la fluorine  $\text{CaF}_2$  (février & juin 2002)

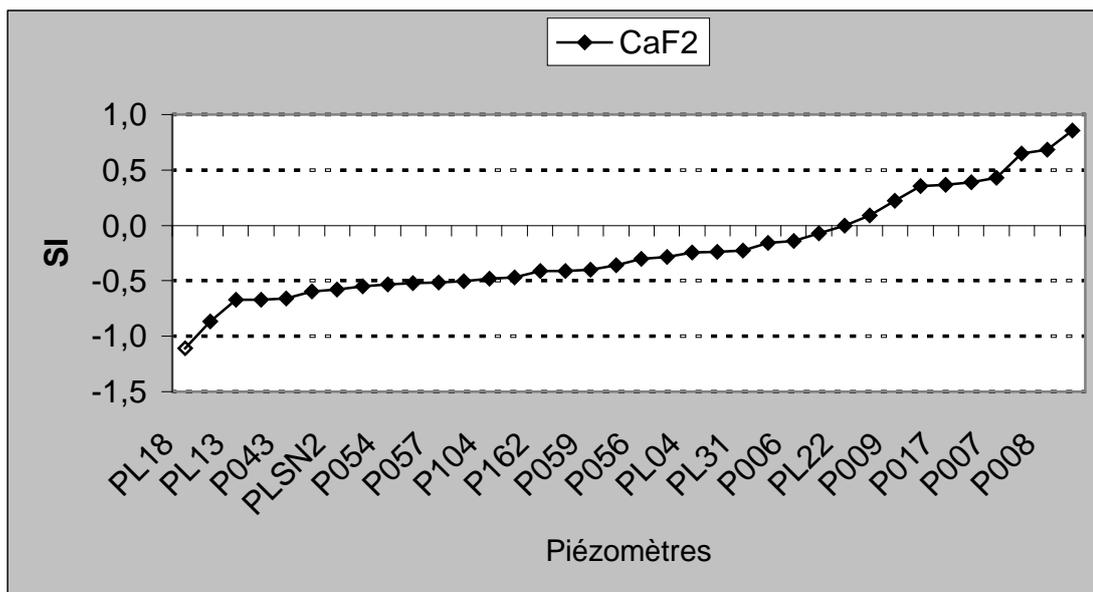


Figure 57: Variation de l'indice de saturation en fluorine dans les eaux de la nappe phréatique (février 2002)

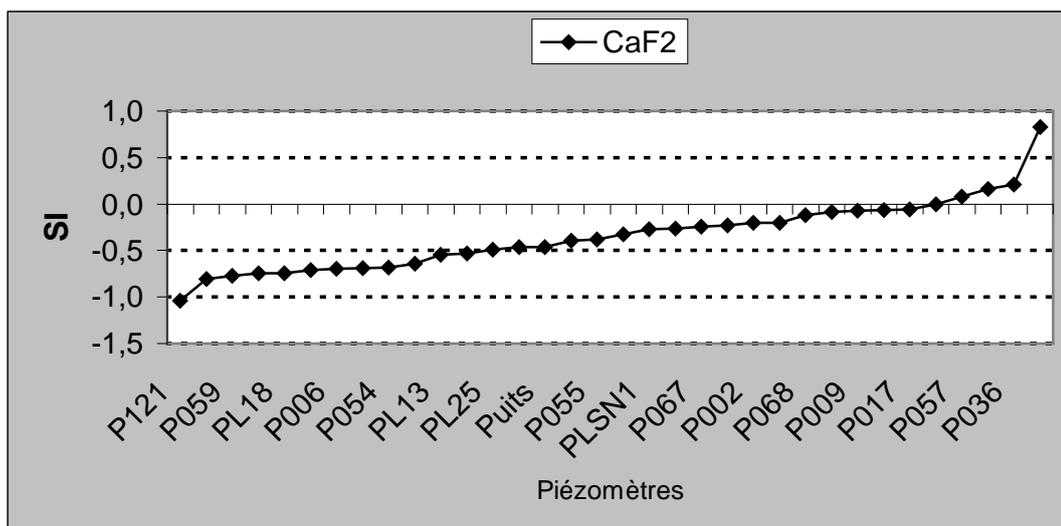


Figure 58: Variation de l'indice de saturation en fluorine dans les eaux de la nappe phréatique (juin 2002)

En examinant le nuage de point dans les diagrammes d'équilibre des eaux par rapport à la fluorine pendant les deux campagnes (fig.59, et fig.60) (tab.10 et tab.11 en annexes) nous observons une évolution de ceux-ci vers la branche de calcium ce qui suggère l'apparition d'autres minéraux qui contrôlent le domaine de calcium après la précipitation insignifiante de la fluorine, et/ou des minéraux qui contrôlent le domaine du fluor autres que la fluorine.

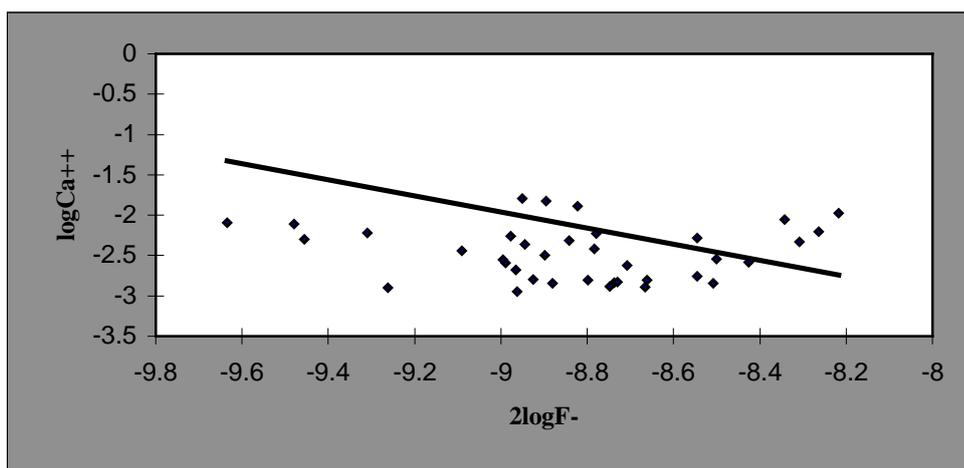


Figure 59 : Diagramme d'équilibre par rapport à la fluorine (février 2002)

