

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



**UNIVERSITE HASSIBA BEN BOUALI CHLEF**  
**Faculté des Sciences et des Sciences de l'Ingénieur**  
**Département d'Hydraulique**

**Spécialité: Hydraulique**  
**Option : Hydraulique urbaine**

**Mémoire de Magister**

**Thème**

**Contribution à l'étude hydrogéologique  
des réservoirs aquifères du bassin  
du Moyen Cheliff**

*Présenté par : ELMEDDAHI Yamina*

*Devant le Jury composé de:*

Mr. SAAD HAMOUDI A.	Professeur, UHB Chlef.	Président
Mr. ISSAADI A.	Professeur, USTHB Alger.	Promoteur
Mr. REMAOUN M.	Maître de conférences, UHB Chlef.	Co-Promoteur
Mr. EZZIANE K.	Maître de conférences, UHB Chlef	Examineur
Mr. NEDJAI S.	Maître de conférences, UHB Chlef.	Examineur

**2008-2009**

Je remercie Dieu tout puissant de m'avoir donné tout de patience et de courage pour accomplir ce travail.

Je remercie tout particulièrement monsieur Issaadi Abderrahmane, professeur à l'USTHB. Alger, de m'avoir encadré et suivi mon travail avec ses précieux conseils.

Et messieurs les membres du jury :

- ✓ Saad Hammoudi A. Professeur à UHB. Chlef.
- ✓ Remaoun Mohamed. Maitres de conférences à UHB. Chlef.
- ✓ Ezziane Karim. Maitres de conférences à UHB. Chlef.
- ✓ Medjai Saci. Maitres de conférences à UHB. Chlef

Sans oublier messieurs :

Djihad. A (DHW de Chlef), Zemouri. A et Douaoui .A (enseignants à UHB. Chlef), Aissat. D et Hania. K.

Mes remerciements les plus vifs à toutes les personnes qui m'ont facilité la tâche pour acquérir les documents nécessaires à la réalisation de ce travail (L'ANRH de Chlef et Blida, L'ONM de Chlef et le service de mobilisation de DHW de Chlef).

Mes sincères remerciements à mes enseignants du magister et tous mes enseignants du département d'hydraulique.

Mes meilleurs remerciements à mes parents, mes frères et sœurs mes amies qui m'ont encouragé et aidé pour réaliser ce travail et à ma promotion de magister.

# Sommaire

<b>Introduction générale</b>	1
------------------------------	---

## Chapitre 1

### Contexte géographique et géomorphologique

1. Situation géographique	3
2. Contexte géomorphologique	4
2.1 Paramètre géométrique	4
2.2 Etude de relief	6
2.3 Etude du réseau hydrographique	12
3. Le Contexte pédologique	15
4. Végétation	17
5. Conclusion	17

## Chapitre 2

### Hydroclimatologie

1. Introduction	18
2. Précipitation	19
2.1 Etude des précipitations annuelles	19
2.2 Etude de statistique des précipitations	20
2.3 Détermination de la lame d'eau précipitée sur les bassins	21
2.3.1 Méthode de Thiessen	21
2.3.2 Méthode des isohyètes	23
2.3.3 La méthode arithmétique	24
2.4 Variation annuelle des précipitations (période : 1973- 2006)	24
2.5 Précipitations moyennes mensuelles	26
3. Etude des températures	26
4. Evaporation, Evapotranspiration et déficit d'alimentation	27
4.1 Evapotranspiration réelle et déficit d'écoulement	28
a. Méthode de COUTAGNE	28
b. Méthode de TURC	28
c. Méthode de WUNDT	29
d. Méthode de THORNTHWAITE	30
e. Méthode de P.VERDEIL	33
5. Le climat	34
5.1 Courbes pluviométriques de " GAUSSEN ET BAGNOULS"	34
5.2 Les indices climatiques	36
6. Bilan hydrologique	38
6.1 Ruissellement	40
6.2 Infiltration	40
7. Bilan hydrologique à l'échelle de la formation des « Calcaires à lithothamnium »	41
8. Conclusion.	42

## Chapitre 3

### Géologie – Géophysique

#### I – Géologie

1. Introduction	43
2. Cadre géologique général	43
3. Géologie du bassin du Cheliff	44
4. Lithostratigraphie	44
5. Structure	49
6. Conclusion	51

#### II - Apports de la géophysique

1. Introduction	51
2. Objectifs	52
3. Travaux réalisés	52
4. Forages d'étalonnage	53
5. Structure générale du bassin	54
5.1 Interprétation des coupes	55
6. La variabilité spatiale de la résistivité et la profondeur de la nappe par l'approche géostatistique	61
6.1 La théorie de la géostatistique	61
6.2 Modélisation du variogramme	61
6.3 Les paramètres du variogramme	61
6.4 Cartographie de la résistivité et de la profondeur par krigeage ordinaire	62
6.4.1 Variographie	62
6.4.2 Résultats et interprétation	64
6.3.2.1 Carte des résistivités en lignes AB=2000m	64
6.3.2.2 Carte du mur des formations résistantes	65
6.5 Carte des résistances transversales cumulées	65
6.6 Carte des résistances transversales des calcaires miocènes	66
7. Prospection sismique	66
8. Conclusion	69

## Chapitre 4

### Hydrogéologie

1. Introduction	70
2. Identification des unités hydrogéologiques	71
3. Principaux aquifères	75
3.1 La nappe des calcaires à lithothamnium	76
3.1.1 Introduction	76
3.1.2 Géologie	76
3.1.3 Limites et caractéristiques du réservoir	77
3.1.4 Le karst	78
3.1.5 Toit des calcaires	84
3.1.6 Le mur des calcaires	84
3.1.7 Exutoires	85
3.1.8 Piézométrie	85
3.1.9 Caractéristiques hydrodynamiques	87



3.1.10 Mode de fonctionnement de la nappe des calcaires	92
3.2 La nappe des grés et sables astiens	94
3.3 Grés, conglomérats et sables villafranchien	96
3.4 Alluvions quaternaires	96
4. Conclusion	103

## **Chapitre 5 Hydrochimie**

1. Introduction	104
2. Hydrochimie des calcaires à lithothamnium	104
2.1 Présentation des résultats	105
2.2 Les caractéristiques physico-chimiques	106
2.3 Classification des eaux et représentations graphiques	110
2.4 L'analyse en composante principales	115
2.5 Etude de l'origine des éléments chimiques	118
2.6 Qualité des eaux de la nappe du calcaire	120
2.7 Récapitulatif	122
3. Hydrochimie de la nappe des grés et sable du pliocène marin	122
3.1 Introductions	122
3.2 Les paramètres physico-chimiques	122
3.3 Classification des eaux de la nappe	123
3.4 Qualité des eaux de la nappe du pliocène marin	123
3.5 Récapitulatif	124
4. Hydrochimie de la nappe alluviale du quaternaire	124
4.1 Introductions	124
4.2 Les paramètres physico-chimiques	124
4.3 Classification des eaux de la nappe	125
4.4 Qualité des eaux de la nappe alluviale du quaternaire	125
4.5 Récapitulatif	125
5. Conclusion	126
6. La pollution des eaux	127
6.1 Introduction	127
6.2 Mécanismes de transport du polluant en milieu souterrain	127
6.3 L'origine de la pollution	127
6.4 Paramètres influençant l'évolution des nitrates dans les eaux souterraines	130
6.5 Incidence de nitrates dans les eaux souterraines	132
6.6 Conclusion	132
	133

### **Conclusion générale**

### **Références bibliographiques**

### **Annexes**

## Liste des figures

Figure 1	Situation géographique de la zone d'étude	4
Figure 2	Courbe hypsométrique et diagramme des fréquences altimétriques du bassin O. Ras et Ouahrane	7
Figure 3	Courbe hypsométrique et diagramme des fréquences altimétriques du bassin O. Sly	7
Figure 4	Courbe hypsométrique et diagramme des fréquences altimétriques du bassin O. Cheliff-Ouarizane	8
Figure 5	Carte des altitudes dans le moyen Cheliff occidental (ABH-CZ)	10
Figure 6	Carte du réseau hydrographique du Moyen Cheliff occidental	12
Figure 7	Carte pédologique de la vallée du moyen Cheliff occidental (Source, ABH.CZ)	17
Figure 8	Position des postes pluviométriques de la zone d'étude	18
Figure 9	Précipitations moyennes annuelles des stations de la région	20
Figure 10	La carte des polygones de Thiessen pour le bassin O. Ras et Ouahrane	22
Figure 11	Carte des isohyètes pour le bassin O. Ras et Ouahrane	23
Figure 12	Histogramme des répartitions des pluies annuelles dans les Trois bassins	25
Figure 13	Précipitations moyennes mensuelles (Période 1973-2006)	26
Figure 14	Variation mensuelles des températures (1973/2006). D'après les Données de l'ANRH sur le moyen Cheliff	27
Figure 15	Abaque de Wundt modifié par Coutagne	29
Figure 16	Abaque de VERDEIL	34
Figure 17	Courbes pluviométriques de "GAUSSEN et BAGNOULS"	35
Figure 18	Climmagramme de L.EMBERGER	38
Figure 19	Carte des isohyètes pour le formation du calcaire	41
Figure 20	Cadre géologique (Perrodon 1967 - Mattauer 1958)	43
Figure 21	Carte géologique du Moyen Cheliff occidental d'après Scet-Agri (1985)	46
Figure 22	Log lithostratigraphique de la région de moyen Cheliff (Mattauer, 1958)	48
Figure 23	Coupe NW – SE montrant la disposition structurale d'ensemble (in Bougdal, 1987)	49
Figure 24	La carte structurale du Moyen Cheliff occidental d'après Scet-Agri (1985)	50
Figure 25	Carte de localisation des études géophysiques	53
Figure 26a	Coupe géoélectrique du profil D0 à D7 et 1.1 à 1.8 (Coupe A & B)	56
Figure 26b	Coupe géoélectrique du profil Q1 à Q8 et R1 à R15 (Coupe C & D)	58
Figure 26c	Coupe géoélectrique du profil C1 à C8 (Coupe F)	59
Figure 26d	Coupe géoélectrique du profil G0 à G9 (Coupe G)	60
Figure 27	Ajustement du variogramme et ses paramètres	62
Figure 28	Variogramme ajusté de la variable résistivité apparente	63
Figure 29	Variogramme ajusté de la variable profondeur	63
Figure 30	Carte des résistivités en lignes AB=2000m	64
Figure 31	Carte du mur des formations résistantes	65
Figure 32	Carte des résistances transversales cumulées	67
Figure 33	Carte des résistances transversales des calcaires miocènes	68
Figure 34	Situation des différentes nappes du MCO (ABH –CZ, 2001)	70
Figure 35a	Coupe A –A' dans la plaine de Mouafkia (d'après Scet-Agri 1985)	71
Figure 35b	Coupe B –B' dans la plaine de Chlef d'après Scet-Agri 1985)	72
Figure 36a	Coupe géologique C –C' dans la plaine de Chleff (d'après Scet-Agri 1985)	73
Figure 36b	Coupe D –D' dans la plaine de Chlef (d'après Scet-Agri 1985)	74
Figure 37	Coupe E –E' dans la plaine Chlef-Boukadir (d'après Scet-Agri 1985)	75
Figure 38	Schéma stratigraphique du miocène de la bordure nord de l'Ouarsenis (d'après Perrodon, étude hydrologique par prospection électrique et	77

	sismique d'oued Sly ; 1966)	
Figure 39	Limite sud des collines calcaires à lithothamnium et les monts de l'Ouarsenis dans la région de Boukadir (Oued Taflout)	78
Figure 40	Zone très fracturée de l'épikarst dans la région de Boukadir (Oued Taflout).	79
Figure 41	Lapiaz et grotte dans la région de Boukadir (Oued Taflout)	80
Figure 42	Localisation des différents milieux dans la formation calcaire à lithothamnium	81
Figure 43	Log lithologique des forages (AEP. Boukadir et AEP. Bouachria)	82
Figure 44	Log lithologique des forages (Site sonal gaz O. Sly et P. civil de Chlef)	83
Figure 45	Log lithologique des forages (O MOH F-2 et O. MOH F-3)	83
Figure 46	Schéma structural du calcaire à lithothamnium de l'oued Sly à oued Taflout (d'après l'étude hydrologique par prospection électrique et sismique d'oued Sly, 1966)	86
Figure 47	Evolution du niveau piézométrique du puits 106/35 dans la nappe du calcaire	87
Figure 48	Log lithologique des forages	88
Figure 49	Courbe de descente dans le forage Khelif moumnia F2	91
Figure 50	Courbe de remontée dans le forage Khelif moumnia F2	92
Figure 51	Log lithologique des forages (Haoud Nouala)	95
Figure 52	Courbe de descente dans le forage Haouda Nouala	96
Figure 53	Cartes piézométriques des hautes et basses eaux (avr- sept, 2006)	98
Figure 54	Log lithologique des forages (MCO6)	100
Figure 55	Courbe de remontée dans le forage MCO6 ter(D. Praddine, 1976)	101
Figure 56	Courbe de descente dans le forage MCO6 ter(D. Praddine,1976)	102
Figure 57	Plan d'échantillonnage (Hautes eaux)	104
Figure 58	Plan d'échantillonnage (Basses eaux)	105
Figure 59	Diagramme de Piper pour les puits et les forages de la nappe du Calcaire (Hautes eaux)	112
Figure 60	Diagramme de Piper pour les points d'eaux de la nappe des calcaires (Basses eaux)	112
Figure 61	Diagramme de Schoeller pour les forages de la nappe des calcaires (Hautes eaux)	114
Figure 62	Diagramme de Schoeller pour les puits de la nappe des calcaires (Hautes eaux)	114
Figure 63	Diagramme de Schoeller pour les points d'eaux de la nappe du calcaire (Basses eaux)	115
Figure 64	Diagramme des variables (plan I-II) relatif à l'ACP sur les eaux souterraines de la nappe des calcaires	117
Figure 65	Diagramme des individus (plan I-II) relatif à l'ACP sur les eaux souterraines de la nappe des calcaires	118
Figure 66	Le rapport du couple (Na <sup>+</sup> -Cl <sup>-</sup> )	119
Figure 67	Le rapport du couple Ca <sup>2+</sup> - HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	119
Figure 68	La méthode des approches cumulées du Chlorure	120
Figure 69	carte géographique localisant le centre d'enfouissement technique de Meknassa (source : DHW de Chlef, 2005)	128
Figure 70	Carte des sources de pollution dans le moyen Cheliff occidental	129
Figure 71	Impact de la profondeur et type d'ouvrage (hautes eaux, 2002)	130
Figure 72	Evolution saisonnières des points d'eaus (Hautes et basses eaux, 2002)	131

Tableau 1	Principales caractéristiques des sous- bassins versants	6
Tableau 2	les altitudes caractéristiques des sous bassins	8
Tableau 3	Indices des pentes et classes de relief des sous- bassins	11
Tableau 4	Densité de drainage des sous- bassins	14
Tableau 5	Synthèse des caractéristiques morphologiques des sous-bassins	15
Tableau 6	Caractéristiques des stations pluviométriques (ANRH)	21
Tableau 7	Pluies annuelles à différentes probabilités de 11 postes	22
Tableau 8	Estimation de la lame d'eau précipitée sur le bassin de "O. Ras et Ouahrane" par la Méthode de Thiessen	23
Tableau 9	Estimation de la lame d'eau précipitée dans chaque bassin	24
Tableau 10	Estimation de la lame d'eau précipitée dans chaque bassin	24
Tableau 11	Estimation de la lame d'eau précipitée dans chaque bassin	24
Tableau 12	Précipitations en (mm) estimées par les trois méthodes	25
Tableau 13	Précipitations mensuelles et annuelles dans les trois (03) bassins (1973-2006)	27
Tableau 14	Répartition géographique des températures moyennes d'après les Données de l'ANRH sur le moyen Chélif (1973/2006)	28
Tableau 15	Déficit d'écoulement d'après la formule de "M. TURC"	28
Tableau 16	Déficit d'écoulement par la méthode de WUNDT	29
Tableau 17	Réserve utile selon HALLAIRE	31
Tableau 18	Tableau récapitulatif des paramètres du bilan hydrologique Selon la méthode de THORNTHWAITE	33
Tableau 19	Tableau récapitulatif des résultats du Déficit d'écoulement. « P.Verdeil »	33
Tableau 20	Tableau récapitulatif des résultats du déficit d'écoulement des 05 méthodes	33
Tableau 21	Résultats de calcul des courbes pluviométriques de "GAUSSEN et BAGNOULS"	36
Tableau 22	Indice d'aridité annuel dans la région étudiée d'après " DE MARTONNE "	36
Tableau 23	Indice d'aridité mensuel	37
Tableau 24	Indice de L.EMBERGER pour la région de Chlef	37
Tableau 25	Les résultats du ruissellement obtenus par la méthode de Tixeront-Berkaloff période (1973/2006)	39
Tableau 26	Résultats des infiltrations dans les bassins versants du moyen- Cheliff occidental	40
Tableau 27	Echelle de résistivités	54
Tableau 28	Evolution de niveau piézométrique au niveau du puits 106/35 (calcaire)	86
Tableau 29	Résultats des essais de pompages des études antérieures (calcaire)	87
Tableau 30	Résultats des essais de pompages des études antérieures (alluviales)	99
Tableau 31	Classification des eaux de la nappe du calcaire selon Stabler (Hautes eaux	110
Tableau 32	Classification des eaux de la nappe du calcaire selon Stabler (Basses eaux)	111
Tableau 33	Matrice de corrélation	116
Tableau 34	Corrélations entre les variables et les facteurs	116

## INTRODUCTION

En milieu aride à semi-aride, particulièrement dans la région méditerranéenne, les eaux souterraines sont fortement sollicitées. On observe une baisse de la pluviométrie et une augmentation des débits pompés pour satisfaire les besoins croissants de l'alimentation en eau potable, l'agriculture et l'industrie. Cette situation se traduit par une diminution des réserves des aquifères exacerbée par les problèmes liés à la pollution de cette ressource.

Les aquifères des formations calcaires fissurées et ou karstifiées ont un intérêt très particulier du fait qu'ils renferment l'essentiel de la ressource en eau souterraine dans certains pays notamment autour de la méditerranée ; la structure et le fonctionnement de ces milieux sont compliqués, car la karstification modifie les conditions de circulation hydrodynamique dans ces systèmes. Leurs exploitations demeurent souvent empiriques en raison d'une connaissance encore limitée, incomplète des phénomènes et souvent difficile à acquérir.

La connaissance et la compréhension du fonctionnement nécessitent des études géologiques, géophysiques et hydrogéologiques qui permettent de définir la structure et l'organisation des différentes parties de l'aquifère. L'objectif est de localiser les zones les plus favorables à l'implantation de forages et celles qui présentent des risques importants de pollution de l'eau souterraine.

La nappe des calcaires à lithothamnium du moyen chéiff est considérée comme l'un des aquifères le plus important de la région. Cependant, s'il s'agit d'un bon aquifère, c'est essentiellement en raison de l'importance de la fissuration du calcaire caractérisée par sa densité, son interconnexion et localement son évolution associée à un karst assez développé comme en témoigne les pertes de boue au niveau des forages. Les eaux qui y circulent devraient être de bonne qualité malgré la forte vulnérabilité à la pollution de ces milieux et les relations hydrauliques avec les eaux superficielles et les eaux des autres aquifères de la région.

Dans un tel contexte il nous a paru utile de faire une synthèse hydrogéologique du moyen Chellif occidental en portant une attention particulière au réservoir aquifère carbonaté du Miocène supérieur : les calcaires fissurés et/ou karstifiés à lithothamnium.

Pour ce faire, nous avons structuré notre travail en cinq chapitres :

- Le premier chapitre traite du contexte géographique et géomorphologique des sous bassins versants.
- Le deuxième chapitre aborde les aspects relatifs à l'hydroclimatologie dont le but est d'établir un bilan hydrologique et dans lequel la quantification de l'infiltration est importante car elle permet d'évaluer la recharge des aquifères.

- Le troisième chapitre s'intéresse aux différentes formations géologiques et tentera d'apprécier la géométrie des différents réservoirs rencontrés en nous fondant aussi bien sur les données lithostratigraphiques et structurales que géophysiques. A ce niveau les données des résultats des campagnes de 1966 et 1972 seront utilisées.
- Le quatrième chapitre est consacré à l'étude hydrogéologique proprement dite, nous passerons en revue les différents réservoirs aquifères et leurs caractéristiques hydrodynamiques. Malgré le peu de données, nous avons tenté de développer en particulier la nappe des calcaires à lithothamniés.
- Le cinquième et dernier chapitre concerne l'hydrochimie. Cette partie portera sur les résultats des différentes analyses chimiques des trois nappes reconnues dans le moyen chélif occidental. L'interprétation des données permettra de discuter l'origine de la minéralisation et d'apprécier la qualité des eaux (potabilité et aptitude à l'irrigation). Elle sera complétée par une approche succincte de la pollution de ces aquifères.

# Chapitre 1

## Contexte géographique et géomorphologique

### 1. Situation géographique :

Le grand bassin du chellif correspond à une cuvette intra montagneuse située au Sud – Ouest d’Alger (Fig.1). Il est circonscrit à l’intérieur des chaînes de l’Atlas Tellien parallèlement au littoral méditerranéen.

Selon la nouvelle structuration des unités hydrographiques de l’Algérie, le bassin versant du moyen Chélif appartient à l’ensemble du Chellif – Zahrez et occupe sa partie Nord. Il est drainé par l’oued Chlef qui le traverse sur une longueur de 750km avant qu’il ne se déverse dans la méditerranée à proximité de Mostaganem.

La zone étudiée qui appartient à trois sous bassins versants de la plaine du moyen Chélif (sous bassins versants de l’Oued Ras-Ouahrane, l’Oued Sly et l’Oued Cheliff- Ouarizane) est limitée au Nord par la partie Sud de la chaîne du Dahra, Au Sud par le massif de l’Ouarsenis occidentale, à l’Est par les sous bassin O. Fodda et Tighazel et l’Ouest par le bas Cheliff.

Le bassin du moyen Cheliff occidental englobe deux sous bassin versants : O. Ras-Ouahrane et O. Sly codés respectivement (0122 et 0123) et une partie du sous bassin O. Cheliff-Ouarizane codé (0124).

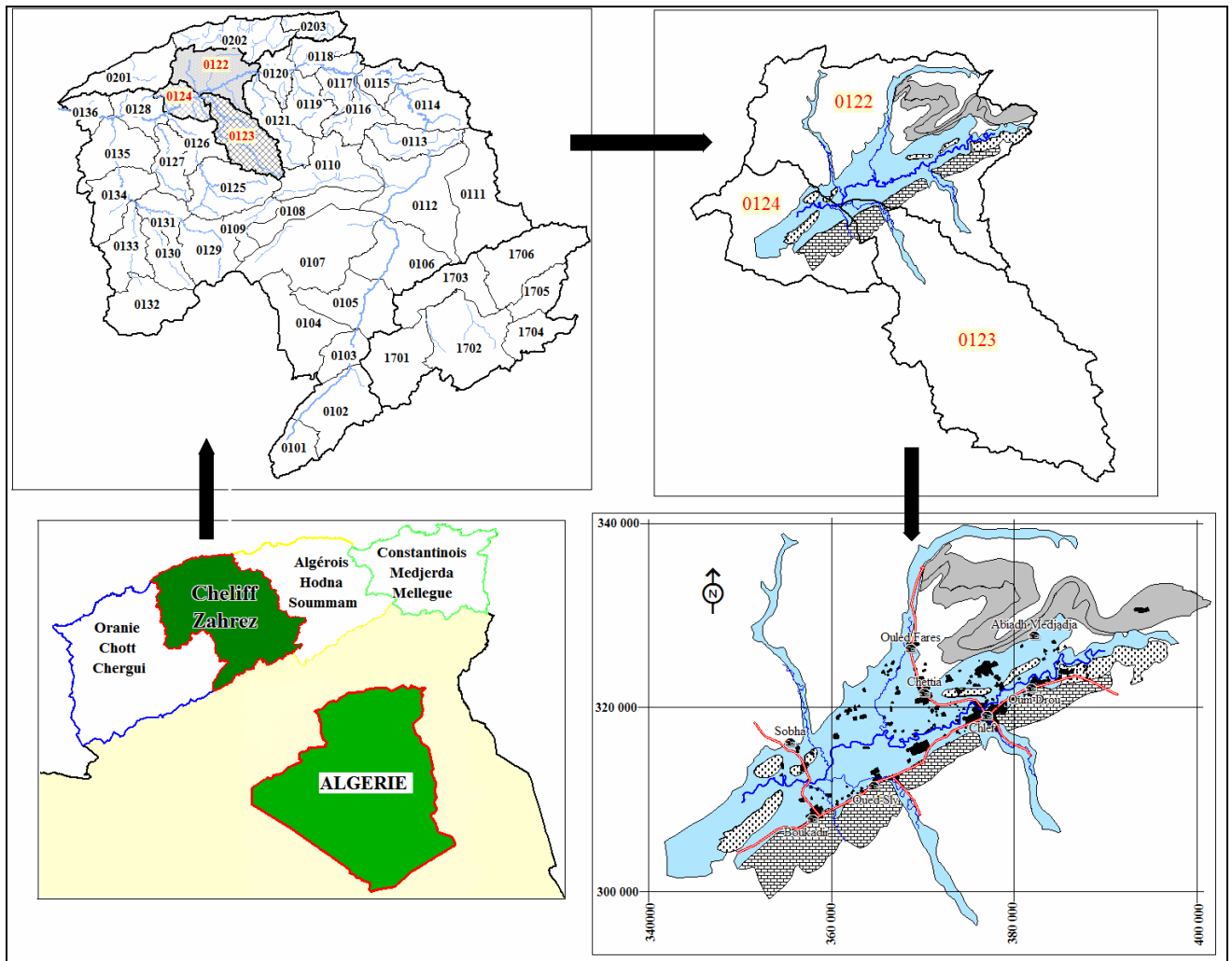


Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude.

## 2. Contexte géomorphologique :

L'analyse du comportement hydrologique (l'écoulement, l'infiltration etc.) d'un bassin versant nécessite la connaissance des caractéristiques topographiques et morphologiques, telles que : la forme, le relief, la disposition du réseau hydrographique, la nature du sol et le couvert végétal.

### 2.1 Paramètre géométrique :

La superficie et le périmètre sont les paramètres les plus importants du bassin, ils sont obtenus par la technique de digitalisation.

#### 2.1.1 Paramètre de forme :

La forme des bassins versants traduite par l'indice de compacité a une influence directe sur l'écoulement : un bassin versant allongé ne réagira pas de la même façon qu'un bassin versant de forme ramassée.



**2.1.1.1 Indice de compacité de Gravelius (K<sub>G</sub>) :**

C'est le rapport entre le périmètre du bassin et la circonférence du cercle ayant la même superficie que ce bassin.

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \approx 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \dots\dots\dots(1)$$

Avec :

K<sub>G</sub> : Indice de compacité de Gravelius.

A : Surface du bassin versant [Km<sup>2</sup>].

P : Périmètre du bassin [Km].

K<sub>G</sub> = 1      ⇨    bassin circulaire.

1 < K<sub>G</sub> < 1.3    ⇨    bassin compact.

K<sub>G</sub> > 1.3      ⇨    bassin allongé.

**2.1.1.2 Rectangle équivalent :**

Le bassin versant rectangulaire résulte d'une transformation géométrique du bassin réel dans laquelle on conserve les mêmes paramètres de forme et donc par conséquent la même répartition hypsométrique.

Les dimensions du rectangle équivalent sont calculées par les formules :

$$L_r = \frac{K_G \cdot \sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K_G} \right)^2} \right] \dots(2) \quad l_r = \frac{K_G \cdot \sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K_G} \right)^2} \right] \dots(3)$$

L<sub>r</sub> : Longueur du rectangle équivalent (Km).

l<sub>r</sub> : Largeur du rectangle équivalent (Km).

Les résultats des principales caractéristiques de ces sous-bassins figurent dans le tableau ci-après :

**Tableau 1 :** Principales caractéristiques des sous- bassins versants.

Sous-bassins	Code du sous-bassin	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Périmètre (Km)	Indice de compacité K <sub>G</sub>	Rectangle équivalent		Forme du bassin
					Longueur (Km)	Largeur (Km)	
Ouahrane et Oued Ras	0122	1438.45	225.52	1.66	97.70	14.72	Forme allongée
Oued Sly	0.123	1404.07	221.18	1.65	95.74	14.67	Forme allongée
Oued Ouazizane-Cheliff	0.124	574.76	119.7	1.40	47.95	11.99	Forme allongée

Les valeurs de l'indice de compacité obtenues pour les sous bassins Oued Ras-Ouahrane et Oued Sly montrent que nous avons affaire à des bassins qui présentent une forme assez allongée avec des valeurs de  $K_G$  pratiquement identiques, respectivement égales à 1.66 et 1.65. Le bassin Oued Cheliff Ouarizane est plus ramassé que les précédents mais présente néanmoins une forme allongée avec un indice de compacité égale à 1.40.

La comparaison des longueurs et des largeurs des rectangles équivalents ( $L_r > 5 l_r$ , particulièrement pour les 02 premiers) confirme l'allongement des trois sous bassins.

Dans l'ensemble, les formes des sous bassins sont plus où moins semblables et traduisent des temps de concentration plus où moins longs qui pourraient favoriser plutôt l'infiltration des eaux superficielles.

## **2.2 Etude de relief :**

La disposition morphologique des sous-bassins est caractérisée par les éléments suivants :

- Les régions montagneuses du Dahra situées au Nord dont la partie méridionale représentée par les monts de Medjadja présente une altitude moyenne qui varie entre 400 et 500 m.
- Au centre, les plaines de l'oued Chellif qui forment une étroite bande d'une dizaine de kilomètres de largeur.
- Au Sud, les collines qui constituent les piémonts de l'imposant massif de l'Ouarsenis se dressent en rangs dispersés ne sont pas très étendues (5 à 10 kilomètres de large).

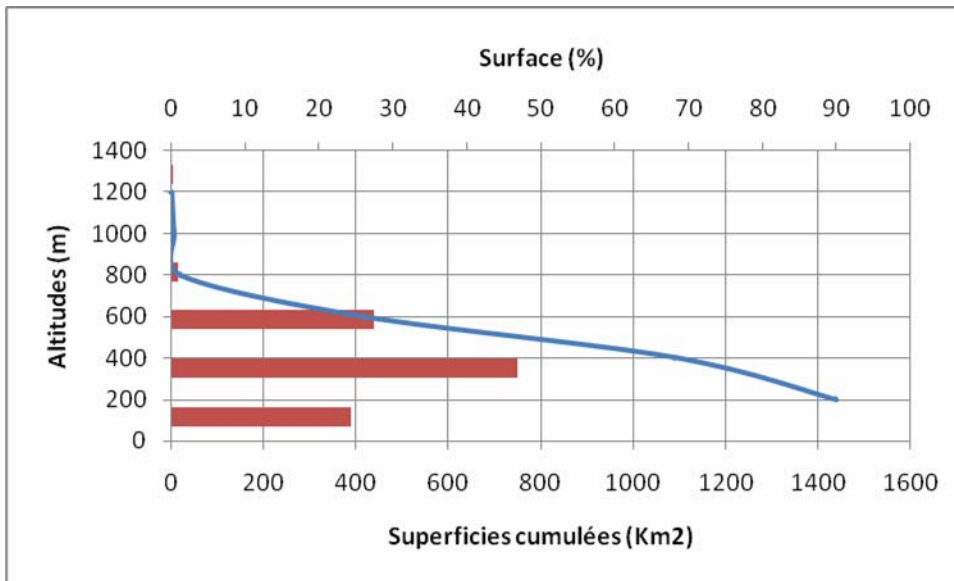
### **2.2.1 Paramètre de relief :**

Le relief est un facteur essentiel dans la détermination de l'aptitude des terrains au ruissellement, l'infiltration et l'évaporation.

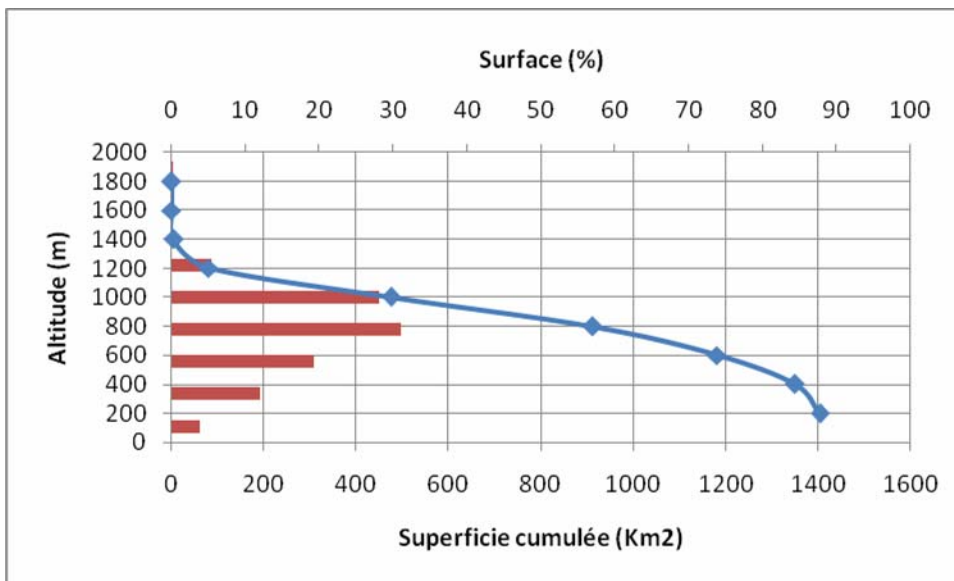
#### **2.2.1.1 La courbe hypsométrique :**

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude.

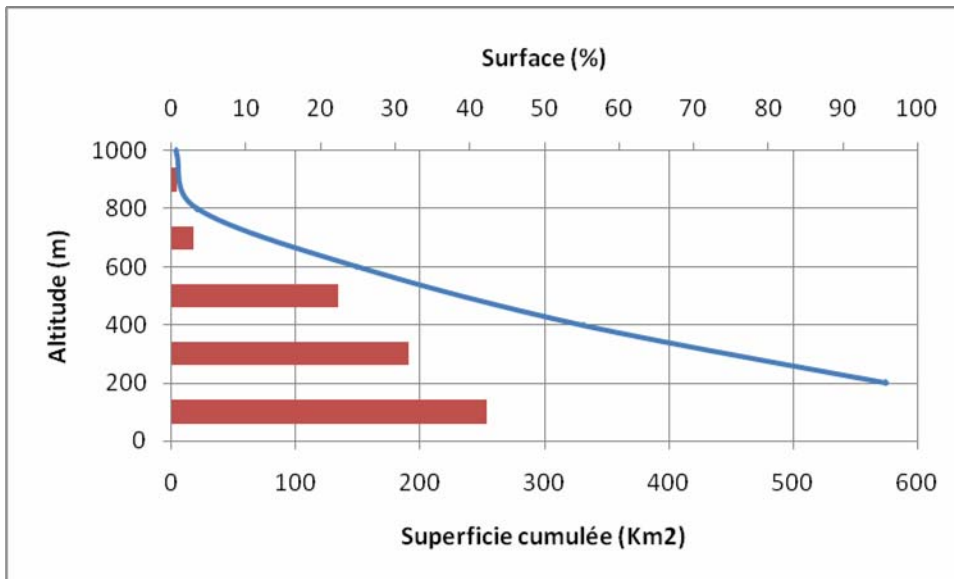
Les surfaces partielles par tranche d'altitude sont données dans les tableaux 1, 2 et 3 en annexe I. les courbes hypsométriques sont présentées par les figures 2, 3 et 4.



**Figure 2** : courbe hypsométrique et diagramme des fréquences altimétriques du bassin O. Ras et Ouahrane.



**Figure 3** : courbe hypsométrique et diagramme des fréquences altimétriques du bassin O. Sly.



**Figure 4** : courbe hypsométrique et diagramme des fréquences altimétriques du bassin O. Cheliff-Ouarizane.

Les principales caractéristiques altimétriques correspondent à :

1. L'altitude moyenne ( $H_{moy}$ ) : c'est le rapport entre la somme des surfaces élémentaires par l'altitude moyenne correspondante et la surface totale du bassin versant ( $A$ )

$$H_{MOY} = \sum \frac{a_i \cdot h_i}{A} \dots\dots\dots(4)$$

Avec :

- $h_i$  : l'altitude moyenne entre deux courbes de niveau en (m).
- $a_i$  : surface élémentaire entre deux courbes de niveau en ( $Km^2$ ).
- $A$  : surface totale du bassin versant en ( $Km^2$ ).

2. L'altitude maximale ( $H_{max}$ ) traduite par le point le plus haut du bassin.
3. L'altitude médiane ( $H_{méd}$ ) correspondant à 50% de la superficie cumulée.
4. L'altitude minimale ( $H_{min}$ ) caractérise le point le plus bas du bassin.

Les résultats obtenus pour les sous bassins sont mentionnés dans le tableau 2.

**Tableau 2** : les altitudes caractéristiques des sous bassins.

Sous bassin versant	symbole	O. Ras - Ouahrane	O. Sly	O. Cheliff-Ouarizane
Alt max. (m)	$H_{max}$	1150	1700	1000
Alt moy (m)	$H_{moy}$	313	610	275
Alt min(m)	$H_{min}$	100	100	75
Alt médiane(m)	$H_{méd}$	500	850	420

L'altitude moyenne des sous bassins est de l'ordre de 313 m dans le sous-bassin oued Ras-Ouahrane, 610 m dans le sous- bassin oued Sly et 275 m dans le sous-bassin oued Cheliff-Ouarizane.

La carte des altitudes représentée sur la figure 5 illustre une des principales caractéristiques du bassin qui nous permet d'obtenir la répartition suivante des classes d'altitude :

- Les zones d'altitude supérieures à 1000 m sont peu étendues dans les deux sous bassins, elles occupent 0.38 % de la superficie du bassin oued Ras-Ouahrane soit 5.5 Km<sup>2</sup> de la superficie totale, pour le sous bassin oued cheliff-ouarizane elles occupent 3.98 Km<sup>2</sup> de la surface totale du sous bassin, soit de 0.7%. Par contre, dans le sous bassin oued Sly, elles sont égales à 475.09 Km<sup>2</sup> de la surface totale du sous bassin, soit 33.84 % et correspondent aux massifs montagneux.
- Les secteurs d'altitude comprise entre 400 et 800 m couvrent 409.26 Km<sup>2</sup> dans le sous bassin oued Ras - Ouahrane, environ 28.45 % de sa superficie totale. Dans le sous bassin O. Sly, ils occupent 706.49 Km<sup>2</sup>, soit 50.32% de la superficie total du sous- bassin. Pour le sous bassin O. Cheliff-Ouarizane, ils couvrent 144.97 Km<sup>2</sup>, soit 25.22% de la surface totale du sous bassin.
- Les zones d'altitudes inférieures à 400m sont les plus étendues dans le sous bassin O. Ras-Ouahrane et représentent 71.17 % de la surface du sous-bassin, ce qui met en évidence le caractère plaine de ce dernier. Mais, dans le sous bassin de l'O. Sly, ces tranches d'altitudes ne représentent que 15.85 % de la superficie totale du sous bassin confirmant la prédominance des hautes altitudes. Pour le sous bassin O. Cheliff-Ouarizane, ces secteurs d'altitude couvrent 74.1 % de la surface totale du sous bassin, donc la dominance du caractère plaine dans cette zone.

En général, dans les sous basins O.Ras-Ouahrane et O. Cheliff-Ouarizane, les valeurs traduisent bien l'importance du caractère plaine qui correspond aux vallées qui jouxtent l'oued Cheliff et ses affluents. Par contre, dans le bassin O. Sly, l'importance du volume montagneux est bien illustrée dans la figure 6, ce caractère favorise le ruissellement.

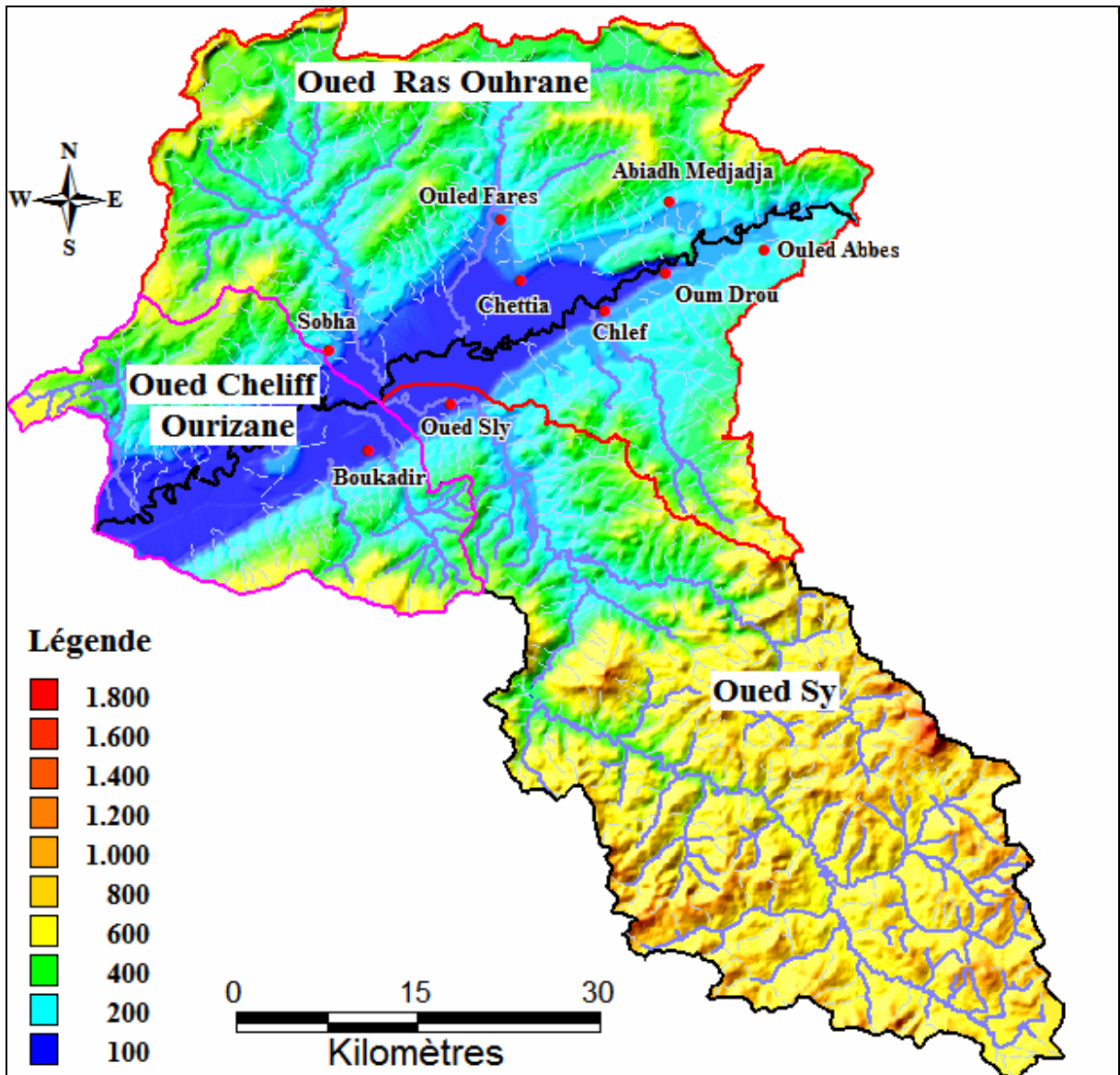


Figure 5 : Carte des altitudes dans le moyen Cheliff occidental(ABH-CZ).

### 2.2.2 Les indices de pente :

- Indice de pente de Roche (Ip) :

Cet indice est la moyenne de la racine carrée des pentes mesurées sur le rectangle équivalent et pondérées par les surfaces.

$$I_p = L_r^{1/2} \sum_{i=1}^n (a_i d_i)^{1/2}$$

$L_r$  : longueur du rectangle équivalent.

$(a_i)$  Fraction en pourcentage de la surface comprise entre deux courbes de niveaux voisines distantes de  $(d_i)$ .

- Indice de pente globale (Ig) :

Cet indice représente la pente moyenne de 90% de la superficie du bassin, il est obtenu à partir de la courbe hypsométrique, on prend la dénivelée (D) entre les altitudes  $H_{5\%} - H_{95\%}$ .

$$I_g = \frac{D}{Lr} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L_r} \dots\dots\dots(5)$$

- La dénivelée spécifique Ds :

$$D_s = I_g \cdot \sqrt{A} = \frac{D}{Lr} \cdot \sqrt{A} = D \cdot \sqrt{\frac{I}{L_r}} \dots\dots\dots(6)$$

Pour permettre une comparaison des bassins entre eux du point de vue relief, on détermine la dénivelée spécifique qui sert de base à une classification proposée par l'ORSTOM avec :

- Ds<10m      classe R1      -relief très faible.
- 10<Ds<25    classe R2      -relief faible.
- 25<Ds<50    classe R3      -relief assez faible.
- 50<Ds<100   classe R4      -relief modéré.
- 100<Ds<250 classe R5      -relief assez fort.
- 250<Ds<500 classe R6      -relief fort.
- Ds>500      classe R7      -relief très fort.

Les résultats des calculs sont portés au tableau 3.

**Tableau 3:** Indices des pentes et classes de relief des sous- bassins.

Sous bassin	symbole	O. Ras - Ouahrane	O. Sly	O. Cheliff- Ouarizane
Id. pente globale	Ig	6.14	10.96	11.47
Deniv spécifique	Ds	232.9	410.68	275
Id pte de ROCHE	Ip	0.087	0.1	0.13
Classe de relief	R	Assez fort	Fort	Fort

Les résultats permettent de montrer que les plus fortes valeurs de l'indice de pente globale (Ig) et de la dénivelée spécifique (Ds) concernent le sous bassin O. Sly (relief fort), cette valeur traduit l'importance du volume montagneux et la nature très accidentée du relief. D'après la classification de l'O.R.S.T.O.M, le relief est fort pour le sous bassin O. Cheliff-Ouarizane, assez fort pour le sous bassin O.Ras-Ouahrane, ceci est lié à la massivité des reliefs calcaires que l'on rencontre dans ces secteurs. En prenant pour seul critère cette classification, l'ensemble favorisera plutôt le ruissellement superficiel au détriment de l'infiltration des eaux.