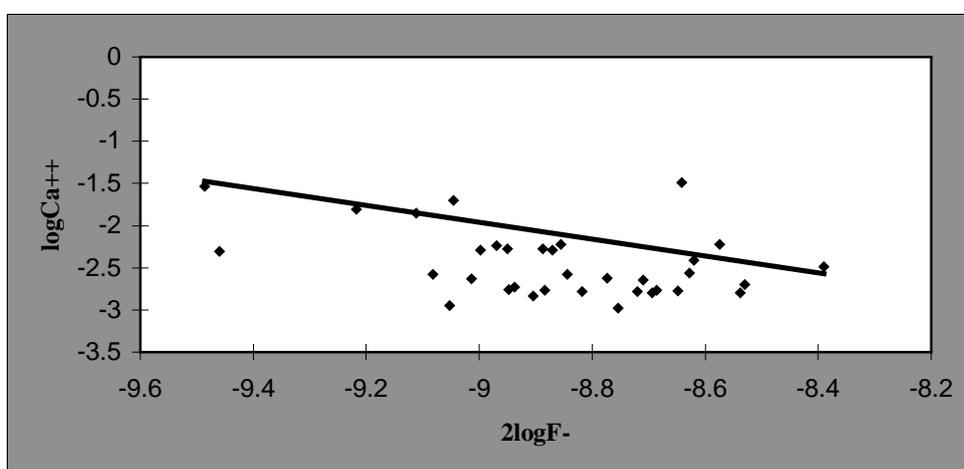


Figure 60 : Diagramme d'équilibre par rapport à la fluorine (juin 2002)

L'étude de la spéciation chimique d'un élément permet de connaître les différentes formes et composées (libre, complexé..) sous lesquels il se trouve dans la solution (Mazet, 2003).

La spéciation chimique du fluor dans les eaux de la nappe phréatique de la Vallée de l'Oued Mya à l'aide du logiciel thermodynamique Wateq (2.11) montre une dominance des formes ioniques dissoutes : libre  $F^-$  ; représente 51.08% et 53.92% dans la totalité des échantillons, respectivement pendant février et juin 2002 et complexée  $MgF^+$  ; représente 47.55% et 44.68%, respectivement pendant février et juin 2002. On remarque également que le composé  $CaF^+$  est relativement négligeable (<2%) pendant les deux périodes de mesure (fig.61 et fig.62)

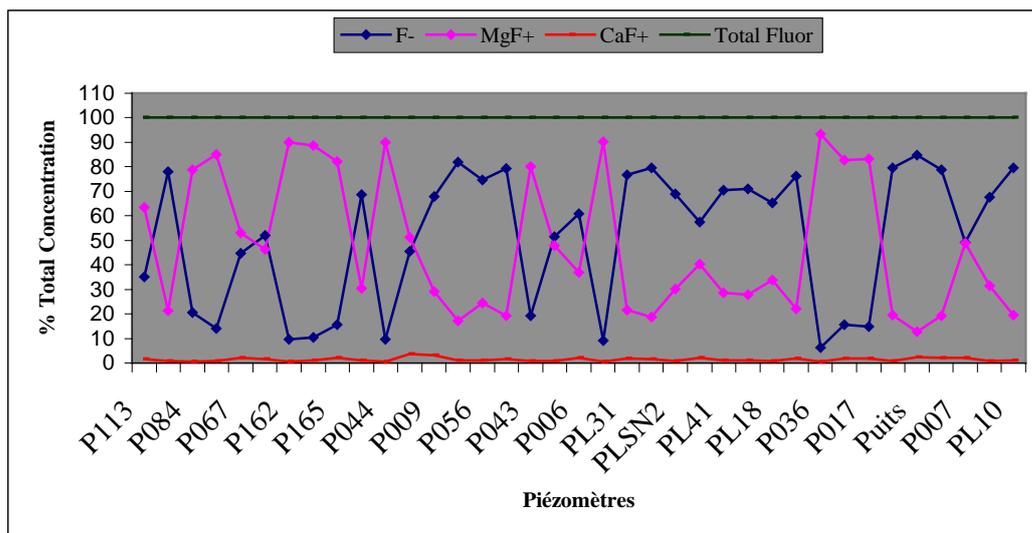


Figure 61 : Résultats de spéciation du fluor dans les eaux de la nappe (février 2002)

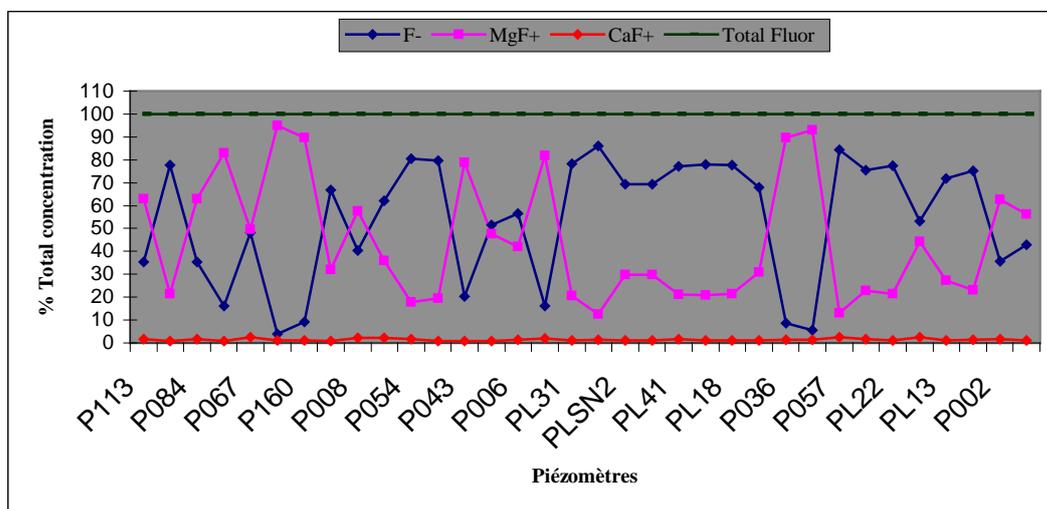


Figure 62 : Résultats de spéciation du fluor dans les eaux de la nappe (juin 2002)

#### IV-4-1-1-2. Origine anthropique

Les eaux souterraines d'alimentation humaine en provenance des nappes : du Mio-Pliocène et du Sénonien, montrent également des teneurs en fluorures moyennement élevées selon les analyses faites par nos soins sur les eaux de quelques forages (tab. 8). Dans les eaux de la nappe du Sénonien le fluor est d'une concentration de l'ordre de 1 mg/l et atteint (1.42 mg/l) dans les eaux du Mio-Pliocène. Toutefois les eaux de l'Albien semblent aux limites recommandées par l'OMS, soit 0.6-0.8 mg/l.