### 2.3 Etude du réseau hydrographique :

Globalement, la disposition du réseau hydrographique est liée en grande partie à l'évolution des phénomènes structuraux qui ont affecté la région au cours des temps géologiques.

Le chevelu hydrographique suit pratiquement les accidents importants qui ont affecté les terrains et se modifie avec l'évolution de la tectonique.

#### 2.3.1 Constitution du réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique de la zone d'étude est constitué par un chevelu dense représenté en majorité de cours d'eaux temporaires.

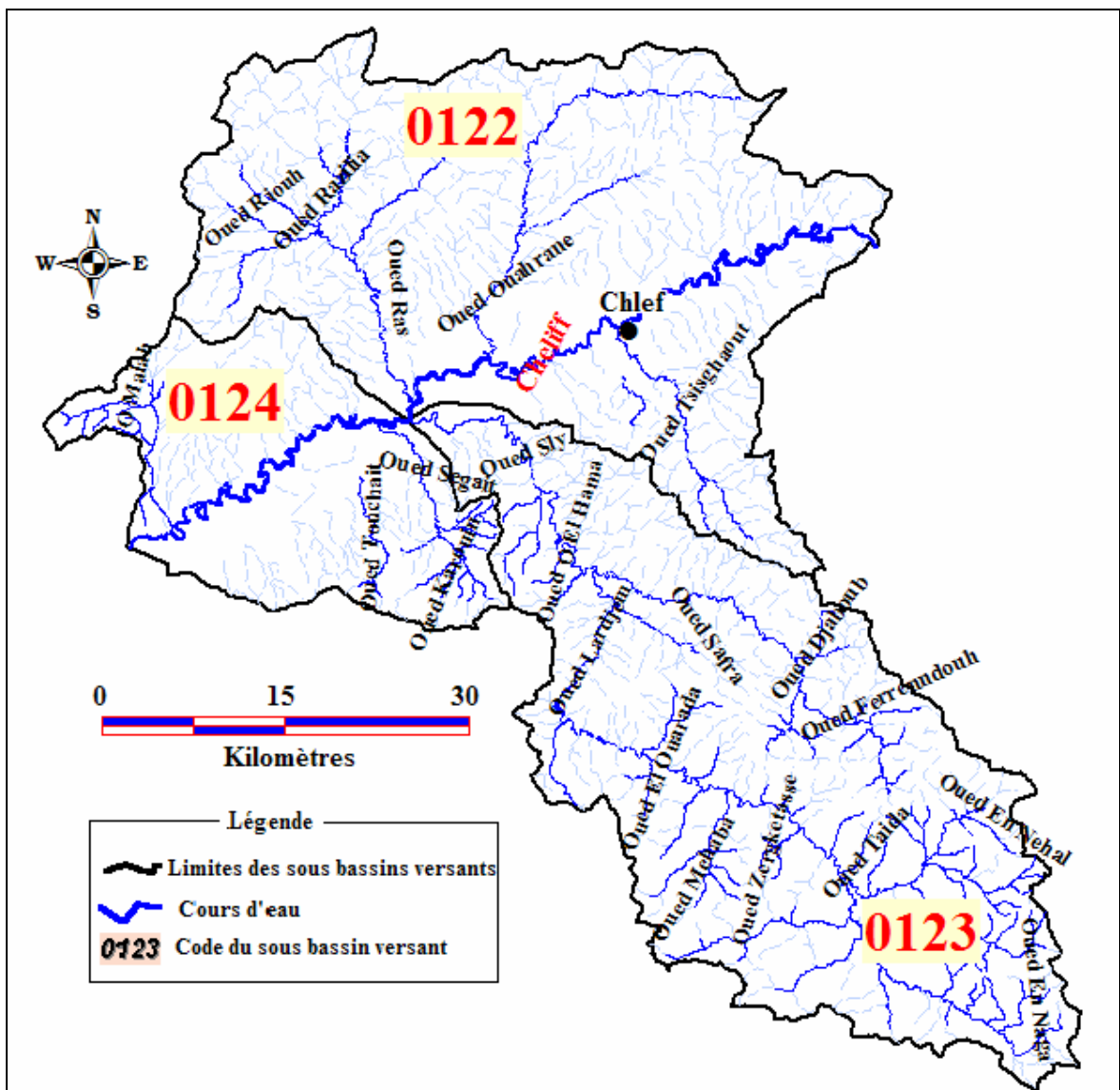


Figure 6: Carte du réseau hydrographique du Moyen Chellif occidental



**L'oued principal :** l'Oued Cheliff qui résulte de la jonction de deux grands cours d'eau : l'oued Touil et Nahr Ouassel est parmi les grands oueds nord-africains ; c'est le seul qui possède le cours le plus long et le débit le plus élevé. Il draine la vallée du moyen Cheliff occidental d'Est en Ouest sur un trajet de 60 kilomètres. Ses affluents qui proviennent des piémonts de l'Ouarsenis ou du Dahra sont principalement représentés par oued Fodda, oued Tsighaout, oued Sly, oued Taflou, oued Ouahrane et oued Ras.

L'Oued Cheliff quitte le moyen Cheliff vers sa destination finale à Mostaganem où se trouve son embouchure.

Les affluents de l'oued Chlef dans la plaine du moyen-Chellif occidental sont :

**En Rive droite :**

- **Oued Ras et oued Ouahrane:** Deux affluents issus des monts de Dahra présentent des débits nuls à l'étiage. Ils ont une longueur de 60 Km répartis entre deux affluents : l'oued Bou-Hamila et l'oued Ouahrane.

**En Rive gauche :**

- **Oued Fodda:** Prend sa source dans les montagnes de l'Ouarsenis et se déverse dans le Cheliff, il s'étend avec son affluent oued Labiod sur une longueur de 213 Km.
- **Oued Sly:** prend sa source dans les montagnes de l'Ouarsenis, sa longueur est de 130 km.
- **Oued Tsighaout:** Est un petit affluent de l'oued Cheliff ; sa longueur est de 24 Km.
- **Oued Taflout:** Est un petit affluent de l'oued Cheliff ; sa longueur est de 20 Km.

Les deux derniers oueds prennent naissance au niveau des piémonts des montagnes de l'Ouarsenis.

Les affluents de l'oued Chlef sont en écoulements temporaires pendant la période pluvieuse (décembre – janvier et février) et secs le reste de l'année.

**2.3.2 Paramètre hydrographique :**

- **Densité de drainage :**

La densité de drainage est définie comme le rapport de la longueur totale des cours d'eau de tout ordre, à la surface du bassin.

$$D_d = \frac{\sum l_i}{A} \dots\dots (7)$$

$D_d$  : Densité de drainage en Km/Km<sup>2</sup>.

$\sum L_i$  : Longueur cumulée de tous les thalwegs du bassin en Km.

A : Superficie du bassin en Km<sup>2</sup>.

$$D_{dp} = \frac{\sum l_i_p}{A} \dots (8)$$

$$D_{dt} = \frac{\sum l_i_t}{A} \dots (9)$$

$L_{i_p}$  : longueurs des oueds permanents.

$L_{i_t}$  : longueurs des oueds temporaires

Les résultats sont résumés dans le tableau 4.

**Tableau 4** : Densité de drainage des sous- bassins.

Code	Sous bassin	Longueur des oueds permanents $L_p$ (km)	Longueur des oueds temporaires $L_t$ (km)	Longueur total $L$ (km)	Ddp (Km/Km <sup>2</sup> )	Ddt (Km/Km <sup>2</sup> )	Dd (Km/Km <sup>2</sup> )	Ddp/Dd (%)	Ddt/Dd (%)
122	Oued Ras Ouahrane	172	988	1160	0.12	0.69	0.81	15	85
123	oued Sly	564	670	1233	0.4	0.48	0.88	46	54
124	Oued Cheliff- Ouarizane	119	298	417	0.21	0.53	0.74	29	71

La valeur de densité de drainage obtenue de l'ordre 0.12 Km/Km<sup>2</sup> pour le sous bassin O. Ras-Ouahrane (15 %), 0.21 Km/Km<sup>2</sup> pour O.Cheliff-Ouarizane (29 %) et 0.4 Km/Km<sup>2</sup> (46 %) dans le sous bassin O. Sly sont liés en plus de la pente à la faiblesse des précipitations (climat semi- aride) mais aussi et surtout à la nature des terrains affleurants.

Nettement opposées aux valeurs de la Ddp, celles de la densité de drainage temporaire (Ddt) viennent également confirmer les effets de la pluviométrie et la lithologie propres aux bassins considérés.

Dans l'ensemble, la densité de drainage temporaire est nettement élevée dans les sous bassins où une bonne partie des drains est à sec la plupart du temps.

La synthèse des caractéristiques morphologiques des sous bassins est regroupée dans le tableau 5.

**Tableau 5:** Synthèse des caractéristiques morphologiques des sous-bassins.

Sous Bassin versant	symbole	O. Ras-Ouahrane	O. Sly	O. Cheliff-Ouarizane
Code		122	123	124
Superficies(Km <sup>2</sup> )	A	1438.45	1404.07	574.76
Périmètre (Km)	P	225.52	221.18	119.7
ind. de compacité	K <sub>G</sub>	1.66	1.65	1.4
Alt max. (m)	H <sub>max</sub>	1150	1700	1000
Alt moy (m)	H <sub>moy</sub>	313	610	275
Alt min(m)	H <sub>min</sub>	100	100	75
Alt médiane(m)	H <sub>méd</sub>	500	850	420
Deniv spécifique	D <sub>s</sub>	232.9	410.68	300
Id. pente globale	I <sub>g</sub>	6.14	10.96	12.51
Id pte de ROCHE	I <sub>p</sub>	1.43	0.97	2.04
Dte drainage (Km/Km <sup>2</sup> )	D <sub>dp</sub>	0.12	0.4	0.21
Dte drainage (Km/Km <sup>2</sup> )	D <sub>dt</sub>	0.69	0.48	0.53
Dte drainage d(Km/Km <sup>2</sup> )	D <sub>d</sub>	0.81	0.88	0.74
Long rect. equiv(Km)	L <sub>r</sub>	97.7	95.74	47.95
Classe de relief	R	Assez fort	Fort	Fort

### 3. Le Contexte pédologique :

Les sols observés dans le moyen Chélif peuvent être regroupés en deux ensembles assez distincts. Le centre des bassins est remplie par des alluvions actuelles ou récentes des oueds Cheliff à oued Fodda avec une perméabilité qui varie entre 1 à 3 cm/h; sur les bordures, au contraire, on trouve des matériaux beaucoup plus anciens provenant d'apports alluviaux irréguliers est remaniés avec une perméabilité de l'ordre de 10 cm/h. La texture fine du sol en Boukadir influe négativement sur la perméabilité (inférieur à 1 cm/h).

Suivant la carte pédologique (figure 7), on trouve les différents types de sols suivants :

#### 3.1 Les sols peu évolués :

Ces sols se développent sur les alluvions de l'oued Chlef et de ses principaux affluents. Les caractéristiques physico-chimiques de ce type de sol sont très variées car fonction des

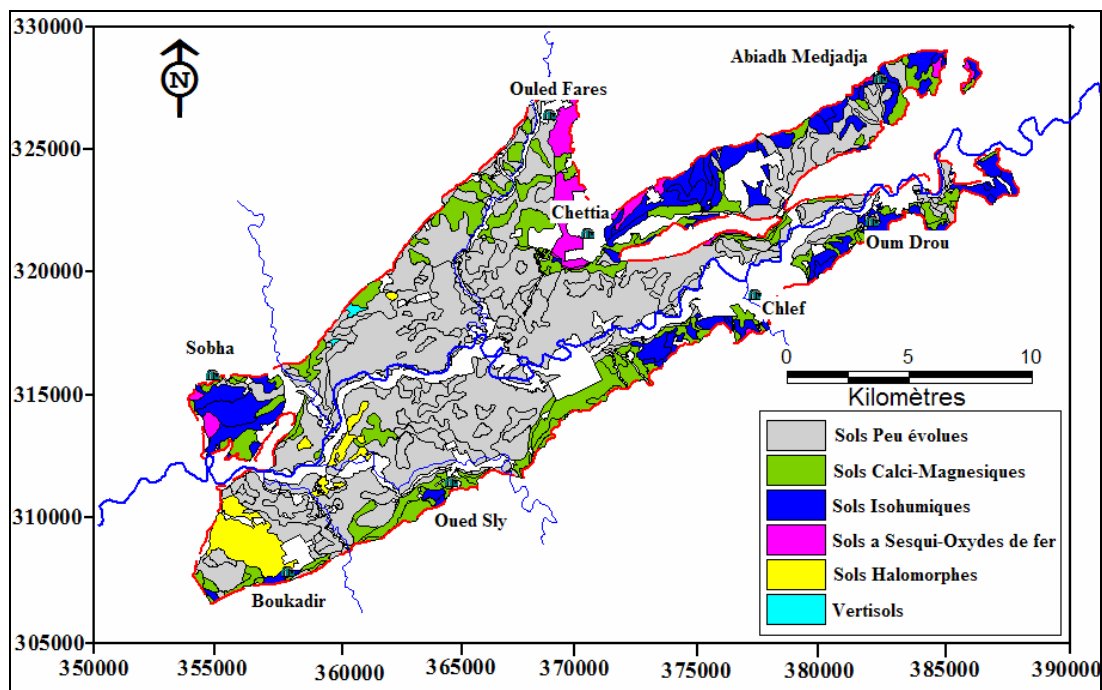
conditions de leurs dépôts et de leur migration. Ils peuvent être argileux, limoneux ou sableux, les taux de calcaires sont de l'ordre 20 %.

### 3.2 Les vertisols :

Les vertisols sont riches en argiles gonflantes (Smectites). Ils se définissent comme des sols à mauvais drainage, on les rencontre dans la partie nord du moyen Cheliff à Sobha

### 3.3 Les sols Calco-magnésiens :

La majorité de ces sols se trouve sur les bordures en alternance avec des sols isohumianes. Ces sols sont carbonatés, les teneurs en calcaire sont de l'ordre de 20 % de la surface et atteignent 50 % dans les horizons d'accumulations ; ils se présentent alors sous forme d'encroûtement et de croûte et sont présents le long des limites de la nappe alluviale.



**Figure 7** : Carte pédologique de la vallée du moyen Cheliff occidental (Source, ABH.CZ)

### 3.4 Les sols halomorphes :

Sont définis comme étant des sols dont l'évaluation est influencée par la présence de sels solubles et du pourcentage du sodium échangeable. Ils sont présents dans la partie Ouest de la vallée.

### 3.5 Les sols isohumiques :

Ce type de sol est moins fréquent dans la zone d'étude. Il peut présenter parfois le caractère vertique où des accumulations discontinues du calcaire.

### 3.6 Les sols sesquioxydes du fer :

Ces sols présentent des textures lourdes, ils sont bien structurés et sont caractérisés par un complexe argileux constitué par des argiles de néoformation (Kaolinisation) en mélange avec les argiles héritées (illites). Il se trouve à Ouled Farés au Nord de la plaine.

#### **4. Végétation :**

La végétation est un facteur déterminant de la rapidité du ruissellement superficiel, du taux d'évaporation et de la capacité de rétention du bassin. La présence de végétation va jouer le rôle de « régulateur » dans la région d'écoulement.

La région du Cheliff en général, est à vocation agricole. La prédominance de l'arboriculture fruitière couvre environ 47% de la superficie cultivée totale sur les plaines et les terrains à faible pente. Les cultures céréalières et maraîchères occupent une seconde position d'importance.

Dans la zone d'étude, les aires d'irrigation sont localisées essentiellement dans la plaine du Cheliff et au niveau des vallées des oueds tels que oued Ouahrane et oued Ras.

#### **5. Conclusion :**

L'étude géomorphologique révèle une forme allongée des trois sous-bassins versants, exprimée par un indice de compacité assez élevé. Le caractère altitudinal principal des deux sous- bassin, O.Ras - Ouahrane et O. Cheliff - Ouarizane se traduit par une répartition fréquentielle dominante des classes d'altitude inférieure à 400 m et occupe successivement 71.17 % et 74.1 % % de la surface des sous- bassins. Par contre, dans le sous-bassin O. Sly, la dominance des hautes altitudes est constatée par le pourcentage de 50.32 % des classes d'altitudes comprises entre 400 - 800 m.

D'autre part, l'altitude maximale est de plus de 1700 m dans le sous- bassins O. Sly, l'altitude minimale est moins de 100m dans le sous-bassin O. Cheliff - Ouarizane

La densité de drainage permanente des sous-bassins varie entre 0.12 et 0.21 km/Km<sup>2</sup> dans les sous bassin O. Ras-Ouahrane et O. Cheliff - Ouarizane, ces résultats sont liés à des pentes modérées, à la faible abondance des précipitations et à la nature moyennement perméable des formations géologiques affleurantes. Au niveau du sous bassin de l'oued Sly, la densité de drainage est un peu élevée. En général, les 03 sous-bassins sont faiblement drainés, la densité de drainage temporaire est nettement élevée avec une bonne partie des drains à sec la plupart du temps.

Le moyen Cheliff occidental est donc un vaste bassin étendu formé d'un réseau hydrographique bien développé, mais représenté en majorité de cours d'eau temporaires qui déversent dans le cours d'eau principal.

La région de Cheliff en général est à vocation agricole. La nature et la répartition des sols favoriseraient les échanges de base et l'enrichissement des eaux en calcium et en magnésium. Les zones d'irrigation sont localisées essentiellement dans la plaine du Cheliff et au niveau des vallées des affluents.

## Chapitre 2 Hydroclimatologie

### 1. Introduction :

Dans toute étude hydrogéologique, l'hydroclimatologie tient une place importante parce qu'elle permet d'établir un bilan hydrique et de déterminer la quantité d'eau qui assure la recharge des nappes.

D'une manière générale et malgré la proximité de la mer, la région de Chlef possède un climat particulier, caractérisée par une longue période estivale sèche et chaude et une saison hivernale pluvieuse et froide.

Toutes les données climatiques sont centralisées dans deux services régionaux :

- A.N.R.H de Blida : Agence Nationale des ressources Hydrique.
- O.N.M de Chlef : Office National de Météorologie.

Le réseau des mesures climatiques comporte 29 postes pluviométriques dispersés sur l'ensemble de la zone d'étude ; dont vingt et un (21) gérés par l'A.N.R. H et huit (08) par l'O.N.M (fig.8)

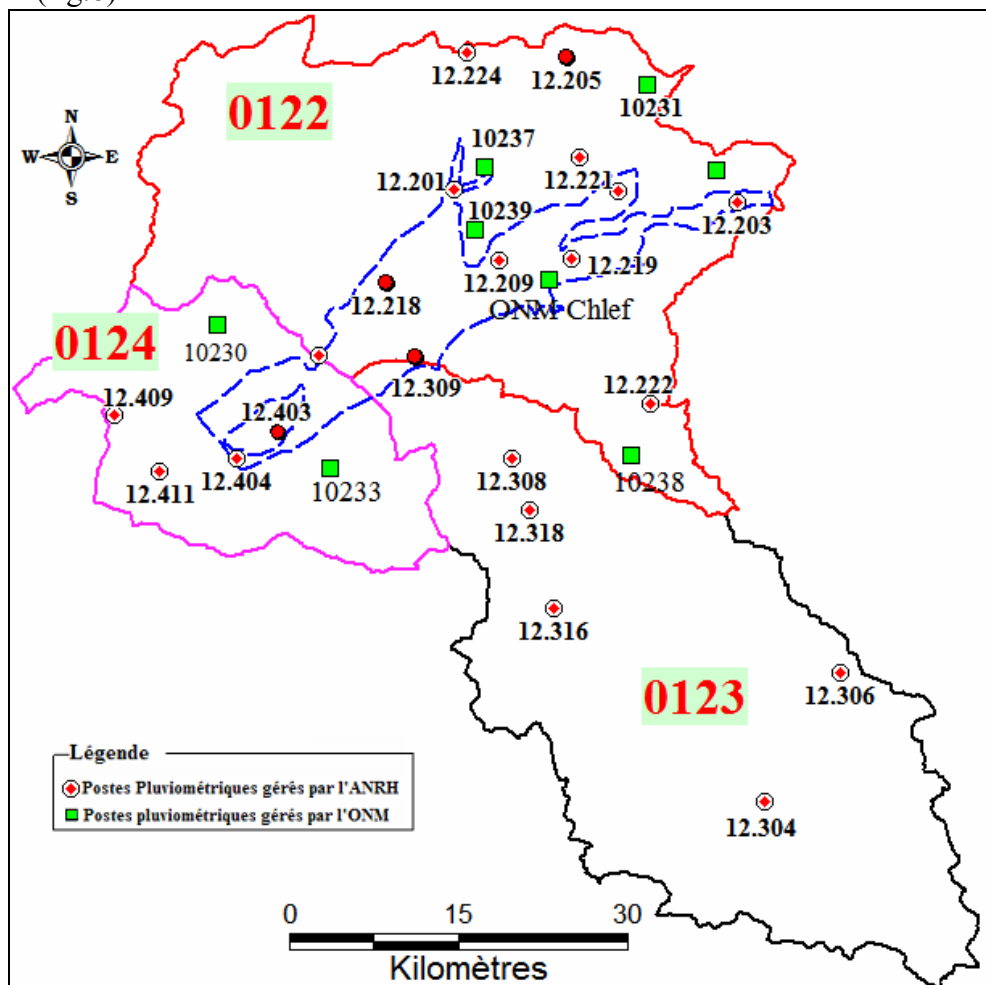


Figure 8: Position des postes pluviométriques de la zone d'étude.

## 2. Précipitation :

Pour assurer une bonne représentation de notre région, le réseau de mesures comporte plusieurs stations qui couvrent presque tout le secteur d'étude.

Nous avons retenus 13 stations, dont 11 sont situés à l'intérieur de la zone d'étude.

**Tableau 6 :** Caractéristiques des stations pluviométriques (ANRH).

Station	code	X (m)	Y(m)	altitude (m)	P (mm)	Période d'observation
Fodda bge	12108	401950	305900	1180	352.9	1973-2006
Oued Sly	12309	365200	312700	882	271.2	1973-2006
Bj Bounaama	12306	402600	284100	1050	452.8	1973-2006
O B AEK	12308	371700	303900	95	315	1973-2006
Souk El Had	12304	395750	272700	550	340.7	1973-2006
O Farés	12201	368100	326650	116	348.2	1973-2006
Sidi Akkacha	20211	373550	351200	120	515.7	1973-2006
Benaria	12205	381300	340100	400	461.4	1973-2006
Ponteba Bge	12203	393900	327400	320	394.3	1973-2006
D. SI Tayeb	12218	362150	318400	110	299	1973-2006
Merdja Amel	12404	342000	301560	62	269.5	1968-2001
Ferme DENA	1224	348950	302820	65	316.18	1968-2001
Merdja	12411	352600	305000	61	286.3	1968-2001

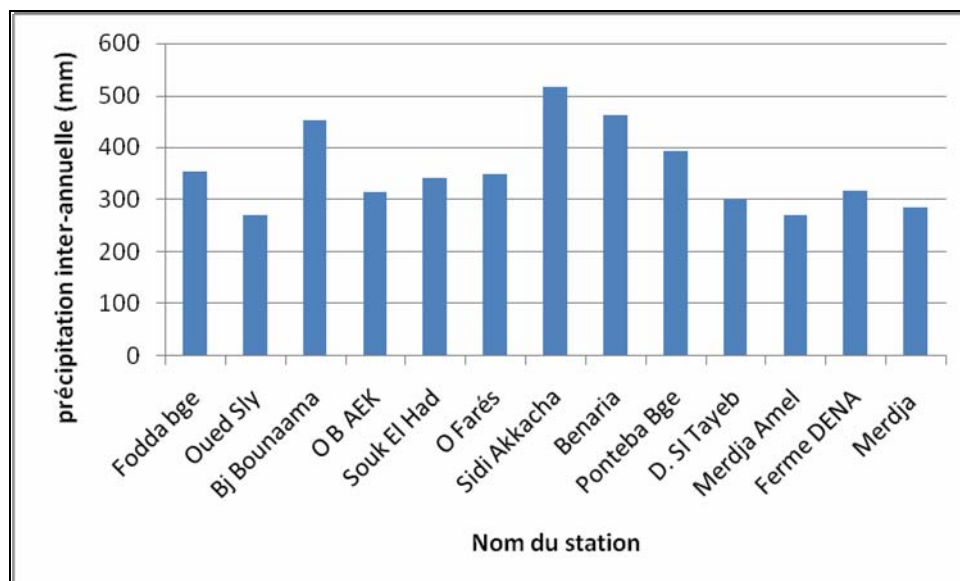
Par ailleurs, la qualité des données n'est pas toujours dépourvue d'erreurs, pour résoudre ce problème de fiabilité des données, l'emploi d'outils statistiques est nécessaire pour le comblement des lacunes.

Nous avons établi par le moyen de la méthode des « doubles cumulés » une vérification complète de l'homogénéité des taux annuels et la technique de régression pour estimer les précipitations annuelles manquante dans les stations.

### 2.1 Etude des précipitations annuelles :

Dans le cadre de l'analyse des précipitations, nous allons tout d'abord donné une brève analyse de la période de 1973-2006, pour avoir une idée sur le régime pluviométrique et l'importance de leur variabilité pour l'alimentation des eaux souterraines.

Le régime des précipitations est largement influencé par l'emplacement des stations et leurs altitudes.



**Figure 9 :** Précipitations moyennes annuelles des stations de la région .

La distribution des pluies est très marquée spatialement, au Nord de la zone d'étude, les précipitations interannuelles sont très importantes (Benaria ; 461.4mm et Sidi Akkacha ; 515.7mm). Elles diminuent graduellement vers le centre (D. Si-Tayb ; 299 mm).

La distribution spatiale est aussi variable dans le Sud, le taux annuel étant moins important à l'intérieur de la zone d'étude qu'au bord des côtes (O. sly ; 271.2 mm et B.B.Naâma ; 452.8 mm).

## 2.2 Etude de statistique des précipitations :

Pour comprendre au mieux le mode de répartition des précipitations et effectuer des études prévisionnelles (calcul des différentes périodes de retour), on effectue des études statistiques (figures 1 et 2 en annexe I) pour déterminer les lois de répartition à utiliser.

Pour cela, le traitement statistique des séries d'observations portera sur les précipitations annuelles par l'ajustement graphique selon les lois normal et log normal pour la période 1973-2006.



**Tableau 7** : Pluies annuelles à différentes probabilités de 11 postes.

Code	Nom de station	Altitude (m)	Précipitation (mm)			Précipitation (mm)			Moyenne (mm)
			Loi Normal			Loi log-Normal			
			100Ans	10Ans	Moy	100Ans	10Ans	Moy	
F=0.99	F=0.9	F=0.5	F=0.99	F=0.9	F=0.5				
01-22-05	Benaria	400	776.4	639.09	470.7	897.5	659.6	452.1	461.4
02-02-11	Sidi Akkacha	120	806.8	679.15	522.7	883.6	689.52	508.7	515.7
01-22-01	O / Farés	116	599.8	467.17	353.6	618.7	474.59	342.8	348.2
01-22-18	Domaine Si Tayeb	110	454.3	386.09	302.5	495.3	392.73	295.5	299
01-22-03	Ponteba	320	586.7	502.07	398.3	633.5	509.57	390.2	394.3
01-23-09	O/ Sly	882	456.8	375.91	276.7	528.3	387.99	265.7	271.2
01-23-08	O/ Ben A. E. K	95	524.6	432.89	320.4	574.8	435.23	309.4	315
01-23-06	B.B. Naama	1050	854.9	680.42	466.5	1014	696.2	439	452.8
01-23-04	Souk El Had	550	596.9	485.59	349.1	715	506.8	332.3	340.7
01-21-09	Barrage Fodda	1180	623.6	504.81	359.1	752.6	527.19	346.7	352.9
01-24-11	Merdja Amel	62	492.3	384	269.5	/	/	/	269.5

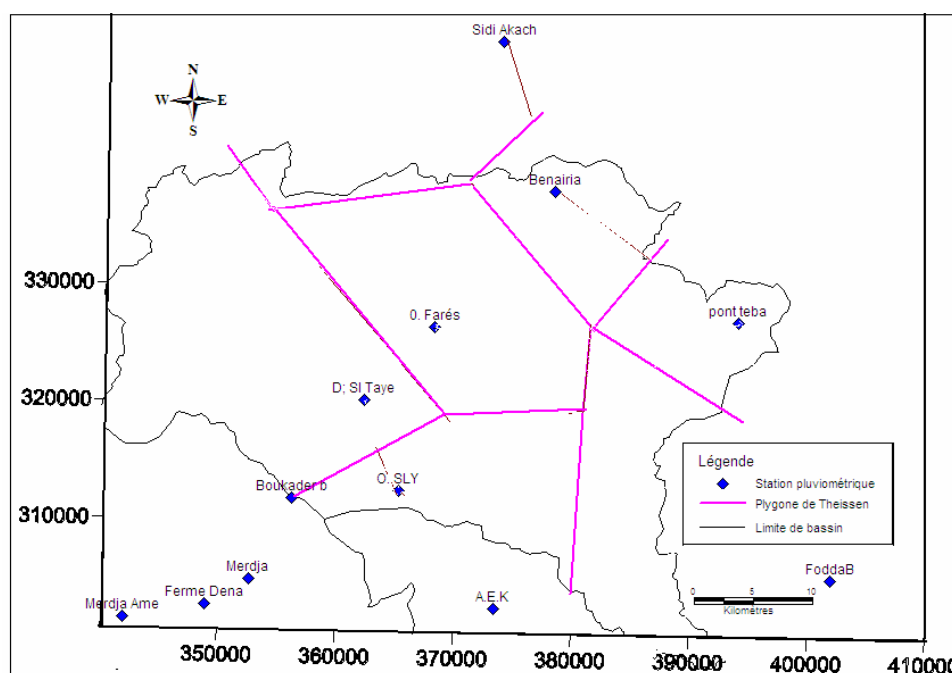
### 2.3 Détermination de la lame d'eau précipitée sur les bassins :

Différentes méthodes permettent le calcul des quantités d'eau à travers les sous bassins versants.

#### 2.3.1 Méthode de Thiessen :

Dans le cas où les stations pluviométriques ne sont pas uniformément réparties ; la démarche consiste à pondérer les données des stations en tenant compte de la distance qui

les sépare. Il s'agit donc d'une méthode arithmétique dans laquelle on attribue à chaque station pluviométrique un poids proportionnel à une zone d'influence présumée.



**Figure 10:** La carte des polygones de Thiessen pour le bassin O. Ras et Ouahrane.

Les résultats sont reportés dans le tableau suivant :

**Tableau 8:** Estimation de la lame d'eau précipitée sur le bassin de "O. Ras et Ouahrane" par la Méthode de Thiessen.

N° du polygone	stations	Surface des polygones (Ai) km <sup>2</sup>	Précipitations Annuelles moy Pi (mm)	Ai/An Coef.de pondération
A <sub>1</sub>	Sidi-Akkacha	28.35	516	0.02
A <sub>2</sub>	D. Si Tayeb	450	299	0.32
A <sub>3</sub>	Benaria	135.9	461	0.09
A <sub>4</sub>	Oued fodda	191.6	353	0.13
A <sub>5</sub>	Pont Teba	108.5	394	0.08
A <sub>6</sub>	O. Sly	179.2	271	0.12
A <sub>7</sub>	O. Farés	343.45	348	0.24

$$An = \sum_{i=1}^7 A_i = 1437 \text{ km}^2$$

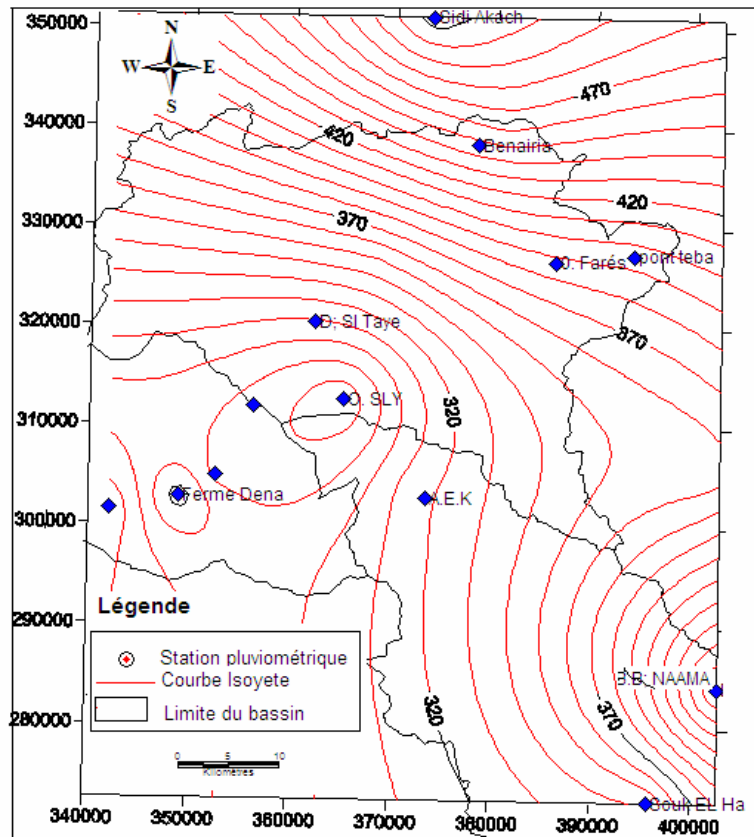
$$P \text{ moy} = 341 \text{ mm.}$$

**Tableau 9** : Estimation de la lame d'eau précipitée dans chaque bassin par la méthode de Thiessen.

Sous bassins	O. Ras Ouahrane	O. SLy	Ouarizane -Chlef
Surface élémentaire (km <sup>2</sup> )	1438.45	1404.07	574.76
Lame d'eau précipitée (mm)	341	352	290

### 2.3.2 Méthode des isohyètes :

Une courbe isohyète est le lieu géométrique des points sur lesquels il est tombé la même hauteur de pluie pendant une période déterminée. C'est donc une représentation approximative de la répartition spatiale de la pluie.



**Figure 11** : : Carte des isohyètes pour le bassin O. Ras et Ouahrane.

Les résultats sont reportés dans le tableau suivant :

**Tableau 10 :** Estimation de la lame d'eau précipitée dans chaque bassin par la méthode des isohyètes.

Sous bassins	O. Ras Ouahrane	O. SLy	Ouarizane -Chlef
Surface élémentaire (km <sup>2</sup> )	1438.45	1404.07	574.76
Lame d'eau précipitée (mm)	357	352	294

### 2.3.3 La méthode arithmétique :

La moyenne arithmétique des valeurs des précipitations observées aux stations d'un bassin versant est l'évaluation objective la plus simple de la moyenne des précipitations sur le bassin.

Les résultats sont reportés dans le tableau suivant :

**Tableau 11:** Estimation de la lame d'eau précipitée dans chaque bassin par la méthode arithmétique.

Sous bassins	O. Ras Ouahrane	O. SLy	Ouarizane -Chlef
Surface élémentaire (km <sup>2</sup> )	1438.45	1404.07	574.76
Lame d'eau précipitée (mm)	376	345	291

Les résultats obtenus avec les trois méthodes sont regroupés dans le tableau 12.

**Tableau 12 :** Précipitations en (mm) estimées par les trois méthodes.

Sous bassins	Ras et Ouahrane	O. Sly	Ouarizane-Chlef
Isohyète	357	352	294
Thiessen	341	352	290
Arithmétique	376	345	291
Pmoy (mm)	358	350	292

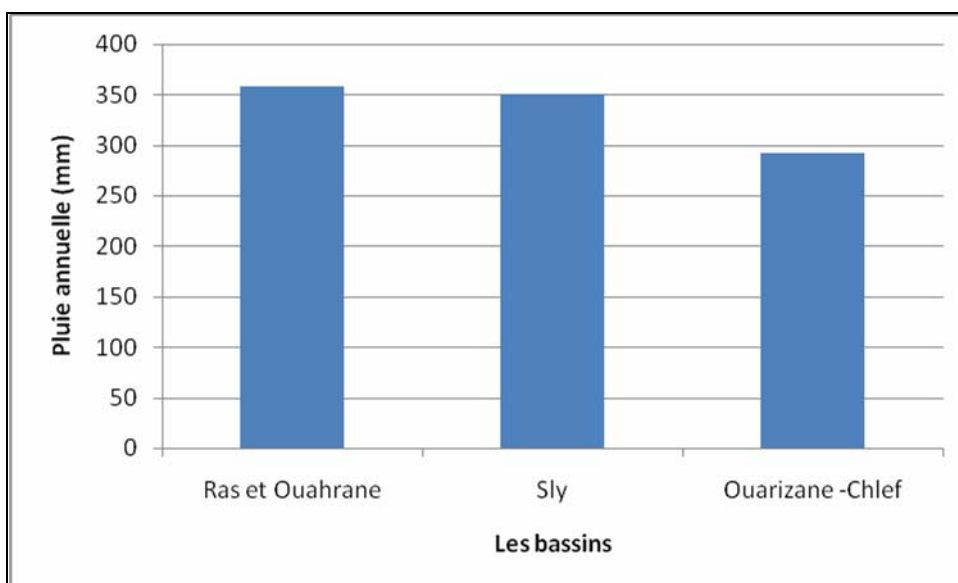
### 2.4 Variation annuelle des précipitations (période : 1973- 2006) :

La répartition mensuelles des précipitations a été établie pour chaque sous bassin selon les trois méthodes indiquées précédemment pour le calcul de la lame d'eau précipitée, les résultats sont mentionnés sur le tableau 13.

**Tableau 13** : Précipitations mensuelles et annuelles dans les trois bassins (1973-2006).

Bassin \ Mois	Ras et Ouahrane	Sly	Ouarizane-Chlef
Septembre	12	10	11
octobre	25	27	31
Novembre	78	46	58
Décembre	71	61	35
Janvier	39	43	46
Février	57	50	40
Mars	30	39	28
Avril	23	37	23
Mai	22.3	27	14
Juin	18	6	4
Juillet	1	1	1
Aout	2	3	1
Total (mm)	<b>358</b>	<b>350</b>	<b>292</b>

Les précipitations sont très irrégulières tant annuellement que mensuellement. Les pluies moyennes annuelles sont respectivement dans les bassins Ouarizane-Chlef ; O. Sly et O. Ras Ouahrane égales à 292, 350 et 358 mm (Tableau 12 et figure 11).

**Figure 12** : Histogramme des répartitions des pluies annuelles dans les Trois bassins.

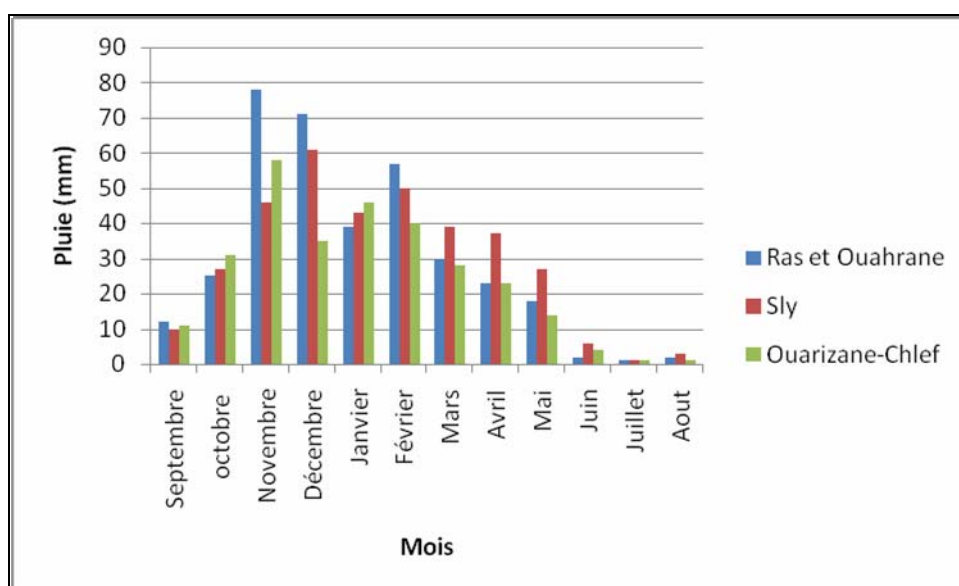
A l'échelle spatiale (tableau 7), on constate que les régions de l'extrême Nord de la région d'étude reçoivent les plus fortes précipitations avec un maximum de 461 mm et 516 mm enregistré dans les stations de Benaria (dans le secteur d'étude) et la station de Sidi Akkacha (au voisinage).

Par contre, la partie centrale reçoit moins de 350 mm avec un minimum de 271 mm enregistré à la station du Oued Sly. Au Sud, en général, les régions montagneuses reçoivent une quantité importante de pluie avec un maximum de 453 mm observé dans la station de B .B. Naâma (Altitude 1050 m).

### 2.5 Précipitations moyennes mensuelles

Les pluies moyennes mensuelles représentées par les graphiques traduisent clairement les variations saisonnières et leur distribution à l'échelle annuelle. Dans Les trois sous bassins versants concernés, on observe deux périodes distinctes, une saison sèche et une autre humide.

- Une saison sèche qui s'étale du mois de juin à septembre, avec un minimum de pluviosité enregistré au mois de juillet pour tous les sous bassins et au mois Août pour le Bassin Ouarizane (1 mm);



**Figure 13** : Précipitations moyennes mensuelles (Période 1973-2006)

- Une saison humide qui correspond aux autres mois de l'année, dont la période pluvieuse est assez importante pour les mois d'hiver, avec un maximum au mois de Novembre (bassins Ras et Ouahrane : 78 mm) ;

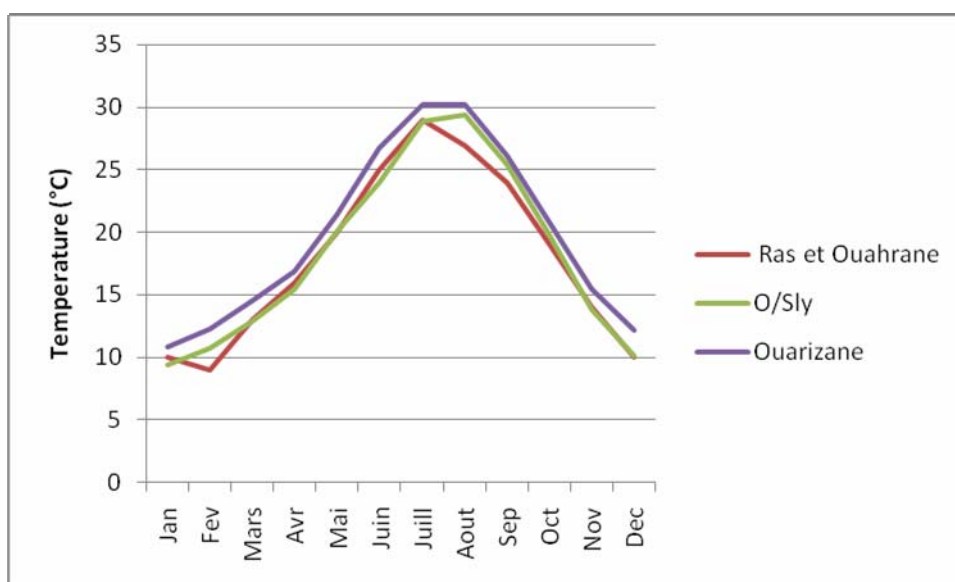
### 3. Etude des températures :

Malgré la proximité de la mer, les autres mois de l'année enregistrent des températures régulièrement croissantes et décroissantes entre les deux pôles chauds et froids.

Pour les trois sous bassins versants, nous avons utilisé les données fournies par l'A.N.R.H. pour la période 1973 à 2006.

**Tableau 14:** Répartition géographique des températures moyennes d'après les Données de l'ANRH sur le moyen Chelif (1973/2006).

	janv	fév	mars	avril	mai	juin	juill	aout	sept	Oct	nov	dec	moy
Ras et Ouahrane	10	9	13	16	20	25	29	27	24	19	14	10	18
O.Sly	9.4	10.7	12.9	15.4	20.1	24.	28.9	29.4	25.4	19.8	13.8	10.1	18.3
Ouarizane	10.7	11.8	14.6	16	19.7	24.8	28.9	29.1	26.1	20.2	15	11.6	19



**Figure 14 :** Variation mensuelles des températures (1973/2006). D'après les Données de l'ANRH sur le moyen Chelif.

L'examen de ces données montre que les températures moyennes interannuelles diffèrent légèrement d'un bassin à l'autre. Celles-ci diminuent au fur à mesure que l'on s'éloigne du centre de la zone d'étude vers le Nord (Ras et Ouahrane 18°C) et augmente vers l'Ouest (Cheliff- Ouarizane 19°C). Les températures moyennes varient entre 9 et 11.8°C pour Février et 27 à 29.4 °c pour les mois d'Août.

#### 4. Evaporation, Evapotranspiration et déficit d'alimentation

L'évaporation désigne les pertes en eaux par retour direct à l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau.

#### 4.1 Evapotranspiration réelle et déficit d'écoulement

Le déficit d'écoulement ou évapotranspiration réelle est la différence exprimée en hauteur de lame d'eau entre les précipitations, hauteur moyenne annuelle des précipitations sur le bassin (P) et la hauteur moyenne annuelle de la lame d'eau uniformément répartie sur le dit bassin, il représente le volume total débité par le cours d'eau à l'exutoire (Q) et englobe les deux paramètres de l'évapotranspiration et de l'infiltration:

$$D = P - Q \dots\dots(10)$$

##### a. Méthode de COUTAGNE

La formule de M.COUTAGNE est la suivante:

$$D = \bar{P} - \lambda P^2 \dots\dots(11) \quad \text{avec} \quad \lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14T} \dots\dots(12) \quad \text{et} \quad 1/8\lambda < P < 1/2\lambda$$

Où D : déficit d'écoulement annuelle (en m)

$\bar{P}$  : Pluie moyenne annuelle (m).

T : température moyenne annuelle en (°C).

On constate que la condition  $1/8\lambda < P < 1/2\lambda$  n'est pas satisfaite ; par conséquent la formule de COUTAGNE n'est pas applicable pour notre région.

##### b. Méthode de TURC

Le déficit d'écoulement est défini en fonction d'un paramètre (L) et la précipitation moyenne annuelle.

$$D = \frac{\bar{P}}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \dots\dots(13)$$

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3 \dots\dots(14)$$

D et P sont exprimés en (mm) et T en (°C).

Les calculs conduisent aux résultats présentés dans le tableau 15.

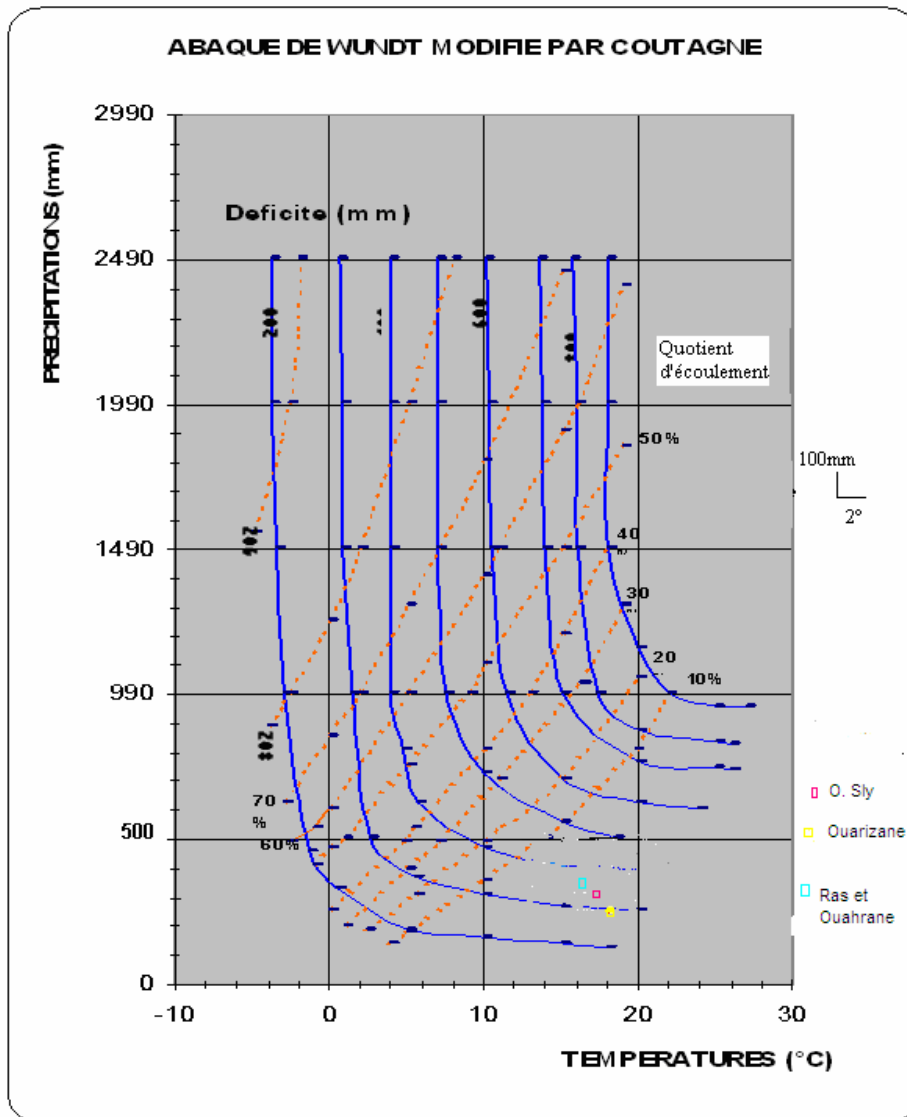
**Tableau 15:** Déficit d'écoulement d'après la formule de "M. TURC".

Sous bassins	P (mm)	T (°C)	L	D (mm)
Ras et Ouhrane O.Ouahrane	358	18	1041.6	355
O.Sly	350	18.3	1063.9	349
O.Ouarizane	292	19	1117.9	287



**c. Méthode de WUNDT**

Cet auteur définit le déficit d'écoulement en fonction de 02 paramètres, la précipitation moyenne annuelle et la température moyenne annuelle. Les résultats sont obtenus à l'aide de l'abaque de WUNDT modifié par M COUTAGNE fig. (15), le déficit obtenu évolue entre  $300 < D < 600$  mm.



**Figure 15 :** Abaque de Wundt modifié par Coutagne

**Tableau 16:** Déficit d'écoulement par la méthode de WUNDT.

Sous bassins	Ras et Ouahrane	Sly	Ouarizane-Chlef
T°C	18,00	18.30	19
Précipitation (mm)	358	350	292
Déficit d'écoulement (mm)	350	340	285

**d. Méthode de THORNTHWAITE**

Thornthwaite (1948), Thornthwaite et Mather (1955) ont relié l'évapotranspiration potentielle (ETP) à des paramètres facilement accessibles ; la température moyenne de l'air et la durée théorique de l'insolation.

**1. Calcul d'évapotranspiration potentielle mensuelle et annuelle :**

Le calcul d'évapotranspiration potentielle mensuelle n'est possible que si la température moyenne mensuelle est inférieure ou égale à 38°C. Deux cas sont alors à considérer :

1 cas : Pour une température moyenne mensuelle inférieure à 26.5°C :

L'évapotranspiration potentielle mensuelle est calculée d'après la formule :

$$ETPC = 16 \left[ \frac{10t}{J} \right]^a \times K \dots\dots(15) \quad \text{et} \quad ETPNC = 16 \left[ \frac{10T}{J} \right]^a \times K \dots\dots(16)$$

E.T.P.C : évapotranspiration potentielle mensuelle corrigé (en mm)

E.T.P.N.C : évapotranspiration potentielle non corrigée en (mm),

T : température moyenne mensuelle (en °C).

J : indice thermique annuel : somme des indices mensuels calculés à partir des températures moyenne mensuelles selon la formule :

$$i = \left[ \frac{t}{5} \right]^{1.514} \dots\dots(17)$$

$$a = 6, 75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7, 71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1, 79 \cdot 10^{-2} I + 0,49$$

K = coefficient de correction dépendant de la latitude et il est donné par une table.

2 Cas : Pour une température moyenne mensuelle égale à 26.5 °C ou comprise entre 26.5 °C et 38 °C, l'évapotranspiration potentielle mensuelle non corrigée est donnée directement par l'abaque.

L'évapotranspiration potentielle mensuelle corrigée est alors calculée par application du coefficient de correction mensuel.

**2. Calcul d'évapotranspiration réelle mensuelle et annuelle.**

1<sup>er</sup> cas : Pluie mensuelle P supérieure à l'évapotranspiration potentielle ETP (P > ETP) :

ETR = ETP

2<sup>e</sup> cas : Pluie mensuelle P égale à l'évapotranspiration potentielle ETP (P = ETP)

ETR = ETP.

Les réserves en eau de sol restent les mêmes que celles du mois précédent.

3<sup>e</sup> cas : Pluie mensuelle P inférieure à l'évapotranspiration potentielle ETP (P < ETP) ;

ETR = ETP si P + RFU > ETP

ETR = P + RFU si P + RFU < ETP

Lorsque les réserves en eau du sol sont épuisées et E.T.P.C > E.T.P.R. leurs différences donne le déficit d'alimentation.

Le paramètre RFU maximum représente la lame d'eau maximale que le sol est capable d'emmagasiner. La valeur de la RFU max peut être calculée à partir de la formule de HALLAIRE (1967) :

$$RFU = [(c-f)/100].H.d'+30mm \dots (18)$$

C = Capacité au champ.

F = Capacité au point de flétrissement.

H = profondeur au sol (suivant la lithologie de chaque bassins versants)

d' = densité apparente. a défaut de mesure, on peut prendre d' = 1.

30mm = enracinement capillaire.

L'expérience montre que l'on peut prendre pour (c-f) les valeurs :

c-f : 5% pour les sols sableux, c-f : 10 à 15% pour les sols limoneux, c-f : 20% pour les sols argilo limoneux.

**Tableau 17** : Réserve utile selon HALLAIRE.

Basins versants	Ras et Ouahrane	Sly	Ouarizane- Chlef
Superficie (Km <sup>2</sup> )	1437	1404	574,76
Réserve utile (RFU)	60	55	73,8

### 3. Bilan hydrique simplifié selon THORNTHWAITE :

Bassin Ras et Ouahrane								
Mois	K	T(°C)	P(mm)	Etp(mm)	RFU(mm)	Etr(mm)	DA(mm)	Ect(mm)
Sept	1	24	12	113	0	12	100.8	0
Oct	1	19	25	68.5	0	25	43.48	0
Nov	0.9	14	78	34.2	43.8	34.19	0	0
Dec	0.8	10	71	17.7	60	17.73	0	37.08
Janv	0.9	10	39	18.4	60	18.37	0	20.63
Fev	0.9	9	57	14.7	60	14.72	0	42.28
Mars	1	13	30	35.6	54.4	35.62	0	0
Avril	1.1	16	23	56.2	21.2	56.21	0	0
Mai	1.2	20	18	94.1	0	39.18	54.89	0
Juin	1.2	25	2	144	0	2	142.3	0
Juill	1.2	29	1	194	0	1	192.9	0
Aout	1.2	27	2	159	0	2	156.6	0
annuel		18	358	949		258	691	100

## Bassin O. Sly

Mois	K	T(°C)	P(mm)	Etp(mm)	RFU(mm)	Etr(mm)	DA(mm)	Ect(mm)
Sept	1	25	10	124	0	10	114.1	0
Oct	1	20	27	72.4	0	27	45.43	0
Nov	0.9	14	46	32.1	13.9	32.1	0	0
Dec	0.8	10	61	17.2	55	17.22	0	2.68
Janv	0.9	9.4	43	15.5	55	15.54	0	27.46
Fev	0.9	11	50	19.5	55	19.47	0	30.53
Mars	1	13	39	33.8	55	33.78	0	5.22
Avril	1.1	15	37	50.7	41.3	50.69	0	0
Mai	1.2	20	27	93	0	68.31	24.69	0
Juin	1.2	24	6	132	0	6	125.8	0
Juill	1.2	29	1	191	0	1	190.4	0
Aout	1.2	29	3	185	0	3	182.1	0
annuel		18	350	967		284.1	682.5	65.9

## Bassin Ouarizane- Chlef

Mois	K	T(°C)	P(mm)	Etp(mm)	RFU(mm)	Etr(mm)	DA(mm)	Ect(mm)
Sept	1	26	11	128	0	11	117.2	0
Oct	1	20	31	72.5	0	31	41.51	0
Nov	0.9	15	58	35.6	22.4	35.57	0	0
Dec	0.8	12	35	20.8	36.6	20.84	0	0
Janv	0.9	11	46	18.4	64.2	18.38	0	0
Fev	0.9	12	40	21.8	73.8	21.81	0	8.66
Mars	1	15	28	40.4	61.4	40.37	0	0
Avril	1.1	16	23	51.7	32.7	51.72	0	0
Mai	1.2	20	14	86.1	0	46.66	39.39	0
Juin	1.2	25	4	137	0	4	133.2	0
Juill	1.2	29	1	189	0	1	188	0
Aout	1.2	29	1	179	0	1	178.2	0
annuel		19	292	981		283.3	697.4	8.66

**Tableau 18:** Tableau récapitulatif des paramètres du bilan hydrologique Selon la méthode de **THORNTHWAITE**

Basins versants	Ras et Ouahrane	Sly	Ouarizane- Chlef
Superficies( Km <sup>2</sup> )	1437	1404.07	574.76
ETP	948.99	966.56	980.75
RFU	60	55	73.8
ETR	258.00	284.10	283.3
D.A	691	682.46	697.4
Écoulement	100	65.90	8.66

**e . Méthode de P.VERDEIL**

P. VERDEIL (1988) a établi en Algérie un abaque pour déterminer le déficit d'écoulement (DE) ; Cet auteur constate que l'étude des écoulements sur les cours d'eau maghrébins montre une relation quasi fonctionnelle entre le déficit d'écoulement et les précipitations, à condition que les pluies soient inférieures à 600mm. La valeur est obtenue directement d'après l'abaque (fig. 16).

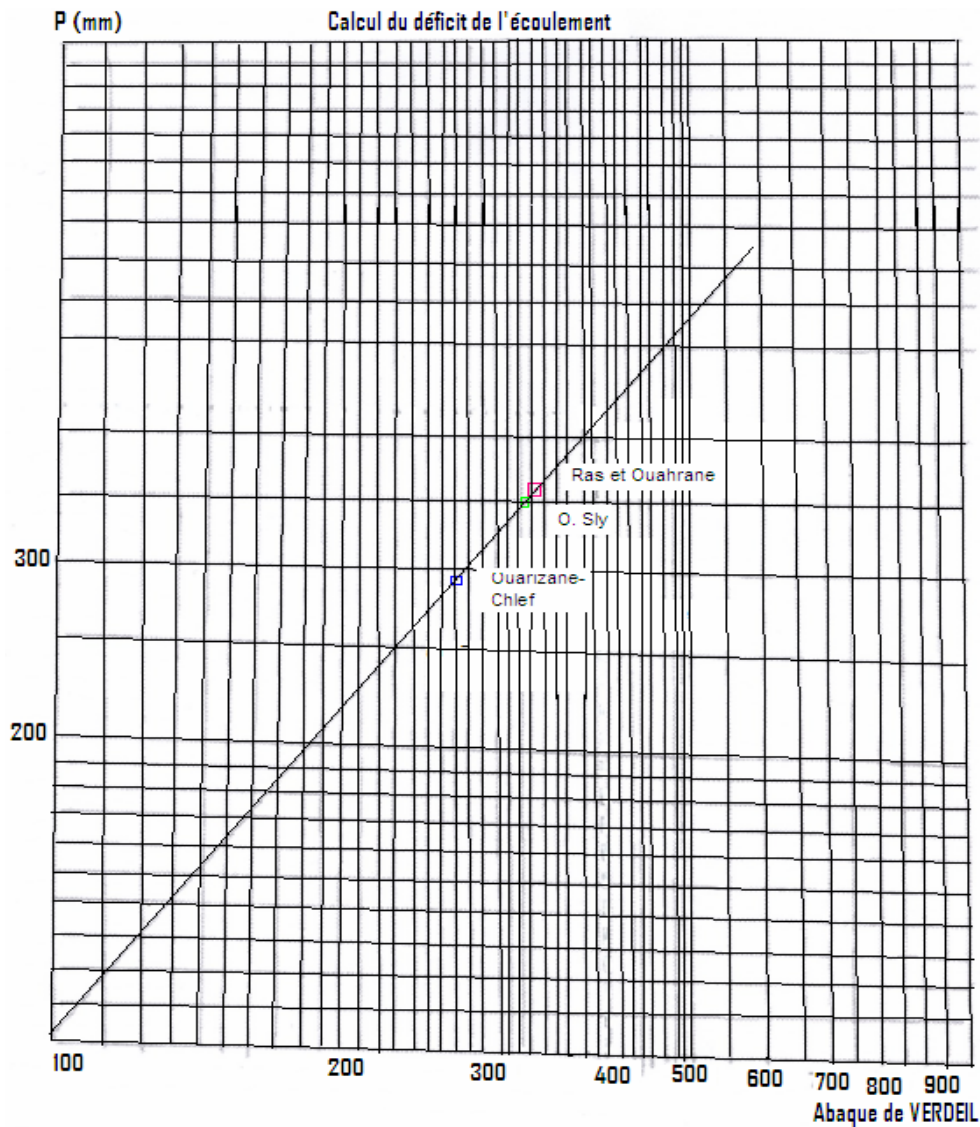
**Tableau 19:** Tableau récapitulatif des résultats du Déficit d'écoulement. « P.VERDEIL »

Sous bassins	Précipitation (mm)	Déficit d'écoulement (mm)
Ras et Ouahrane	358	330
Sly	350	325
Ouarizane-Chlef	292	270

Le tableau 20 regroupe les résultats du déficit d'écoulement obtenus par les différentes méthodes.

**Tableau 20 :** Tableau récapitulatif des résultats du déficit d'écoulement des 05 méthodes.

Sous bassins	TURC	WUNDT	<b>VERDEIL</b>	Thornthwaite
Ras et Ouahrane	355	350	<b>330</b>	258
Sly	349	340	<b>325</b>	284
Ouarizane-Chlef	287	285	<b>270</b>	283



**Figure 16** : Abaque de VERDEIL

Les résultats obtenus avec les méthodes de TURC, VERDEIL et WUNDT sont assez proches les uns des autres, La méthode de THORNOMTHWAITE donne en revanche des valeurs plus faibles.

Pour la suite des calculs, nous retiendrons les résultats obtenus à l'aide de la méthode préconisée par P.VERDEIL car cette méthode utilise les données enregistrées à travers l'Algérie du Nord.

## 5. Le climat

### 5.1 Courbes pluviométriques de " GAUSSEN ET BAGNOULS "

Pour Bagnouls et Gausсен, un mois sec est celui où le total moyen des précipitations exprimées en mm est inférieur ou égal au double de la température moyenne.

Sur la courbe, on remarque que la courbe des températures passe au dessus de celle des précipitations pendant les mois secs.

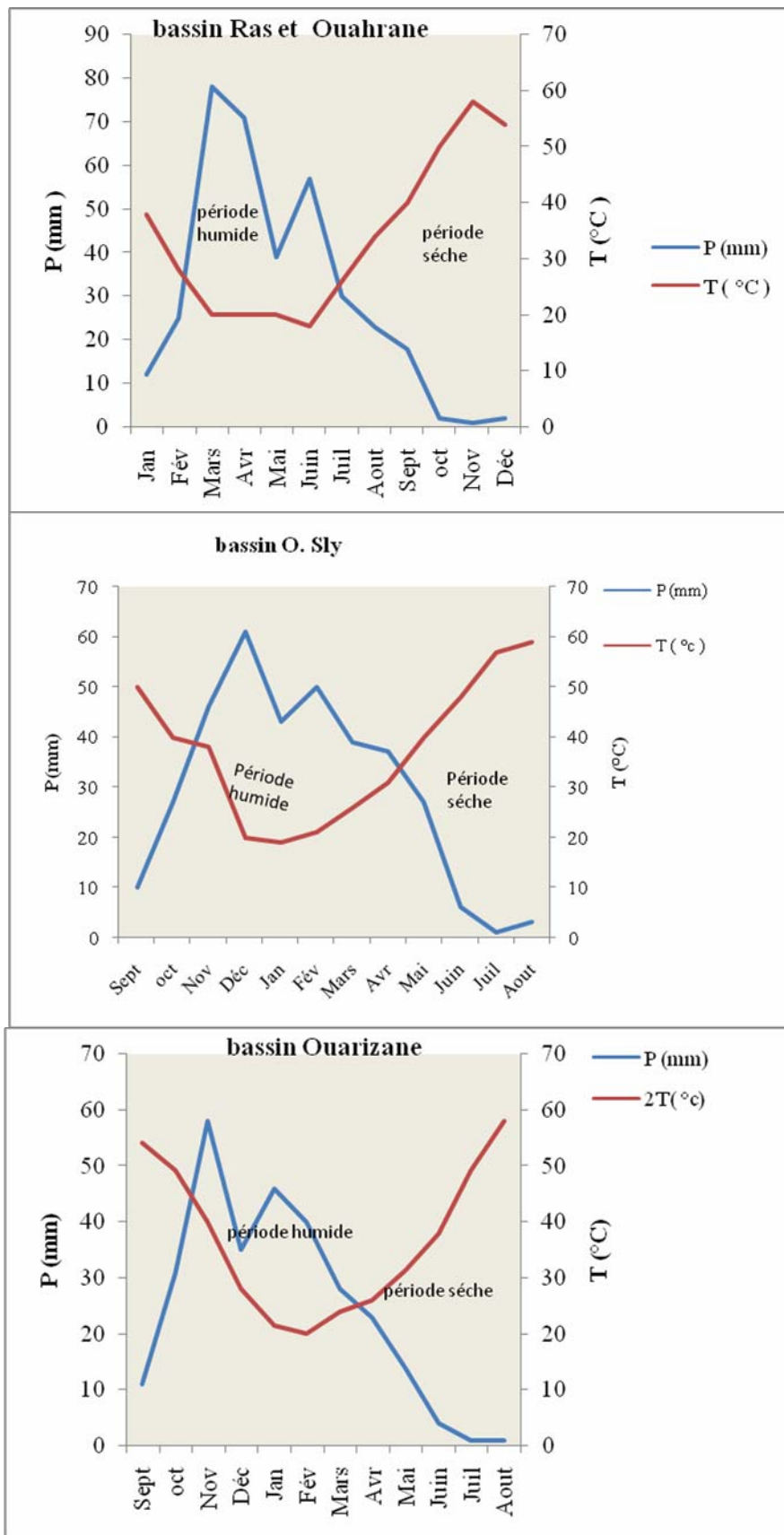


Figure 17: Courbe pluviométriques de "GAUSSEN et BAGNOULS".

Le point d'intersection des deux courbes délimite une surface représentative de la saison sèche qui s'étale de mai où avril jusqu'au septembre où octobre et la période excédentaire qui s'étale de novembre à mars où avril pour les trois bassins.

**Tableau 21** : Résultats de calcul des courbes pluviométriques de "GAUSSEN et BAGNOULS".

Bassin	Janv	fev	Mars	avril	mai	juin	juill	aout	sept	oct	nov	dec	moy
Ras et	20	18	26	34	40	50	58	54	38	28	20	20	2T°
Ouahrane	39	57	30	23	18	2	1	2	12	25	78	71	P
	18	21	26	31	40	48	57	59	50	40	38	20	2T°
Sly	43	50	39	37	27	6	1	3	10	29	46	61	P
Ouarizane-	21,4	23.6	29.2	32	39.4	49.6	57.8	58.2	55.6	50	38.8	28	2T°
Chlef	46	40	28	23	14	4	1	1	11	31	58	35	P

## 5.2 Les indices climatiques :

Il existe beaucoup de méthodes qui permettent d'évaluer les indices climatiques, nous citons celle de De Martonne, de Moral, d'Euverte et celle d'Emberger.

Pour notre cas, nous nous tenterons de calculer l'indice d'aridité annuel de De Martonne, l'indice mensuel et l'indice d'Emberger.

### 5.2.1 Indice d'aridité annuel de " DE MARTONNE "

Cet indice proposé par De Martonne en 1923, est fondé sur le régime des précipitations et les températures et permet de trouver le type de climat qui règne dans la région, la formule utilisée est la suivante :

$$I = \frac{P}{T + 10} \dots (19)$$

P = Précipitation annuelle (mm) ; T = température annuel °C.

I < 10 Climat aride, écoulement temporaire.

10 - 20 Climat semi-aride, écoulement temporaire.

20 - 30 zone tempéré drainage extérieure.

30 - 40 écoulements exoréiques.

**Tableau 22** : Indice d'aridité annuel dans la région étudiée d'après " DE MARTONNE ".

I/Bassins	Ras et Ouahrane	O.Sly	Ouarizane- Chlef
5-10			
10-20	12.9	12.4	10.1
20-30			
30-40			



D'après ces résultats nous remarquons que les trois bassins, Ras-Ouahrane ; Sly et Ouairizane-Chlef peuvent être classés en zone semi-aride à écoulement temporaire.

### 5.2.2 Indice d'aridité mensuelle.

Les élèves de DEMARTONNE proposent un indice d'aridité mensuelle qui permet de suivre l'évolution du climat au cours de l'année.

$$I = \frac{12P}{T + 10} \dots\dots(20)$$

P : Précipitation mensuelle en (mm).

T : Température moyenne mensuelle en °C.

**Tableau 23** : Indice d'aridité mensuel.

Sous bassins	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Ras et Ouahrane	23.4	36	15.7	10.6	7.2	0.7	0.3	0.7	4.2	10.3	39	42.6
O. Sly	26.6	29	20.4	17.5	10.8	2.1	0.3	0.9	3.4	11.7	23.2	36.4
Ouarizane	26.7	22	13.7	10.6	5.7	1.4	0.3	0.3	3.7	12.3	27.8	19.4

Même remarque que pour l'indice d'aridité annuelle sauf que dans l'indice d'aridité mensuelle nous pouvons mieux observer l'évolution de la fluctuation de cet indice.

### 5.2.3 Indice de " L.EMBERGER "

Cet auteur fonde son indice sur les limites occupées par les différentes associations végétales.

$$Q_2 = \frac{P}{\frac{M + m}{2}(M - m)} \times 1000 \dots\dots(21)$$

P : moyenne annuelle en (mm).

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en degré absolu (°K).

m : moyenne des minima du mois le plus froid en degré absolu (°K).

On reporte  $Q_2$  en fonction de la moyenne des minima du mois le plus froid en °C

**Tableau 24** : Indice de L.EMBERGER pour la région de Chlef.

I/Bassins	Ouahrane	Ourizane	O.Sly
$Q_2$	61.3	54.2	59.9
T° C	9	5	9

On remarque d'après les résultats obtenus que le bassin de Ras et Ouahrane possède la valeur la plus élevée de l'indice ce qui le classe en zone « hiver ». Les autres bassins se caractérisent par la même classe (hiver).

Selon cet indice, Les sous bassins ayant un climat semi-aride.

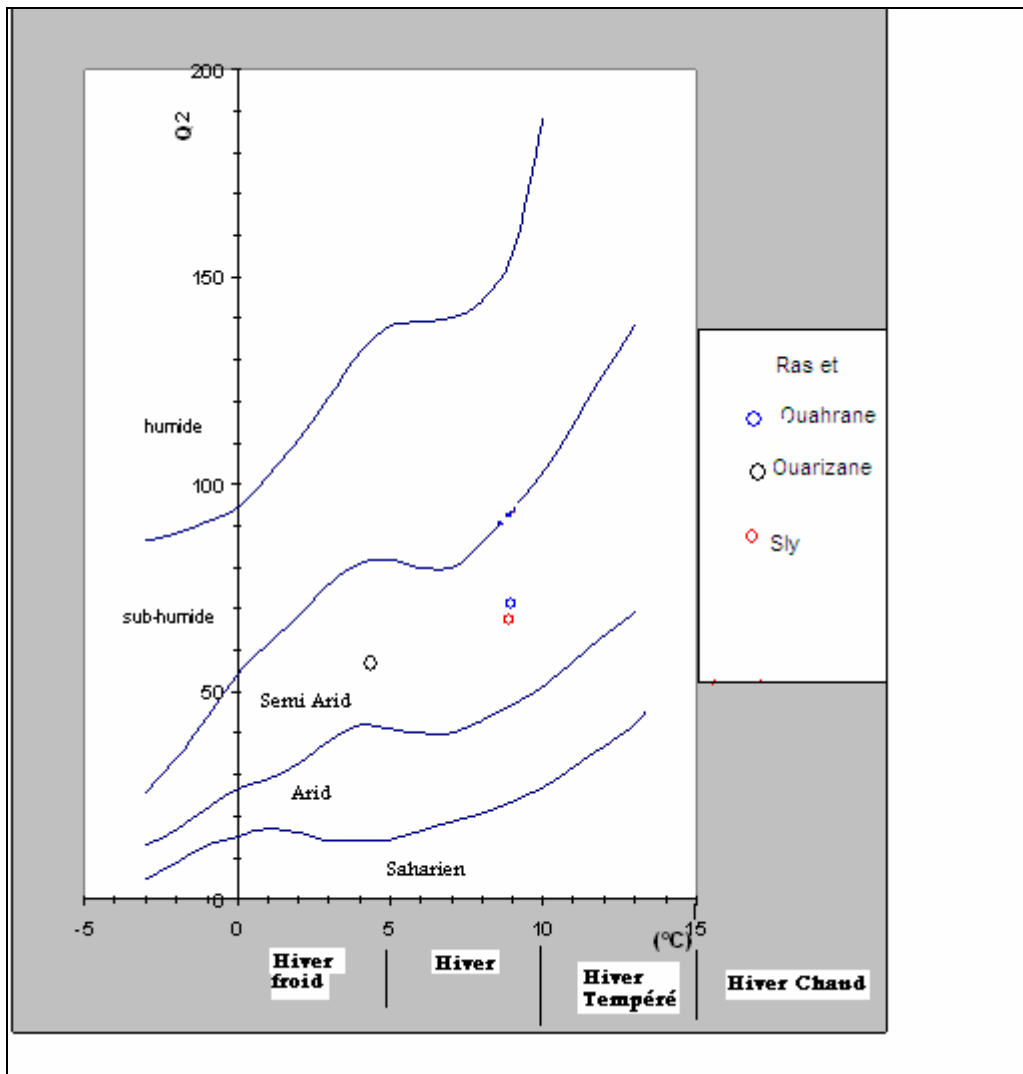


Figure 18: Climmagramme de L.EMBERGER

### 5.3 Conclusion.

Les différentes classifications du climat sont toutes basées sur les mêmes critères, certaines d'entre elles ne sont applicables que dans des régions spécifiques.

Les indices d'aridité calculés par les différentes méthodes convergent tous vers le même résultat. Le climat de la région étudiée est semi-aride.

## 6. Bilan hydrologique

Le bilan hydrologique permet de quantifier les transferts d'eau issus des précipitations, il comporte trois principaux termes (les entrées, les sorties et les stocks).

L'équation du bilan d'un bassin versant peut s'écrire :

$$P = Q + I + ETR, \dots (22)$$

P : Lame d'eau annuelle moyenne précipitée en (mm).

R = Ruissellement

I = Infiltration

### 6.1 Le Ruissellement

Le ruissellement apparaît dès que l'intensité d'une pluie devient supérieure à la vitesse d'infiltration du sol. Il est aussi en fonction de divers facteurs ; la perméabilité, la pente, et la capacité d'absorption des formations affleurantes.

Le ruissellement est nettement plus élevé sur sol nu que sous cultures. Il est exprimé normalement en volume (m<sup>3</sup>) ou en hauteur (mm) par rapport à une superficie ;

#### 1. Calcul du ruissellement par la méthode de Tixeront – Berkaloﬀ

La relation de Tixeront-Berkaloﬀ (1961) permet le calcul approché de cette grandeur. Cette formule a été établie pour les zones semi-arides, les résultats donnent une erreur de 10% pour des précipitations inférieures à 600mm. Elle s'exprime ainsi :

$$R = \frac{P^3}{3ETP^2} \dots\dots(23)$$

R = Ruissellement

P = Précipitation

ETP = Evapotranspiration potentielle.

Les résultats obtenus apparaissent dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 25** : Les résultats du ruissellement obtenus par la méthode de Tixeront-Berkaloﬀ période (1973/2006).

Sous bassins versants	P (mm)	ETP (mm)	R (mm)
RAS et OUAHRANE	358	949	17
OUED SLY	350	966.6	15.3
OUARIZANE- CHLEF	292	980.8	8.6

Les hauteurs d'eau ruisselées varient entre 8.6 mm et 17 mm. En fait ce ne sont là que des valeurs moyennes car le ruissellement dépendra beaucoup plus de l'intensité des averses particulièrement dans ces régions semi arides. En effet, ces valeurs sont dues aux facteurs physiographiques suivants :

- Les caractéristiques des bassins concernant la forme, la pente de la surface de drainage, la perméabilité et la capacité d'emmagasinement.

- Les caractéristiques des cours d'eau.
- Les caractéristiques climatologiques, telles que la température, précipitation, radiation solaire et humidité de l'air ...etc

## 6.2 Infiltration :

L'infiltration est définie comme le processus du mouvement de l'eau dans le sol. C'est sans aucun doute le paramètre le plus difficile à calculer à cause des multiples approximations dans sa quantification.

Le processus d'infiltration est dû à l'effet combiné d'une composante de diffusion quand le sol est sous-saturé et d'une composante de transmission à saturation du sol.

Au début d'une précipitation, le gradient de l'humidité entre la surface et les couches inférieures est élevé ; à ce moment, la composante de diffusion sera primordiale dans le transfert de l'eau, son rôle devient moins dominant à mesure que l'humidité du sol augmente.

Quant le sol arrive à saturation, le transfert sera essentiellement dû à la composante de transmission, c'est-à-dire à l'écoulement gravitaire.

$$I = P - ETR - R \dots\dots(24)$$

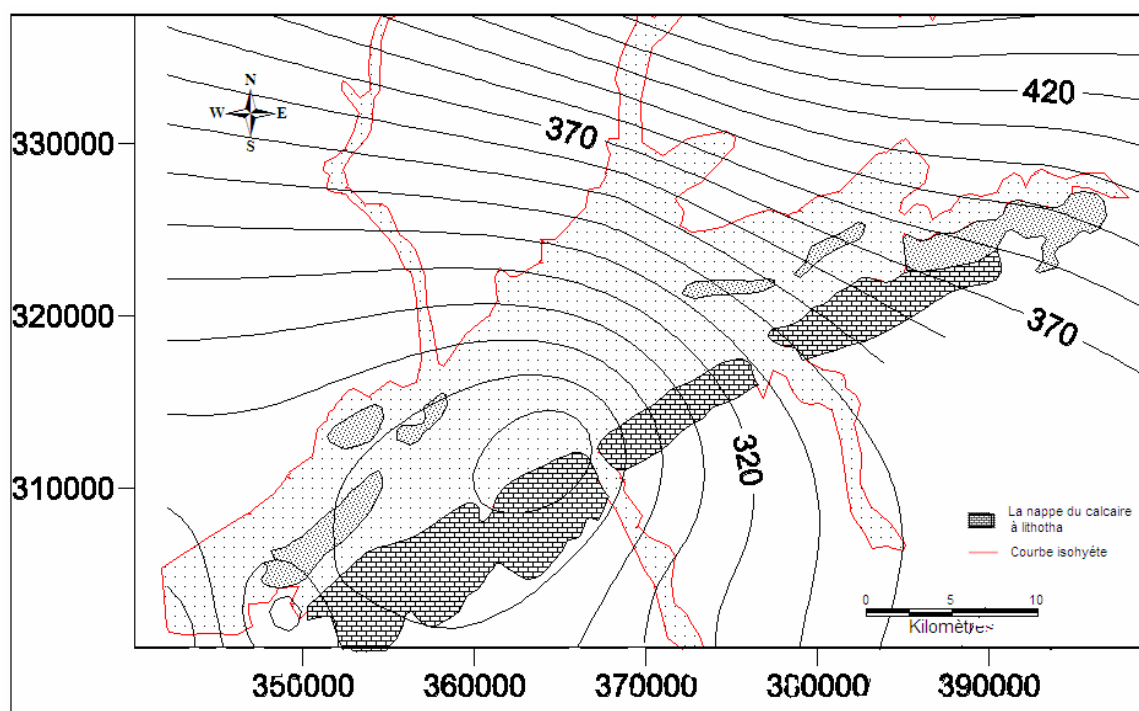
**Tableau 26 :** Résultats des infiltrations dans les bassins versants du moyen- Cheliff occidental.

Sous bassins	P (mm)	R (mm)	ETR (mm)	Infiltration (mm)
O. Ras et Ouahrane	358	17	330	11
O. Sly	350	15.3	325	9.7
O. Cheliff-Ouarizane	292	8.6	270	13.4

D'après les résultats obtenus au tableau n° 26, On constate que l'infiltration moyenne au niveau des bassins varie entre 9.7 et 13.4 mm. La valeur la plus élevée est estimée dans le bassin O. Cheliff-Ouarizane. En plus des facteurs physiographiques des bassins versants, ces résultats sont largement influencés par la lithologie qui déterminera le comportement hydrologique des bassins versants étudiés. La plus grande partie de ces bassins versants présente des caractéristiques lithologiques à dominante imperméable et les sols sont très peu perméables.

## 7. Bilan hydrologique à l'échelle de la formation des « Calcaires à lithothamnium » :

La formation des calcaires à lithothamniés s'étend du NE au SW sur une superficie de 140,8 Km<sup>2</sup> en bordure Sud Est de la zone d'étude. La lame d'eau précipitée sur cette formation a été estimée à 318 mm/an par la méthode des isohyètes.



**Figure 19:** : Carte des isohyètes pour le formation du calcaire.

Le calcul des autres paramètres par des formules empiriques donne les résultats suivants :

ETP = 977mm

ETR = 280 mm (méthode de Verdeil).

R = 11.2 mm.

I = 26.8 mm.

Nous devons noter que les résultats obtenus par ces méthodes ne donnent qu'une approximation, car L'infiltration dépendra beaucoup plus de l'intensité de la fissuration, de la fracturation mais aussi de la morphologie karstique de surface de la formation du calcaire. A ces niveaux, l'infiltration des eaux de pluie pourra être beaucoup plus importante.

## 8. Conclusion :

Le climat de la région est de type semi-aride. Les régimes pluviométriques et thermiques sont très irréguliers et marquent l'année par deux saisons bien distinctes.

- ✓ Une saison froide (d'octobre à avril) où les précipitations se caractérisent par une irrégularité interannuelle et essentiellement sous forme de neige sur les altitudes supérieures à 1100m et des précipitations intenses, irrégulières et violentes sur la plaine (160 à 400 mm/an).
- ✓ Une saison chaude (d'avril à septembre), très sèche. La saison chaude peut cependant connaître de brusques et violents épisodes orageux.

La température moyenne est de 19°C pour un écart de l'ordre de 20°C entre la période froide et la période chaude.

On remarque une évaporation importante en été. Elle atteint son maximum au mois de juillet.

La hauteur d'eau ruisselée est variable entre les sous bassins, entre 17 mm (O. Ras et Ouahrane) et 8.6 mm (Ouarizane-Cheliff). En fait ce ne sont que des valeurs moyennes car le ruissellement dépendra beaucoup plus de l'intensité des averses particulièrement dans ces régions semi arides et la nature lithologiques des formations.

En générale, L'infiltration au niveau des bassins est relativement faible, elle varie entre 9.7 et 13.4mm. Elle est plus élevée au niveau des calcaires à lithothamnium pour lesquels nos calculs conduisent à une infiltration de 26.8mm. Nous considérons qu'il s'agit là d'une valeur minimum en raison de l'importante densité de fracturation des calcaires et de la présence d'une morphologie karstique de surface assez développée qui permettraient une infiltration et une recharge importante du réservoir calcaire.

## Chapitre 3 Géologie - Géophysique

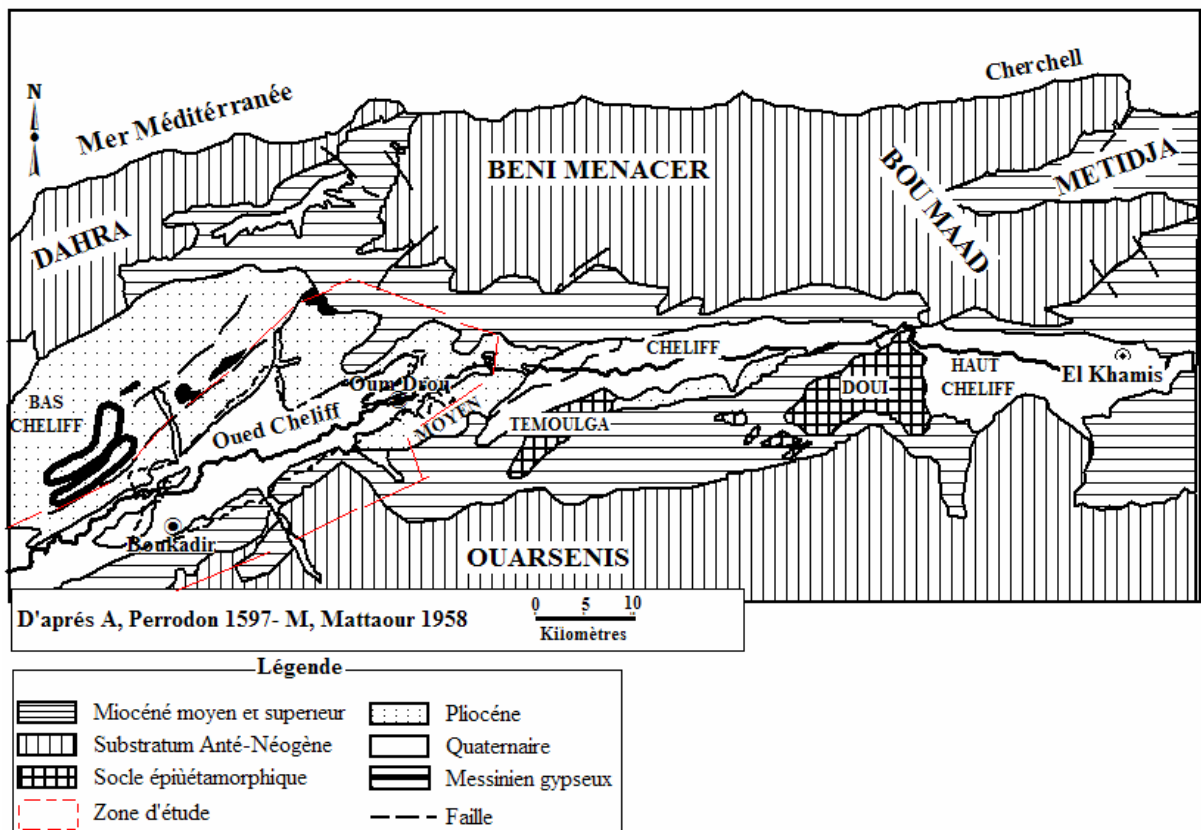
### I – Géologie

#### 1. Introduction :

L'étude géologique est fondée sur la synthèse des travaux majeurs effectués par plusieurs auteurs : Gentil, 1918 ; Perrodon.A, 1957 ; Mattaeur, 1958 ; Polveche, 1960 ; Thomas.G, 1985, Meghraoui, M (1982) et bien d'autres.

#### 2. Cadre géologique général :

Le bassin du Chélif correspond à une vaste cuvette intra-montagneuse du N.W de l'Algérie septentrionale qui s'étire parallèlement à la côte méditerranéenne dont il est séparé par les massifs du Dahra (altitude moyenne entre 800 à 1000 m) et son équivalent oriental le massif des béni Naceur, au Sud il s'adosse à l'imposante chaîne de l'Ouarsenis qui culmine à 1985 m.



**Figure 201 :** Cadre géologique (Perrodon 1967 - Mattaeur 1958).

Les dépôts néogènes et quaternaires constituent le remplissage du bassin, les premiers reliefs créacés forment les bordures de ce bassin qui englobe cinq grandes plaines, on distingue de l'Est vers l'Ouest :

- La plaine d'El khemis ;
- La plaine d'Ain Defla ;
- La plaine d'Ech - Chellif ;
- La plaine d'Inkerman ;
- La plaine d'Iguil Izzane ;

### **3. Géologie du bassin du Cheliff :**

Le bassin du Cheliff est un bassin néogène post- nappe, la chaîne tellienne constitue le substratum de ce bassin, on y distingue :

- Un substratum tellien anté-néogène ;
- Un bassin néogène post-nappe ;

La chaîne tellienne est constituée d'une suite de reliefs parallèles à la côte méditerranéenne, formés essentiellement de terrains jurassiques et créacés.

Les structures étant allongées Est-Ouest, la tectonique est complexe. Les principaux éléments de cette chaîne sont :

- Des noyaux autochtones : le Doui, Rouina et le Temoulga, qui sont des massifs épi-métamorphiques à Schistosité (O. Kirèche, 1977).
- Des ensembles allochtones (nappes de charriage) : recouvrant une grande surface. Ils forment la majeure partie des formations qui se sont mises en place lors des différentes phases tectoniques alpines (Éocène moyen et miocène inférieur).

### **4. Lithostratigraphie:**

#### **4.1 Les bassins post-nappes :**

Après la dernière phase alpine de tectonique tangentielle que l'on situe au miocène moyen, des bassins sédimentaires allongés d'Est en Ouest s'est mis en place. Parmi eux, le bassin du Chéiff.

Depuis le miocène moyen et suite à la tectonique, la région connaît une suite de phases tectonique avec la transgression de la mer du miocène supérieur et du pliocène. L'érosion des reliefs environnants, la forte subsidence contrôlée par des failles et la tectonique en compression encore active ont permis le dépôt d'une sédimentation importante qui peut atteindre et dépasser des épaisseurs de 2500 m. Elle est essentiellement marine excepté pour la période allant du pliocène supérieur à l'actuel, caractérisée par des dépôts continentaux.



Le remplissage post-nappes comporte un miocène (Serravalier-Tortonien-Messénien), un pliocène et un quaternaire.

**4.1.1 Le Miocène :** est subdivisé en deux grands ensembles :

- **Le Miocène inférieur** (Burdigalien) : Généralement transgressif sur les différents termes de la série stratigraphique est représenté par une série de marnes bleues. Ce faciès passe latéralement et verticalement à des grès marneux marins ou conglomérats marins ou continentaux. Le miocène inférieur affleure dans le Dahra et le long du massif de l'Ouarsenis.
- **Le Miocène supérieur** (Vindobonien): Se caractérise par une transgression généralisée qui se termine par un épisode lagunaire. Il est subdivisé en quatre niveaux :
  - Les marnes bleues avec leur niveau généralement détritique.
  - Les calcaires à lithothamnium.
  - Les tripolis et marnes à tripolis.
  - Les gypses et les marnes gypseuses.

Les formations médianes (Messinien) comprennent des marnes bleues qui forment une large bande sur la bordure méridionale du Dahra passent localement à des calcaires à algues, sables et grés.

Ces formations Messiniennes passent au Sud à des calcaires à lithothamnium, ces calcaires sont généralement détritiques et parfois argileux. Au-delà de la rive droite de l'oued Tsiguhaout (au niveau des collines d'Ouled Mohamed), ce faciès calcaire est représenté par des bancs décimétriques de calcarémites à l'intérieur de grés et sable dunaire jaune ayant l'aspect de travertin ou tuf.

Les marnes à tripolis occupent des surfaces d'affleurements implantés au nord de la plaine dans le Dahra mais disparaissent à l'Est au delà du seuil d'Oum-Drou.

Par contre la formation gypsifère affleure principalement au Nord du synclinal d'Ouled-Farés. Cette formation est responsable de la salure de certaines eaux de ruissellement et par conséquent de la salure des aquifères.