Compte-tenu des conditions climatiques de notre secteur d'étude aux mois de Juillet et Août (>42°C), les quantités d'eau consommées et les habitudes alimentaires de la population de Ouargla en matière de consommation de produits riches en fluor (dattes et thé vert), nous estimons que l'exposition journalière des personnes aux fluorures est importante, et par conséquent, les eaux de rejet domestique en provenance des nappes précitées peuvent constituer un apport important en fluorures à la nappe. Cependant, nous avons prélevé une concentration de 1.7 mg/l en fluorure dans les eaux du collecteur principal (rejet d'eaux ménagères et agricoles) sachant que la seule station d'épuration existante à l'échelle de la région n'a jamais fonctionné depuis son installation en 1980, et ce d'après les services hydrauliques de la wilaya de Ouargla, et par conséquent l'apport anthropique paraît de faible influence vis-à-vis de l'extension géographique de la nappe en question.

Tableau 8: Le fluor dans les eaux profondes (février 2002)

Nom du forage	Nappe	F-
D6F45 N'goussa	Mio-Pliocène	1.10
D7F4 Bamendil	Mio-Pliocène	1.11
D6F40 El Koum	Mio-Pliocène	1.42
D1F146 Cité Universitaire	Mio-Pliocène	1.05
D1 F110 Matmora	Mio-Pliocène	1.17
D6F86 Aïn Moussa	Mio-Pliocène	1.31
D1F144 Université	Mio-Pliocène	1.14
D6F97 El Bour	Mio-Pliocène	1.27
D9F12 Sdi Kouiled	Mio-Pliocène	1.30
D6F69 Oum Eraneb	Mio-Pliocène	1.33
D1F124 Ghabouz1	Sénonien	0.92
D1F142 Ghabouz2	Sénonien	0.90
D2F66 Saïd Otba	Sénonien	0.96
D3F21 Sokra	Sénonien	1.09
D1F112 Aïn El Kheir	Sénonien	0.98
D1F123 Mekhadma	Sénonien	1.15
D1F149 Selice	Sénonien	1.07
D3F22 Sokra	Sénonien	1.00
D1F151 Ifri	Sénonien	1.23
El Hadeb1	Albien	0.68
El Hadeb2	Albien	0.69

#### IV-4-2. Excès de fluor dans les eaux d'alimentation humaine. Effets et nuisances

Les fluorures solubles ingérés avec l'eau de boisson sont rapidement absorbés presque en totalité dans le tractus gastro-intestinal, et se répartissent rapidement dans l'organisme (essentiellement le squelette et les dents).

Les marges entre dose utile et toxique se résument comme suit :

\*moins de 0.5 mg/l : déficience en fluor pour prévenir les caries dentaires ;

\*entre 0.5 et 1.5 mg/l : dose optimale pour prévenir les caries ;

\*entre 1.5 et 4 mg/l : risque de fluorose dentaire (tâches sur l'émail) ;

\*plus de 4.5 : risque de fluorose osseuse (douleurs osseuses et articulaires accompagnées de déformations). (OMS, 1994; Desjardins, 1998; Potelon & al, 1998).

Pratiquement, toutes les denrées alimentaires contiennent au moins des traces de fluorures. Toute la végétation en contient, car ils sont absorbés à partir du sol et de l'eau. Les concentrations les plus élevées ont été observées dans le poisson (0,1–30 mg/kg) et le thé (3 à 300 mg/kg) tout deux riches en fluor (Slooff .W et al, 1988 ; O.D.W, 1985). Dans le thé, les concentrations élevées peuvent être le résultat d'une concentration naturelle dans la plante ou de l'utilisation d'additifs lors de la culture ou de la fermentation. Le thé fréquemment consommé chez la population du Sud algérien et qualifié de bonne qualité renferme 1mg / 20g de feuillets, soit 50mg/Kg (Bennini, 2002)

Les dattes en particulier de variété Ghars ; cultivée dans le Souf (W. d'El Oued), en contient 5.8 mg/Kg (Azout, 1978).

Le niveau d'exposition quotidienne au fluor varie selon les régions géographiques. L'exposition d'origine alimentaire peut être particulièrement importante. Des apports journaliers allant de 0,46 à 3,6–5,4 mg ont été signalés dans diverses études (OMS, 1984 et 1994).

### **IV-4-3.Exposition de la population Ouargli échantillonnée au fluor et à la fluorose**

#### **IV-4-3-1.Matériels et méthodes**

Pour évaluer le taux et les effets d'exposition journalière de la population Ouargli aux fluorures, nous avons procédé aux enquêtes par questionnaire :

-l'une auprès des chirurgiens dentistes et orthopédistes exerçant dans la région

-l'autre auprès de trois populations de localités différentes et d'eaux de consommation issues de nappes différentes:

\*la population de la Casbah (36 personnes interrogées) au centre ville de Ouargla, alimentée par les eaux du Sénonien (1 mg/l de F<sup>-</sup>)

\*la population de N'goussa (30 personnes interrogées) au Nord, alimentée par les eaux du Mio-Pliocène (1.2 mg/l de F<sup>-</sup>)

\*la population de Rouissat (39 personnes interrogées) au Sud, alimentée par les eaux chaudes de L'Albien (0.68 mg/l de F<sup>-</sup>)

Une fiche d'enquête a été établie comme suit:

### FICHE D'ENQUETE

1-Age 35

2-Sexe : masculin (1)

3-Localité :N'goussa

4-Metier & lieu : agriculteur dans une palmeraie

5-Pathologies

5-1-Etat des dents: \*caries : oui (1) \*lésions : oui (1)

5-2-Diabète : non

5-3-Utilisation des anti-acides : non

6-Nature de l'eau de boisson: \*robinet : oui \*puits traditionnel : non \*citerne : non

\*nombre de litres ingérés : 3 (l/j)

7-Habitudes alimentaires:

7-1-Thé: \*nombres de tasse/jour : 6

7-2-Dattes: \*nombre de dattes /jour : 15

8-Divers aliments suppléments de fluor: \*lait : oui \*oeufs : oui

\*viandes : oui \*poisson : oui

#### IV-4-3-2.Résultats et discussions:

Les orthopédistes consultés, confirment que les diagnostics (résultat de bilans médicaux de patients) n'ont jamais révélés de cas de fluorose osseuse chez leurs patients dans la région. En effet la fluorose osseuse (avec altération de la structure des os) s'observe

lorsque l'eau de boisson contient 3 à 6 mg de fluorures par litre. Elle devient invalidante lorsque la concentration dépasse 10 mg/litre (OMS, 1984).

Les chirurgiens dentistes, nous confirment avoir souvent rencontrer jusqu'à cinq patients par semaine (5/7j) qui se présentent pour le blanchiment esthétique de leurs dents; faciles à traités par de simples décapants. Un cas sur cinq (1/5) peut manifester une fluorose accentuée (incorporée aux dents). Ce genre de cas, affirment les chirurgiens dentistes, la plus part d'entre eux sont originaires d' El Oued ou de Touggourt, où la fluoruration des eaux d'alimentation humaine peut atteindre : 2.81 et 3.12 mg/l respectivement dans les deux régions (Youcef, 1998).

Les fluorures peuvent provoquer une légère fluorose dentaire (prévalence: 12–33%) lorsque leur concentration dans l'eau de boisson se situe entre 0,9 et 1,2 mg/litre (Dean, 1942), ce qui a été confirmé par de nombreuses études, notamment une enquête récente de grande ampleur menée en Chine (Chen et al, 1999).

Auprès des populations choisies dans notre secteur d'étude, notre enquête d'avril (2003) nous a permis d'établir trois (03) tableaux en annexe (tab.7 ; tab.8 ; tab.9 en annexes) fournissant plus d'informations sur l'exposition des populations Ouarglis échantillonnées aux fluorures et à la fluorose dentaire.

Ces tableaux permettent de récapituler les informations fournies par notre enquête auprès des populations (tab.9) et tirer les conclusions suivantes:

Tableau 9: Synthèse sur l'exposition de la population de Ouargla au fluor.

Population	Hommes	Femmes	Caries	Lésions	Quantités moyennes apportées (mg/ j)				
					Eaux	Thé	Dattes	Divers	Dose (mg/j)
Casbah	7	23	6	9	1,90	0,32	0,95	1,00	4,17
N'goussa	8	28	4	8	2,34	0,25	0,88	1,00	4,46
Rouissat	12	27	19	9	1,46	0,24	1,02	1,00	3,72
Totaux	27	78	29	26	5,69	0,81	2,84	1,00	12,34
%	25,71	74,29	27,62	24,76	46,11	6,57	23,01	24,30	100,00

\*L'exposition journalière moyenne (Dose<sub>moy</sub> /jour) de la population échantillonnée aux fluorures de différents aliments (Eau, Thé, Dattes et autres) est de l'ordre de 4.11 mg/j (fig.63) Une dose qui dépasse les besoins nutritionnels conseillés par les associations

allemandes suisses et autrichienne ; sachant qu'elles recommandent 0.7-2 mg/j aux enfants (selon l'âge), et aux adolescents et adultes : de 2.9 à 3.1 mg/j pour les femmes et de 3.2 à 3.8 mg/j pour les hommes (OMS, 1994).

\*Les quantités ingérées par l'Eau constituent la principale source de l'exposition de la population échantillonnée aux fluorures, soit 46.11% de la Dose d'exposition journalière moyenne (fig.64). L'exposition journalière au dit élément évolue parallèlement avec la qualité de l'eau de boisson (fig.65) de différentes nappes profondes de l'Albien, du Sénonien et du Mio-Pliocène, et proportionnellement avec les quantités d'eau ingérées quotidiennement.

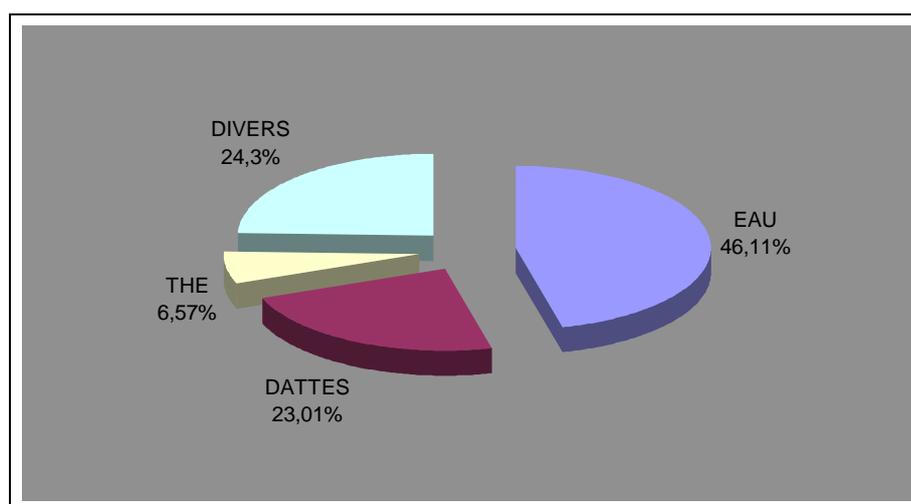


Figure 63 : Répartition des différents apports de la dose d'exposition journalière des populations Ouarglis échantillonnées.

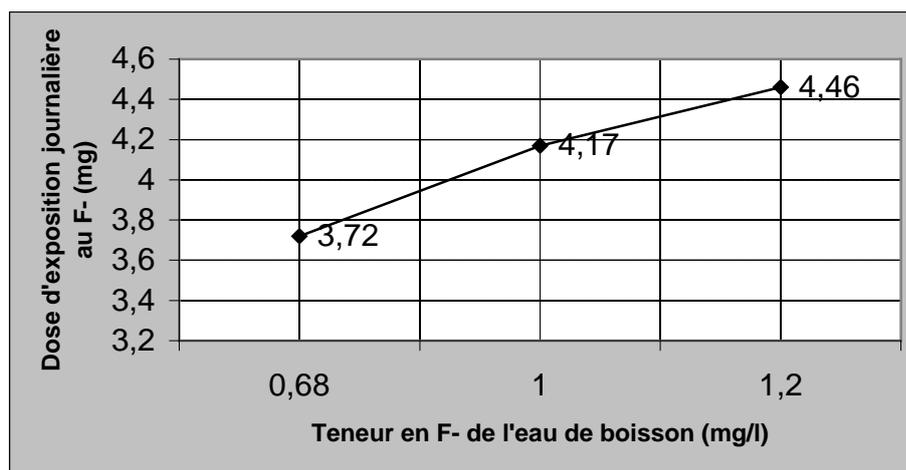


Figure 64: Evolution de l'exposition journalière aux fluorures en fonction de la qualité de l'eau de boisson