**4.1.2 Le Pliocène** se distingue par un pliocène marin (Plaisancien- astien) et un pliocène continental.

- **Le Pliocène inférieur** (pliocène marin) comporte des marnes bleues qui se différencient difficilement des marnes bleues miocènes. Cette formation affleure à l'Ouest de Oued Ras au nord de la plaine.

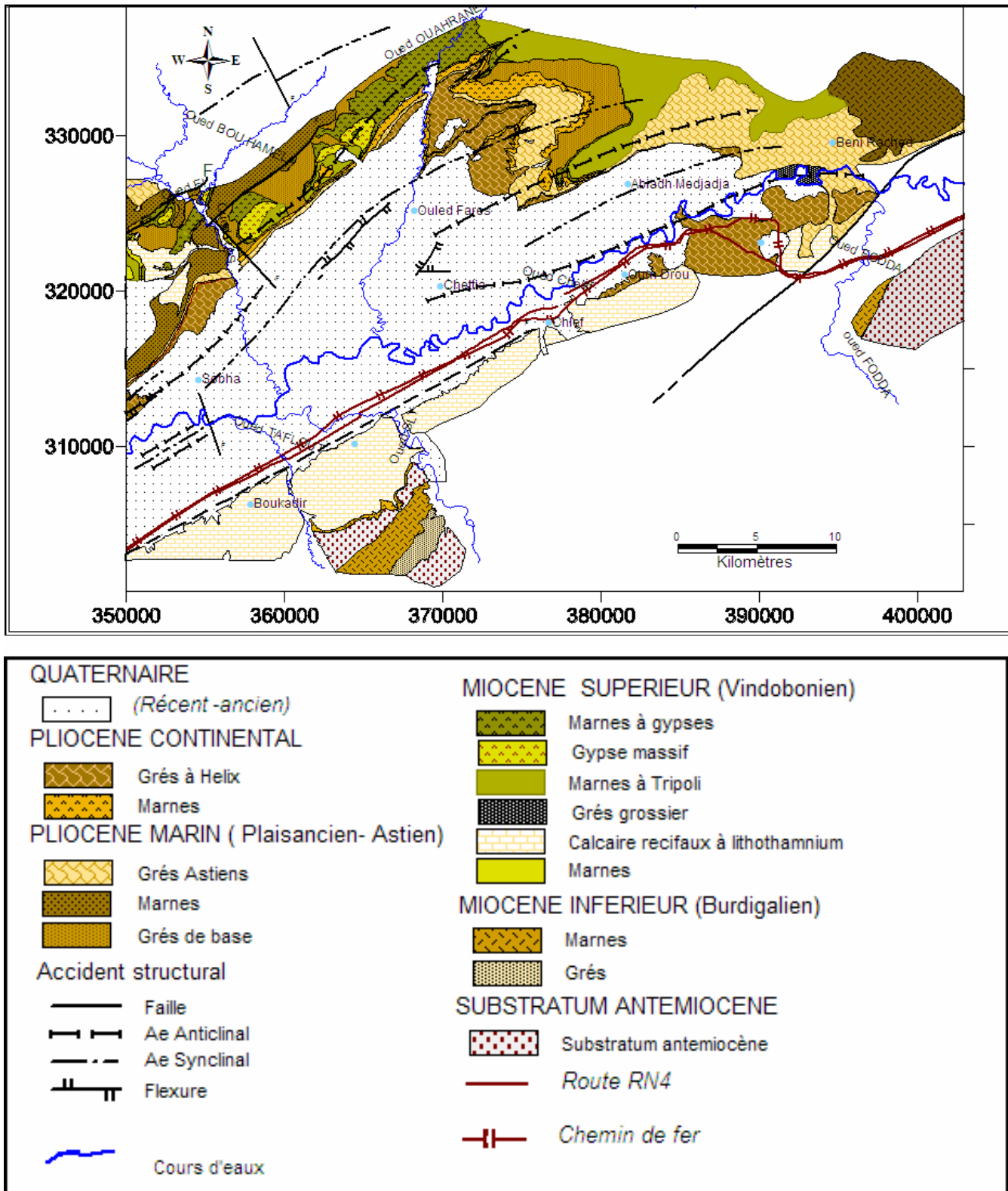


Figure 21: Carte géologique du Moyen Cheliff occidental d'après Scet-Agri (1985).

On trouve aussi de la base au sommet :

- Des grés sableux qui affleurent partout dans le nord de la plaine (épaisseur variant de 20 à 60 m).
- Une mollasse calcaire : calcaire et grés calcaire à lithothamnium, des marnes bleues ainsi que les grés à faciès astien, marins à la base et passant à des sables dunaires à Hélix au sommet, leur épaisseur est de 30 à 100 m.

L'astien affleure assez largement sur les plateaux des Medjadjas (Sud-est du Dahra). Il plonge régulièrement sous la plaine du Cheliff, en passant d'un pendage d'une trentaine de degré à l'horizontal au centre de la plaine. Il se redresse au niveau des montagnes rouges.

- **Le Pliocène continental** (Villafranchien) est formé de conglomérats à éléments gréseux à grés calcaires et de sable non consolidés.

Au nord de Chlef, dans la plaine de Mouafkia, cette formation est la plus complète et la plus épaisse. Elle peut dépasser 50 m.

Parfois les conglomérats du pliocène supérieur n'existent pas et les formations rouges du villafranchien se trouvent alors en contact des grés astiens.

Sur la bordure de L'Ouarsenis, le pliocène disparaît complètement. A ce niveau le quaternaire vient recouvrir directement les calcaires gréseux du miocène supérieur.

#### 4.1.3 Le Quaternaire :

Les dépôts quaternaires sont continentaux, ils sont prédominants dans la plaine de Mouafkia et la dépression de Chlef-Oum Drou où ils affleurent largement.

On distingue un quaternaire ancien et un quaternaire récent.

- **Le Quaternaire ancien** est constitué par des alluvions grossières essentiellement conglomératiques intercalées de quelques lentilles argileuses. Il affleure sur les Medjadjas, les montagnes rouges et la bordure Sud de la dépression Chlef - Oum Drou. L'épaisseur de ces dépôts est en moyenne de 100 m mais, ils peuvent atteindre des épaisseurs plus grandes, au synclinal de Boukadir et d'Ouled Farés il peut atteindre environ 200 m.
- **Le Quaternaire récent** correspond à des alluvions dont la prédominance des éléments fins (limons) le caractérise, son épaisseur atteint 70 m dans la plaine de Mouafkia. Les limons bruns à rougeâtre, les limons gris et les alluvions actuelles formés de limons, de sables, de galets et de cailloutis occupent le fond des talwegs et les zones de confluence des oueds.

ERESYS		ETAGES	DESCRIPTIONS	LITH.	EPAI.
C E N O Z O I Q U E	QUATERN	récent	Alluvions à éléments fins		10
		Moyen	Alluvions grossières (galets et graviers)		à
		Ancien	Grès et conglomérants. Limon grises de base.		120m
	PLIOCENE	Villafranchien	Série rouge. Grès et sable rouge parfois argileux.		20
		Astien Plaisancien	Grès marin. Séries détritiques de base.		à 200m
	MIOCENE	Messinien	Gypses		120
		Tortonien	Marnes bleues très épaisses Tripolis et marnes à tripolis		à
		Serravallien	Calcaires à lithothamnées		1200m
		Langhien	Séries détritiques et grès de base		
		Burdigalien	Séries conglomératiques sableuses		150
		Aquitainien	Séries mameuses noires Calcaires gréseux Schistes à passage conglomératiques		à 700m
	PALEOG.	Eocène	Marnes bitumineuses foncées Argiles à lumachelles et marnes gypsifères Marnes bitumineuses à lentilles de calcaires		400 m
M E S O Z O I Q U E	CRETACE	SUP	Marnes et calcaires argileux Marnes argileuses Schistes argilo-mameuses	400 m	
		Aptien	Calcaires argileux parfois gréseux Calcaires mameux	100	
		Barrémien	Marnes grises très épaisses	à	
		Néocomien	Argiles gréseuses avec des quartzitiques	1400 m	
	JURASSIQU.	Malm	Marno-calcaires Marnes compactes (Oxfordien)	300	
		Dogger Lias	Calcaires microcristallins/ siltstones noduleux Calcaires dolométiques	à 700 m	
		Trias	Gypses, cargneules, dolomies, argillites et marnes barriolées		
PALEOZOIQUE		Socle métamorphisé...			

Figure 22 : Log lithostratigraphique de la région de moyen Cheliff (Mattauer, 1958)

## 5. Structure:

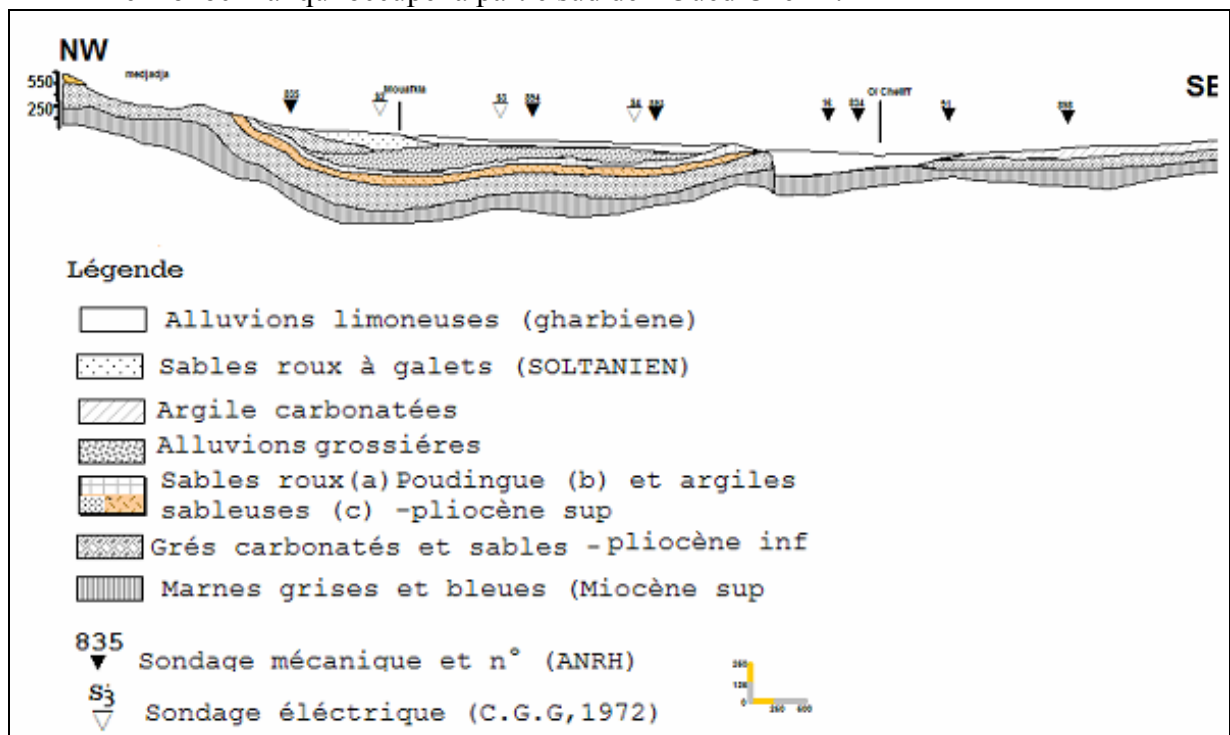
La zone d'étude se caractérise par une structure globalement orientée NE – SW caractérisée par un synclinal bordé au Nord par l'anticlinal de Medjadjas qui se poursuit vers l'Est par l'anticlinal des Beni- Rached et au Sud par le monoclinal complexe de l'Ouarsenis occidental.

Le synclinal est compliqué dans le détail par une ride anticlinale où les formations villafranchiennes sont redressées.

Cette ride formant les montagnes Rouges divisant à ce niveau, la plaine de Cheliff en une dépression Sud : la plaine de Chlef - Oum Drou d'une dépression Nord, la plaine de Mouafkia et une dépression à l'Ouest, la plaine de Chlef - Boukadir.

Suivant une coupe NW – SE (figure 23), cette région montre les structures suivantes :

- L'anticlinal des Medjadjas.
- Le synclinal de Mouafkia.
- Le monoclinal qui occupe la partie sud de l'Oued Cheliff.



**Figure 23:** Coupe NW – SE montrant la disposition structurale d'ensemble (in Bougdal, 1987)





Les principaux accidents qui affectent la région sont:

- Une faille orientée Nord-Est—Sud-Ouest conformément à la structure d'ensemble longe l'oued Cheliff.
- Une faille inverse orientée Nord 60°, passant à 10 km au Sud de la ville de Chlef, réactivée par le séisme du 10 octobre 1980.
- Une faille probable orientée Nord-Est, Sud-Ouest, affectant la plaine de Mouafkia dans sa partie centrale.

La tectonique est intense durant le tertiaire (Perrondon 1957) et continue à se manifester de nos jours à travers la sismicité de la région. En effet, l'intense activité sismique de la région compatible avec les déformations quaternaires (OUYED, 1981) témoigne de l'activité tectonique actuelle du bassin. Le séisme du 1954 a induit en surface dans la région de Béni Rached des failles normales avec des rejets de 1 à 3 m ; celui de 1980 qui a réactivé ces mêmes failles a produit une faille inverse à décrochement senestre sur une quarantaine de km au niveau de la bordure NE de la plaine d'Oued Fodda.

## 6. Conclusion :

Le bassin du moyen Cheliff correspond à un large synclinorium. Ce bassin montre une géologie très diversifiée :

Au nord, on trouve généralement le Villafranchien du pliocène continental et l'Astien (grès astien, grès à hélix) qui affleurent largement sur les plateaux des Medjadjas (Sud-Est du Dahra). Au sud, les faciès dominants sont les calcaires à lithothamnium du Miocène supérieur. D'autres formations moins étendues à l'affleurement, notamment les formations gypsifères, affleurent principalement au Nord du synclinal d'Ouled - Farés.

Le remplissage quaternaire est assuré par des épandages alluviaux caillouteux, grossières essentiellement conglomératiques, limoneux ou sableux.

Du point de vue hydrogéologique et nous fondant sur les caractéristiques lithostratigraphiques et structurales, nous pouvons distinguer les formations susceptibles d'être aquifères, elles sont représentées par:

- Les calcaires à lithothamnium.
- Les grès astiens marins et les sables dunaires à Hélix.
- Les grès, conglomérats et sables du villafranchien (couche rouges).
- Les alluvions grossières du Cheliff et de ses affluents ainsi que le complexe quaternaire ancien.

Les formations qui jouent le rôle de substratum imperméable correspondent aux marnes bleues du miocène supérieur et du pliocène qui affleurent sur les bordures Nord et Sud de la plaine.

## II - Apports de la géophysique :

Pour tenter de préciser la structure de ces différents ensembles (épaisseurs, extension et relations entre eux), nous avons tenté une réinterprétation des études géophysiques effectuées dans la région.

### 1. Introduction :

Une étude géophysique, par prospection électrique a été menée dans la zone d'étude. L'étalonnage a été effectué à l'aide de la résistivité apparente observée dans les forages existants.

La résistivité est une grandeur physique caractéristique de chaque terrain ; elle dépend de la nature propre du terrain, de l'eau qu'il peut contenir et de la teneur de cette eau en sel dissous.

### 2. Objectifs :

Les objectifs principaux à atteindre lors de cette étude sont essentiellement :

- La détermination de la nature et de la géométrie des différentes formations.
- De définir l'allure structurale du bassin et notamment les principaux niveaux aquifères du miocène et du pliocène.
- De déterminer la profondeur, l'épaisseur et la résistivité de ces formations.
- De mettre en évidence les zones d'alluvions grossières les plus perméables.

### 3. Travaux réalisés :

Le secteur d'étude (figure 25), a fait l'objet de différentes prospections électriques, dont trois effectuées en 1960, 1967 et 1971 dans la région Sud de Ouled Farés et dans la plaine de Mouafkia. En 1966, une campagne de prospection par sondage électrique et par sismique réfraction a été réalisée à la bordure méridionale de la vallée de l'oued Chellif, entre les débouchés de l'oued Sly et de l'oued Tafelout.

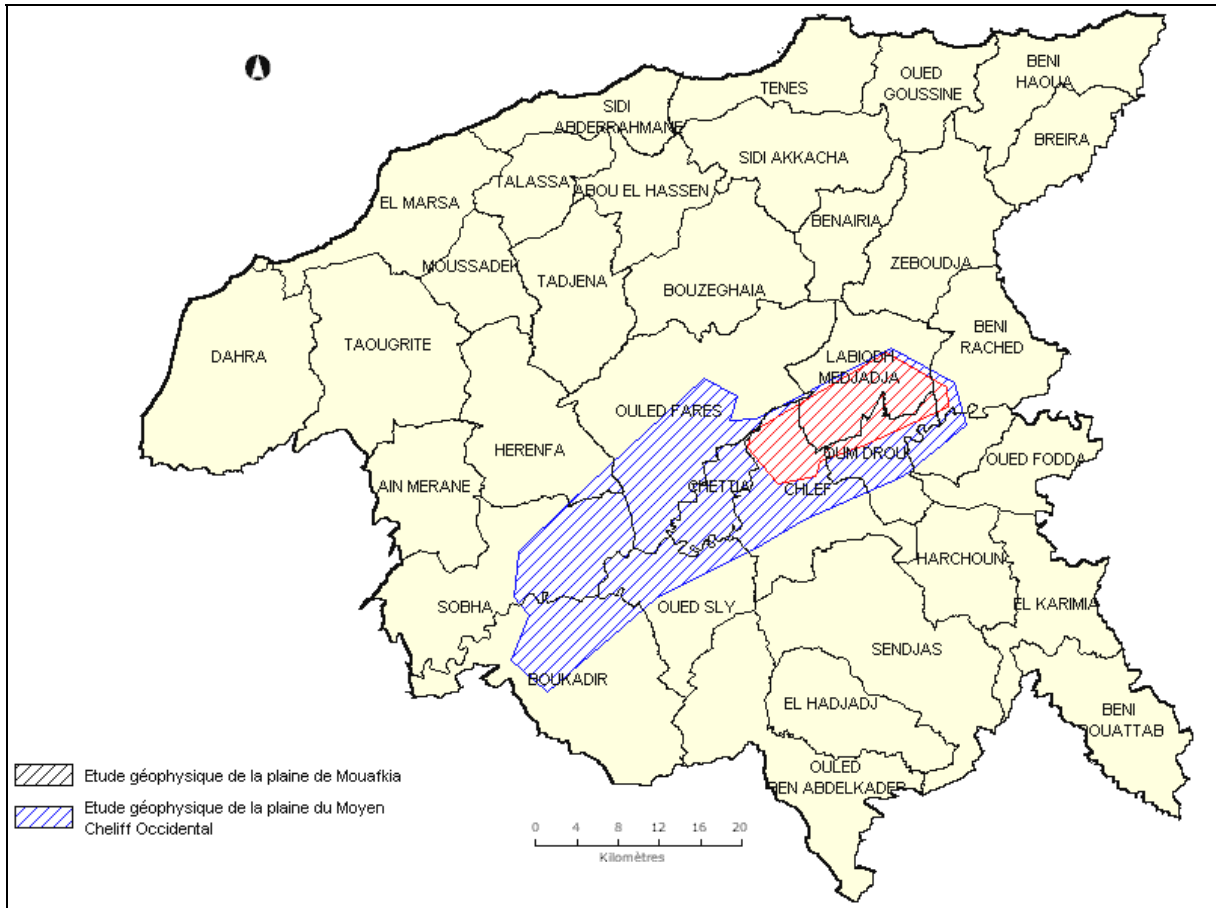
Mais la plus intéressante et la plus complète reste celle réalisée par la compagnie générale de géophysique (C.G.G) en 1972, dont nous avons exploité les résultats au cours de notre étude.

Cette étude géophysique qui a comporté 237 sondages électriques Schlumberger en longueur de ligne d'émission (AB) variable jusqu'à 6000 m et répartis sur une trentaine de profils avait pour objectifs :

- L'étude des possibilités hydrologiques et la structure de la bordure Nord du plateau de calcaire miocène, ainsi que les relations entre les alluvions de la vallée et les calcaires.
- De préciser la structure tectonique du bassin.



- L'étude de la géométrie des aquifères.
- De suivre en profondeur les niveaux calcaires à lithothamnium et les grès astiens.
- De préciser les variations latérales de faciès dans le bassin.



**Figure 25 :** Carte de localisation des études géophysiques.

#### 4. Forages d'étalonnage :

Plusieurs forage ont servi d'étalons pendant la prospection géophysique électrique, mais nous nous intéresserons surtout à ceux qui concernent la formation des calcaires à lithothamnium (Charon I, KH5, KH6, et M K3) avec une description abrégée pour les autres formations (KH2, Forage Medjadja F (636) et F4 (833)).

Forage KH5 : a traversé 250m de calcaire à lithothamnium et a atteint les marnes bleues sous-jacentes. Les calcaires ont une résistivité vraie de 30-35 ohm.m.

Forage Charon1 : a traversé un calcaire poreux, sans intercalation argileuse. Le calcaire sec présente une résistivité de l'ordre de 100 ohm.m.

Forage MK3 : a traversé les calcaires de base essentiellement marneux et a atteint le substratum argileux. La partie aquifère a une résistivité de 35 – 40ohm.m.

Forage KH6 : confirme les résultats du KH5. En ce qui concerne la résistivité des calcaires à lithothamnium, la résistance transversale ( $R_t$ ) est de 13000 ohm.m<sup>2</sup>, soit de 262m d'épaisseur de calcaire, ce qui nous donne une résistance de 50 ohm.m.

Forage KH2 : la résistivité des limons villafranchiens est de l'ordre 8ohm.m (ensemble très conducteur). La résistivité de grés marins est de l'ordre de 150 ohm.m.

Forage Medjadja (636) : a donnée les résultats suivants : Les graviers quaternaires ont une résistivité de 180 ohm.m pour une épaisseur de 74m.

Forage F4(833) : a donnée la résistivité de 110 ohm.m pour les alluvions grossières et la résistivité du substratum marneux à 50 ohm.m.

Ces sondages étalons et certains affleurements ont permis d'établir une échelle de résistivités :

**Tableau 27** : Echelle de résistivités.

Formations	Résistivité en Ohm.m
Marnes bleues	4 - 5
Calcaires à lithothamnium secs	Supérieure à 500
Calcaires à lithothamnium humides	30 - 100 généralement 40 - 60
Grés tortoniens	Supérieure à 100
Marnes à tripolis et marnes à gypse	4 - 5
Marnes bleues plaisanciennes	4 - 5
Grés astiens	50 à 150, en moyenne 100
Limons Gris	8 - 10
Couches rouges grés - Conglomérats	70 – 150, variables
Villafranchien -Argiles sableuses	10 - 20
“ (salées)	4 - 8
Cailloutis	30 – 100, variables
Limons : quaternaire récent	8 - 10
Limons salés saturé : quaternaire récent	6 - 8
Alluvions grossières	20 – 50, très variable

### 5. Structure générale du bassin :

D'une façon générale, les coupes traduisent la structure en double synclinal que présente le bassin. Le flanc Nord étant nettement plus accentué que le flanc Sud, lequel dans certaines zones est extrêmement peu marqué et passe à un monoclinale à pente faible vers le Nord.

Les horizons repères permettant d'identifier les structures sont d'une part le remplissage résistant Villafranchien, important dans l'axe du synclinal Nord, dans l'Est de la plaine de Mouafkia et d'autre part bien entendu ce contact grés astien-marnes miocènes qui marque des formations résistantes.

## 5.1 Interprétation des coupes

### Coupe A :

La coupe de l'extrémité Sud-ouest de la plaine permet une bonne interprétation des résultats, car d'une part le forage KH donne une bonne coupe structurale du bassin et d'autre part cette coupe se rattache aux principaux affleurements pliocènes et miocènes.

Cette coupe montre que:

- Les calcaires à lithothamnium sont plus épais qu'à l'Est.
- Les grès astiens ont une épaisseur très réduite (20 à 30 m).
- Le villafranchien est principalement représenté par de grandes épaisseurs de limons très conducteurs.

On observe la diminution d'épaisseur des calcaires à lithothamnium vers le Nord.

Les grès astiens peu épais se terminent au Sud sous le remplissage quaternaire.

Les limons villafranchiens sont très épais avec une résistivité de 8 ohm.m, le remplissage quaternaire est très difficile à distinguer des formations sous-jacentes.

Il semble donc qu'il n'y ait aucune homogénéité dans le remplissage quaternaire, dont la nature est plutôt fonction des apports des oueds latéraux.

### Coupe B :

La coupe montre que les éléments résistants (plus grossiers) prennent de l'importance par rapport aux limons. Les formations grossières du villafranchien ajoutées aux grès astiens atteignent quelques 200 à 300 m dans le synclinal Nord avec une résistivité de 70 à 100 ohm.m où plus.

La partie supérieure du villafranchien devient elle-même très résistante et les limons semblent s'amenuiser.



### **Coupes C et D :**

La coupe C utilise les anciens points de l'étude de 1960 et passe par le forage d'O. Farés. On voit que l'anticlinal des Medjadjas est assez peu marqué. Son axe passerait entre F3 et D3. Les éléments résistants deviennent moins importants et notamment leur extension vers le sud, se limite à des niveaux peu épais.

Au profil D, les marnes miocènes remontent très près de la surface au sud des montagnes rouges.

Les calcaires à lithothamnium sont toujours peu épais et ne sont plus visibles à 2 ou 3 Km des affleurements.

Le carottage électrique montre que les résistivités du villafranchien sont très variées entre 8 – 15 ohm.m et 80 – 100 ohm.m pour les conglomérats et sables, 10 ohm.m pour les limons, 100 ohm.m pour la base y compris les grès astiens.

### **La coupe E et F :**

Dans la région Est de l'oued Sly, les faciès marneux prennent également de l'importance à la base de la série et l'épaisseur des calcaires francs y est très réduite. De plus la salinité de la nappe dans cette zone vient s'ajouter à l'apparition des faciès marneux pour diminuer la résistivité de la série et il est difficile de distinguer les effets de l'un et de l'autre phénomène.

### **Coupe G :**

Dans la zone de l'oued Sly, l'épaisseur des calcaires ou plus exactement du faciès calcaire de la série miocène est généralement de l'ordre de 100 à 150 m pour une résistivité de 60 à 80 ohm.m.

Au Nord, on observe l'envahissement marneux de la série ; les résistivités d'ensemble diminuer ainsi que l'épaisseur des calcaires.

Du point de vue tectonique et à part quelques approfondissements assez réguliers, il semble qu'il n'y ait pas d'accident notable affectant la série miocène sur la superficie étudiée. Par contre, il n'est pas impossible qu'il existe des accidents perpendiculaires à la vallée du Cheliff.

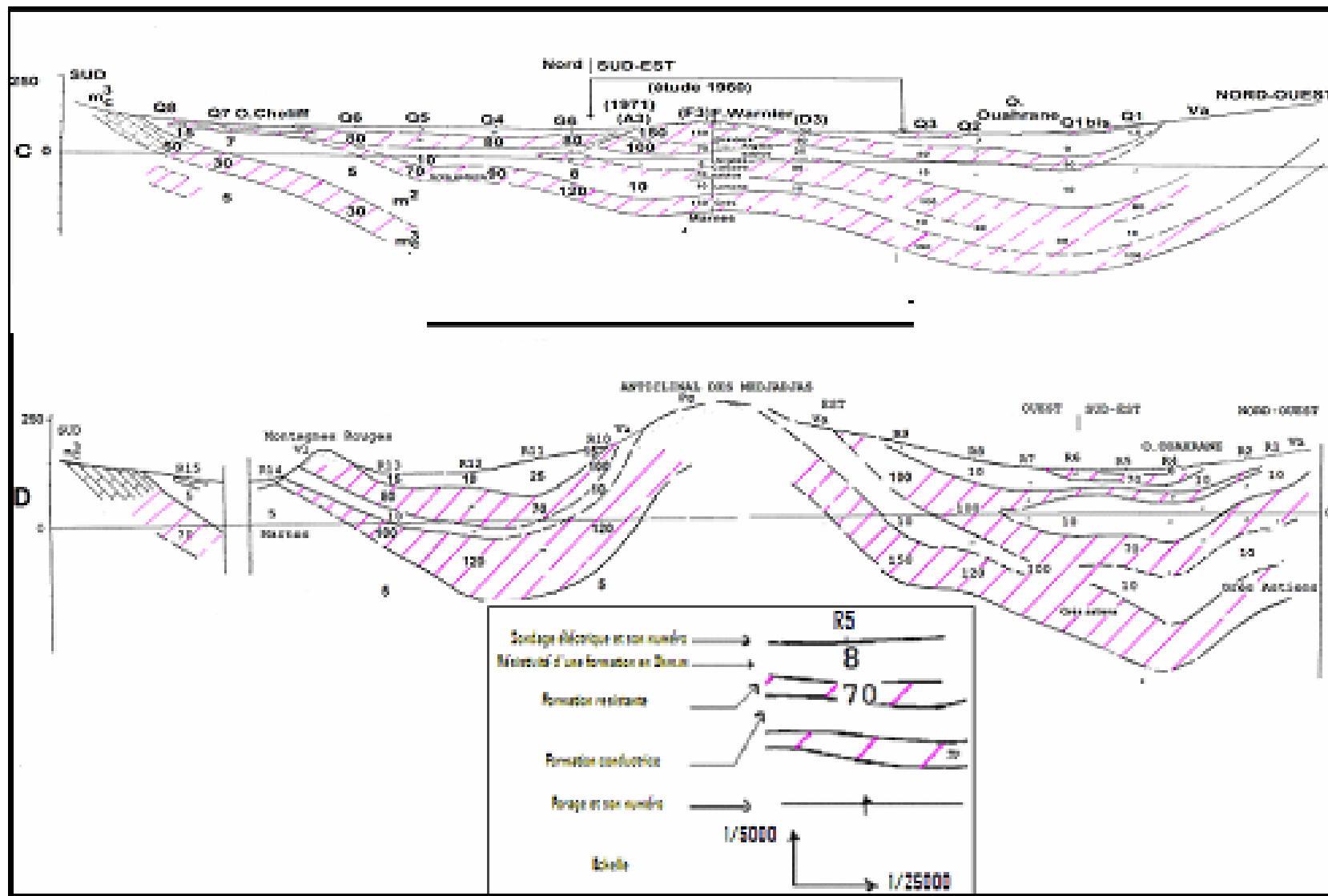


Figure 26 b : Coupe géoélectrique du profil Q à Q8 et R1 à R15 (Coupe C & D) référence C.G.G 1972.

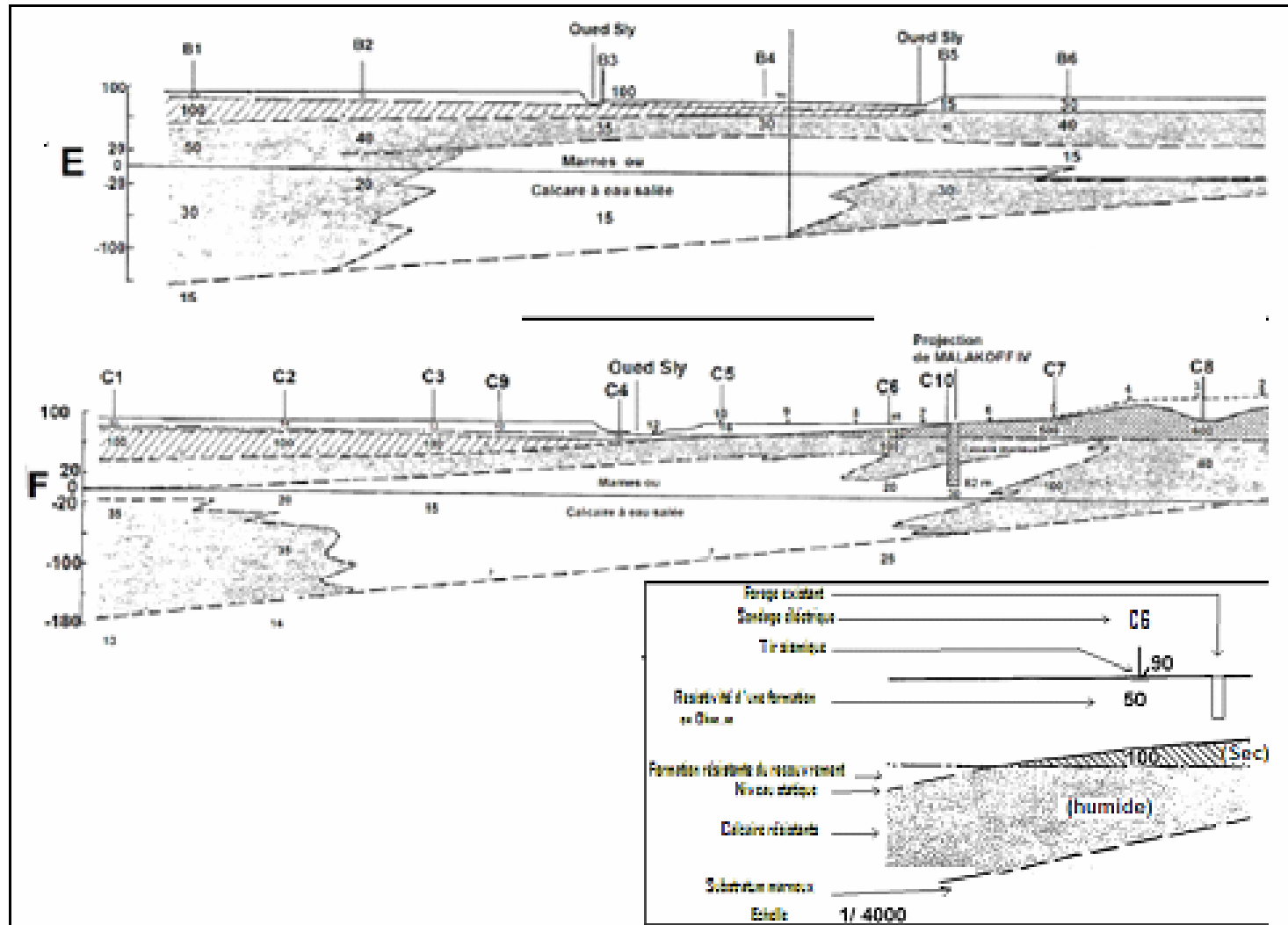


Figure 26 c : Coupe géoélectrique du profil B à B5 et C1 à C8 (Coupe E & F) référence C.G.G 1966.

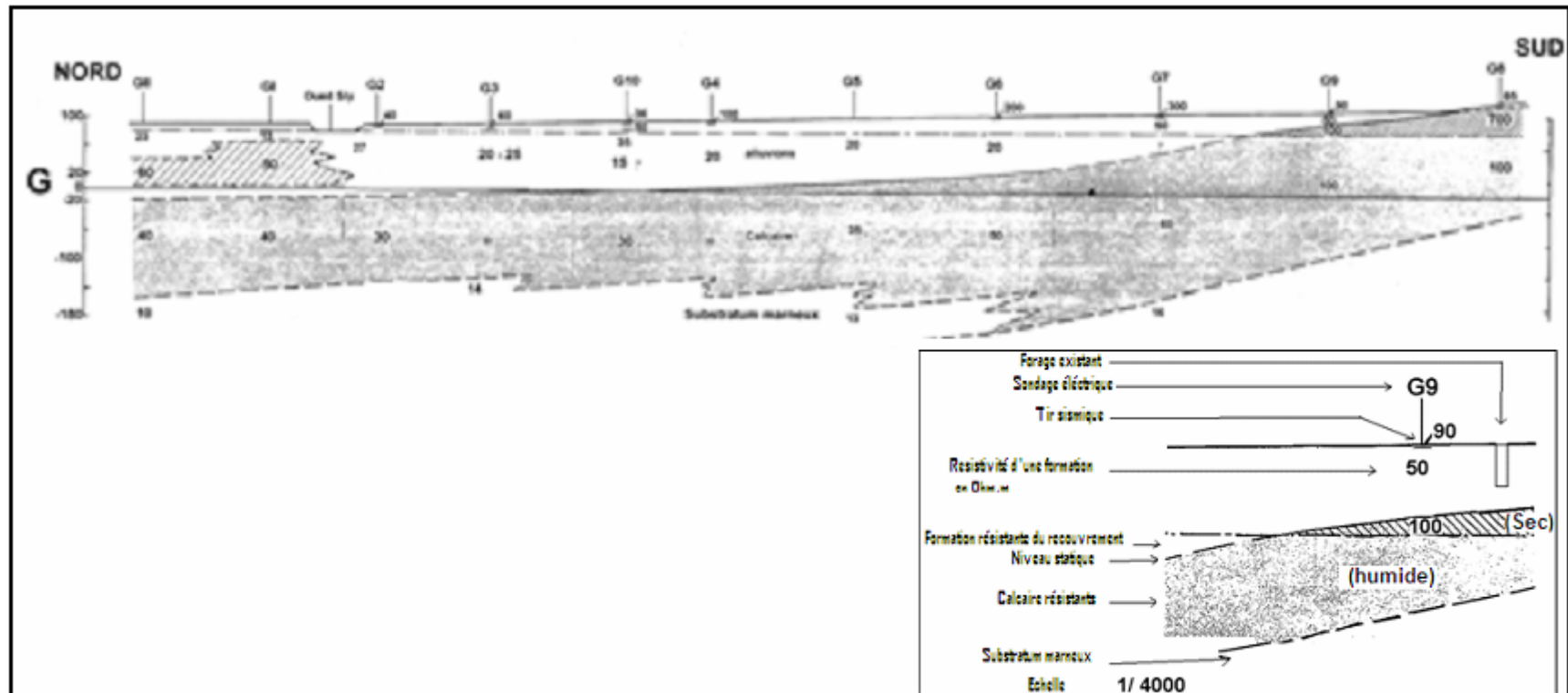


Figure 26 d : Coupe géoélectrique du profil G0 à G9 (Coupe G) référence C.G.G 1966.



## **6. La variabilité spatiale de la résistivité et la profondeur de la nappe par l'approche géostatistique:**

### **6.1 La théorie de la géostatistique :**

La géostatistique est une approche qui caractérise la structure de la variabilité spatiale d'une propriété quelconque ainsi que son estimation. Elle s'avère être très appropriée pour cartographier un phénomène naturel (Rossi et al. 1995).

La géostatistique fait références à la théorie des variables régionalisées développées par Matheron (1965) et Journel (1977) dans le but d'estimer au mieux les caractéristiques des variables régionalisées et de connaître la variance de ces estimations. Dans notre cas, les variables régionalisées sont la résistivité apparente et la profondeur de la formation prise en compte.

L'étude géostatistique comprend deux phases essentielles :

- La première est la caractérisation de la structure spatiale de la variable régionalisée au variogramme.
- La seconde est l'estimation de cette variable en utilisant un outil d'interpolation par le krigeage.

### **6.2 Modélisation du variogramme :**

Une fois que le variogramme expérimental établi, il faut lui caler un modèle qui lui convient le mieux, Dans la pratique, les logiciels de géostatistique proposent quatre modèles d'ajustement aux variogrammes (linéaire, sphérique, exponentiel et gaussien).

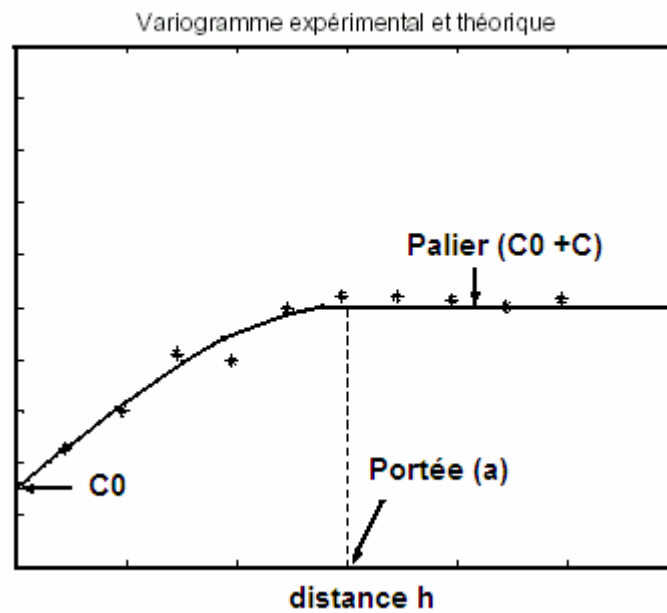
Le logiciel Variowin propose un indice de meilleur ajustement appelé IGF (Index Goodness Fit). Cet indice nous indique le bon ajustement quand il est proche de zéro .

### **6.3 Les paramètre du variogramme :**

L'ajustement du variogramme expérimental à une fonction théorique se fait dans la pratique par l'affectation des valeurs aux paramètres du variogramme (fig.27).

Les paramètres du variogramme sont :

- Portée : Distance (au-delà de laquelle) deux observations ne se ressemblent plus du tout en moyenne, elles ne sont plus liées (covariance nulle) linéairement. À cette distance, la valeur du variogramme correspond à la variance de la variable aléatoire.



**Figure27 : Ajustement du variogramme et ses paramètres**

- Palier ( $\sigma^2 = C_0 + C$ ) : Variance de la variable; Écarts les plus grands, en moyenne, entre deux variables aléatoires.

- Effet de pépite  $C_0$  : Variation à très courte échelle. Il peut être dû aux erreurs de localisation, erreurs d'analyse et précision analytique.

Le variogramme expérimental modélisé est dit variogramme moyen ou omnidirectionnel. Il analyse la structure spatiale d'une variable régionalisée sans tenir compte de la présence d'une éventuelle anisotropie de la variabilité spatiale.

## 6.4 Cartographie de la résistivité et de la profondeur par krigeage ordinaire :

### 6.4.1 Variographie

#### 1. Variogramme moyen

Après avoir établi le variogramme expérimental moyen qui est calculé sur la moitié de la distance entre les deux points les plus éloignés, il faut le caler à un modèle théorique. On opte pour notre cas pour le modèle sphérique.

Les figures 28 et 29 ; montre le modèle d'ajustement des deux variogrammes (la résistivité et la profondeur) et les caractéristiques d'ajustements.

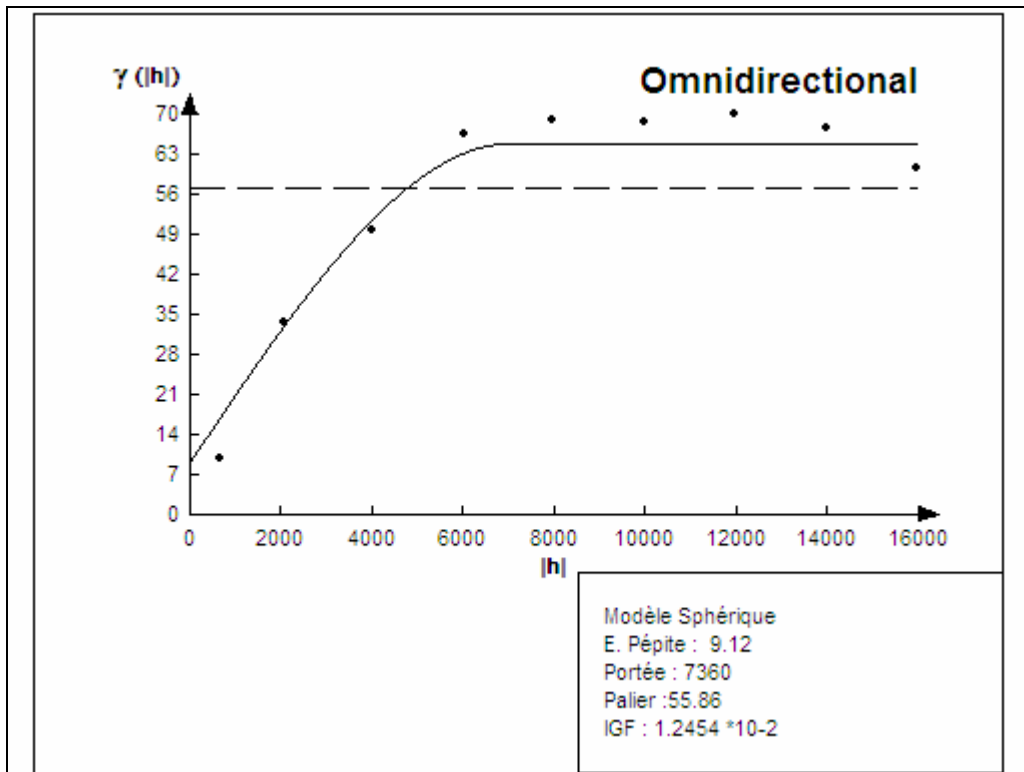


Figure 28 : Variogramme ajusté de la variable résistivité apparente.