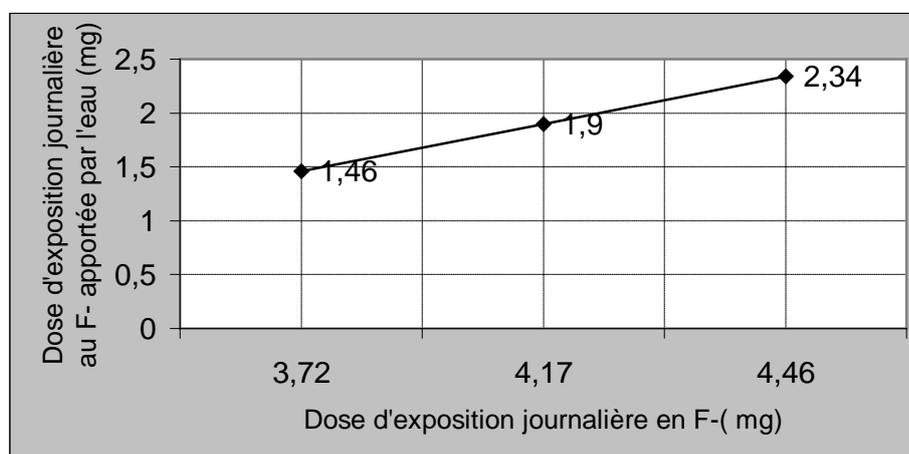


Figure 65 : Evolution de l'exposition journalière aux fluorures en fonction des quantités d'eau ingérées par jour.

-Les quantités apportées par les Dattes : Sont également considérables (23.01%).

\*Les quantités apportées par le Thé : Semblent de moindre importance (6.75%).

-Des apports de divers aliments (Ouefs, viandes, fromages, poissons...etc): Sont estimés à 24 % de la dose journalière.

\*Les lésions dentaires : Le surdosage léger et chronique produit des taches persistantes sur les dents (fluorose dentaire) atteignent 24.76% des populations échantillonnées de la région, d'âge qui varie entre 30 à 70 ans constitués surtout de femmes, ce qui évite de confondre les lésions d'origine hydrique et alimentaire à celles dues au

tabagisme. Cette fluorose semble légère au sein des populations contre des cas de caries et de dents saines (néant) rencontrés (fig.66).

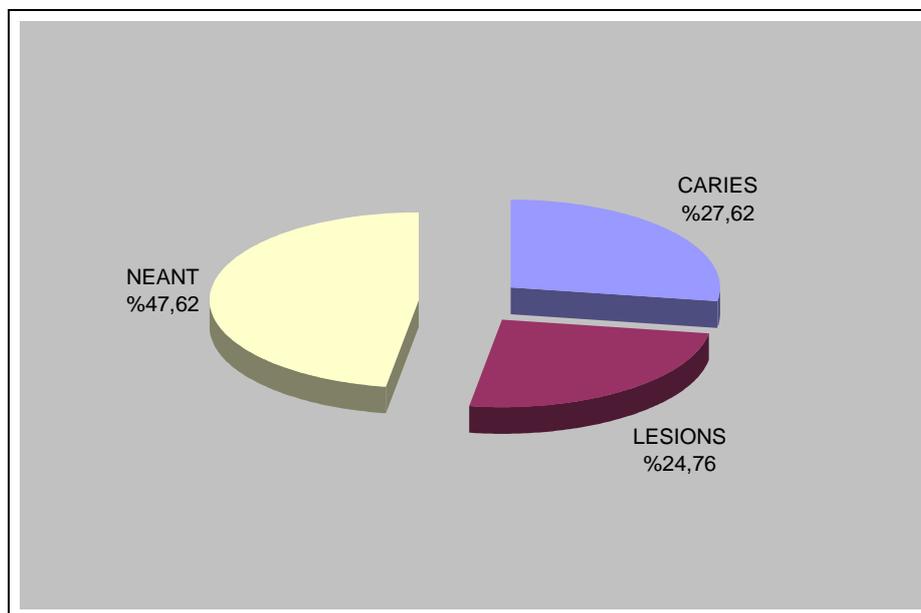


Figure 66 : Répartition des cas de fluorose, de caries et de personnes saines dans les populations Ouarglis échantillonnées.

\*La carie dentaire qui atteint 27.62%, des populations Ouarglis échantillonnées, dont 65.62% de cas ont été observés chez la population de Rouissat (fig.67), où l'eau de boisson contient une concentration en F<sup>-</sup> aux limites recommandées par de l'OMS. Un phénomène qui peut se produire aussi chez des personnes présentant des lésions semble liées au manque d'hygiène (brossage fréquent des dents) et ce surtout chez les personnes âgées.

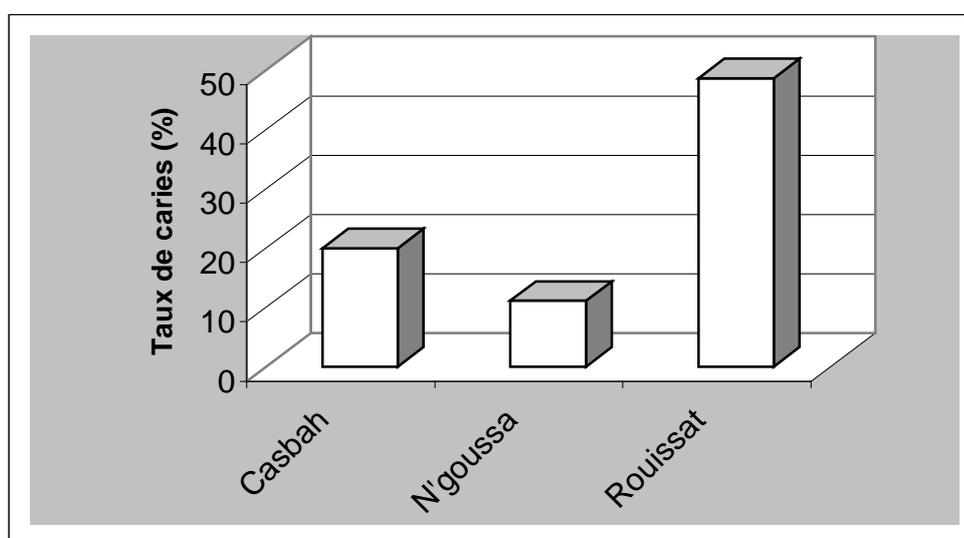


Figure 67: Taux d'exposition des populations Ouarglis échantillonnées à la carie dentaire.

L'exposition journalière des personnes aux fluorures est appelée à l'accroissement avec la croissance de la température de l'été et la consommation de la datte locale en début de maturation, appelée communément "Lemnaguer".

### **Conclusion**

Le fluor est présent naturellement dans les eaux de la nappe phréatique de l'Oued Mya sous forme d'espèces aqueuses libres ( $F^-$ ) et complexées ( $MgF^+$  et  $CaF^+$ ).