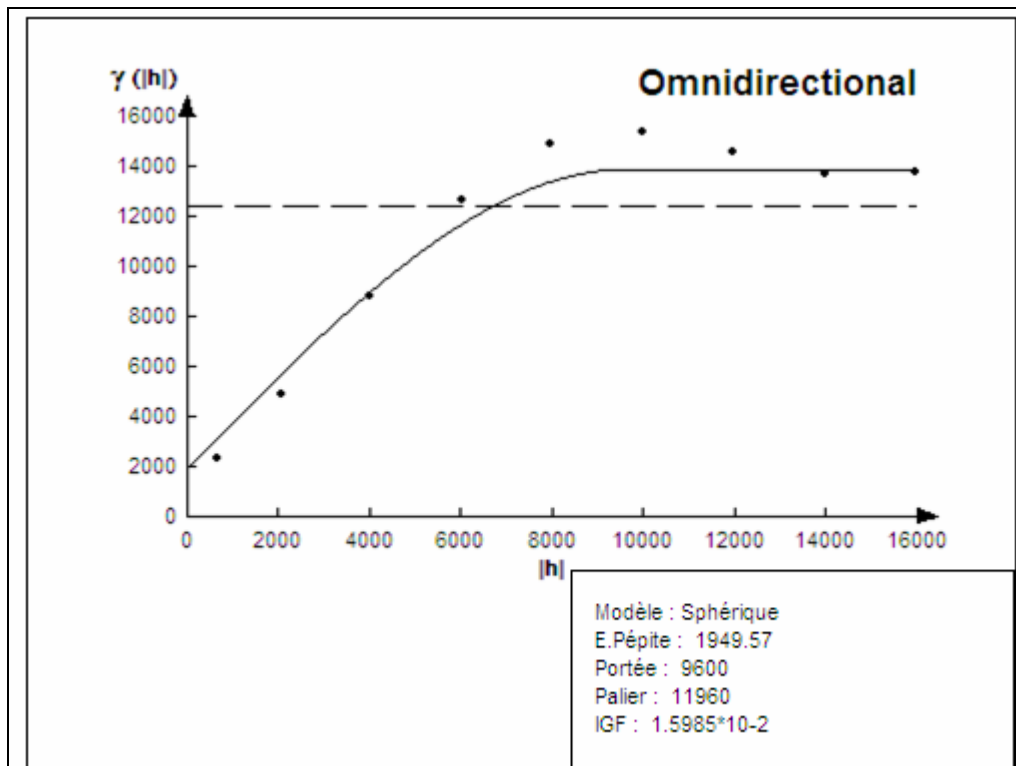
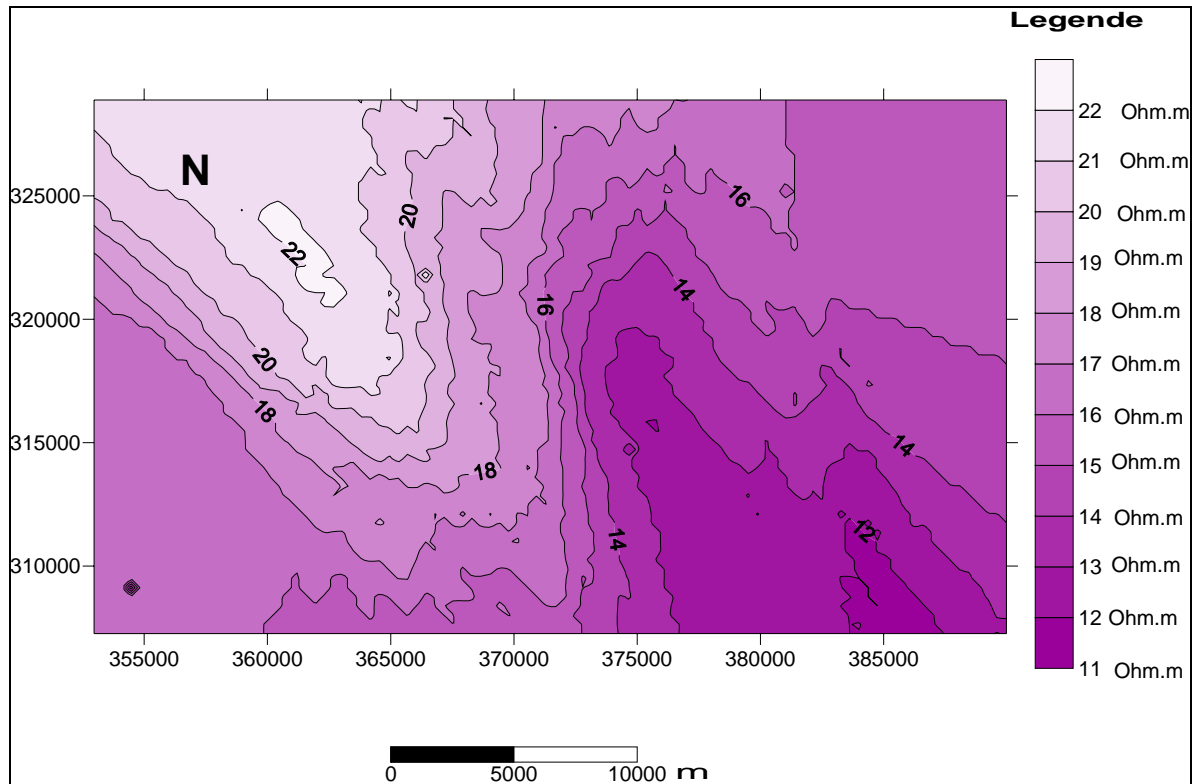


Figure 29 : Variogramme ajusté de la variable profondeur

## 6.4.2 Résultats et interprétation :

### 6.4.2.1 Carte des résistivités en lignes AB=2000m :

La carte de la résistivité obtenue par Krigeage ordinaire (fig. 30) met en évidence les épaisses formations grossières du villafranchien et l'allure grossière du contact Astien-marnes bleues.



**Figure 30 :** Carte des résistivités en lignes AB=2000m.

Tout d'abord on observe au Sud, dans la zone de Boukadir des résistivités assez élevées (supérieures à 15 ohm.m) qui marquent l'épaississement des calcaires à lithothamnium dans cette région.

Pour le reste de la carte, les structures synclinales apparaissent clairement, par des résistivités élevées, d'une part dans la zone d'Ouled Farés – Ouled Djilali, d'autre part dans la zone de Mouafkia et son prolongement vers le Nord –Est.

Les zones à plus de 20 ohm.m traduisent les remplissages villafranchiens grossiers les plus épais. On note qu'à l'Ouest, dans la région de Kherba, les résistivités demeurent très basses, malgré l'existence d'un profond synclinal, le remplissage villafranchien y est surtout limoneux.

Enfin cette carte met en évidence la plage résistante située au débouché de l'oued Sly, ce qui veut dire que les dépôts grossiers probablement apportés par l'oued Sly sont largement étendus vers le nord et ont une épaisseur importante.

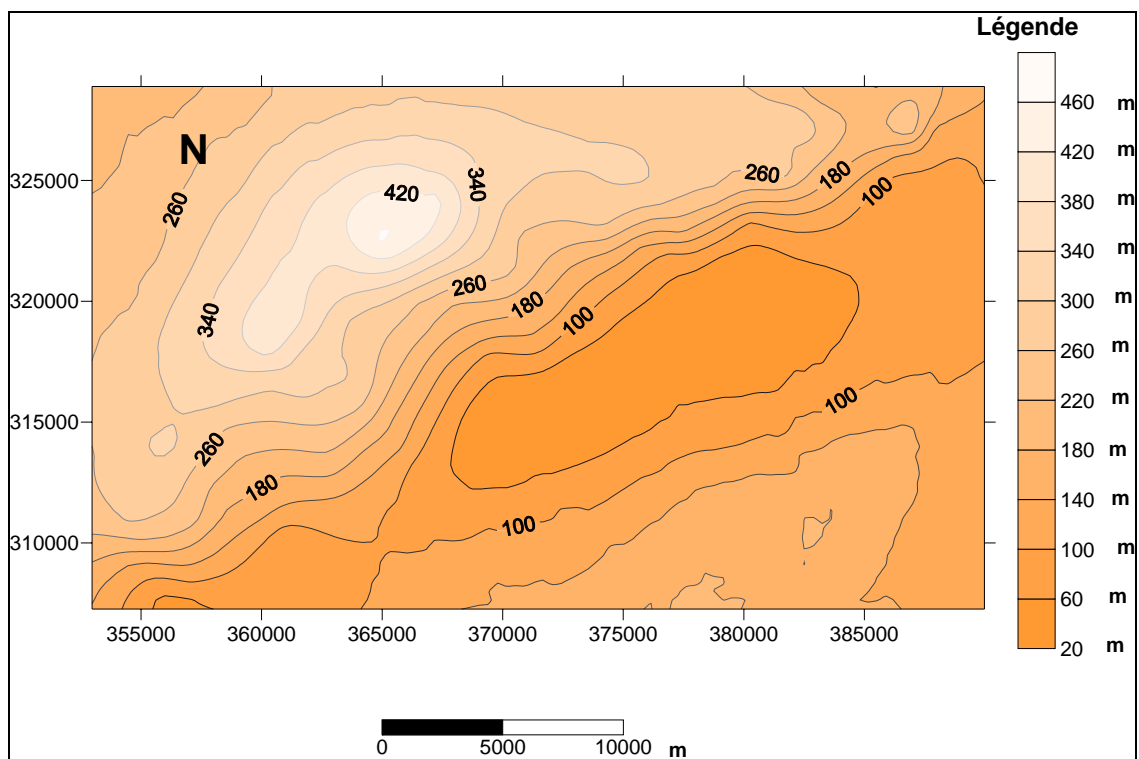
Cette zone apparaît donc nettement comme l'une des plus intéressantes sur le plan hydrogéologique.

#### 6.4.2.2 Carte du mur des formations résistantes :

Cette carte représente en principe le mur des Grés astiens, au moins dans la partie N.O de la plaine et au Sud, le mur des formations grossières du Villafranchien où du Quaternaire ancien. Les formations grossières du villafranchien, ajoutées aux grés astiens atteignent quelques 200 à 300 m dans le synclinal Nord.

Les grés astiens ont une épaisseur très réduite (20 à 30 m) au sud –est, ils sont peu épais et se terminent au Sud sous le remplissage quaternaire.

La limite Sud de ses formations résistantes a été tracée, dans la partie Est, elle correspond à la limite des épais formations villafranchiennes où quaternaire ancien.



**Figure 31:** Carte du mur des formations résistantes

#### 6.5 Carte des résistances transversales cumulées :

Cette carte permet de définir les meilleures zones d'exploitation, dans la mesure où les forages recouperaient la totalité des niveaux résistants.

La résistance transversale d'une couche résistante est le produit de sa résistivité par son épaisseur :  $R_t = \text{résistivité} \times \text{épaisseurs}$ .

Pour faciliter la lecture de la carte, les valeurs indiquées ont été divisées par 1000.

On observe que dans toute la partie Sud –Est de la plaine le total des résistances est faible (Fig, 32), généralement moins de 5K.ohm.m<sup>2</sup> (les calcaires à lithothamnium n'étant pas pris en compte).

En avançant vers la partie Nord-Ouest, les résistances augmentent rapidement et atteignent dans les épais synclinaux villafranchiens des résistances de l'ordre de 20 à 30 K.ohm.m<sup>2</sup>, ce qui représente 200 à 300 m à 100 ohm.m. Si l'on admet que les grès astiens ont une résistance moyenne de 5 K.ohm.m<sup>2</sup>, on voit que la plus grande part de ces résistances élevées ne peut être représentée que par les cailloutis et conglomérats villafranchiens.

L'intérêt de ces zones à hautes résistances dépend de la résistivité réelle des couches.

La carte montre également au Nord-Ouest cinq zones particulièrement résistantes qui coïncident avec les axes synclinaux.

Elle met aussi en évidence la zone de dépôts grossiers épais qui s'étale largement en face du débouché de l'Oued Sly (zone C) qui correspond à l'une des plus intéressantes de la plaine. Cette zone s'étale jusqu'à la ride médiane prolongeant les Medjadjas.

#### **6.6 Carte des résistances transversales des calcaires miocènes :**

Les fortes valeurs de la résistance transversale des calcaires traduiront soit une augmentation de leur épaisseur soit une augmentation de leur résistivité.

Les zones les plus résistantes (résistances supérieures à 10 000 ohm.m.m<sup>2</sup>) restent également limitées à la bordure sud. On observe la progression croissante des faciès marneux vers le nord, les zones les plus marneuses étant les extrémités nord.

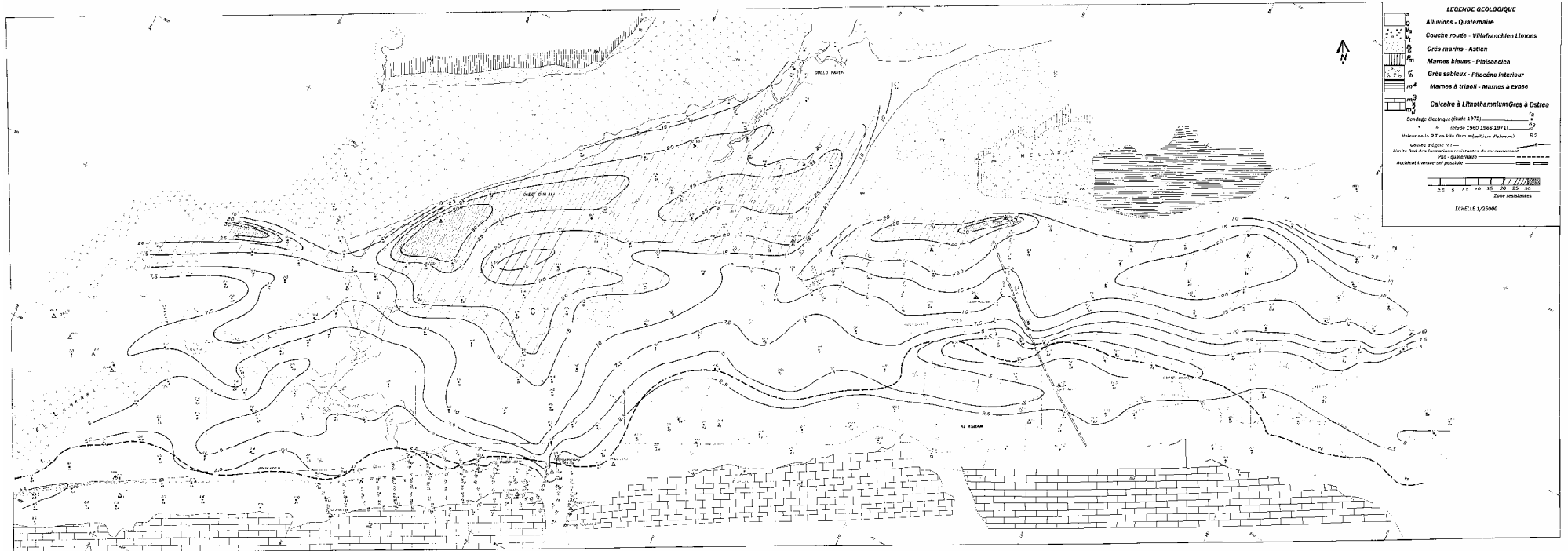
La plage très conductrice de l'Est, au débouché de l'oued Sly est mieux délimitée et suggère l'invasion des calcaires par les eaux salées de l'oued Sly (salinité du forage MK2)

Les zones les plus intéressantes restent les deux avancées résistantes, celle de l'Est s'étend vers le nord et représente une extension du faciès calcaire (Fig, 33).

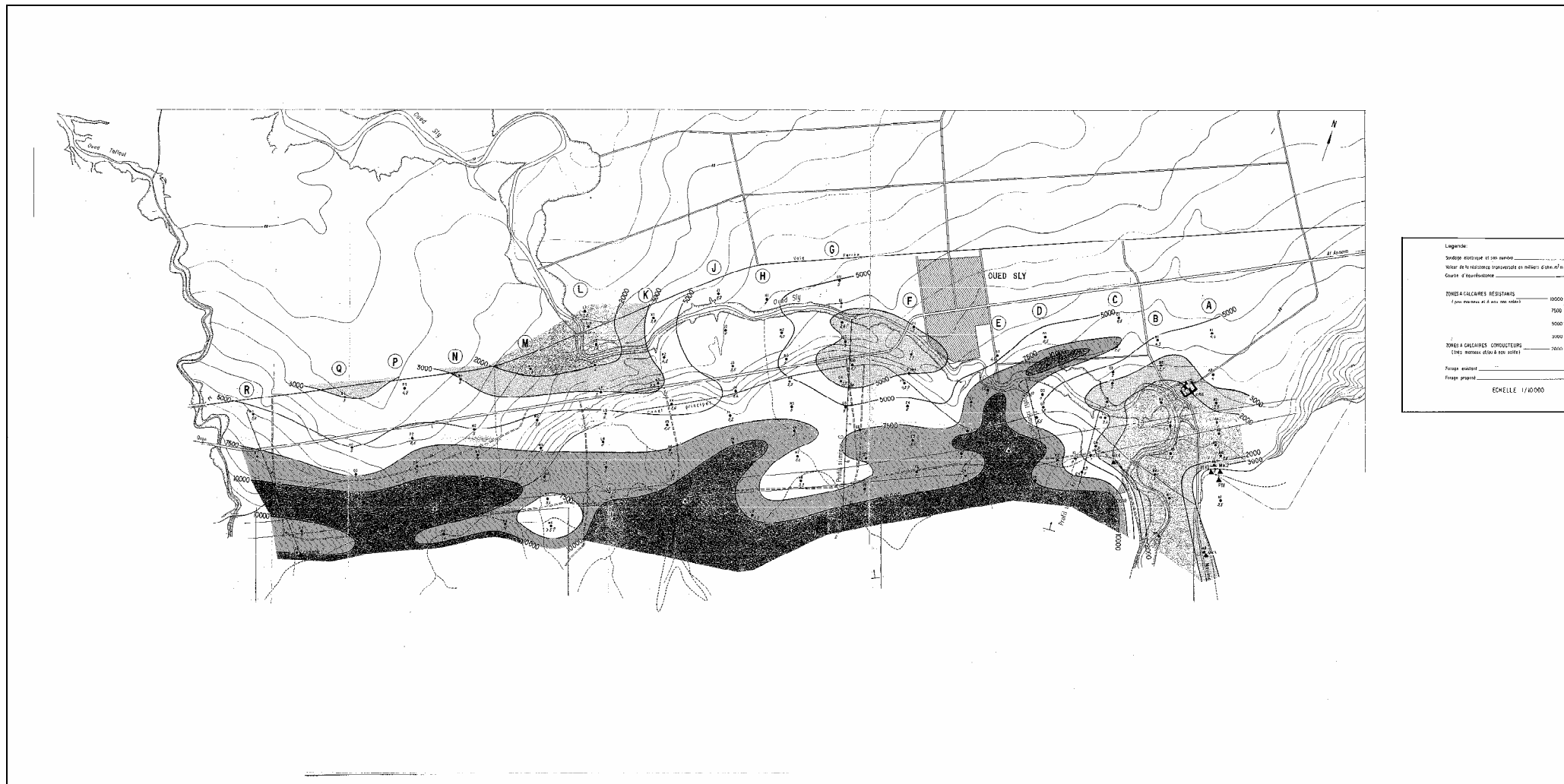
La zone des profils K8 –J7 et la zone de Boukadir (R4 –Q5 – P5) apparaissent également intéressantes.

### **7. Prospection sismique :**

La méthode de prospection par sismique réfraction mesure la vitesse de propagation des ondes sismique dans les différents terrains. Dans le cas qui nous intéresse, la sismique réfraction devait permettre de différencier les alluvions des calcaires sous-jacents là où la méthode électrique montre une série monotone et où la différenciation est difficile. Par conséquent, la sismique réfraction n'a pas permis de compléter la méthode électrique dans les zones où les alluvions se distinguent mal des calcaires.



**Figure32 :** Carte des résistances transversales cumulées (C.G.G, 1972).



**Figure 33 :** Carte des résistances transversales des calcaires miocènes, référence C.G.G 1966.



## 8. Conclusion :

L'étude géophysique a bien mis en évidence les niveaux électriquement résistants susceptibles d'être aquifères. Ces niveaux correspondent aux :

- Alluvions grossières.
- Niveaux sableux et cailloutis du Villafranchien.
- Grés astiens.
- Calcaires à lithothamnium

La prospection électrique effectuée dans la région d'Oued Sly a mis en évidence le prolongement régulier des calcaires à lithothamnium vers le Nord sous les alluvions de la vallée du Cheliff. Mais le résultat essentiel de cette prospection est d'avoir permis de distinguer, dans la série miocène, les faciès marneux qui gagnent rapidement de l'importance en direction Nord, surtout à la base de la série.

Au débouché d'Oued Sly, les résistances des calcaires sont faibles en raison du faciès marneux de base auquel vient s'ajouter l'invasion salée des eaux de l'Oued. Il est vrai que l'apport de l'oued Sly garantit la bonne alimentation des calcaires dans cette zone, alors que plus à l'Ouest, les calcaires ne sont alimentés que d'une façon intermittente.

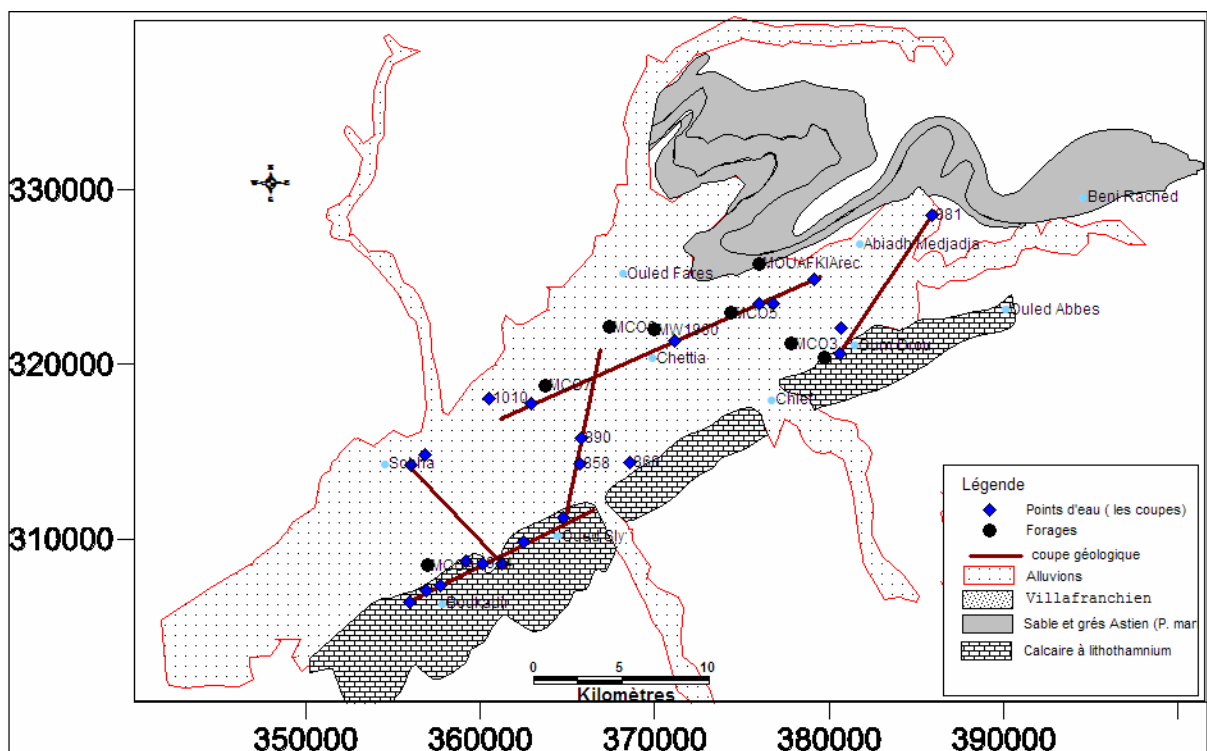
Les résultats ont également montré que les formations grossières du Villafranchien étaient particulièrement développées dans les zones synclinales du Nord, dans les régions au Sud – Ouest d'ouled Farés et de Mouafkia.

## Chapitre 4 Hydrogéologie

### 1. Introduction :

La détermination des caractéristiques des différents aquifères nous permet d'avoir une meilleure idée sur le comportement hydrodynamique des eaux souterraines (perméabilité, transmissivité et le gradient hydraulique).

L'analyse lithostratigraphique et structurale du bassin, les données de forage et l'étude géophysique ont permis de définir à travers la région, les formations susceptibles de constituer des aquifères exploitables (figure 34), ceux sont :



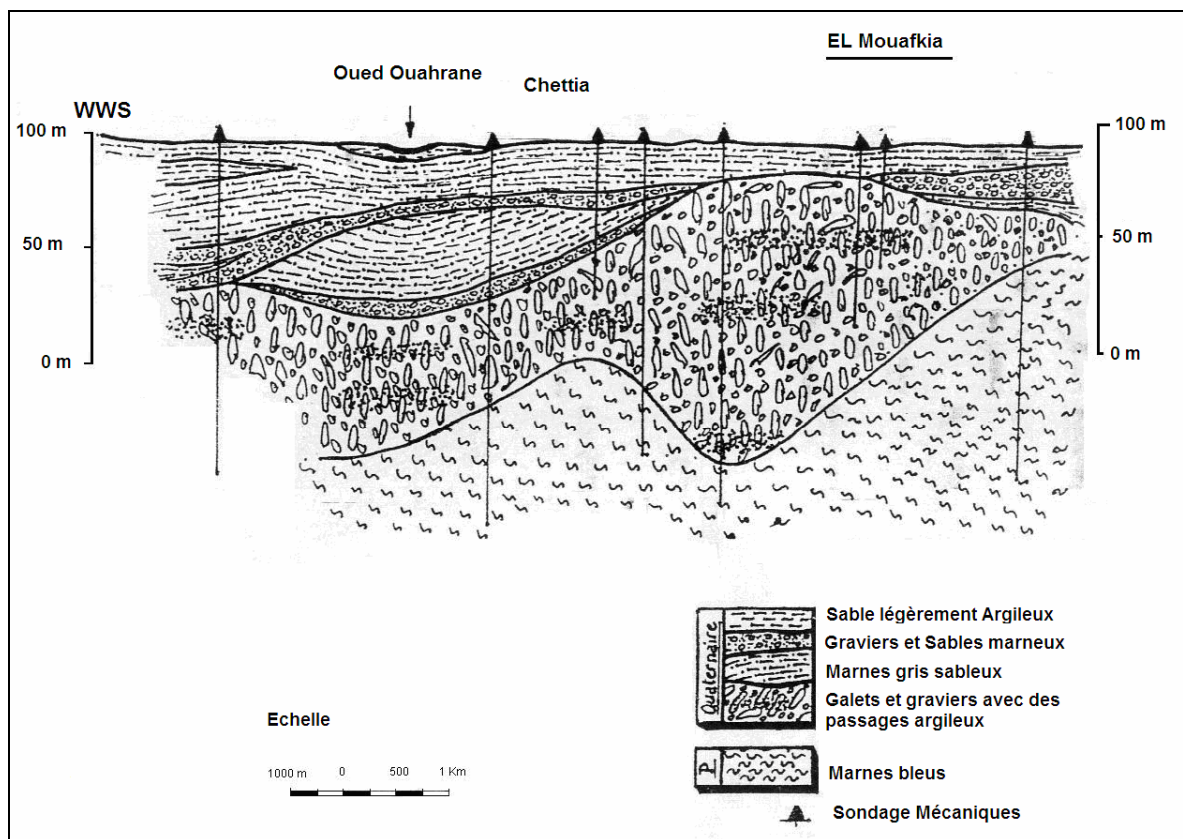
**Figure 34:** Situation des différentes nappes du MCO (ABH-CZ, 2001).

- ✓ Les calcaires à lithothamnium.
- ✓ Les grés astiens marins et les sables dunaires à Hélix.
- ✓ Les grés, conglomérats et sables du villafranchien.
- ✓ Les alluvions grossières du Cheliff et des affluents et le complexe quaternaire ancien.

**2. Identification des unités hydrogéologiques :**

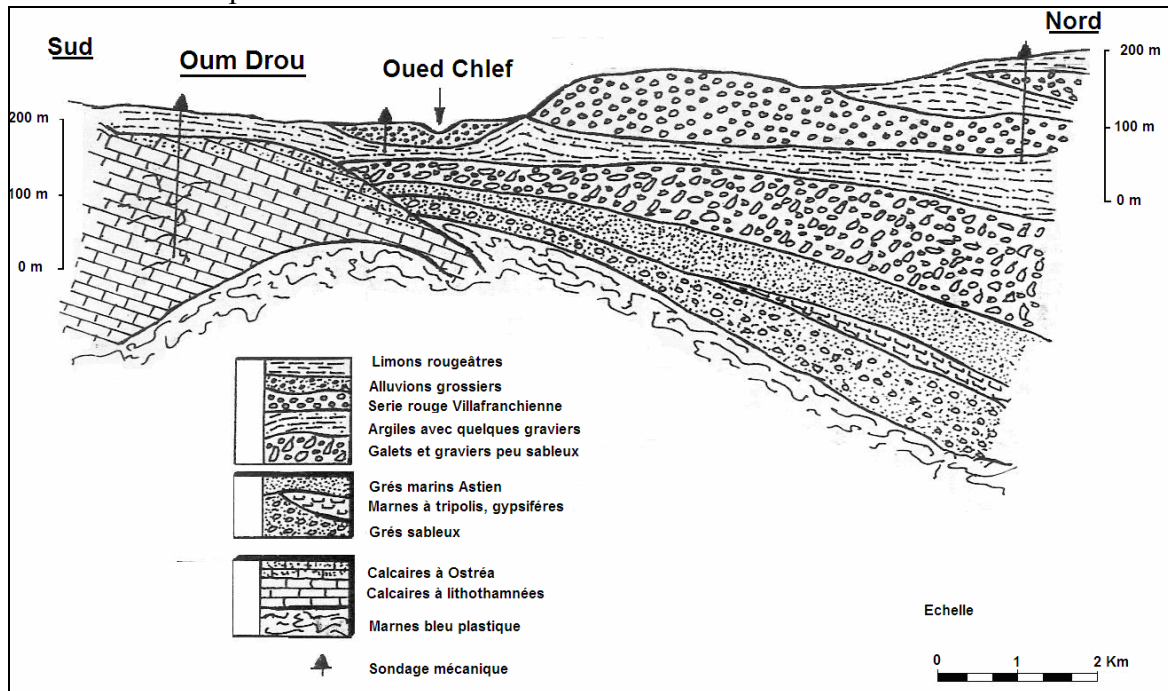
**2.1 Plaine de Mouafkia :**

Cette plaine forme au Nord de Cheliff une dépression allongée dans la direction WSW-ENE sur 15 Km environ de long et un peu moins de 3 Km de large. Elle est limitée au Nord par l'anticlinal de Medjadjas et au Sud par une ligne de collines formées en majeure partie de couches villafranchiennes avec notamment des grès sableux ocre rouge. Sur le flanc Sud de l'anticlinal de Medjadjas affleurent des grès à ciment calcaire de couleur beige à roux, devenant vert à la base. Sur les cartes géologiques ces grès sont datés de l'Astien. L'étude de leur microfaune amènerait à les classer plutôt dans le Miocène (D. Pradines, 1977). Ces grès plongent avec un assez fort pendage pouvant atteindre la verticale (flexure) sous les alluvions de la plaine de Mouafkia. Ils contiennent une nappe aquifère qui alimente quelques petites sources.



Cette nappe a fait l'objet en 1950 d'un captage par galerie à la cote 164 m au Nord de Mouafkia et 2.9 Km au NNE de MCO5(X : 374.35, Y : 322.95). Les études effectuées dans la plaine de Mouafkia permettent de constater qu'elle renferme deux nappes superposées (Perrodon, 1957). Mais d'après les coupes (A-A' et B-B') et les forages exécutés dans la zone (MCO5, MCO5 bis et MCO5 ter en 1974) nous constatons la superposition de trois nappes :

- ✓ La plus profonde est contenue dans les grés astiens du pliocène inférieur (320 m de profondeur dont le toit est situé à 253m de profondeur,
- ✓ La seconde recoupée par le forage MCO5 bis qui capte les sables et grés du Villafranchien entre 100 et 216 m
- ✓ La troisième traversée par le forage MCO5 ter qui capte des alluvions grossières entre 40 à 81 m de profondeur.



**Figure 35b :** Coupe B –B’ dans la plaine de Chlef d’après Scet-Agri 1985).

Les dépôts argileux correspondant à la base du Pliocène supérieur et qui séparent les deux premiers aquifères : alluvions grossières et sable et grés du Villafranchien, présentent une épaisseur de l’ordre d’une trentaine de mètres. Tandis que le Villafranchien et grés astiens sont séparés par des couches marneuses et marno sableuses d’une épaisseur de l’ordre de trentaine de mètres aussi.

Le pendage des grés astiens semble plus faible suivant le plongement de l’axe anticlinal vers le SW qu’au niveau de la zone de flexure qui sépare l’anticlinal de la plaine de Mouafkia (forages Medjadja - Warnier).

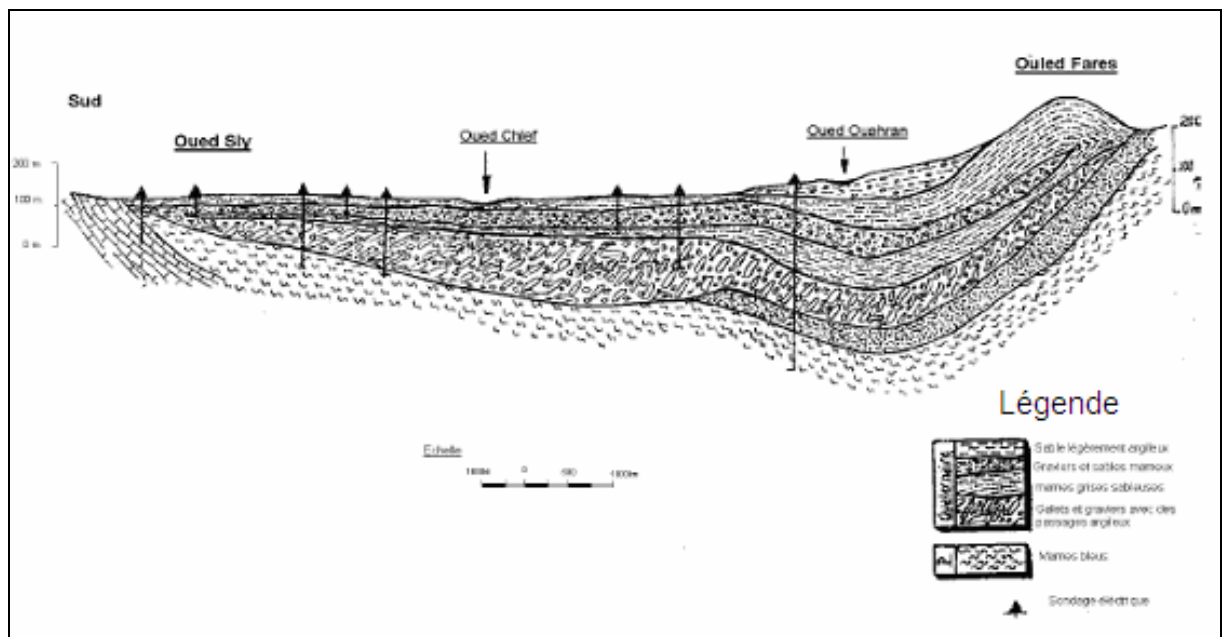
Les grés astiens sont captifs sous la plaine de Mouafkia, la partie libre de cette nappe dans l’anticlinal de Medjadja jouera le rôle d’une zone de réalimentation à potentiel constant tant que la production cumulée ne dépassera pas largement l’alimentation globale de la nappe (D. Pradines, 1977).

## **2.2 Plaine de Cheliff :**

Le seuil de Ponteba qui sépare la plaine d’oued Fodda en amont de la plaine de Chélif est formée de marnes miocènes en partie recouvertes par des grés et sables mio – pliocènes.

Au droit de ce point, l'interprétation du sondage électrique XY5 suggérait un milieu résistant situé entre 40 et 110 m de profondeur qui correspondrait à des grés. En fait, le forage MCO1 a traversé des alluvions grossières de 21 à 55 m suivies jusqu'à 80 m de profondeur de marnes gris foncés avec quelques bancs de calcaires gréseux compact de moins de 1.5 m d'épaisseur.

Au Sud de la voie ferrée vers Alger, on rencontre la nappe contenue dans les calcaires à lithothamniées. L'épaisseur de cette nappe atteinte dans cette zone 70 m comme cela est observé dans le forage MCO2.



**Figure 36 a :** Coupe géologique C –C' dans la plaine de Chleff (d'après Scet-Agri 1985).

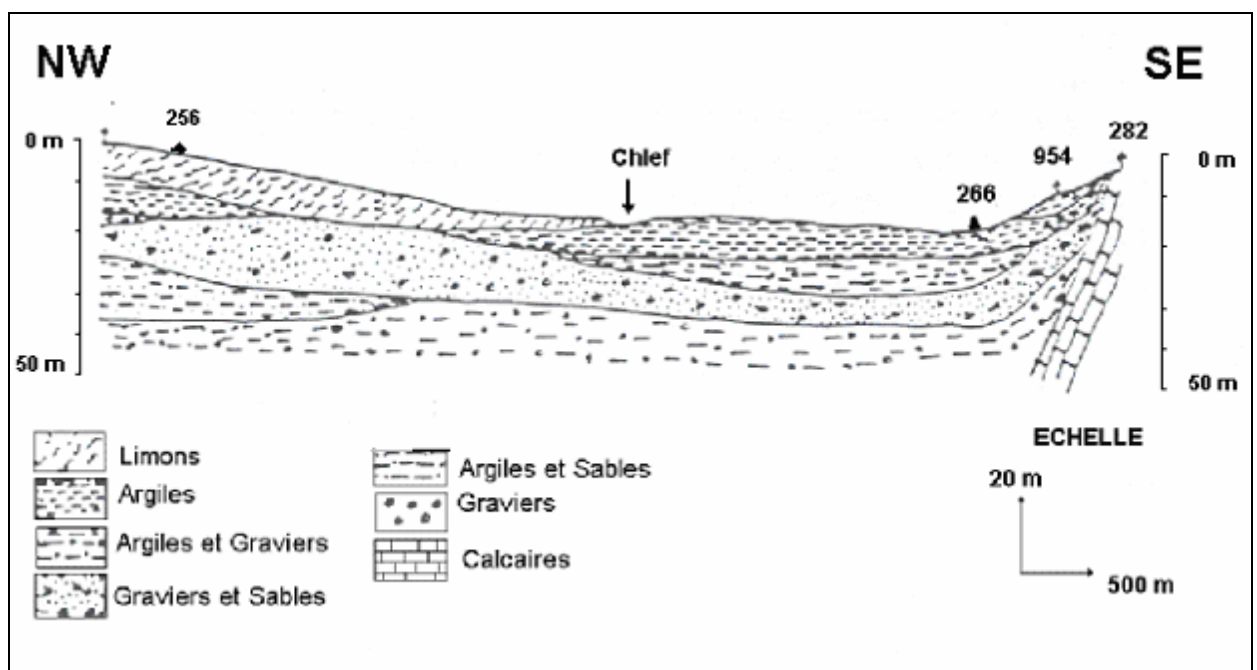
Au pied Sud des montagnes rouges et en rive droite du Chélif, la géophysique indique l'existence de deux terrains résistants entre 15 - 40 m et 60 - 90 m, avant d'atteindre les formations marneuses. En effet, les marnes sont rencontrées à 94 m dans le forage MCO3 situé à 500 m environ de l'oued Chélif et qui capte les alluvions grossières intercalées de dépôts argileux (coupe A-A' et C-C').

Vers l'oued Ouahran au Nord-Ouest de l'anticlinal de Medjadja, la géophysique situe le toit du substratum conducteur à une profondeur de 410 m. Des forages ont été implantés dans ce site (MCO6, MCO6 bis et MCO6 ter). Le MCO6 de reconnaissance profond de 442 m montre à partir de 377 m des terrains essentiellement argileux. La couche d'alluvions grossières entre 348 à 377 m est elle-même peu résistante. Les grés astiens n'ont pas été rencontrés.

La nappe alluviale est profonde dans cette zone, elle est constituée de graviers situés entre 57 et 69 m. D'après le carottage électrique, elle contient de l'eau salée et sa teneur en sel serait d'environ 3 g/l. Les autres couches sont des alluvions grossières intercalées de

couches plus argileuses (coupe MCO6, dans la figure 54 ; p 100, 5.3 Km au SW de MCO6 d'après la géophysique, le substratum argileux des alluvions grossières forme une bosse peu prononcée entre O. Ouahran et Chélif. Cette exubérance se raccorderait à l'axe anticlinal de Medjadja. Un forage (MCO7) implanté entre les sondages électriques M1 et M2 aurait de rencontrer le mur des formations résistantes (alluvions et éventuellement des grés astiens) vers 270m de profondeur. En fait, nous sommes toujours dans les alluvions grossières à fortes résistances électriques à 313 m. La nappe phréatique dans cette zone à une minéralisation d'environ 5 g/l.

Vers l'oued Ras et au Nord du Chélif, les formations profondes correspondent aux alluvions grossières reconnues par le forage MCO8. Les eaux de la nappe sont peu salées par rapport à la nappe phréatique.



**Figure 36 b :** Coupe D –D' dans la plaine de Chlef (d'après Scet-Agri 1985).

Les formations du pliocène (villafranchien et grés astiens) sont particulièrement développées dans la zone synclinale du Nord et dans la région du N.W de Ouled Farés où les grés affleurent dans les premiers contreforts des monts du Dahra.

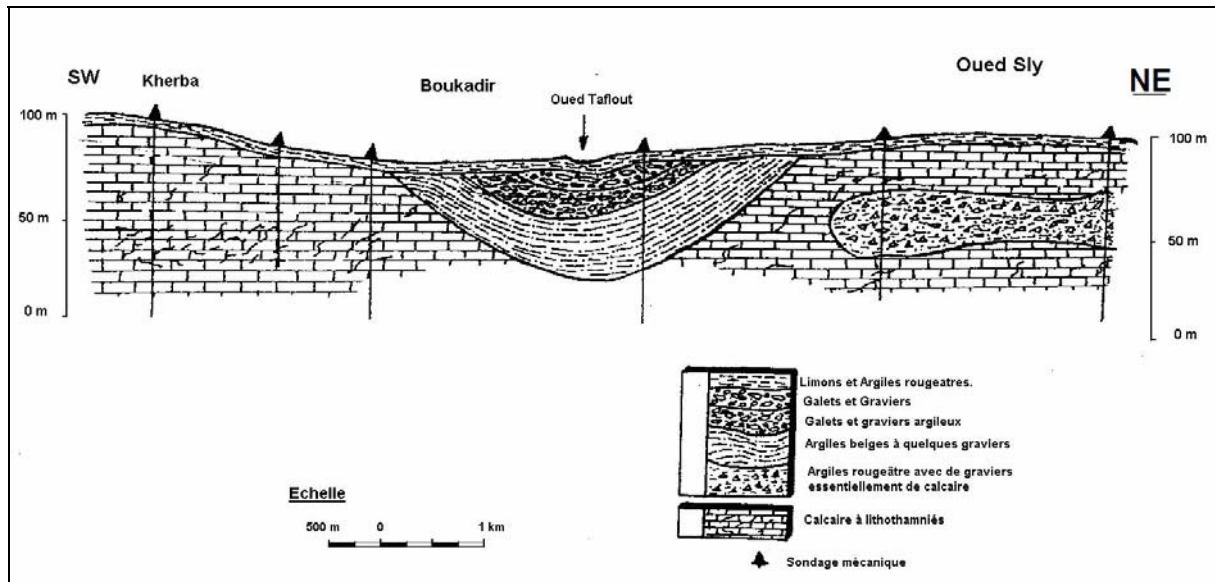
### **2.3 Plaine de Chlef – Boukadir :**

Cette partie de la plaine du Cheliff est comprise entre l'oued Taflout à l'Est, le Chellif au Nord, les collines de Kherba à l'Ouest et les piedmonts des calcaires à lithothamnium au sud.



La plaine de Boukadir constitue l'extrémité Sud-Ouest du moyen Chélif occidental et communique avec le Bas-Chélif par un étroit couloir entre les collines de Kherba et les calcaires à lithothamniées.

La prospection électrique a montré que les alluvions grossières s'amincissaient et devenaient moins résistantes sous la plaine de Boukadir.



**Figure 37 :** Coupe E–E' dans la plaine Chlef-Boukadir (d'après Scet-Agri 1985).

La plaine de Boukadir est très plate et très basse (altitude voisine de 75 m NGA). En fait, cette plaine a dû constituer depuis très longtemps un lac ou un marécage à l'extrémité aval du moyen Chélif occidental où se sont accumulés principalement des sédiments fins. Le phénomène s'accroît vers l'aval et au niveau des collines de Kherba, les terrains sont essentiellement argileux depuis le Cheliff jusqu'aux calcaires à lithothamniées figure 37.

Un forage MCO9 a été implanté dans le centre de la plaine de Boukadir pour reconnaître les alluvions de la plaine. D'après le sondage électrique E6, le mur des alluvions relativement résistants serait à 155 m de profondeur, le toit des calcaires à 220 m, entre ces deux cotes apparaît une couche conductrice d'argile où de marne.

Ce forage a été arrêté à 170 m de profondeur. Il capte des graviers mélangés d'argile. La série plus perméable est comprise entre 57 et 125 m de profondeur. Les graviers en dessous de 158m comportent de nombreux fragments de calcaires à lithothamnium. Ces calcaires ont été recoupés sous la plaine de Boukadir par les forages pétroliers KH5 et KH6.

### 3. PRINCIPAUX AQUIFERES :

#### 3.1 La nappe des calcaires à lithothamnium :

##### 3.1.1 Introduction :

Les calcaires forment une longue semelle inclinée entre l'oued Fodda au NE et l'oued Djidiouia au S O. La longueur de cet affleurement est de l'ordre de 65 Km, sa largeur moyenne est de 4 Km au S O et 2.5 Km au NE.

La formation des calcaires à lithothamnium affleure en rive gauche de l'oued Cheliff. Le pendage vers le Nord de ces assises fait rapidement disparaître les calcaires sous la plaine de Cheliff qui n'affleurent plus en rive droite.

##### 3.1.2 Géologie :

Les calcaires à lithothamnium font partie de l'ensemble des terrains tertiaires déposés dans le bassin du Cheliff postérieurement à la mise en place des nappes telliennes.

Les affleurements calcaires sont entaillés par des vallées de direction Nord- Sud et notamment par les vallées de l'Oued Sly à l'Est et de l'oued Tafelout à l'Ouest. Ils appartiennent au miocène supérieur (Vindobonien) à faciès néritique, formé à la bordure méridionale de la mer vindobonienne. Ce miocène supérieur repose soit directement sur le substratum charrié (existe uniquement dans la zone comprise entre l'oued Sly et la région occidentale de Boukadir), soit par l'intermédiaire du Miocène inférieur (Burdigalien) comme cela est illustré dans la figure 38. Son étendue ne peut être que très limitée et il disparaît plus au Nord dans l'axe de la vallée du Cheliff pour être remplacé progressivement par des marnes. Ce faciès varie des calcaires francs à des calcaires pseudos - détritiques avec lentilles de calcaires très marneux, notamment à sa base.