Les conditions climatiques, les pH alcalins et la dureté bicarbonatée de l'eau diminuent l'activité chimique du calcium et favorisent l'altération des minéraux argileux, ce qui induit la solubilité du fluorure, préalablement contrôlé par l'équilibre avec la fluorine ( $CaF_2$ ). Cet élément se concentre sans être significativement affecté par la précipitation de la fluorine. Ce qui suggère qu'il tend vers la précipitation de la sellaïte ( $MgF_2$ ).

## ***Conclusion générale***

L'oasis de Ouargla, qui correspond à la basse vallée fossile de l'Oued Mya, est caractérisée par un climat saharien hyper aride à hivers tempérés, et d'une sécheresse permanente ; où les précipitations (43.20 mm/an) sont toujours inférieures au double des températures (maxima moyen 42.69°C). Le cumule de l'évapotranspiration potentielle est de l'ordre de 2758.80 mm/an, presque 60 fois celui de la pluviométrie, traduisant ainsi un déficit hydrique long de l'année.

Ouargla s'inscrit dans une vaste cuvette sédimentaire occupant dès le Secondaire, l'emplacement de l'actuel Sahara Nord-oriental (septentrional) constituée d'un remplissage tabulaire de terrains tertiaires (Mio-Pliocène) et de dépôts détritiques quaternaires.

Trois aquifères utiles ont été reconnus dans la région :

- La nappe de l'Albien ;
- La nappe du Sénono-Eocène;
- La nappe du Mio-Pliocène ;

Les sables de surface quaternaires renferment la nappe Phréatique de l'Oued My. Une continuité lithologique entre les sables miopliocènes et les sables quaternaires, suggère que les deux formations constituent pratiquement le même aquifère.

Les mesures et les observations faites par nos soins sur le réseaux de surveillance de la nappe (34 piézomètres) pendant le mois de février 2002, montrent que les eaux salées de rejet, urbaines et agricoles, maintiennent des niveaux piézométriques très élevées par rapport à la morphologie du terrain (remontée de la nappe) et perturbent sérieusement l'environnement.

La carte piézométrique établie à ce sujet montre que, le sens d'écoulement principal des eaux de la nappe suit celui de la nappe du Complexe Terminal ; il est vers le Nord de la Vallée, et obtient comme exutoire la Sebkha de Sefiouna avec un gradient hydraulique de l'ordre de 0.85 ‰ ;

\*Les écoulements secondaires s'orientent vers les sebkhas d'alentour de Ouargla à savoir : Aïn El Beïda, Oum Eraneb, et Bamendil ;

\*Une ligne de partage des eaux au niveau de Bour El Haïcha, mise en évidence par des travaux antérieurs, est due principalement à la percolation verticale des eaux des nappes profondes du CT et du CI. Des apports liés au prolongement Nord-Est de la dorsale d'Amguid où des failles à fort rejet vertical favorisent des communications entre les systèmes aquifères. L'un des accidents méridionaux du Hoggar longe la vallée de l'Oued Mya et s'estompe à proximité de celle-ci pourrait être à l'origine des apports profonds dans cette zone.

L'analyse statistique CAH des données physicochimiques des eaux de la nappe phréatique de la Vallée de l'Oued Mya, révèle deux familles bien corrélées emboîtées sous la conductivité à savoir : les évaporites ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , et  $\text{Mg}^{2+}$ ) et les carbonates ( $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , et  $\text{HCO}_3^-$ ).

Les nitrates, ne présentent pas de corrélations significatives avec tous les éléments. Les concentrations rencontrées en  $\text{NO}_3^-$ , sont ponctuellement modérées à insignifiantes sur l'ensemble de la vallée.

La conductivité électrique (80 000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en moyenne), qui traduit une salinité abusive des eaux de ladite nappe, se trouve influencée tant par les évaporites que par les carbonates, et tant par les chlorures que par les sulfates. On peut penser donc que le chlorure est un bon indicateur de l'état de concentration de l'eau. L'évolution de la concentration de chaque élément majeur depuis les plus faibles concentrations aux plus fortes est fonction de la teneur en chlorure ( $\text{Cl}^-$ ) (43 000 mg/l en moyenne) et par conséquent l'évolution de la salinité des eaux suit l'évolution de cet élément émanant naturellement de la dissolution des formations géologiques et de l'évaporation de la nappe à l'air libre. Elle augmente progressivement le long des directions d'écoulement (tab.3 et tab.4 en annexes) dans deux zones localisées de part et d'autre de la ligne de partage des eaux. Toutefois des échanges de base, peuvent se produire entre  $\text{Na}^+$  et  $\text{Ca}^{2+}$ , et le  $\text{Na}^+$  et  $\text{Mg}^{2+}$  ; liés aux minéraux argileux, qui fixent un ion de calcium ou de magnésium et libèrent deux ions de sodium. La présence du magnésium en quantités importantes dans les eaux de la nappe est liée principalement aux carbonates et aux évaporites (gypse).

Le faciès chloruré sodique est le faciès chimique dominant dans les eaux de la nappe. Les échantillons les moins concentrés évoluent vers le faciès sulfaté magnésien. Cependant

des variations notables de faciès peuvent paraître à cause de l'origine superficielle et profonde de l'eau.

Le calcul de l'indice de saturation des minéraux chimique par rapport à l'eau de la nappe, montre la forte sensibilité des minéraux carbonatés à la précipitation sous forme de Dolomite, Huntite, Magnésite, Calcite et Aragonite et à un degré moindre les évaporites précipiteront sous forme d'Anhydrite et de Gypse, et évoluent probablement vers la précipitation de la Halite.

En raison de la précipitation des carbonates, ainsi que les évaporites, le stock de calcium dans les eaux de la nappe s'épuise rapidement dès les premières étapes de concentration. L'effet du climat ( $T^\circ$ ) les pH alcalins et la dureté permanente de l'eau diminuent l'activité chimique du calcium, ce qui induit une forte solubilité du fluorure, qui se concentre et précipite ponctuellement sans être affecté par la précipitation de la fluorine  $\text{CaF}_2$ . Ce qui permet à cet élément d'être présent naturellement avec des teneurs allant de 1mg/l à 3.6 mg/l dépassant ainsi les concentrations destinées à l'alimentation humaine telles que recommandées par l'OMS (1994).