Il repose sur une série marneuse, l'ensemble étant en discordance sur les nappes telliennes de l'Ouarsenis (figure 38).

Au dessus des calcaires à lithothamnium, on trouve :

- Les marnes bleues du Plaisancien où des récurrences de calcaires à lithothamnium ont été retrouvées dans les forages.
- Les sables et grés de l'Astien.

Ces séries pliocènes ne sont connues qu'au centre de la vallée du Cheliff et sur la rive droite.

- Les formations de piedmont situées à la bordure Nord des affleurements calcaires.

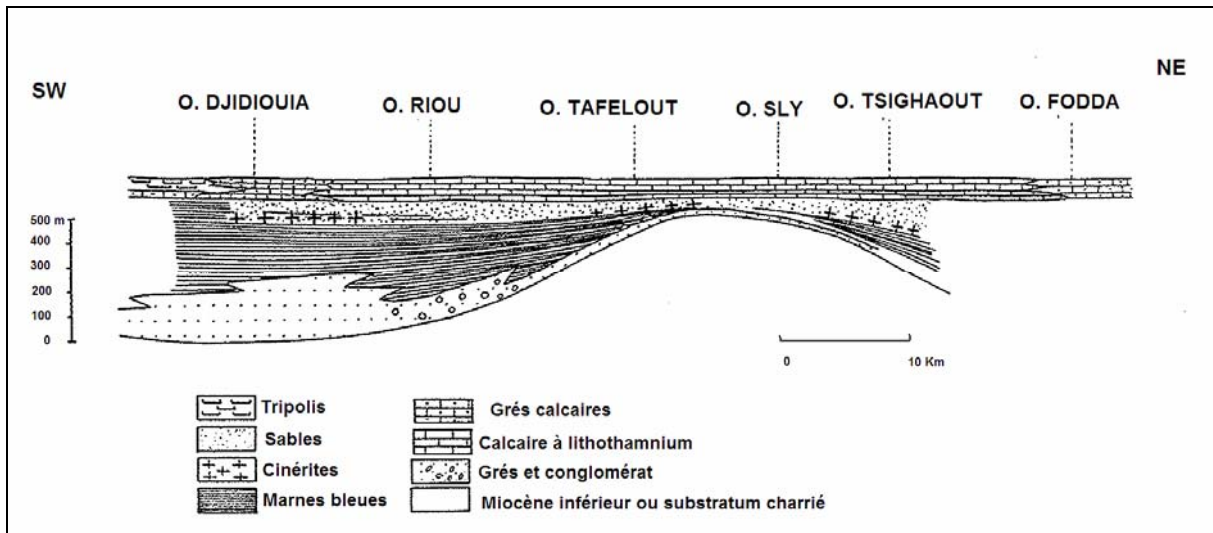
Au point de vue tectonique, les calcaires ont été affectés par les mouvements post-paroxysmaux ainsi que par la subsidence de la vallée du Cheliff.

L'ensemble constitue le flanc Sud du synclinorium du Cheliff. Les pendages sont, en moyenne de 5° à 20° vers le NO. Dans le détail, de petites ondulations et failles de faibles rejets existent.



Sous la vallée du Cheliff, le pendage des couches se poursuit, en principe régulièrement avec une valeur de 20° jusqu'à la disparition progressive du faciès calcaire. Certains auteurs admettent une légère flexure conduisant à la continuité des calcaires plus profondément.

L'importante faille Boukadir - Relizane qui affecte cette structure a induit l'effondrement du compartiment Nord par rapport au Sud.



**Figure 38 :** Schéma stratigraphique du miocène de la bordure nord de l'Ouarsenis (d'après Perrodon, étude hydrologique par prospection électrique et sismique d'oued Sly ; 1966).

### 3.1.3 Limites et caractéristiques du réservoir :

La nappe des calcaires présente une étendue affleurante dans le bassin Cheliff. La zone du moyen Cheliff occidental forme l'une des parties amont de ce réservoir, avec une superficie de 140.8 km<sup>2</sup> et qui est limitée :

- Au nord, par la bordure des formations plio-quaternaires.
- A l'ouest, par les calcaires de l'O. Rhiou.
- Au sud, par les marnes du miocène inférieur.
- A l'est, par les grès à Hélix.



**Figure 39** : Limite sud des collines calcaires à lithothamnium et les monts de l'Ouarsenis dans la région de Boukadir (Oued Taflout).

L'examen des données de forages montre sur le plan vertical un ensemble de calcaires poreux et fissurés avec à la base une formation plus marneuse de faible perméabilité. Horizontalement, cette couche de base est assez constante mais devenant localement plus épaisse. Les calcaires quant à eux passent latéralement près de Djidiouia et de Ponteba à des formations gréseuses ou marneuses.

Les calcaires présentent les caractéristiques typiques des milieux karstiques. On observe la présence d'un lapiaz en surface et de gouffres. La karstification en surface et en profondeur est bien marquée car les fissures sont très ouvertes (figures 40 et 43).

### **3.1.4 Le karst :**

Le karst est un ensemble de formes de surfaces et souterraines résultant de la dissolution de calcaires ou de dolomies par les eaux rendues acides par le dioxyde de carbone. Par extension, ensemble de formes comparables se développant dans les roches salines (gypse, anhydrite, halite), dénommé aussi pseudo-karst.



### 1. Description du milieu karstique :

La karstification est un phénomène physico – chimique complexe et évolutif qui conduit de l'aquifère carbonaté, uniquement fissuré, à l'aquifère karstique avec une organisation complète des écoulements (Bakalowicz, 1986).

Pendant la karstification, les vides qui peuvent être pénétrés par des eaux agressives vont s'élargir. Le phénomène s'accélère au fur à mesure que la dissolution s'opère, menant à la formation de drains particulièrement perméable (réseau karstique hiérarchisé et très perméable), au sein de volumes de roche qui sont beaucoup moins perméable.



**Figure 40** : Zone très fracturée de l'épikarst dans la région de Boukadir (Oued Taflout).

La fissuration est importante et les niveaux fissurés dans l'ensemble sont profonds, cela peut être lié à la nature calcaire des roches, mais aussi, à leur structure. Des forages implantés dans la zone de O. Sly et Boukadir ont traversé plus de 350 mètres de calcaires,

présentant des macro-fissures, indiquant une karstification assez développée dans ces secteurs (figure 40 à 43).

## 2. Morphologie karstique :

La morphologie karstique se distingue par un ensemble de formes de surface (exokarst) et de formes souterraines (endokarst) intégrées les unes aux autres.

### A- En surface :

Comme le montrent les illustrations ci-dessous, les calcaires présentent les caractéristiques morphologiques de surface typiques des milieux karstiques, particulièrement observables dans la région de Boukadir. On note l'existence de lapiaz en surface et de gouffres. La karstification en surface et en profondeur est bien marquée, les fissures et les joints de stratification sont très ouverts.



**Figure 41:** Lapiaz et grotte dans la région de Boukadir (Oued Taflout).



En revanche plus à l'Est dans la région Chlef, la karstification semble moins développée. A ce niveau, les calcaires sont bien fissurés mais nous n'avons observé ni grottes ni une morphologie karstique particulière de surface.

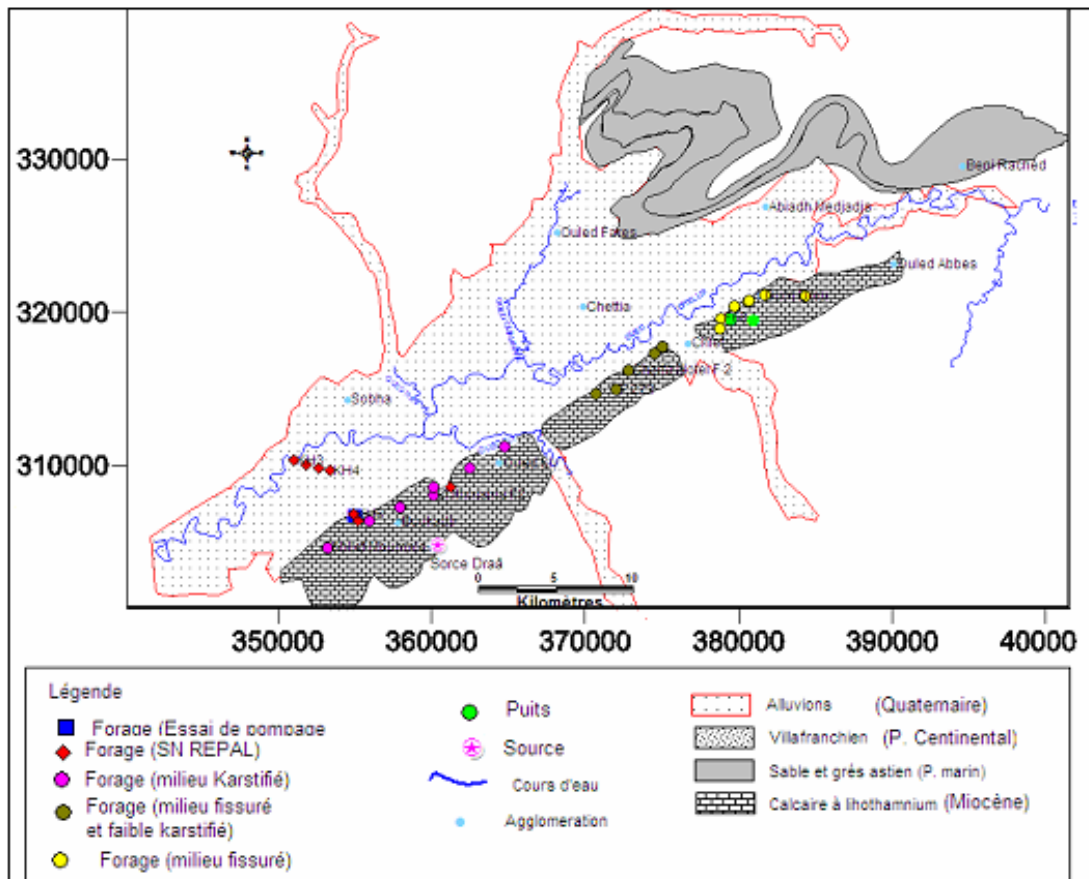
La zone intermédiaire délimitée par les oueds Tsighaout et O.Sly présente quant à elle des caractéristiques intermédiaires : fissuration prononcée et karstification moins développée que dans la région de Boukadir.

La figure n°42 qui présente l'inventaire des points d'eau est très significative à ce sujet.

**b- Morphologie karstique souterraine**

La présence des cavités de différentes tailles et des conduits organisés en réseau, parcourus par les eaux souterraines sont souvent rencontrés dans les formations calcaires.

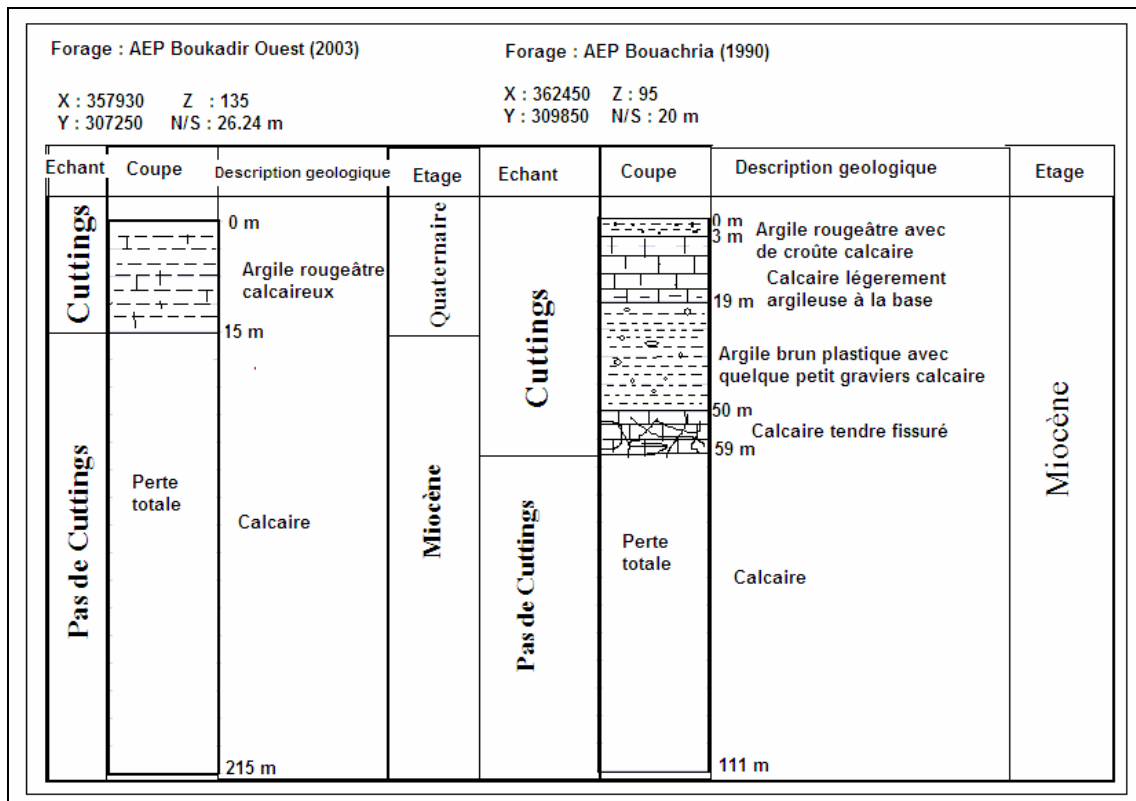
En effet, les forages réalisés dans la zone de l'oued Sly et Boukadir ont mis en évidence le phénomène de karstification sur la profondeur pénétrée (figure 43).



**Figure 42 :** Localisation des différents milieux dans la formation calcaire à lithothamnium.

Quelques logs stratigraphiques des forages montrent que la karstification se poursuivrait en profondeur. Des fissures et des chenaux ont été rencontrés à des profondeurs pouvant atteindre plusieurs mètres (figure 43).

Une perte importante du volume de boue indique que les terrains sont largement fissurés et/ou faiblement karstifiés, ces observations sont constatées dans la zone située entre O. Tsighaout et O. Sly. Tandis qu'une perte totale de la boue est observée au niveau de la zone de Boukadir indiquant des terrains karstifiés et l'existence des vastes cavernes.



**Figure 43 :** Log lithologique des forages (AEP. Boukadir et AEP. Bouachria).

Par contre, dans la zone située entre oued Tsighaout et oued Sly, on observe la présence d'un milieu fortement fissuré et une karstification moins développée.

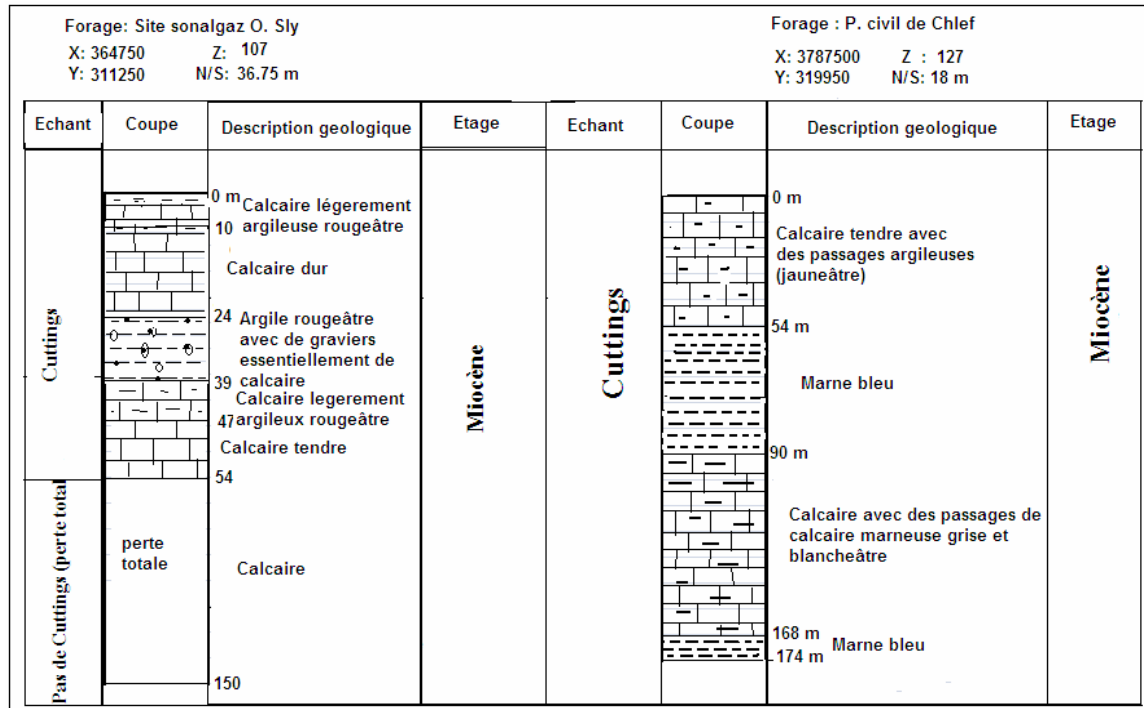


Figure 44 : Log lithologique des forages (Site sonalgaz O. Sly et P. civil de Chlef).

Au voisinage de l’oued Tsighaout et en se déplaçant vers l’Est, les forages montrent la présence d’un milieu fissuré sans karstification apparente.

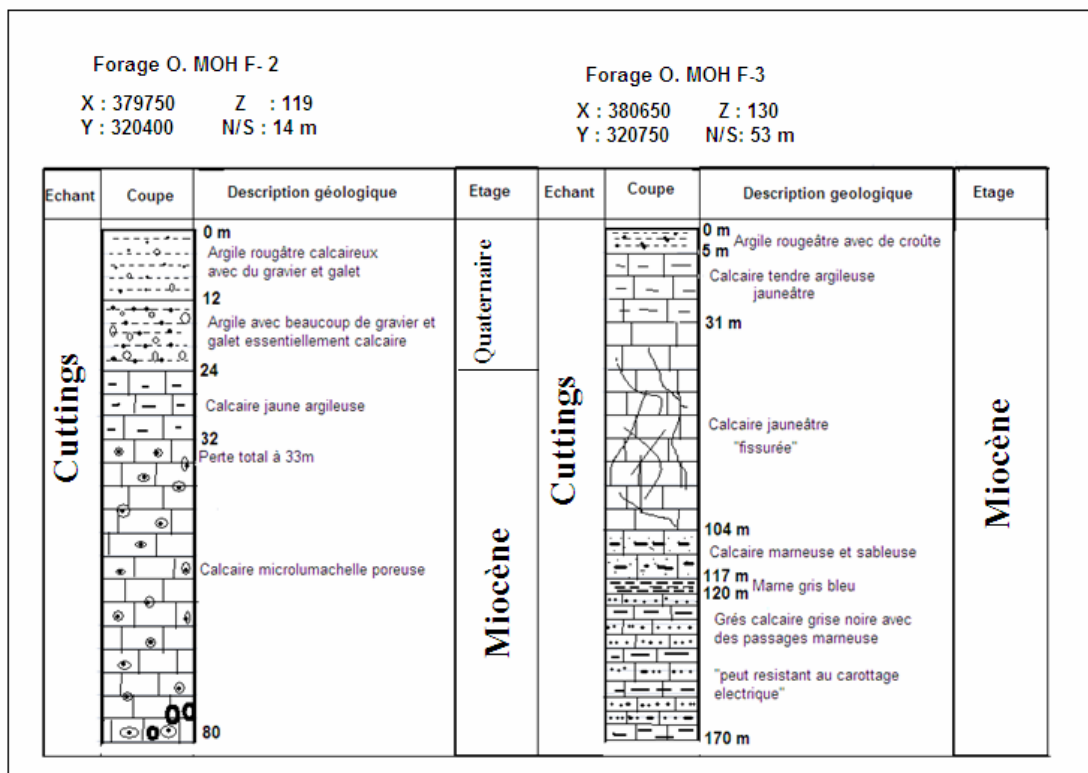


Figure 45 : Log lithologique des forages (O MOH F-2 et O. MOH F-3).

### 3. Processus, genèse et mécanisme de la karstification :

Le karst résulte de la dissolution d'une roche carbonatée par de l'eau.

L'eau et le CO<sub>2</sub> qui sont nécessaires pour dissoudre la roche ne suffisent pas pour créer le karst, un autre facteur est nécessaire, c'est le gradient hydraulique qui permet d'évacuer les matières dissoutes par le renouvellement de l'eau.

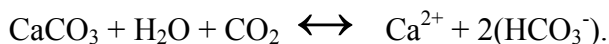
Pour pouvoir dissoudre le calcaire, l'eau a besoin d'un caractère agressif qui dépend de la teneur en CO<sub>2</sub> dissous dans l'eau.

Le processus chimique de dissolution est triphasique : phase gazeuse avec le CO<sub>2</sub> dissous, liquide avec l'eau et solide avec la matrice rocheuse carbonatée.

Tout d'abord, l'eau s'enrichit en CO<sub>2</sub> au cours de son transit à travers le sol.



C'est l'acide carbonique H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> qui procure à l'eau son pouvoir de dissolution. La solution attaque le calcaire et l'équilibre global de la réaction est le suivant :



L'eau acquiert rapidement son équilibre chimique vis-à-vis de la calcite (saturation). Par conséquent, pour que la dissolution du massif calcaire soit efficace, il est nécessaire que la solution soit renouvelée. Autrement dit, que l'écoulement soit suffisant. Si c'est le cas, la dissolution élargit les fissures drainantes où l'eau peut alors s'y écouler de manière préférentielle. Le phénomène est alors auto-entretenu et on passe progressivement à des conduits karstiques de grande dimension.

#### 3.1.5 Toit des calcaires :

La structure des calcaires a été mise en évidence par les forages et par la campagne de géophysique réalisée en 1966 et 1972.

Si dans la partie Sud le toit de la formation calcaire n'apparaît pas, en revanche vers le Nord, il s'agit d'une bande perméable surmontée soit des formations de piedmont, soit du continental, soit de l'Astien, c'est-à-dire des niveaux perméables qui permettent l'infiltration des eaux et donc la recharge du réservoir carbonaté (figure 46).

La partie captive de la nappe des calcaires est encadrée par les marnes du miocène supérieur et celles du pliocène. Localement, le quaternaire et le pliocène repose sur les calcaires. A ces niveaux, les échanges hydrauliques existent. Les possibilités d'échanges souterrains dans le sens calcaire- formations plus récentes paraissent plus complexes.

#### 3.1.6 Le mur des calcaires :

Il est difficile d'estimer la position du mur du réservoir des calcaires. En effet, les forages sont incomplets et sont toujours arrêtés à la profondeur du calcaire fissuré qui donne un débit suffisant.



Seuls, les forages SN, REPAL du groupe Kherba traversent complètement la formation. Il s'agit entre autres des forages KH.5 et KH.6 profonds respectivement de 403m et 1910m (1948). Il apparaît ainsi que l'épaisseur à l'Ouest de Boukadir soit supérieure à 350m. A l'Est, vers Chlef, elle est de 50 à 80 m et aux environs de l'Oued Sly, elle dépasse 150 mètres.

D'après les logs de ces forages, le substratum est formé essentiellement par les marnes de base du miocène supérieur, et localement, par le socle charrié. La caractéristique principale de ces éléments est donc l'étanchéité excluant toute circulation d'eau vers un réservoir plus profond.

Par ailleurs, la remontée rapide de ce substratum limite la bande utilisable de la nappe de 2.5 à 4 Km maximum de largeur, à compter de la ligne de contact Alluvions- Calcaires.

Ainsi, la nappe se caractérise t – elle par une partie captive où elle est en charge et une partie libre. A cet égard et si l'on excepte les sources qui couronnent les sommets au sud, pratiquement tous les points d'eau (forages et les puits) sont situés le long de la limite alluvions – calcaires (figure 42).

### **3.1.7 Exutoires :**

Les eaux qui circulent dans les calcaires réapparaissent sous forme de sources. La situation d'Aïn Neflia et d'Aïn Drâa en altitude au Sud de Boukadir témoigne d'un court transit à travers la masse carbonatée. En revanche, les sources de Merdja Sidi- Abed qui sourdent à un point bas topographique et qui sont à l'origine de l'exploitation intensive des calcaires à lithothamnium doivent séjourner beaucoup plus longtemps.

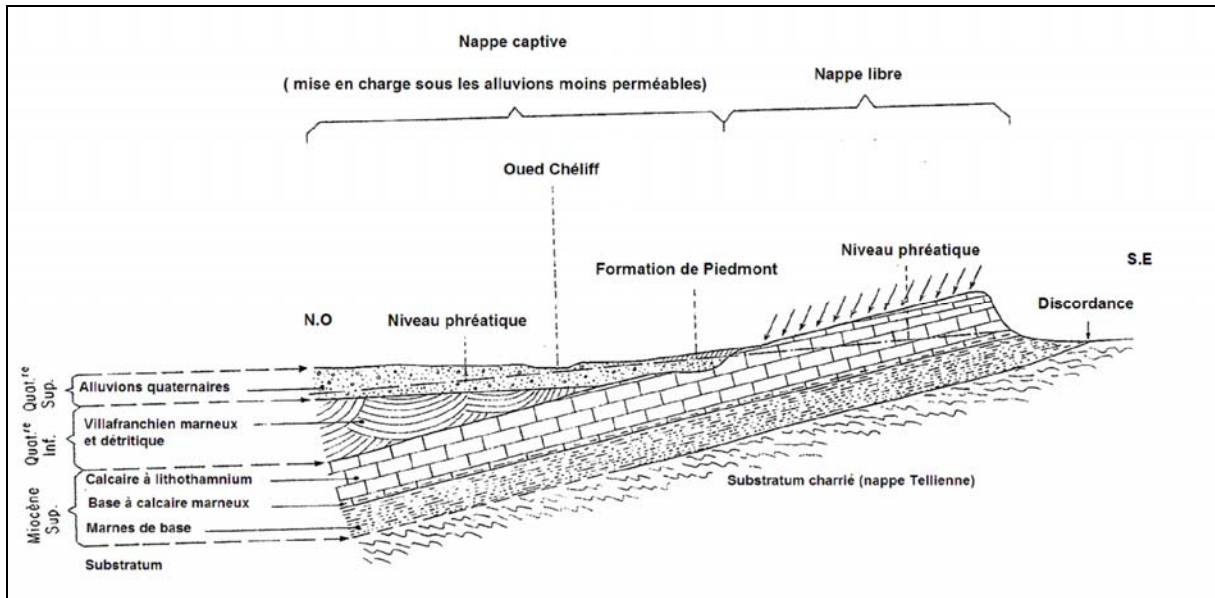
Par ailleurs, selon Giuseppe - Schrambach (1964) les oueds et les sous - écoulements drainent aussi la nappe. Cet auteur a constaté qu'au débouché de l'oued Sly dans les alluvions après les calcaires, que le drainage ne respectait pas le tracé actuel de l'Oued. Il explique cette situation par une disposition particulière des zones perméables, liées probablement à un lit fossile.

Cette situation semble être confirmée par les résultats de la géophysique.

### **3.1.8 Piézométrie :**

Même s'il s'avère difficile et discutable de confectionner une carte piézométrique dans ces milieux, nous aurions tout de même souhaité en réaliser une pour avoir une idée sur le sens de l'écoulement global des eaux souterraines. Les quelques forages de captage ne le permettent pas mais la structure d'ensemble (inclinaison vers le Nord) suggère que l'écoulement général des eaux souterraines s'effectue selon cette orientation.

Ainsi comme l'indique la figure 46, l'écoulement de la nappe s'effectue du sud- Est vers le Nord –Ouest.



**Figure 46 :** Schéma structural du calcaire à lithothamnium de l'oued Sly à oued Taflout (d'après l'étude hydrologique par prospection électrique et sismique d'oued Sly, 1966).

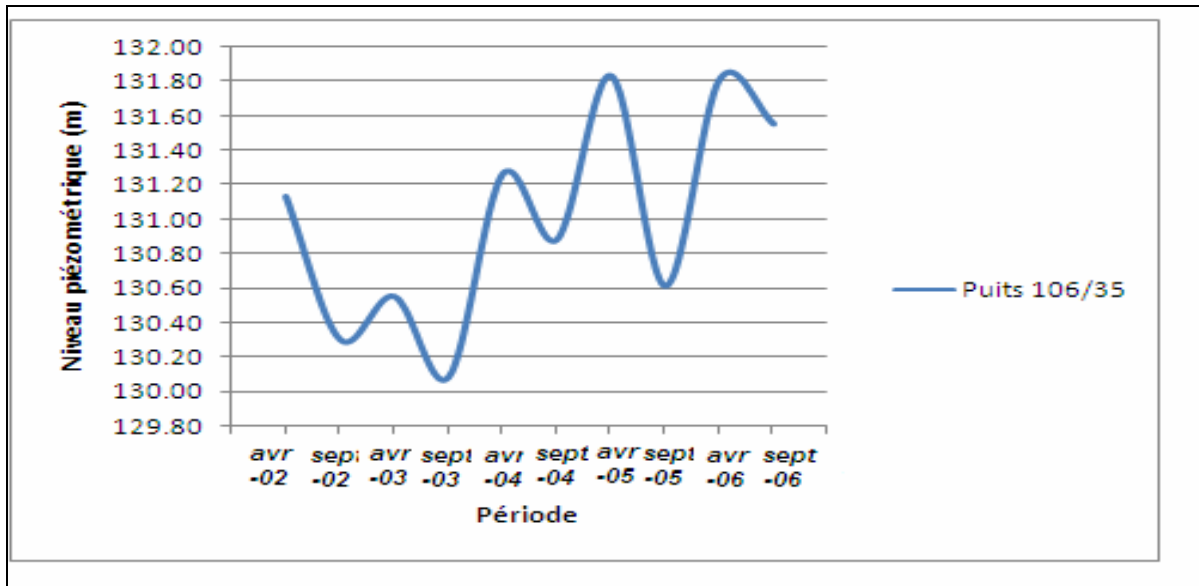
Le gradient hydraulique moyen calculé entre les forages Bouachria, Ouled Abdellah, forage Boukadir et forage El-Ithmania est de l'ordre de 1 %. D'après les niveaux piézométriques de ces forages et les puits, on constate que l'écoulement s'effectue effectivement du Sud- Est vers le Nord- Ouest.

L'évolution du niveau piézométrique oscille entre 0.26 à 1.2 m ; la remontée est due à l'alimentation de la nappe par infiltration en période des hautes eaux mais aussi par les apports superficiels au niveau de l'Oued Sly et des relations hydrauliques avec les autres aquifères en relations avec les calcaires.

**Tableau 28 :** Evolution de niveau piézométrique au niveau du puits 106/35 (calcaire).

Période	avr-02	sept-02	avr-03	sept-03	avr-04	sept-04	avr-05	sept-05	avr-06	sept-06
Niveau piézométrique	131	130.3	131	130	131.3	130.9	131.8	130.6	131.8	131.6

Le suivi du niveau piézométrique durant la période des hautes eaux et la période de basses eaux dans le puits 106/35 qui se situe dans la partie libre montre une baisse progressive du niveau piézométrique liée à l'effet de pluie, l'évaporation, l'exploitation de la nappe et enfin les fuites souterraines des eaux vers la partie nord. Par contre, la remontée du niveau piézométrique s'effectue d'une manière rapide grâce à l'effet des averses qui produisent une recharge de la nappe.



**Figure 47 :** Evolution du niveau piézométrique du puits 106/35 dans la nappe du calcaire.

### 3.1.9 Caractéristiques hydrodynamiques

Divers auteurs ont tenté de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques des calcaires à travers les essais de pompage réalisés dans la région. Citons les travaux de D. Pradines en 1977 (compte rendu de forages n° 77.SHYG.18) et ceux de Schrambach en 1966 (étude n° 33/GE). Quelques résultats obtenus apparaissent dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 29 :** Résultats des essais de pompages des études antérieures pour la nappe des calcaires.

Nom du forage	Formation captée	Débits (m <sup>3</sup> /s)	K (m/s)
Charon n° 1	Calcaire à lithothamnium	69.5	1.6 .10 <sup>-4</sup>
Malakoff n° 1	Calcaire à lithothamnium	88.5	0.9 .10 <sup>-4</sup>
Malakoff n° 2	Calcaire à lithothamnium	69.5	1.8 .10 <sup>-4</sup>
Malakoff n° 4	Calcaire à lithothamnium	34	6.6 .10 <sup>-5</sup>

#### 1. Essai de pompage :

Pour notre part et même si les méthodes utilisées restent discutables, nous avons exploité les données d'un essai de longue durée à un seul palier de débit constant (20.00 l/s) effectué le 20/02/2007 pendant 48 heures.

Les données sont résumées dans les tableaux 3 et 4 en annexe II.



$\Delta$  = rabattement en m

$Q$  = débit constant de pompage dans le puits en  $m^3/s$

$t$  = temps de pompage en s.

$r$  = distance du puits d'observation à l'axe du puits de pompage

$T$  = transmissivité en  $m^2/s$

Cette formule simplifiée donne une solution d'autant plus proche de la courbe de dépression réelle à l'instant  $t$  que  $r$  est plus petit.

**- Mode opératoire :**

On porte sur un diagramme semi-logarithmique les temps de pompage et en ordonnées les rabattements correspondants. La droite passant par les points obtenus a pour équation :

$$\Delta = \frac{0.183Q}{T} \left( \log \frac{2.25T}{r^2 S} + \log t \right) \dots\dots(25)$$

C'est une fonction de la forme  $y = a + b x$

Dans ce cas précis  $y = a (\log b + \log x)$

La constante "a" est déterminée par le coefficient angulaire de la droite, d'où

$$a = \frac{0.183Q}{T} = \text{tg } \alpha = \frac{dy}{dx} = \frac{\delta(\Delta)}{\delta(\log t)} \dots\dots(26)$$

Les valeurs  $\delta(\Delta)$  et  $\delta(\log t)$  sont données par l'accroissement du rabattement dans un cycle logarithmique; dans ce cas, on a donc :

$$\delta(\Delta) = c = \frac{0.183Q}{T} \dots \text{ D'où } T = \frac{0.183Q}{C} \dots\dots(27)$$

Si cette droite coupe l'axe des temps en un point  $t_0$  pour un rabattement nul. Le deuxième terme de l'équation s'écrit :

$$\log \frac{2.25Tt_0}{x^2 \times S} = 0 \quad \text{D'où} \quad \frac{2.25Tt_0}{x^2 \times S} = 1$$

On détermine ainsi  $T$  et  $S$  de la façon suivante :

$$T = \frac{0.183Q}{c} \quad \text{et} \quad S = \frac{2.25Tt_0}{x^2} \dots\dots(28)$$

**b-) Méthode de Theis-Jacob (la remontée) :**

Après l'arrêt du pompage, le niveau de l'eau commence à remonter pour atteindre sa position initiale.

La remontée est un moyen de contrôle de la descente, en outre, elle présente l'avantage que le débit est constant et égal à la moyenne des débits de pompage.

Le rabattement résiduel de la remontée s'écrit :

$$\boxed{T = \frac{0.183Q}{c}} ; \boxed{\sigma = \frac{0.183Q}{T} \log \frac{t+t'}{t}} \dots(29)$$

6 : Rabattement

Q : Débit de pompage constant

T : Transmissivité

t : Temps de pompage depuis le début

t' : Temps depuis l'arrêt du pompage

**Mode opératoire :**

Les rabattements exprimés en mètre sont portés en ordonnées linéaires, la valeur  $(t+t')/t'$  en abscisses logarithmique, les points expérimentaux s'alignent suivant une droite dont la pente C, calculée de préférence sur un cycle logarithmique permet de déterminer seule la transmissivité.

$$\boxed{T = \frac{0,183 Q}{C}}$$

**3. Perméabilité :**

La perméabilité est égale au rapport de la transmissivité T par l'épaisseur réelle de l'aquifère mouillée. Ce dernier est estimé à partir des logs stratigraphiques.

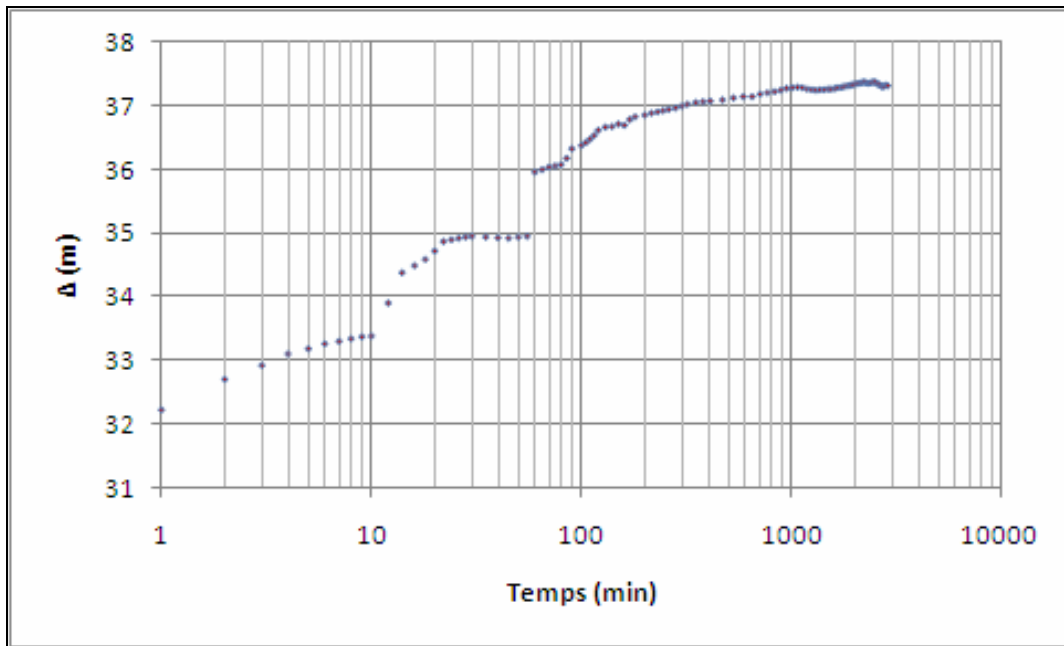
La perméabilité d'une nappe est :

$K = T/ e \dots\dots(30)$ ; pour une nappe captive (m/s)

$K = T/ H \dots(31)$ ; pour une nappe libre (m/s).

**4. Interprétation des courbes :****A- Courbe de descente de Jacob :**

Le pompage à débit constant 20.00 l/s a été arrêté au bout de 48 heures. On remarque que la descente est un peu lente, particulièrement entre 14 min et 55 min de pompage, le rabattement n'augmente que de 0.5 m.



**Figure 49:** Courbe de descente dans le forage Khelif mounnia F2.

La droite représentative de la descente est caractérisée par 3 segments de pentes différentes :

Le premier se caractérise par une pente ( $C_1 = 1.15$  m) et qui correspond à une transmissivité  $T_1 = 3.2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  et une perméabilité  $K_1 = 1.28 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ .

Le deuxième présente une pente plus faible ( $C_2 = 0.52$  m) et donc une transmissivité plus élevée  $T_2 = 7.06 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $K_2 = 2.8 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ .

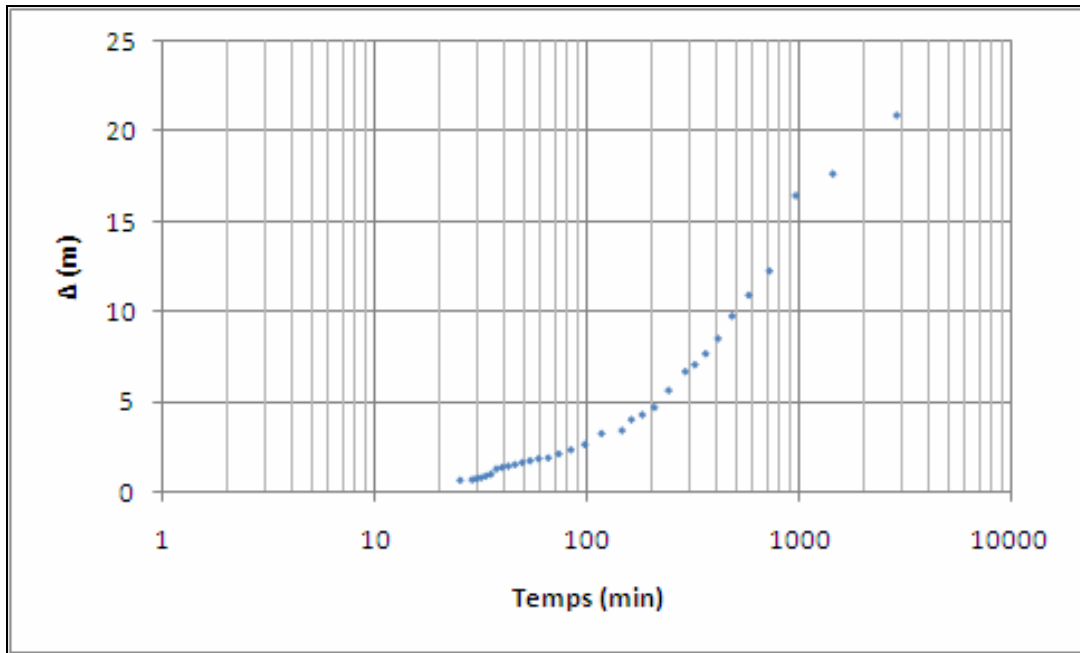
Le troisième donne une pente ( $C_3 = 1.32$  m),  $T_3 = 2.8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  et une perméabilité  $K_3 = 1.2 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$  ;

Comme le montre la courbe de descente, ces différentes valeurs témoignent de l'hétérogénéité du réservoir liée aux fissures plus ou moins ouvertes et plus ou moins colmatées par les argiles de décalcification. Elles témoignent probablement aussi d'une variation des caractéristiques pétrophysiques du réservoir ou encore, ce qui est moins plausible d'une limite étanche qui correspondrait à une lentille argileuse. Les valeurs de perméabilités obtenues par nos prédécesseurs qui évoluent entre  $0,9 \cdot 10^{-4}$  et  $6,6 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$  mettent également en évidence l'hétérogénéité du réservoir.

Quoi qu'il en soit, la transmissivité moyenne obtenue est de l'ordre de  $3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  avec une perméabilité moyenne  $K_m = 1.76 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ .

#### **b- Courbe de remontée de Theis :**

La remontée a été mesurée pendant deux heures car plus rapide que la descente. Dans les dix premières minutes, le niveau d'eau augmente de plus de 14 m. la droite donne une pente de 14.21 m, ce qui correspond à une transmissivité de  $0.25 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  et une perméabilité  $K_1$  égale à  $1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ .



**Figur 50 :** Courbe de remontée dans le forage Khelif mounnia F2.

Après 10 min la remontée détermine une droite de pente  $C = 1,16\text{m}$ , une transmissivité de  $3,13 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  et une perméabilité  $K_2 = 1.25 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ .

Ces valeurs qui sont assez comparables avec celles obtenues avec la courbe de descente sont plus représentatives et cadre bien avec les résultats obtenus par Pradines et Schrambach.

### **3.1.10 Mode de fonctionnement de la nappe des calcaires :**

L'Alimentation direct se fait principalement par l'impluvium qui correspond à la totalité des affleurements calcaires.

L'eau de pluie alimente la nappe par les affleurements suivant les conditions climatiques et assure le remplissage et le renouvellement des eaux de la nappe. Cette alimentation est variable suivant la nature du faciès mais aussi suivant la densité du réseau de fissures et certains joints de stratification. Ces éléments structuraux développent des vides plus ou moins tapissés de matériaux argileux suivant l'importance de la circulation de l'eau.

Cette infiltration s'effectue également par le biais de micro ruissellement travers la surface de la masse calcaire fissurée.

La présence d'exutoires par diffusion de l'eau dans les formations reposant en biseau sur la dalle des calcaires prouve aussi qu'il doit exister de nombreuses pertes entre ces formations perméables et la masse calcaire. Si une bonne partie des eaux s'infiltré, on peut observer de nombreuses venues d'eau le long du contact alluvions - calcaires.



La surface des calcaires montre souvent une karstification de surface (lapiaz), les gouffres sont une exception et ne débouchent pas sur un réseau souterrain organisé. Tout ceci permet une infiltration assez rapide, avec une action limitée de l'évapotranspiration.

De même, la couleur blanche des calcaires contribue à un emmagasinement de chaleur relativement faible qui limiterait l'évaporation. Le coefficient d'infiltration devrait donc être assez élevé.

On constate également une alimentation indirecte du réservoir calcaire qui s'effectue par l'intermédiaire des eaux de surface au niveau de son contact dans sa partie amont avec l'Oued Sly. L'alimentation indirecte s'effectue également par le biais des autres aquifères en relation hydraulique avec les calcaires, c'est particulièrement le cas dans le secteur d'Oum Drou où les calcaires sont surmontés par des argiles graveleuses semi perméables ou bien sur la bordure de l'Ouarsenis où le pliocène disparaît complètement et le quaternaire vient recouvrir directement les calcaires ou encore au Nord Est où les calcaires sont en contact avec les grès. Par ailleurs, la faille de bordure orientée NE-SW qui limite les alluvions des calcaires met en relation l'aquifère des alluvions et celui des calcaires. Ces différentes situations auront un impact direct sur la minéralisation des eaux des calcaires.

L'alimentation de ce réservoir carbonaté étant irrégulière, suivant l'état du réservoir et suivant l'importance des apports, la nappe ne réagira pas de façon uniforme.

Lors des crues souterraines consécutives à des orages, la circulation se fera à travers toutes les ouvertures avec un régime turbulent. En période de décrue, l'écoulement s'effectuera plus lentement, avec drainage des zones poreuses, des fissures fines et par écoulement mixte.

Généralement le caractère dominant est l'irrégularité des vitesses de circulation de l'eau en fonction de la pente mais aussi de l'ouverture plus ou bien grande des discontinuités tectoniques. Le caractère karstique admettra des variations très importantes.