De telles eaux ayant une salinité excessive, ne sont pas potables selon leurs caractéristiques physicochimiques : concentrations en chlorures (représentées par 67% des échantillons analysés) concentration en sulfates (représentées par 89% des échantillons analysés) dureté permanente, fluoruration nocive. Leur classification sur le diagramme de Richards (1954) les qualifie de médiocres *C4-SI*, à risque de sodicité *SAR* élevée à très élevée, surtout pour les échantillons qui sont hors échelle de diagramme (représentant plus de 86 % des échantillons). De ce fait, elles sont délaissées par la population Ouargli pour qu'elles soient remplacées par les eaux profondes des nappes du CT et du CI, bien qu'elles nécessitent une certaine précaution d'utilisation en alimentation humaine pour une éventuelle protection de la santé publique.

Les fluorures dans les eaux du Mio-Pliocènes et du sénonien dépassent en général 1 mg/l. Cependant, les eaux de l'Albien semblent aux limites de la potabilité recommandées par l'OMS (0.6-0.8 mg/l) en tenant compte des conditions climatiques, du volume d'eau consommé et des autres sources des fluorures. Les enquêtes que nous avons mené auprès des populations Ouarglis (Casbah, N'goussa et Ruissat) et des médecins spécialistes (Orthopédistes et Chirugiens dentistes) révèlent 24.76% de la population échantillonnée est exposée à une légère la fluorose dentaire suite à une exposition journalière moyenne au fluorure de l'ordre de 4.11 mg/j, dont l'eau constitue la principale source (46.11%).

La présente étude n'est pas exhaustive. Elle constitue une contribution en vue de comprendre les mécanismes d'acquisition de la salinité et de la fluoruration des eaux et de mettre en évidence certains problèmes auxquels est exposée la population de Ouargla, en l'occurrence la fluorose dentaire. Elle nécessite d'éventuelles recherches pour développer les aspects géochimiques et hydrogéologiques.

- Achour. S. (1990). La qualité des eaux du Sahara septentrional en Algérie. Etude de l'excès en fluor. Tribune de l'eau, Cebdeau, 42 (542), 53-57.
- ANAT. (1995). Maîtrise de la croissance urbaine de la métropole de Ouargla. Réhabilitation de l'écosystème de la Vallée de l'Oued Mya, 43p.
- ANRH. Direction Régionale-Sud (Ouargla) : documents sur les LOG stratigraphiques des forages ; listing des piézomètres.
- Aumassip. G., & al. (1972). Aperçu sur l'évolution du paysage Quaternaire à région de Ouargla, Lybica, t.xx, 257p
- Aroua. A. (1981). Problèmes de santé liés à l'hyperminéralisation de certaines eaux en Algérie. Séminaire sur la déminéralisation de l'eau potable, 14-19 Novembre 1981, Alger
- Azout. B., & Abraham. J. (1978). Existence et causes des fluoroses humaines dans la région d'El Oued. Anale de l'INA d'Alger, vol 8, 3, 5-12.
- Barbiero.L. (1994). Les sols alcalinisés sur socle dans la Vallée du fleuve Niger. Origines de l'alcalinisation et évolution des sols sous irrigation. Thèse, Doc, ENASA Renne, 210p
- Bel.F., & Dermagne .F.(1966). Etude géologique du Continental Terminal. INRH., Alger
- Bel. F., & Cuhe. D. (1970). Etude des nappes du Complexe Terminal du bas Sahara. Données géologiques et hydrogéologiques pour la construction du modèle mathématique. DHW., Ouargla.
- Bennini. L. (2002). Dosage électrochimique des fluorures. Validation et application à l'évaluation de la contamination environnementale. Diplôme d'études en sciences spéciales, pharmacie, toxicologie, Faculté des sciences médicales. univ. Alger.
- B&G (2003): Etude d'assainissement des eaux résiduaires, pluviale et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Rapport de la mission II A .Essai de pompage. Bonard & Gardel Lausanne, Mars 2003.
- Boudiaf. A. (1974). D'armous et parodontopathies. Thèse, Doc, Chirurgie dentaire, Univ, Alger

- BRL-BNEDER. (1999). Etude du plan directeur générale de développement des régions sahariennes. Lot 1. Etude de base. Phase II A3. Monographies spécialisées des ressources naturelles. Ressources en eau, Vol 2. Modélisation du Continental Intercalaire.
- BRL-BNEDER. (1999). Etude du plan directeur générale de développement des régions sahariennes. Lot 1. Etude de base. Phase II A3. Monographies spécialisées des ressources naturelles. Ressources en eau, Vol 3. Modélisation du Complexe Terminal
- Castany. G.(1982). Hydrogéologie, principes & méthodes. , Paris, éd. Dunod , 237p.
- Chen CJ & al. (1988). Enquête nationale sur la qualité de l'eau de boisson et les maladies transmises par l'eau en Chine. Beijing, Institut d'hygiène et de surveillance de l'environnement, Académie chinoise de médecine préventive, 95–99 (en chinois).
- Chernet. T., Travi.Y., & Valles.V. (2001). Mechanism of degradation of the quality of natural water in the lakes region of the Ethiopian rift valley . Water Research. Vol 35, Issue 12, pages 2819-2832
- C I R C. (1982). Some aromatic amines, anthraquinones and nitroso compounds, and inorganic fluorides used in drinking-water and dental preparations. Monographies du CIRC sur l'évaluation des risques de cancérogénicité pour l'homme, Vol. 27. Lyon, pages 237–303
- Claudin, J., Le Houérou, H. N., & Pouget, M. (1979). Etude bioclimatique des steppes algériennes (avec carte 1/1 000 000). Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. du Nord, Alger.
- Cornet, A. (1961). Initiation à l'hydrogéologie saharienne. Cours ronéoté destiné aux officiers du cours préparatoire aux Affaires sahariennes. S.E.S. Birmandreis, Alger, 108p.
- Cornet, A. (1964). Introduction à l'hydrogéologie saharienne. Géog. Phys. et Géol.Dyn., vol. VI.fasc. 1,5-72.
- Cornet. A., & Gouscov.N. (1952). Les eaux du Crétacé inférieur continental dans le Sahara algérien (nappe dite « albien »). In « La géologie et les problèmes de l'eau en Algerie » XIXème congrès géologique international T.II, 30p

- Dean. H.T.(1942). Epidemiological studies in the United States. In: Moulton FR, ed. Fluorine and dental health. Washington, DC, American Association for the Advancement of Science, AAAS Publication N° 19.
- Debye. P., & Hückel. E. (1923). Zur théorie der electrolyte I, Phys. Z. (Leipzig), 24, 185-197.
- Desjardins.R .(1997). Le traitement des eaux. Edition de l'école polytechnique de Montréal, 304p.
- Droubi, A. (1976). Géochimie des sels des solutions concentrées par évaporation. Modèles thermodynamique de simulation, application aux sols salés du Tchad. Mémoire Docteur-Ingénieur (Sciences géologiques, 46), ULP, Strasbourg, 177 p.
- Droubi, A., Fritz, B., & Tardy, Y. (1976). Equilibres entre minéraux et solutions. Programmes de calcul appliqués à la prédiction de la salure des sols et des doses optimales d'irrigation. Cah. ORSTOM, série Pédo., 14, 13-38.
- Dubief, J. (1953). Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. S.E.S., Alger, 457p.
- Dubief, J. (1963). Le climat du Sahara. Mém. Hors série. Ins. Rech. Sahar., 2, 275p.
- Dubost, D. (1992). Aridité, agriculture et développement: cas des oasis algérienne. Sécheresse, 3, 85-96.
- Emberger, L. (1955). Une classification biogéographique des climats. Trav. Inst. Bot., Montpellier, 7, 3-43.
- ENAGEO (1990) : Etude hydrogéologique de la nappe phréatique de la cuvette de Ouargla. Rapport, avril 1990
- Fabre, J. (1976). Introduction à la géologie du Sahara d'Algérie et des régions voisines. SNED, Alger, 421p.
- Germain. L. Colas.l., & Rouquet. (1976) . Le traitement des eau, paris,
- Gonfiantini., & al. (1974). Etude isotopique de la nappe du Continental Intercalaire et ses relations avec les aquifères du Sahara Nord- Est septentrional, Rev, Algéria.

- Gouscov. N. (1952). Le problème hydrogéologique du bassin artésien de l'Oued Rhir. In « La géologie et les problèmes de l'eau en Algérie ». XIXème congrès géologique international T.II, 16p
- Guendouz, A. (1985). Contribution à l'étude géochimique et isotopique des nappes profondes du Sahara nord-est septentrional, Algérie. Thèse Univ. Paris-Sud, Orsay, France.
- Guendouz, A., Reghis, Z., & Moulla A.S. (1992). Etude hydrochimique et isotopique des eaux souterraines de la cuvette de Ouargla. Rapport N° 1, 65p.
- Guendouz, A., Reghis, Z., & Moulla A.S. (1992). Etude hydrochimique et isotopique des eaux souterraines de la cuvette de Ouargla. Rapport N°2, 30p.
- Hamdi-Aïssa, B. (2001). Le fonctionnement actuel et passé de sols du Nord-Sahara (Cuvette de Ouargla). Approches micromorphologique, géochimique, minéralogique et organisation spatiale. Thèse, Doct, Institut National Agronomique, Paris-Grignon, 283p
- Hamdi-Aïssa, B., & Girard, M.C. (2000). Utilisation de la télédétection en régions sahariennes, pour l'analyse et l'extrapolation spatiale des pédopaysages. Sécheresse. 3, 179-188.
- Lelièvre, R.F. (1969). Assèchement de la cuvette de Ouargla. Ministère des Travaux Publics et de la Construction, rapports Geohydraulique n°2, 18p ; n° 3, 84p.
- Louérou. H.N.(1959). Recherches écologiques et floristiques sur la végétation de la Tunisie méridionale. Inst. de Rech. Sahara, Univ. d'Alger, Mém. HS, 2 Vols et annexe, Alger, 510p.
- Margat, J. (1990). Les gisements d'eau souterraine. La Recherche, 221, 590-596.
- Margat, J. (1992). Quelles ressources en eau les grands aquifères offrent ils ?. Observatoire du Sahara et du Sahel, Le Caire, 14p.

- Mazet.P. (2003). Les eaux souterraines riches en fluor dans le monde. DEA, sciences de l'eau dans l'environnement continental. Rapport de stage, Université des sciences et technologie de montpellier II. 36P
- Nesson, C.(1978). L'évolution des ressources hydrauliques dans les oasis du Bas Sahara algérien. In : Recherche sur l'Algérie, (ed. CNRS), pp 7-100, Paris.
- ODW. (1985). Drinking water criteria document on fluoride. Washington, DC, US Environmental Protection Agency, TR-823-5.
- OMS.(1984). Fluor et fluorures. Critères d'hygiène de l'environnement, Genève, No 36.
- OMS.(1994). Directives de qualité de l'eau de boisson. Critères d'hygiène et documentation à l'appui, Genève, 2è ed. Volume 2, pp 272-279
- Potelon. J. L., & Zysman.K. (1998). Le guide des analyses de l'eau potable, éd, La lettre du cadre territorial. Pp 155-156
- Pouget, M. (1980). Les relations sol-végétation dans les steppes Sud-algéroises. ORSTOM, Paris, 555p.
- Richards, L.A. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agriculture Hand book N° 60. Laboratory. U.S. Dept. of Agriculture, Washington, 160 p.
- Rodier. J. (1984). L'analyse de l'eau, 7<sup>ème</sup> éd, 1353p
- Rouvillois-Brigol. M.(1975). Le Pays de Ouargla. Publications du Département de Géographie de Paris – Sobonne., Paris, 382p.
- Saporta. G.(1990) : Probabilité. Analyse des données et statistique, Ed Technip.493p
- Schoeller. H. (1962). Les Eaux Souterraines., Paris, Masson.
- Schoeller. H. (1963). Recherche sur l'acquisition de la composition chimique des eaux souterraines. Thèse, Dr, es Science, Lyon.

Slooff. W., & al. (1988). Eds. Basis document fluoriden. Bilthoven, Pays-Bas, Institut national de santé publique et de protection de l'environnement. Rapport N° 758474005.

Smyshlyayev.S. I, Edeleva. N.P. (1992). Determination of solubility of minerals. Solubility product of fluorite . Izv. Vysshikh Uchebn. Zavedenii Khim Tekhnologiiya, vol. 5.

Travi. Y. (1993). Hydrogéologie et hydrogéochimie des aquifères du Sénégal. Hydrogéochimie du fluor dans les eaux souterraines. Mém.Sci.Géol.95,155p

Travi. Y., & Kergall.Y.(1991). FLUORISK : Un système expert pour évaluer le « risque fluorotique » lié aux eaux souterraines dans les pays en voie de développement. Société hydrochimique de France. XXI<sup>ème</sup> journées de l'hydraulique. Sophia. Antipolis .29-31 Janvier 1991, pp.III-5.

UNESCO.(1972). Projet Reg 100. Etude des ressources en eau du Sahara septentrional. Rapport sur les résultats du projet, UNESCO, Paris.

Youcef. L. (1998). Etude des possibilités d'élimination des fluorures des eaux souterraines par précipitation chimique à la chaux. Thèse de magister en sciences hydrauliques. Université de Biskra.