L'écoulement général est Sud Est – Nord Ouest. Le phénomène est bien marqué avec l'oued Sly, puisque ce dernier draine la nappe des calcaires en aval après l'avoir alimentée en amont imposant ainsi à la nappe une pente légèrement inférieure à celle de l'oued. Selon Schrambach (1964), dans la nappe en dehors des oueds, les conditions aux limites sont telles que la pente ne peut être qu'inférieure à celle des oueds, cet auteur donne ainsi des valeurs de pente respectivement de 0,3% et 0,2% à l'oued Sly et l'oued Rhiou et la pente de la nappe serait tout au plus située entre 0.3% et 0.2%.

La descente de l'eau à travers la masse calcaire s'effectue par les fissures, le pendage des couches aquifères devrait permettre aux joints de stratification de jouer un rôle

prépondérant. Les écrans marneux, par contre, sont efficaces et ce sont eux qui expliquent les sources qui couronnent les sommets, au Sud, et les résurgences, après les pluies, sur les versants.

La nappe des calcaires présente une superficie affleurante de 140.8 Km<sup>2</sup>, elle reçoit une pluviométrie moyenne de 318 mm/an, avec une infiltration minimum de 26.8 mm, ce qui donne un volume moyen annuel brute (sans tenir compte de l'alimentation indirecte) de :

$$V = 140.8 \cdot 10^6 * 0.318 * 0.09 = 4.03 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}, \text{ soit } 4.03 \text{ hm}^3/\text{an}.$$

Selon Sogréah 1984, le réservoir présenterait une potentialité en eau de l'ordre de 12 hm<sup>3</sup>/an, c'est-à-dire trois fois supérieure à nos résultats.

Nous ne pouvons pas discuter cette conclusion car ne connaissant pas les éléments pris en compte par Sogréah pour parvenir à ses propres conclusions.

En revanche et pour ce qui nous concerne, nous considérons que 4.03 hm<sup>3</sup>/an ne constitue qu'un minimum car :

- ✓ Le coefficient d'infiltration direct estimé à 26.8 mm/an peut être fortement majoré au niveau des secteurs où la densité de la fissuration est importante et où existent des formes karstiques de surface. Les eaux de pluie sont alors piégées et s'infiltrent directement dans la masse calcaire. Dans ces zones, le coefficient d'infiltration peut dépasser 80% des apports pluvieux.
- ✓ les apports indirects difficiles à quantifier ne sont pas pris en compte.

Si l'on souhaite atteindre plus de précision dans l'évaluation de la ressource et faute d'existence d'une source qui drainerait cet ensemble, il faudra à l'avenir délimiter ces zones à fortes perméabilités par exemple à partir de photographies aériennes et estimer les apports indirects.

### **3.2 La nappe des grés et sables astiens :**

Cette nappe se trouve sous forme libre ou captive ; sa partie libre est connue par le déversement de plusieurs sources situées dans les collines bordant la plaine du côté nord.

Le caractère captif se trouve ici entre deux horizons marneux (anticlinal de Medjadja et son flanc, sous la plaine de Mouafkia et dans le synclinal Medjadja – Ouled Farés) forages (MCO5, Medina et Chebairia).

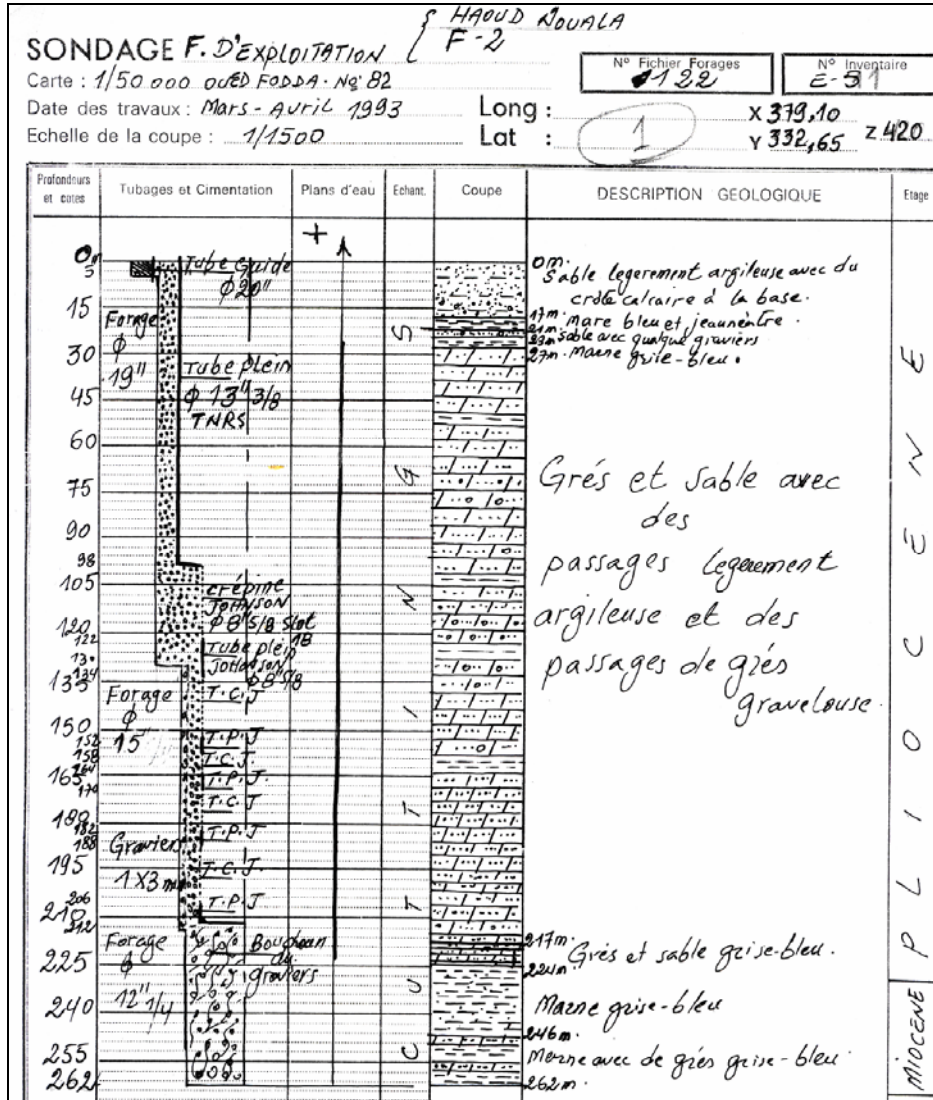
La nappe se situe à une profondeur minimum de 100 mètres au centre de la plaine de Mouafkia où elle atteint son épaisseur maximum (200 à 320 mètres). Elle s'amincit vers les bordures et disparaît complètement au sud des montagnes rouges.

C'est une nappe peu exploitée, son alimentation est assurée par infiltration des eaux pluviales dans les terrains du Pliocène inférieur au niveau du bassin hydrogéologique qui correspondant sensiblement aux crêtes des Medjadja et des montagnes rouges.

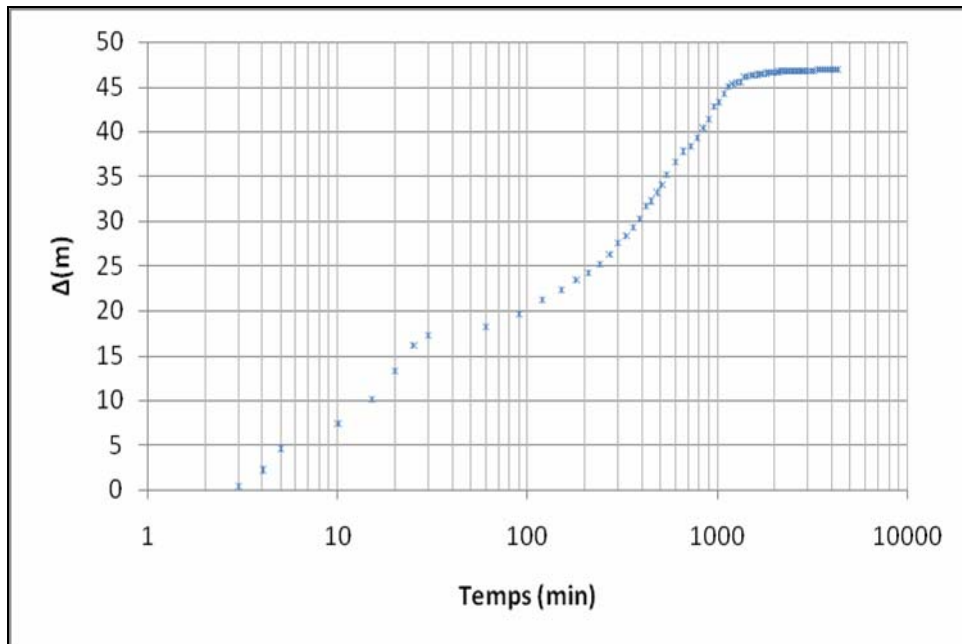
**3.2.1 Les caractéristiques hydrodynamiques**

**Essai de pompage :**

En juin 1993, un essai de longue durée (72h) a été exécuté sur le forage Haouda Nouala F-2 avec un débit de 12 l/s (figure 51) les données dans le tableau 5 en annexe II).



**Figure 51:** Log lithologique des forages (Haoud Nouala).



**Figure 52 :** Courbe de descente dans le forage Haouda Nouala.

La droite représentative de la descente est caractérisée par 2 segments de pentes différentes :

Le premier se caractérise par une pente ( $C_1 = 9.76 \text{ m}$ ) et qui correspond à une transmissivité  $T_1 = 0.23 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  et une perméabilité  $K_1 = 1.1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ .

Le deuxième présente une pente ( $C_2 = 20 \text{ m}$ ) et donc une transmissivité  $T_2 = 0.11 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $K_2 = 0.5 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ .

D'après les essais de pompages effectués en 1973-1976, sur le forage MCO5, La perméabilité de cette couche est de l'ordre  $10^{-6}$  à  $10^{-4} \text{ m/s}$  et la transmissivité de l'ordre de  $8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ .

La potentialité en eaux de cette nappe est estimée à  $3 \text{ Hm}^3/\text{an}$  selon Sogreah(1984).

### **3.3 Grés, conglomérats et sables villafranchien:**

Cette formation est représentée par des sables et grés rouges en moyenne d'une cinquantaine de mètres d'épaisseur avec des passages conglomératiques et des marnes forage MCO5 bis qui capte cette formation entre 100 et 216 m.

Elle est d'origine alluvionnaire et se trouve en bordure de la rive droite de la vallée du Cheliff et au Nord de la ville de Chlef, dans la montagne rouge.

### **3.4 Alluvions quaternaires :**

La plaine du moyen Cheliff est couverte par des limons qui s'étendent sur toute la plaine et la superficie des zones basses.

Sur la bordure Sud de la plaine, les limons sont peu épais et s'approchent du lit actuel. Au Nord de l'Oued, son épaisseur devient plus importante. Elle est très développée dans la région de Kherba.

Ces limons sont constitués de matériaux fins et de petites lentilles sableuses séparées par des zones plus argileuses, formant la nappe superficielle du Chélif contenue dans le quaternaire récent.

Sous les limons se trouvent les alluvions grossières disposées en plusieurs horizons et déterminent la nappe profonde du Chélif.

La lithologie de cet ensemble se caractérise au sommet par une sédimentation où prédominent les éléments fins, en dessous viennent des sédiments grossiers puis une série de sédiments fins avec quelques passages grossiers.

L'épaisseur totale de ces horizons peut atteindre 300 à 400 m (Forage MCO6).

Les deux nappes superficielles et profondes forment une seule unité hydrogéologique, car à la mise en exploitation de la nappe profonde, l'eau de cette nappe draine probablement aussi la nappe superficielle.

Cette unité hydrogéologique à caractère captif devient libre sur les bordures de la plaine.

## **1 - Piézométrie :**

### **1.1 Introduction :**

Cet aquifère s'étend entre deux seuils celui de Ponteba à l'Est et celui de Kherba à l'Ouest ; il s'étale entre les crêtes des monts rouges et les plateaux de Chlef.

Cet aquifère qui se présente sous forme d'une bande élargie sur la ligne d'Ouled Farés se montre peu épais à l'Est de Chlef mais large à l'Ouest, notamment en rive droit de l'oued Cheliff.

Pour établir la carte piézométrique de cette nappe, nous disposons de 32 points d'eau pour la campagne d'Avril 2006 (hautes eaux) et 31 points d'eau pour la campagne de septembre 2006 (basses eaux). Les données utilisées sont reportées dans le tableau 6 en annexe II.

Le tracé des courbes isopièzes a été établi en supposant que les différentes formations étaient en continuité hydraulique.

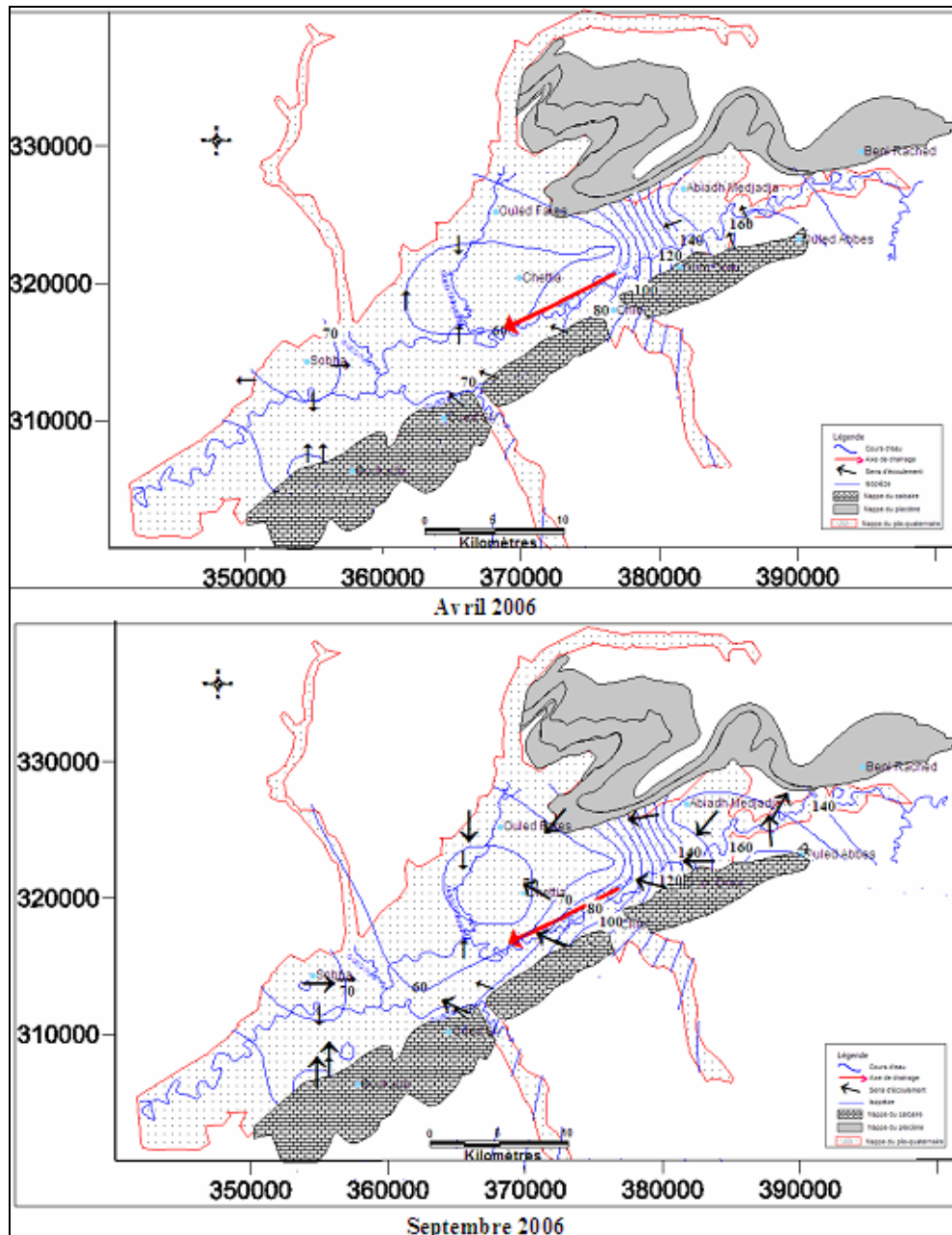


Figure 53 : Cartes piézométriques des hautes et basses eaux (avr- sept, 2006).

### 1.2 Interprétation des cartes piézométriques :

Les cartes piézométriques montrent globalement la même morphologie de la surface piézométrique.

A l'Est, les courbes isopièzes sont resserrées, elles traduisent l'existence d'un gradient hydraulique élevé qui atteint 1.08 %. Ce resserrement indique une pente croissante de la surface piézométrique, la vitesse de circulation de l'eau y est maximale.

Dans la partie nord - est, les courbes isopièzes présentent des dépressions hydrauliques liées à des pompages intensifs à ce niveau.

Au centre de la plaine, les isopièzes sont plus espacées et concaves vers l'amont caractérisant ainsi un écoulement divergent et un gradient hydraulique beaucoup plus faible de l'ordre de 0.2 % traduisant un écoulement lent.

L'existence d'un dôme piézométrique en Nord serait probablement du au rehaussement du substratum mais aussi à la réinfiltration des eaux d'irrigation.

A l'Ouest, La situation s'inverse indiquant un écoulement convergent avec un resserrement des isopièzes vers l'aval. L'intervalle moindre entre les isopièzes traduit une augmentation de la pente et donc un ralentissement à l'amont (seuil).

Au sud du bassin, la configuration des courbes isopièzes indique une alimentation de la nappe alluviale à partir des calcaires à lithothamnium.

Au Nord, les argiles sableuses du Pliocène supérieur (Sud des montagnes rouges) faiblement perméables constituent une zone semi perméable qui permettrait une relation hydraulique entre la première nappe du synclinal de Mouafkia et la nappe alluviale. Il en est de même des grès astiens en contact par faille avec les alluvions (figure n°23, p : 49).

On constate donc que les écoulements souterrains de la nappe alluviale s'effectuent des bordures (essentiellement Sud) vers l'axe central de la vallée puis prennent une direction Est - Ouest à SE -NW parallèlement à l'axe principal de l'oued Cheliff.

Ces écoulements sont conditionnés par la structure géologique du bassin et par les variations de faciès. En plus d'une alimentation directe par les eaux de pluie, Il existe une alimentation indirecte de la nappe par la bordure Sud (à partir des calcaires à lithothamnium) qui est plus importante que celle provenant de la bordure Nord Nord Est à partir des aquifères du pliocène.

## **2. Caractéristiques hydrodynamiques**

### **1. Etudes antérieures :**

Pour la région du moyen Cheliff occidental, beaucoup d'essais de pompage ont été réalisés suivant plusieurs étapes ; L'étude de 1977 entrepris par D. Pradines grâce à des essais du pompage (compte rendu de forages n° 77.SHYG.18), Schrambach (étude n° 33/GE ; 1966) ; donne les résultats suivants :

**Tableau 30 :** Résultats des essais de pompages des études antérieures pour la nappe alluviale.

Nom du forage	Formation captée	Débits (m <sup>3</sup> /s)	K (m/s)
MCO 5 Ter	Alluvions grossières du quaternaire moyen - ancien	30	Remontée : 0.05 .10 <sup>-2</sup> Descente : 2.3 .10 <sup>-3</sup>

MCO 4	Alluvions grossières	25	0.6 .10 <sup>-4</sup>
-------	----------------------	----	-----------------------

## 2. Essai de pompage :

Le forage MCO6 ter capte entre 94 et 152 m de profondeur, les alluvions grossières sont intercalées de couches plus argileuses.

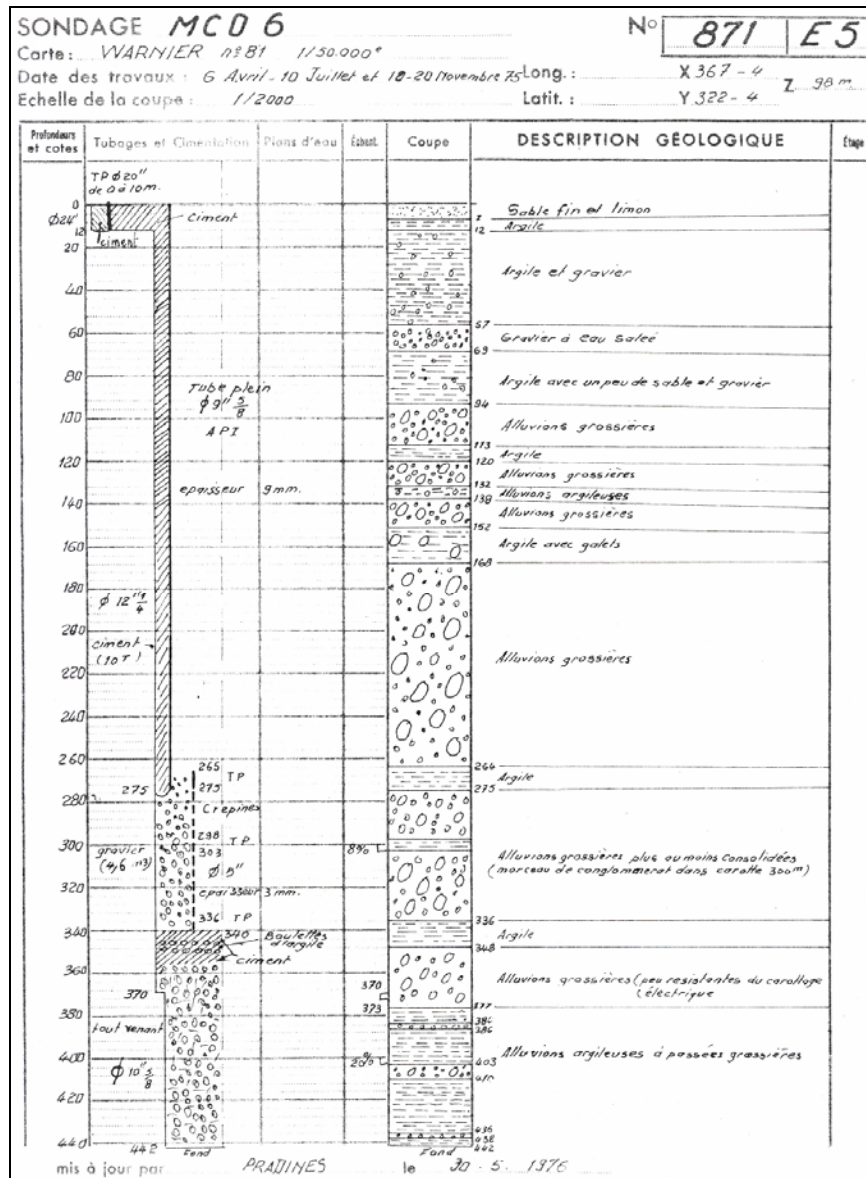
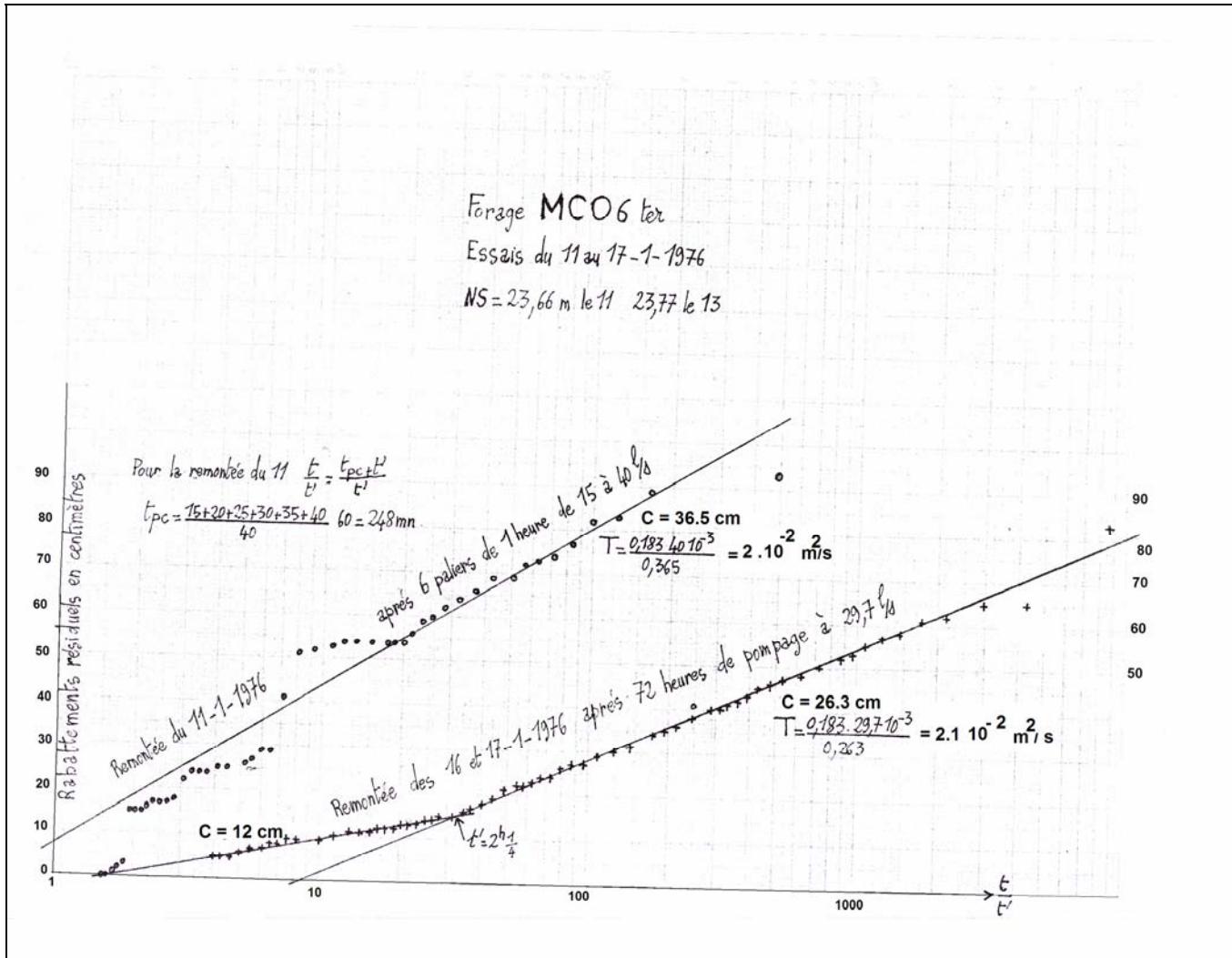


Figure 54 : Log lithologique des forages (MCO6).

La figure montre la remontée après essai par paliers et la remontée après l'essai de 72 heures mesurée pendant 24 heures.





**Figure 55 :** Courbe de remontée dans le forage MCO6 ter(D/ Praddine, 1976).

Les deux remontées donnent 2 à  $2.1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$  pour valeur de la transmissivité de la nappe autour du forage.

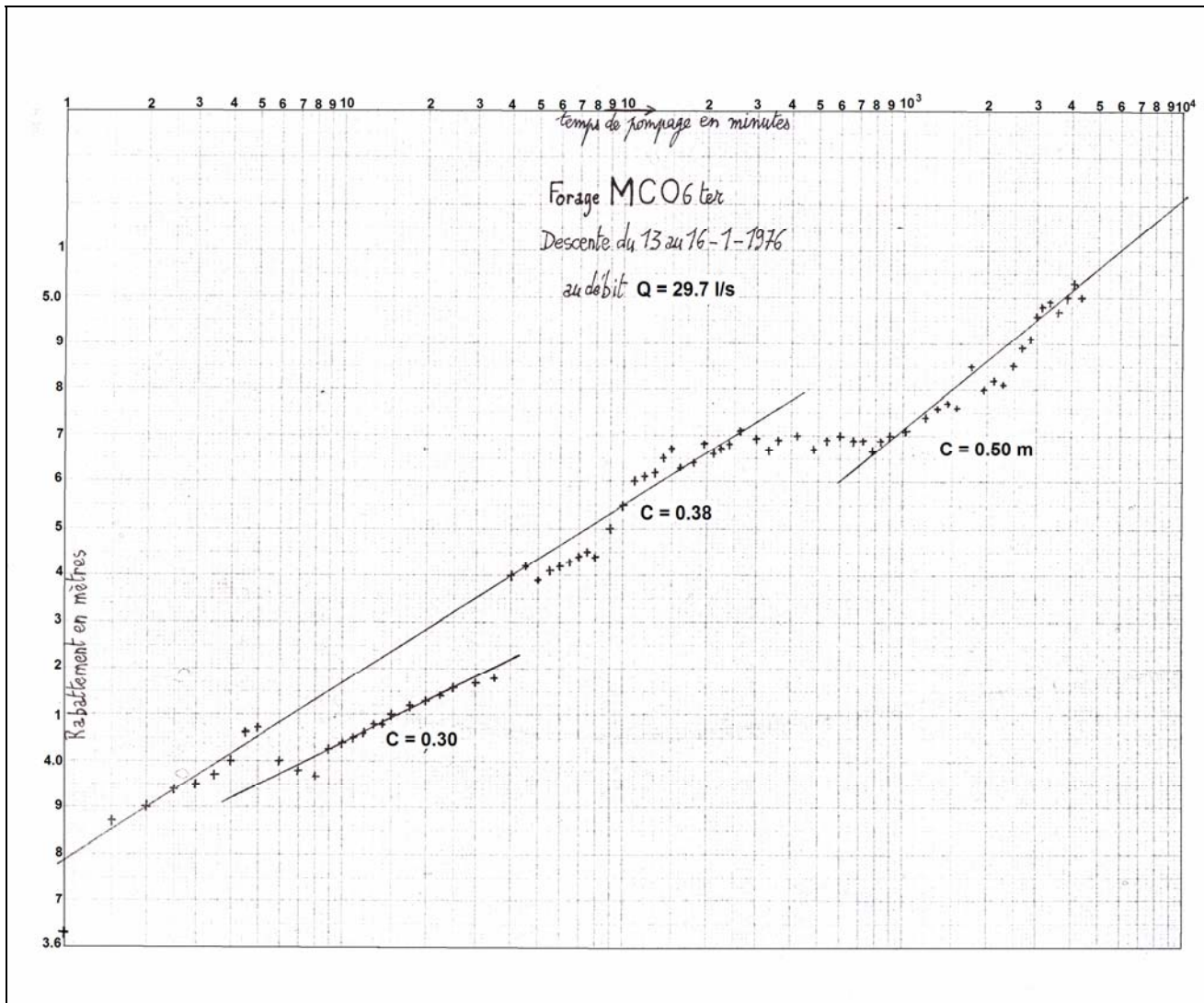
Au bout de  $2h \frac{1}{4}$ , la remontée après l'essai à débit constant se fait suivant une droite de pente  $C = 12 \text{ cm}$  contre  $C = 26.3 \text{ cm}$  pour le début. Ceci traduit, une augmentation de transmissivité où du coefficient d'emmagasinement à une certaine distance du forage : cela peut être le passage d'une nappe captive au centre de la plaine à une nappe libre à la bordure.

La descente de 72 heures est moins régulière que la remontée à la suite des perturbations introduites par des variations de débit, à cause des pertes de charge quadratiques.

Pendant les premières heures, on remarque des segments de droite de pentes voisines de celle du début de la remontée, 30 et 38 cm contre 26.3 cm (figure 55 et 56).

Après ce début de descente, on observe une stabilisation du niveau dynamique ; ensuite la descente reprend avec une pente plus forte que celle du début :  $C = 50 \text{ cm}$ .

La stabilisation du niveau est trop complète pour pouvoir être attribuée à une augmentation de la transmissivité.



**Figure 56:** Courbe de descente dans le forage MCO6 ter(D/ Praddine,1976).

Elle traduit un effet d'alimentation et comme l'oued Ouahrane est isolé de la nappe par une épaisseur d'argile et de limon trop grande pour pouvoir jouer ce rôle. C'est certainement une augmentation du coefficient d'emmagasinement qui se manifeste.

La pente de la fin de la descente plus forte que celle de début, traduit une diminution de la transmissivité à grande distance du forage où une limite étanche.

En général, les transmissivités des alluvions varient entre  $2 \cdot 10^{-2}$  à  $7 \cdot 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s.

Les zones les plus transmissives sont situées aux jonctions des oueds (Sly, Ouahrane et Ras) où les alluvions sont bien développées et constituées essentiellement par des éléments grossiers dont l'épaisseur atteint un maximum entre 300 et 400 m (Forage MCO6).

Vers l'extrémité Ouest de la plaine, dans les plaines de Boukadir et Sobha, la transmissivité diminue, peut être en raison de la lithologie des alluvions dans ces secteurs qui en majorité admettent des teneurs plus importantes en particules fines (argile + sable) avec quelques petits passages graveleux.

La potentialité en eau de cette nappe est estimée à 11 Hm<sup>3</sup>/an selon Sogreah (1984).

#### 4. Conclusion :

L'aperçu hydrogéologique de l'ensemble du moyen Cheliff occidental montre qu'il renferme de bons réservoirs aquifères en particulier :

- ✓ Les calcaires à lithothamnium.
- ✓ Les grès astiens marins et les sables dunaires à Hélix.
- ✓ Les alluvions grossières du Cheliff et des affluents et le complexe quaternaire ancien.
- ✓ Et probablement aussi les grès, conglomérats et sables du villafranchien.

La formation des calcaires à lithothamnium, même limitée dans l'espace, renferme une nappe d'eau souterraine qui constitue un potentiel intéressant. Les données de forages, la morphologie karstique de surface, les cheneaux karstiques et un important réseau de fissures sont autant d'éléments qui militent en faveur d'un bon réservoir aquifère.

L'établissement de la carte piézométrique pour la nappe du plio-quaternaire a permis de mettre en évidence un axe de drainage principal de direction E-W à SE - NW, coïncidant avec la direction de l'écoulement principal de l'oued Chellif. En plus d'une alimentation directe par les eaux de pluie, il existe une alimentation indirecte de la nappe par la bordure Sud (à partir des calcaires à lithothamnium) qui est plus importante que celle provenant de la bordure Nord Nord Ouest à partir des aquifères du pliocène.

L'interprétation des essais de pompage a permis de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques (Tet K) de chaque nappe.

La transmissivité moyenne obtenue pour la nappe du calcaire est de l'ordre de  $3 \cdot 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s avec une perméabilité moyenne  $K_m = 1.76 \cdot 10^{-5}$  m/s. Celles de la nappe des grès et sable du pliocène marin sont respectivement de l'ordre de  $8 \cdot 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s et  $10^{-6}$  à  $10^{-4}$  m/s. En général, les transmissivités des alluvions varient entre  $2 \cdot 10^{-2}$  à  $7 \cdot 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s traduisant l'hétérogénéité du réservoir.

## Chapitre 5 Hydrochimie

### 1. Introduction :

L'étude hydrochimique permet de mettre en évidence :

- Les relations pouvant exister entre l'eau et les formations qu'elle traverse.
- De déterminer les intercommunications possibles entre les différents aquifères.
- D'approcher l'origine des eaux ainsi que leur potabilité.

En raison des données disponibles, nous tenterons d'examiner dans ce chapitre en détail la nature des eaux de la nappe des calcaires à lithothamnium. Les deux autres nappes (alluvionnaire, grés et sable marin) le seront moins.

Les analyses effectuées sur 62 et 27 échantillons pour deux périodes (hautes et basses eaux) au laboratoire de chimie des eaux de l'A.N.R.H (Blida) ont donné les résultats figurant dans les tableaux en annexe III.

### 2. Hydrochimie des calcaires à lithothamnium :

Nous disposons de dix sept (17) analyses des eaux qui intéressent six (6) forages et onze (11) puits domestiques pour la période des hautes eaux et uniquement de sept (7) analyses pour cinq (5) forages et deux (2) puits pour la période des basses eaux.

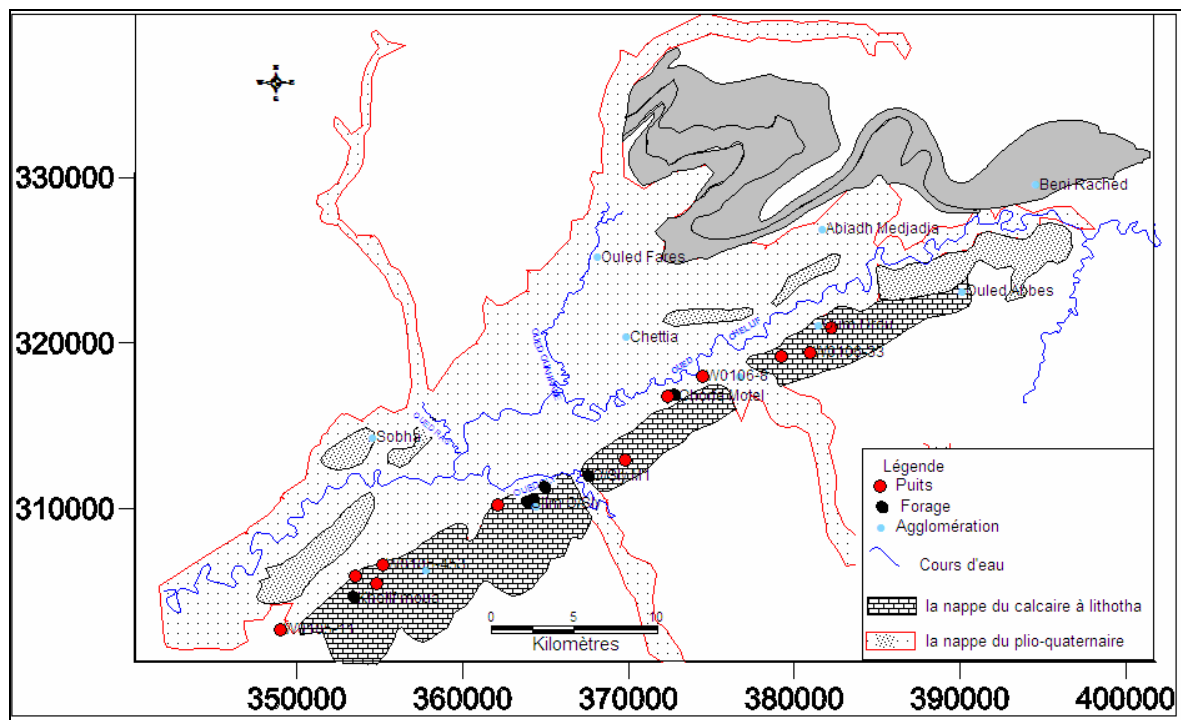


Figure 57 : Plan d'échantillonnage (Hautes eaux)

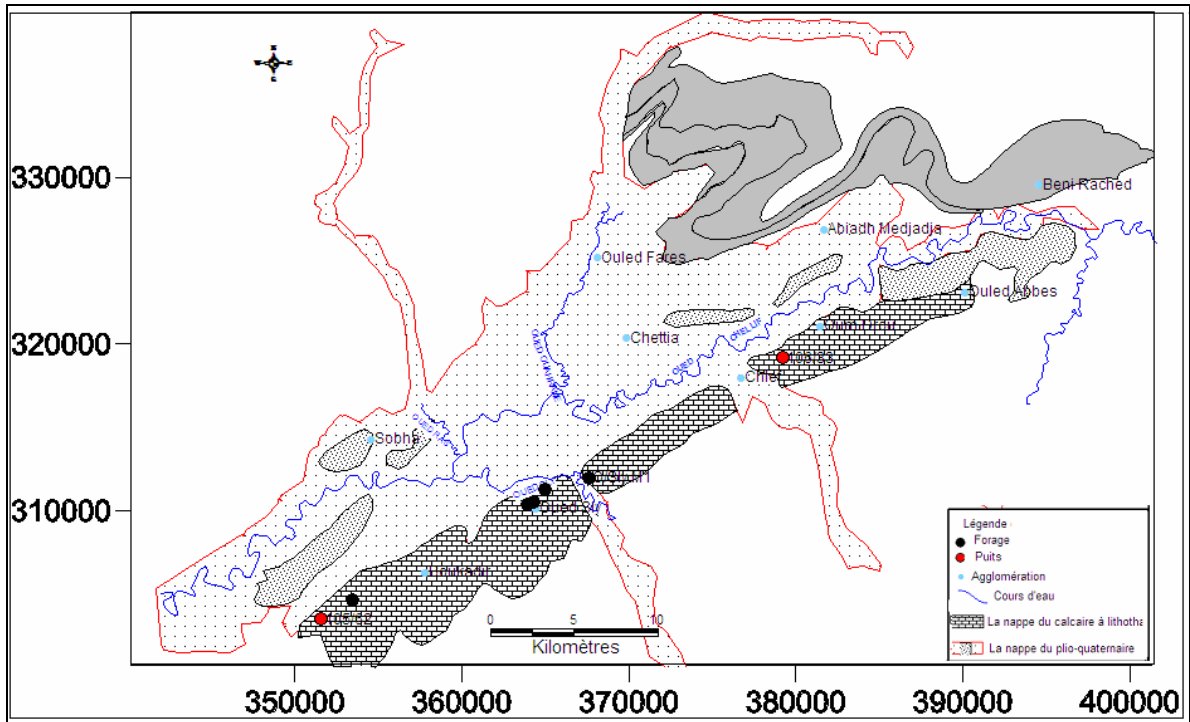
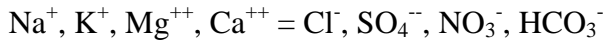


Figure 58 : Plan d'échantillonnage (Basses eaux)

**2.1 Présentation des résultats :**

Les ions les plus abondants dans les eaux se réduisent à 4 cations et 4 anions



L'unité la plus répandue pour l'expression des résultats est le milligramme par litre .

$$m\acute{e}q/l = \frac{Masse(mg/l) \text{ de l'élément considéré}}{Equivalent \text{ chimique de l'élément}} \dots\dots(32)$$

La différence susceptible d'apparaître tient essentiellement aux erreurs commises sur chaque dosage ; plus cet écart est faible, meilleure sera la fiabilité des résultats. La valeur de l'écart ne doit cependant pas dépasser 5 %.

Les analyses des échantillons non conformes à ces conditions doivent être éliminées.

La précision de l'analyse de l'eau est vérifiée par le calcul du pourcentage d'erreur selon la formule suivante :

$$E = \frac{E_r^+ - E_r^-}{E_r^+ + E_r^-} \times 100 < 5\% \dots\dots(33)$$

## 2.2 Les caractéristiques physico-chimiques :

### 2.2.1 Conductivité :

Elle varie de 980 à 4140  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La valeur élevée au niveau des forages est observée à Chorfa motel (3530  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) et au niveau des puits à 105/366. On constate que les eaux souterraines sont plus conductrices de part et d'autre de l'oued Sly.

La conductivité augmente vers le Nord et diminue vers le SW où la karstification des calcaires est plus développée.

En général, les valeurs élevées sont localisées dans la zone de l'O. Sly et montrent une évolution générale des bordures Sud vers l'Est du bassin.

La conductivité est élevée en basses eaux, elle varie de 1330  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à 5240  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### 2.2.3 Le pH :

Le pH mesuré donne des valeurs comprises entre 6.92 et 8, en hautes eaux et 7 à 7.6 en basses eaux. Ces valeurs traduisent une eau à caractère neutre à basique.

### 2.2.4 Evolution du chimisme des eaux souterraines dans l'espace :

#### 1. Les teneurs en calcium $\text{Ca}^{2+}$ :

Les teneurs en  $\text{Ca}^{2+}$  s'échelonnent entre 50 à 292 mg/l en hautes eaux et s'échelonnent entre 72 à 184 mg/l en basses eaux, elles sont moins élevées par rapport les hautes eaux. L'examen de la carte des teneurs en cations (figure 1 à 2 en annexe III) montre une variation des concentrations dans l'espace, elle augmente à la rive droite et gauche d'oued Sly vers le Sud Est (dans le milieu fissuré et/ou peu karstifié). Cette minéralisation tient son origine de la matrice calcaire mais également au mélange des eaux avec les apports indirects, ici principalement les eaux de surface à partir de l'Oued Sly. Il peut également provenir par lessivage des sols calco-magnésiens (sols carbonatés où les teneurs en calcaire sont de l'ordre de 20 à 50%) qui se trouvent sur les bordures le long des limites de la nappe alluviale.

#### 2. Les teneurs en magnésium $\text{Mg}^{2+}$ :

Les valeurs les plus élevées s'observent dans la zone d'oued Sly, en rive droite de cet oued on enregistre la teneur la plus élevée au niveau forage Chorfa motel avec 95 mg/l, au puits 105/366 avec 230 mg/l, en hautes eaux et varient entre 28 et 95 mg/l en basses eaux, à l'Ouest, les teneurs sont légèrement plus faibles.

#### 3. Les teneurs en sodium $\text{Na}^+$ :

Les teneurs sont généralement élevées. Ces concentrations s'échelonnent entre 80 mg/l (105/11) et 480 mg/l (forage Chorfa motel) en hautes eaux et s'échelonnent entre 50 et 385 mg/l (O. Sly M1). L'augmentation des teneurs est enregistrée dans la zone d'O. Sly.

La distribution spatiale de ces concentrations ne suit aucune tendance particulière. Les fortes teneurs en sodium peuvent être liées à la présence d'argile (les échanges de base) mais également au mélange des eaux avec les autres nappes. D'autres foyers de pollution peuvent- être énumérés, tels que les dépôts de déchets et des rejets domestiques et industriels.

#### **4. Les teneurs en potassium $K^+$ :**

Les concentrations en potassium varient de 0 à 3 mg/l (au forage Slim O. Sly), à l'exception du puits (106/08) où la valeur est de 15 mg/l en hautes eaux et varient entre 2 et 6 mg/l en basses eaux.

Le potassium est l'élément le moins répandu dans les eaux souterraines. Il accompagne souvent le sodium mais en concentration très faible. Les sources de potassium se distinguent comme suit :

- les gisements des minéraux du potassium sédimentaire tels que les engrais contenant le potassium.
- les déchets industriels et domestiques ainsi que les eaux usées.

Les valeurs élevées s'observent au niveau des puits (origine anthropique).

#### **5. Les teneurs en chlorure $Cl^-$ :**

Les concentrations des chlorures varient entre 160 mg/l (F. Slim O.Sly) et 730mg/l (Chorfa motel) en hautes eaux. Par contre, en basses eaux ; Les plus fortes valeurs en chlorures s'observent généralement au niveau des forages, la teneur maximale se retrouve dans les eaux du forage O.Sly M1 qui atteint une teneur de 750 mg/l; l'augmentation des concentrations est observée à proximité des oueds Tsighaout et Oued Sly (figure 2 et 4 en annexe III).

La carte des teneurs en anions montre une augmentation des concentrations à l'Est et sur les deux rives de l'oued Sly, L'origine des chlorures dans les eaux souterraines peut être de diverses natures.

\* La solubilité et le lessivage des minéraux des roches sédimentaires.

\* L'évaporation intense dans le climat semi- aride.

\*Les concentrations élevées en Cl sont liées principalement à la nature lithologique des faciès marneux qui existent dans la série des calcaires et à l'existence des argiles mais aussi comme pour le sodium au mélange avec les eaux des aquifères en contact avec les calcaires.

L'enrichissement des points d'eau en chlorures est lié à la nature du milieu fissuré et karstifié qui favorise l'infiltration des eaux de pluie, par alimentation indirecte et par retour des eaux d'irrigation chargées en sels solubles vers la nappe. Dans la partie où la karstification est plus développée, on constate des teneurs moins élevées dues à la circulation rapide des eaux souterraines.

## 6. Les teneurs en sulfates $\text{SO}_4^{2-}$ :

Les valeurs en sulfates sont comprises entre 78 et 941 mg/l (Puits105/366) en hautes eaux et sont comprises entre 88 et 600 mg/l en basses eaux; les valeurs élevées sont observées dans les deux rives de l'oued Sly. La présence des sulfates dans les eaux souterraines est due essentiellement à l'apport de cet élément contenu dans les minéraux des différentes roches sédimentaires (Gypse, Anhydrite ...).

Cet apport est conditionné par le degré de solubilité de ces minéraux et le lessivage des roches. Cependant, d'autres sources de sulfates peuvent - être considérées :

\*La dissolution du sulfate de magnésium dans les roches est certaine dans les terrains gypsifères.

\*Dans les régions à faible pluviométrie et à forte évaporation, la teneur en  $\text{SO}_4^{2-}$  est grande.

\*Les rejets des égouts industriels et domestiques, ainsi que les dépôts des déchets entraînés par lessivage.

Les valeurs en sulfates sont élevées sur les deux rives de l'oued Sly confirmant ainsi l'alimentation indirecte de la nappe des calcaires par les eaux superficielles.

## 7. Les teneurs en Bicarbonates $\text{HCO}_3^-$ :

Dans la nappe du calcaire, les eaux souterraines ont des teneurs en bicarbonates assez homogènes, elles sont liées essentiellement au lessivage des calcaires sous l'influence du gaz carbonique.

Un seul point d'eau (puits) présence une teneur anormalement élevée égale à 712 mg/l.

## 8. Les teneurs en nitrates $\text{NO}_3^-$ :

Les concentrations en nitrates varient entre 0 à 150 mg/l en hautes eaux et varient entre 9 mg/l à 52 mg/l (puits 106/33) en basses eaux, sans présenter une tendance particulière.

Ils proviennent de l'agriculture et de l'élevage, et aussi des rejets d'origine domestique et industrielle (eaux usées, résidus de production...).

### 2.2.5 Indice d'échange de base (i.e.b Schoeller) :

C'est le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existants dans l'eau, il est obtenu à l'aide de la relation suivante :

$$i.e.b = \frac{rCl^- - (Na^+ + K^+)}{rCl^-} \dots\dots(34)$$

D'après Shoeller, si :

i.e.b = 0, il ya équilibre entre les compositions chimiques de l'eau et de l'encaissant.

i.e.b < 0, l'encaissant libère le Sodium et le potassium et fixe le calcium.



i.e.b > 0, l'encaissant libère le Calcium et fixe le Sodium et le Potassium.

Les valeurs de l'indice d'échange de base sont mentionnées dans le tableau n°3 en annexe.

La majorité des valeurs sont positives (13 points d'eaux), elles s'échelonnent entre 0.01 à 0.69 indiquant que les eaux souterraines de la nappe échangent les ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  contre les ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  de l'encaissant. Ces échanges révèlent la présence d'argiles dans l'aquifère confirmée par ailleurs par la lithologie des coupes de forages. Tandis que le reste (4 points d'eaux) avec un indice est négatif entre

-0.01 et -0.51 traduit des échanges entre le calcium de l'eau avec le sodium des formations encaissantes.

En basses eaux, les échantillons ont pour la majorité des indices d'échange de base positif, qui varie entre 0,01 à 0,69 et traduisent la substitution du sodium de l'eau par le calcium et magnésium du sol.

### 2.2.6 Indices de saturation :

Le calcul de cet indice permet d'évaluer le taux de saturation de l'eau vis-à-vis des différents minéraux (calcite, dolomite...).

A titre d'exemple pour la calcite, il en est de même pour les autres minéraux :

Si  $SI < 0$ , l'eau est sous saturée ; ce qui signifie que l'eau va dissoudre de la calcite jusqu'à atteindre l'équilibre.

Des valeurs proches de zéro ( $-0.05 < SI < 0.05$ ) sont significatives d'eau en équilibre avec la roche si le temps de résidence est suffisamment long.

Si  $SI > 0$ , l'eau est sursaturée, ce qui signifie que l'eau va plutôt précipiter de la calcite ;

Les calculs des indices de saturation vis-à-vis des principaux minéraux évaporitiques montre une sous-saturation des eaux de la nappe des calcaires (Tableau 3 en annexe III).

Pour la calcite ( $\text{CaCO}_3$ ), neuf (9) échantillons présentent un indice de saturation négatif ; tandis que sept (7) montrent un indice de saturation positif et un seul point d'eau est en équilibre (106/37).

Dans le système carbonaté, la sous-saturation de l'eau circulant sur les calcaires est liée à des temps de résidence courts des eaux en contact avec la roche.

La sursaturation est liée à des temps de résidence longs où à des dégazages dans l'aquifère et aussi, ceci met en évidence une précipitation de la calcite, d'où un enrichissement possible des eaux en bicarbonates de calcium.

On observe les mêmes remarques pour les indices de saturation vis-à-vis la dolomite ( $\text{Ca Mg}(\text{CO}_3)_2$ ), la sur-saturation peut être expliquée par une précipitation avec formation de bicarbonates de magnésium. Même constat pour l'Aragonite.

Les calculs montrent une sous-saturation de tous les points d'eau vis-à-vis du gypse et de l'anhydrite, cela se traduit par une possibilité de dissolution et d'enrichissement les eaux souterraines qui circulent dans les calcaires en  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ .

Les indices de saturation vis-à-vis des principaux minéraux évaporitiques montre une sous-saturation des eaux de la nappe des calcaires en basse eaux pour la majorité des échantillons.

### 2.3 Classification des eaux et représentations graphiques :

#### 2.3.1 Classification des eaux selon STABLER :

La méthode de STABLER consiste à classer séparément les anions et les cations par ordre de valeurs décroissantes (r%) et de déterminer ainsi le faciès chimique.

Les faciès obtenus pour la nappe calcaire avec leurs fréquences :

#### Les hautes eaux :

Chlorure Sodique ; 53 %, Chlorure Calcique ; 11.8 %, Chlorure Magnésium ; 23.5 %, Sulfaté Magnésium ; 5.9 %, Sulfaté Sodique ; 5.9 %.

**Tableau 31** : Classification des eaux de la nappe du calcaire selon Stabler (Hautes eaux).

Faciès chimique	Formule caractéristique	Echantillon	Fréquence
Chloruré Calcique	$rCl^{-}\% > rSO_4^{2-}\% > rHCO_3^{-}\%$ $rCa^{2+}\% > rMg^{2+}\% > rNa^{+}\%$	105/11 ;	11.8
	$rCl^{-}\% > rSO_4^{2-}\% > rHCO_3^{-}\%$ $rCa^{2+}\% > rNa^{+}\% > rMg^{2+}\%$	106/37 ;	
Chloruré Sodique	$rCl^{-}\% > rSO_4^{2-}\% > rHCO_3^{-}\%$ $rNa^{+}\% > rCa^{2+}\% > rMg^{2+}\%$	Sidi Touil ; 105/08 ;	53
	$rCl^{-}\% > rSO_4^{2-}\% > rHCO_3^{-}\%$ $rNa^{+}\% > rMg^{2+}\% > rCa^{2+}\%$	Chorfa Motel ; 106/02	
	$rCl^{-}\% > rHCO_3^{-}\% > rSO_4^{2-}\%$ $rNa^{+}\% > rMg^{2+}\% > rCa^{2+}\%$	105/51 ; 105/83 ; Khelif Moum nia	
	$rCl^{-}\% > rHCO_3^{-}\% > rSO_4^{2-}\%$ $rNa^{+}\% > rCa^{2+}\% > rMg^{2+}\%$	Slim O ; SLY ; Site Sonal gaz	
Chloruré Magnésium	$rCl^{-}\% > rSO_4^{2-}\% > rHCO_3^{-}\%$ $rMg^{2+}\% > rCa^{2+}\% > rNa^{+}\%$	105/366 ; 106/33 ;	23.5
	$rCl^{-}\% > rSO_4^{2-}\% > rHCO_3^{-}\%$ $rMg^{2+}\% > rNa^{+}\% > rCa^{2+}\%$	105/453 ; 106/08 ;	
Sulfaté Magnésium	$rSO_4^{2-}\% > rCl^{-}\% > rHCO_3^{-}\%$ $rMg^{2+}\% > rCa^{2+}\% > rNa^{+}\%$	82/02 ;	5.9
Sulfaté Sodique	$rSO_4^{2-}\% > rCl^{-}\% > rHCO_3^{-}\%$ $rNa^{+}\% > rCa^{2+}\% > rMg^{2+}\%$	O. SLY M1	5.9

Les résultats sont résumés dans le tableau n°31.

On observe donc une tendance générale vers un pôle chloruré.

**Les basses eaux :**

Chlorure Sodique ; 57 %, Chlorure Calcique ; 14.3 %, Sulfaté Sodique ; 14.3 %, Bicarbonaté Calcique ; 14.3 %.

Là aussi la tendance chlorurée est prédominante. Un seul échantillon caractérise le faciès bicarbonaté typique de la circulation des eaux en milieu carbonaté.

**Tableau 32 :** Classification des eaux de la nappe du calcaire selon Stabler (Basses eaux).

Faciès chimique	Formule caractéristique	Echantillon	Fréquence (%)
Chlorure Calcique	$rCl^{-}\% > rSO_4^{2-}\% > rHCO_3^{-}\%$ $rCa^{2+}\% > rNa^{+}\% > rMg^{2+}\%$	106/33 ;	14.3
Chlorure Sodique	$rCl^{-}\% > rSO_4^{2-}\% > rHCO_3^{-}\%$ $rNa^{+}\% > rCa^{2+}\% > rMg^{2+}\%$	Site Sonalgaz ;	57
	$rCl^{-}\% > rSO_4^{2-}\% > rHCO_3^{-}\%$ $rNa^{+}\% > rMg^{2+}\% > rCa^{2+}\%$	O. Sly M1 ;	
	$rCl^{-}\% > rHCO_3^{-}\% > rSO_4^{2-}\%$ $rNa^{+}\% > rMg^{2+}\% > rCa^{2+}\%$	Khelif Moumnia ;	
	$rCl^{-}\% > rHCO_3^{-}\% > rSO_4^{2-}\%$ $rNa^{+}\% > rCa^{2+}\% > rMg^{2+}\%$	Slim O. SLY ;	
Sulfaté Sodique	$rSO_4^{2-}\% > rCl^{-}\% > rHCO_3^{-}\%$ $rNa^{+}\% > rCa^{2+}\% > rMg^{2+}\%$	Sidi Touil ;	14.3
Bicarbonaté Calcique	$rHCO_3^{-}\% > rCl^{-}\% > rSO_4^{2-}\%$ $rCa^{2+}\% > rMg^{2+}\% > rNa^{+}\%$	105/62 ;	14.3

**2.3.2 Classification des eaux de la nappe du calcaire selon le diagramme de Piper :**

Pour la formation du calcaire, des diagrammes de Piper ont été réalisés pour les puits et les forages en hautes et basses eaux, les principaux résultats obtenus sont synthétisés dans les figures 59 et 60.

**Hautes eaux :**

Les analyses disponibles permettent d'individualiser deux principaux faciès :

4 forages et 8 puits sont de type chloruré et sulfaté, calcique et magnésien.

2 forages sont de type chloruré sodique et potassique où sulfaté sodique.

3 puits sont de type intermédiaire de deux types cités précédemment.

Là aussi la tendance chlorurée est prédominante. Un seul échantillon caractérise le faciès bicarbonaté typique de la circulation des eaux en milieu carbonaté.

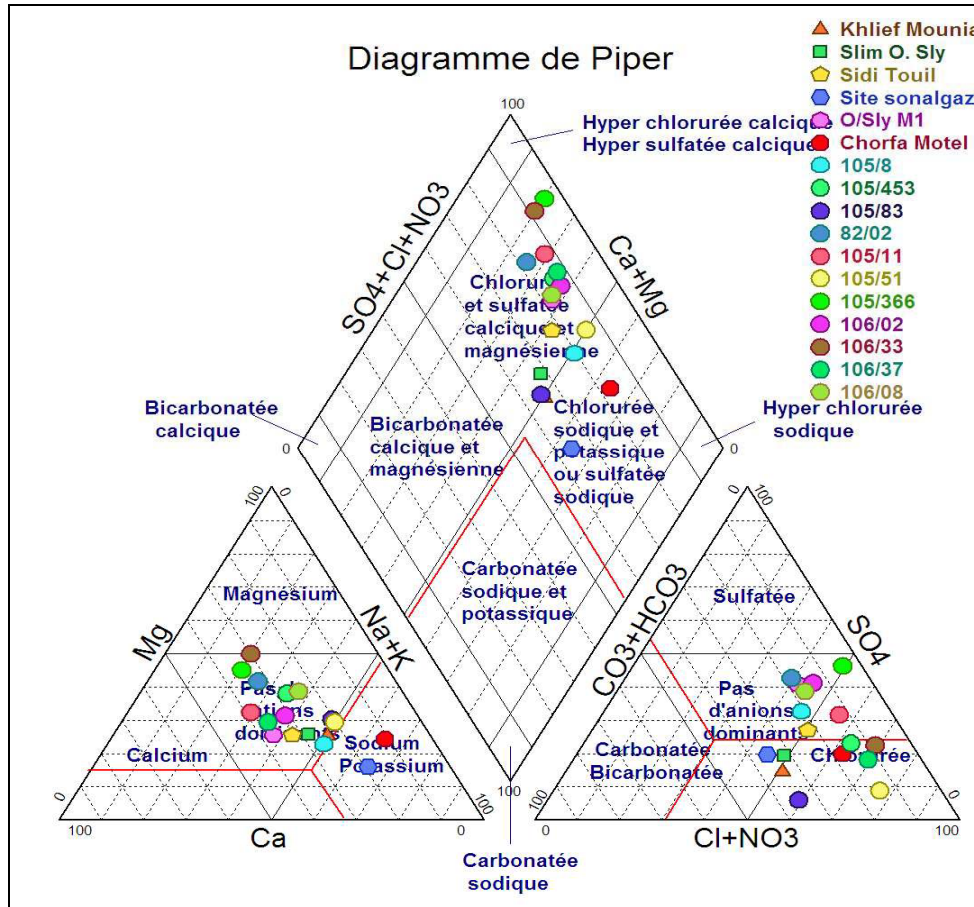


Figure 59 : Diagramme de Piper pour les puits et les forages de la nappe du Calcaire (Hautes eaux).

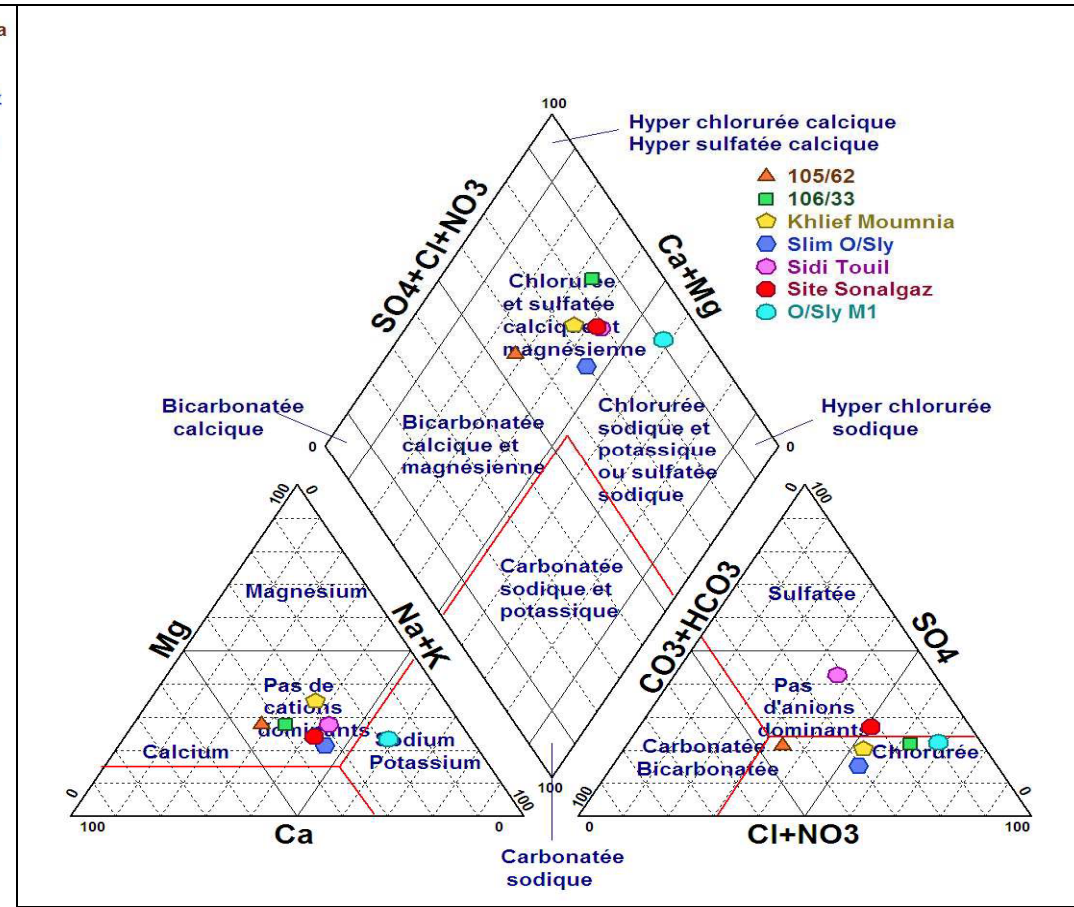


Figure 60 : Diagramme de Piper pour les points d'eau de la nappe du calcaire (Basses eaux)

**Les basses eaux :**

Tous les résultats d'analyses chimiques effectués pour les cinq forages et deux puits montrent que les eaux de la nappe du calcaire aux basses eaux ont un faciès chloruré et sulfaté, calcique et magnésien.

L'examen des triangles indique une tendance générale vers le pôle chloruré.

**2.3.3 Classification des eaux de la nappe selon le diagramme de Schoeller- Berkloff :**

Le diagramme de Schoeller- Berkloff tient compte des principaux anions et cations, il permet de préciser rapidement le faciès chimique des eaux et de comparer entre elles, on peut les classer comme suit :

**Pour les hautes eaux :**

- Faciès chloruré sodique pour les forages Sidi Touil, Khelif Mounnia, Slim O. Sly et Chorfa mortel, site sonalgaz et les puits 105/08 ; 105/83 ; 105/51 ; 106/02.
- Faciès sulfaté sodique pour le forage O. Sly M1.
- Faciès chloruré calcique pour les puits 105/11 ; 106/37.
- Faciès chloruré magnésien pour les puits 105/453 ; 105/366 ; 106/33 ; 106/08.
- Faciès sulfaté magnésien pour les puits 82/02.

**Pour les basses eaux :**

- Faciès chloruré sodique pour les forages O. Sly M1, Slim O. Sly, Khelif mounnia et Site sonalgaz.
- Faciès chloruré calcique pour le puits 106/33.
- Faciès sulfaté sodique pour le forage Sidi Touil.
- Faciès bicarbonaté calcique pour le puits 105/62.

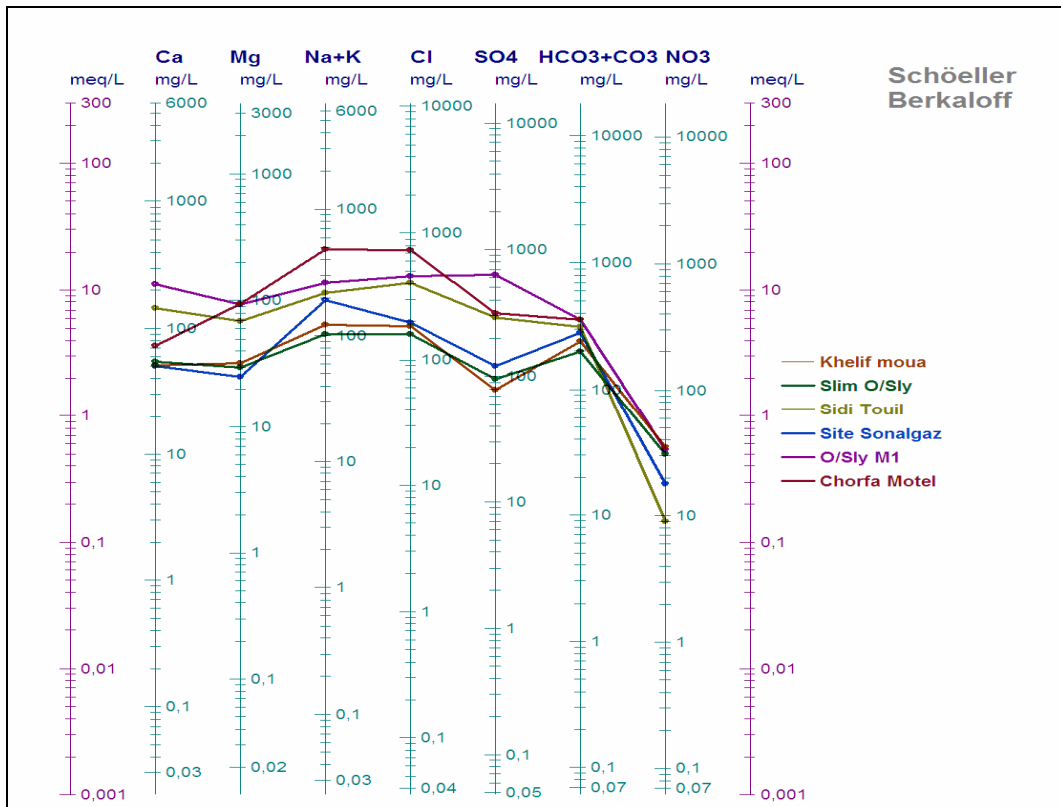


Figure 61 : Diagramme de Schoeller pour les forages de la nappe du calcaire (Hautes eaux).

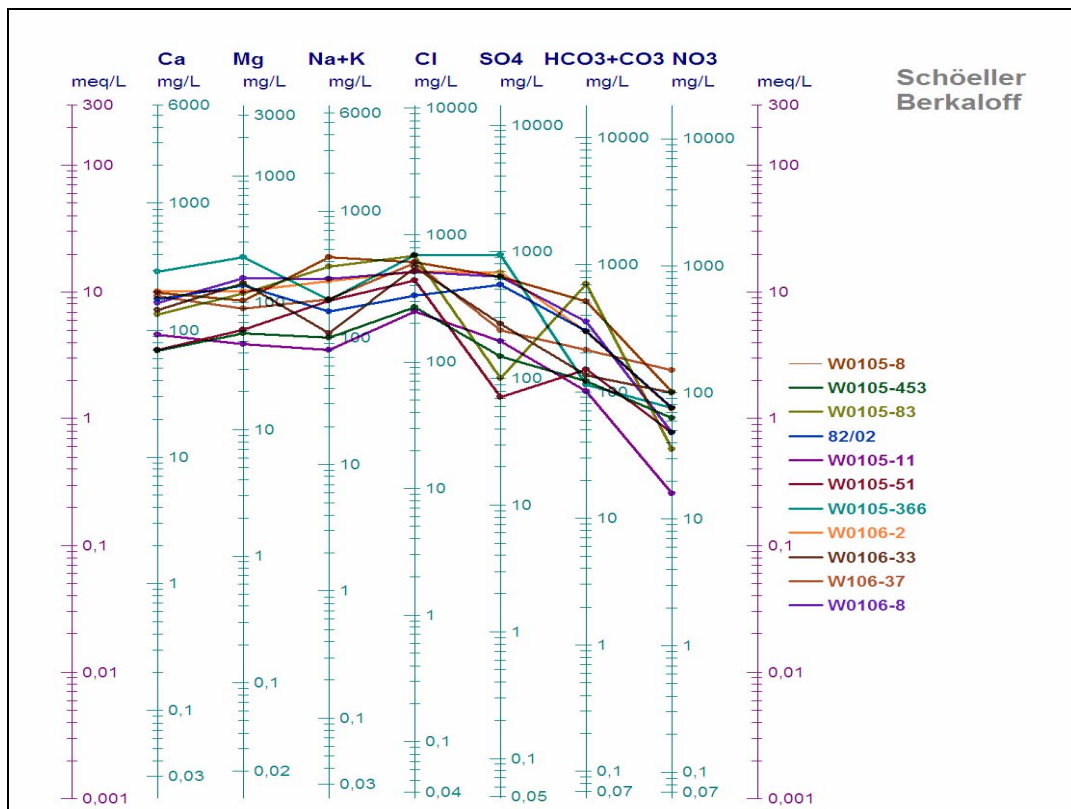
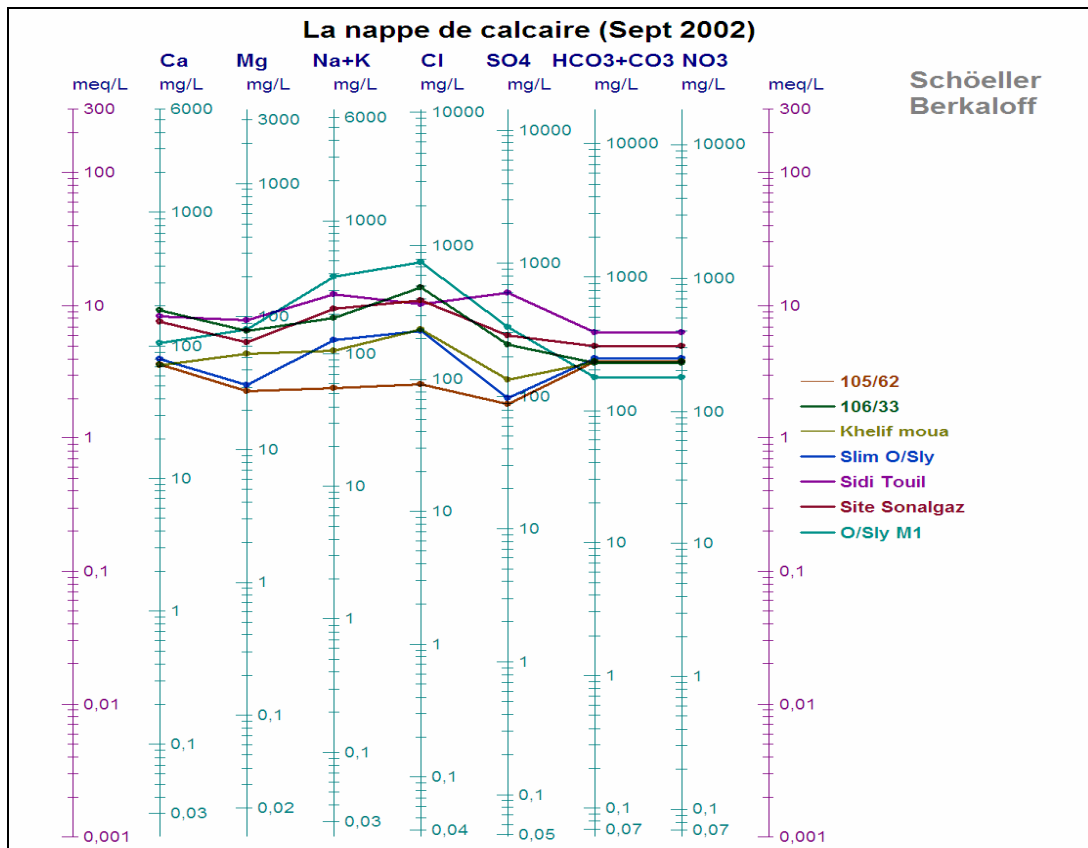


Figure 62 : Diagramme de Schoeller pour les puits de la nappe du calcaire (Hautes eaux)



**Figure 63 :** Diagramme de Schoeller pour les points d’eaux de la nappe du calcaire (Basses eaux).

#### 2.4 L’analyse en composante principales :

L’ACP est une méthode d’analyse statistique multidimensionnelle essentiellement descriptive. il s’agit d’une méthode factorielle et linéaire qui traite des caractères numériques jouant tous le même rôle (Bourouche & Saporta, 1983).

Son objectif est de présenter sous forme graphique le maximum d’informations contenus dans un tableau de données (en ligne les individus, en colonne les variables).

##### 2.4.1 Analyse des données physico-chimiques :

Le traitement des paramètres physico-chimiques des eaux étudiées par l’analyse en composantes principales (ACP) vise non seulement à visualiser les liaisons inter-éléments (de faire ressortir la structure des variables et leurs origines, la répartition des individus, la ressemblance et la dissemblance existant entre eux), mais aussi à appréhender les principaux facteurs qui contrôlent la qualité des eaux.

##### 2.4.2 1’ Analyse de la matrice de corrélation :

Cette méthode met en évidence les liens et les compétitions (oppositions) qui peuvent exister entre les éléments chimiques deux à deux (Tableau 33).

Le tableau montre en gras les valeurs significatives et pour un nombre d’individus  $n = 17$ .

**Tableau 33** : Matrice de corrélation.

Variables	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CE
Ca <sup>2+</sup>	<b>1</b>								
Mg <sup>2+</sup>	<b>0.817</b>	<b>1</b>							
Na <sup>+</sup>	0.260	0.280	<b>1</b>						
K <sup>+</sup>	0.049	0.166	0.080	<b>1</b>					
Cl <sup>-</sup>	<b>0.602</b>	<b>0.719</b>	<b>0.722</b>	-0.020	<b>1</b>				
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	<b>0.884</b>	<b>0.789</b>	0.333	0.182	0.483	<b>1</b>			
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.146	0.109	<b>0.750</b>	0.197	0.411	0.082	<b>1</b>		
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>0.506</b>	0.413	-0.064	-0.075	0.341	0.291	-0.117	<b>1</b>	
CE	<b>0.805</b>	<b>0.833</b>	<b>0.724</b>	0.123	<b>0.885</b>	<b>0.802</b>	0.452	0.339	<b>1</b>

On constate que les variations de la conductivité électrique sont régies principalement par les teneurs en chlorure ( $r = 0.885$ ) et le magnésium ( $r = 0.883$ ). Le calcium, les sulfates et sodium présentent aussi une participation importante dans la minéralisation des eaux analysées ; les coefficients de corrélation sont respectivement de 0.805, 0.802 et 0.724, cette corrélation indique une origine commune.

La contribution des bicarbonates, le potassium et les nitrates est relativement faible par rapport aux autres éléments. Les coefficients de corrélation sont respectivement de 0.452, 0.123 et 0.339.

#### 2.4.3 Analyse graphique :

La projection des variables sur le plan F1-F2 est illustrée sur la figure 64. Les deux axes expriment 72.32% de l'information, ce qui rend la corrélation entre les variables significative.

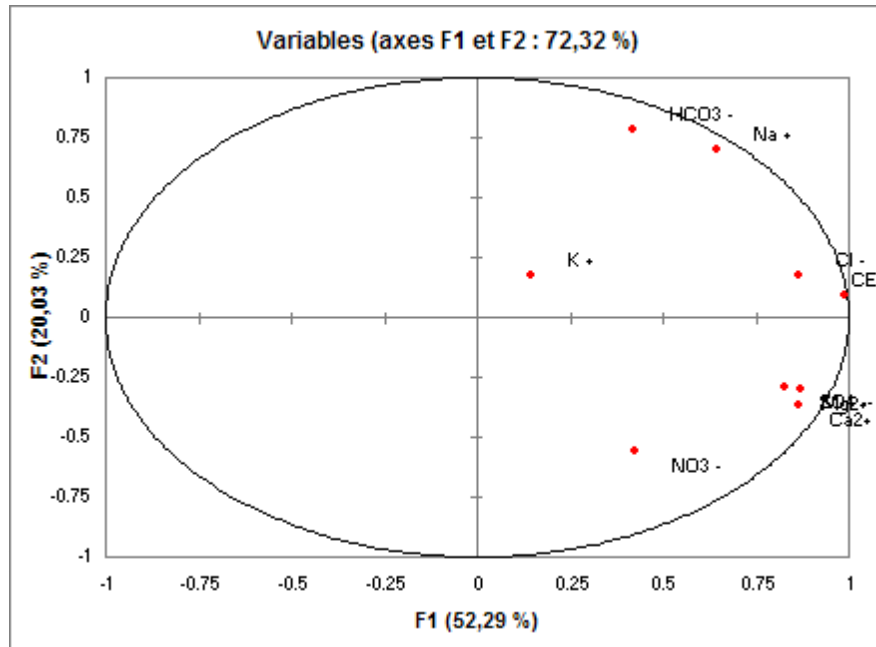
L'axe d'inertie principal F1 exprime 52.29% de la variance. Il est défini positivement par la conductivité électrique, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> et Na<sup>+</sup>.

**Tableau 34** : Corrélations entre les variables et les facteurs :

	F1	F2	F3	F4	F5
Ca <sup>2+</sup>	<b>0.866</b>	-0.366	0.042	-0.095	-0.250
Mg <sup>2+</sup>	<b>0.871</b>	-0.300	0.123	-0.086	0.195
Na <sup>+</sup>	<b>0.643</b>	<b>0.700</b>	-0.164	-0.011	0.040
K <sup>+</sup>	0.147	0.175	<b>0.918</b>	0.294	0.121
Cl <sup>-</sup>	<b>0.864</b>	0.179	-0.272	0.086	0.351
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	<b>0.826</b>	-0.289	0.242	-0.313	-0.199
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.419	<b>0.787</b>	-0.010	0.204	-0.333
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.423	<b>-0.560</b>	-0.241	0.652	-0.098
CE	<b>0.989</b>	0.095	-0.032	-0.056	0.046



L'axe d'inertie F2 exprime 20.03% de la variance ; il est défini positivement par  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$  et négativement par  $\text{NO}_3^-$  indiquant une origine anthropique de cet élément. Le potassium  $\text{K}^+$  est bien défini à l'axe 3 indiquant une origine anthropique.

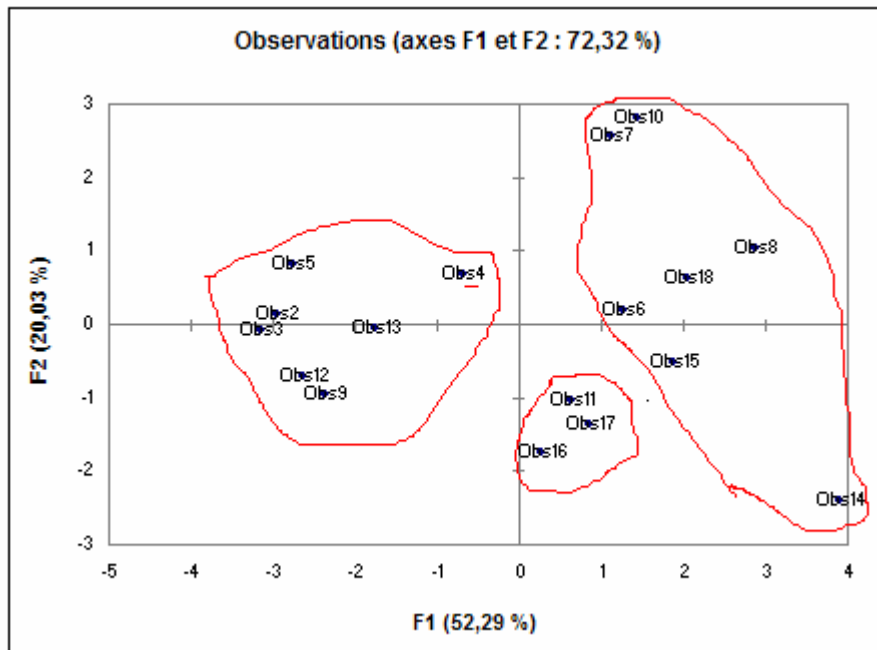


**Figure 64 :** Diagramme des variables (plan I-II) relatif à l'ACP sur les eaux souterraines de la nappe du calcaire.

Dans l'espace des unités statistiques (figure 65), les deux axes F1 et F2 définissent un nuage de points. A partir de ce nuage de point se dessinent trois évolutions. La première évolution tend vers la partie négative de l'axe F1, il s'agit d'un pôle moins minéralisé, ces points d'eaux sont situées dans le milieu karstique où la circulation est rapide.

La deuxième évolution tend vers la partie négative de l'axe F2. Ce sont les eaux les plus minéralisées. Ils représentent les points d'eaux situés dans le milieu fissuré où la circulation des eaux est lente.

La troisième évolution tend vers la partie positive de l'axe F1, il s'agit des eaux intermédiaires entre les plus minéralisées et les moins minéralisées. Ce sont les points d'eaux situés dans un milieu intermédiaire (milieu fissuré et peu karstifié).



**Figure 65 :** Diagramme des individus (plan I-II) relatif à l'ACP sur les eaux souterraines de la nappe du calcaire.

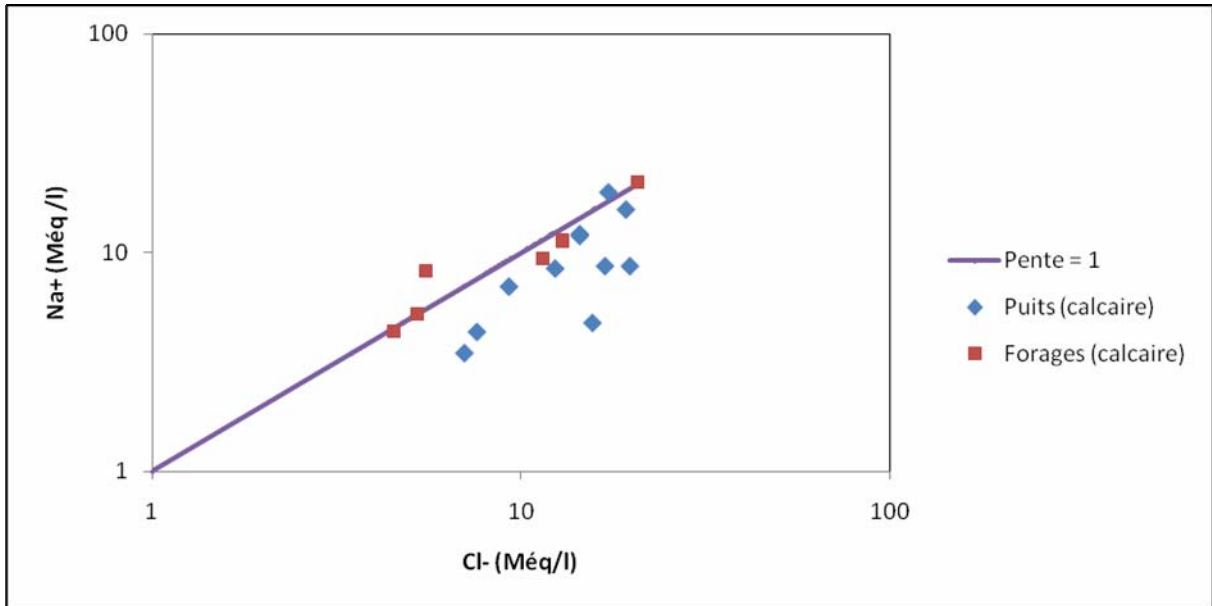
## 2.5 Etude de l'origine des éléments chimiques :

L'évolution du faciès de l'eau dépend des interactions géochimiques entre l'eau et la matrice aquifère. La chimie des carbonates est le principal phénomène d'interaction car la matrice est essentiellement constituée de matériaux carbonatés. Ainsi, le faciès de départ des eaux provient de la dissolution de la calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) avant que n'interviennent les divers processus qui conduisent à la modification du chimisme. Citons principalement les relations hydrauliques avec les eaux de surface et les eaux des autres aquifères, les échanges de bases avec les marno-calcaires et les argiles.

### 2.5.1 Le couple $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$ :

Dans les eaux naturelles, le sodium et les chlorures sont souvent liés à la dissolution de l'halite ( $\text{NaCl}$ ). L'évolution du sodium est étudié en fonction des teneurs en chlorure, car ce dernier est considéré comme un traceur stable et conservatif des évaporites, très soluble, il intervient rarement dans les précipitations salines et ne participe pas dans les phénomènes d'oxydoréduction. Il est peu influencé par l'intervention des bactéries.

Le rapport  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  (Figure 66) montre que 12 points d'eaux sur 17 se trouvent sur la droite de pente égale à 1, traduisant la dissolution de l'halite. Il s'agit de tous les forages et des puits 105/8 ; 105/83 ; 105/51 ; 82/02 ; 106 /02 et 106/08.

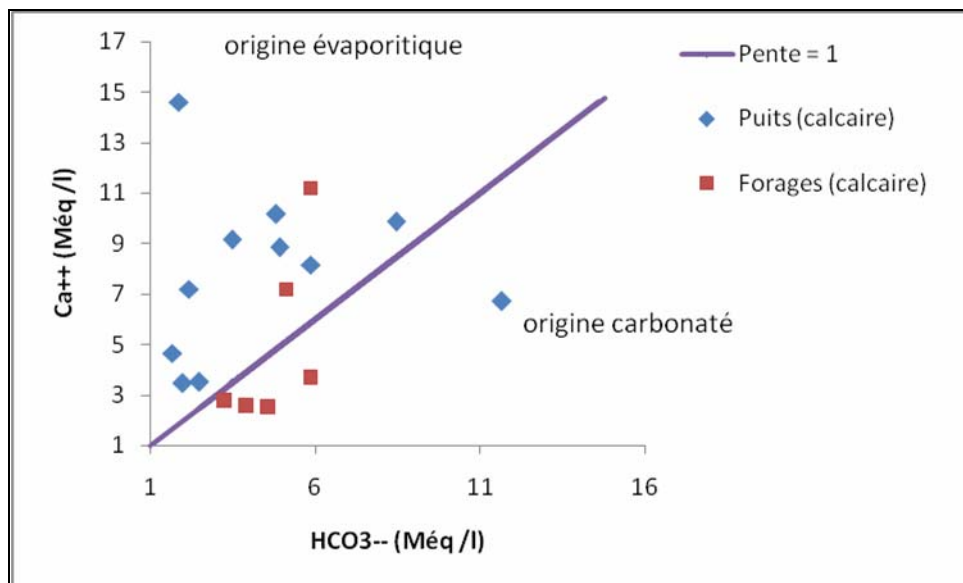


**Figure 66 :** Le rapport du couple  $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$ .

Par contre, le reste des puits montre un excès en chlorures indiquant une plus forte influence des chlorures.

### 2.5.2 Le couple $\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^-$ :

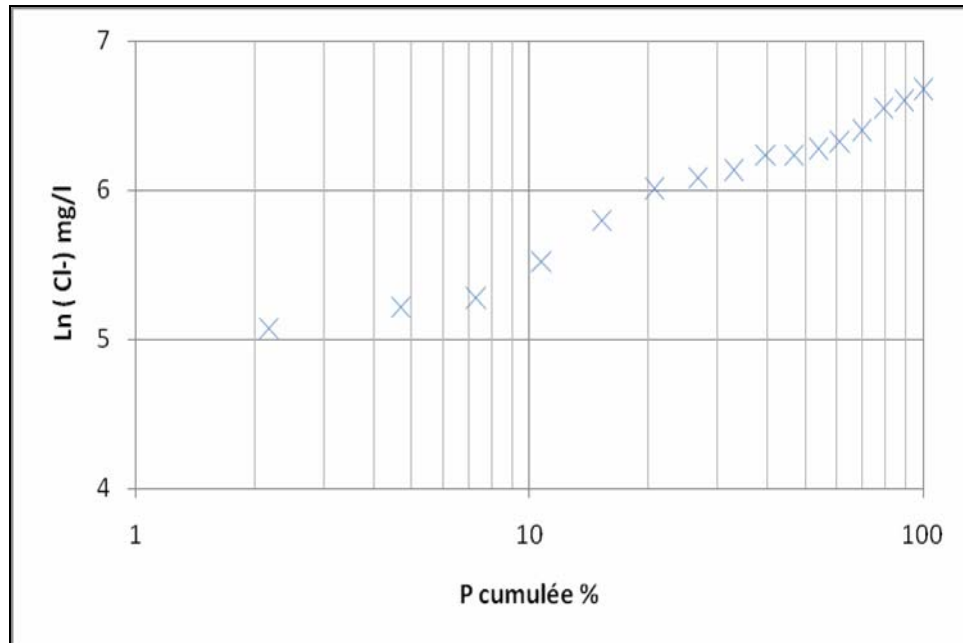
La représentation graphique de l'évolution du calcium en fonction des bicarbonates (figure 67), montre deux pôles, un excès des bicarbonates représenté par quatre (04) forages et un puits (Khliéf Mounnia, Slim O/Sly, Sidi Touil, site sonelgaz et le puits 105/83), traduisant une origine carbonatée des ions de calcium. Par contre, les autres points présentent un excès des teneurs en  $\text{Ca}^{2+}$ , indiquant une autre origine évaporitique de cet élément.



**Figure 67 :** Le rapport du couple  $\text{Ca}^{++} - \text{HCO}_3^-$ .

### 2.5.3 L'origine du chlorure :

Les concentrations en chlorure dans les eaux karstiques sont généralement faibles, mais dans notre cas, on observe des teneurs élevées. Pour étudier l'origine de cet élément, nous avons adopté la méthode des approches cumulées (figure 68).



**Figure 68:** La méthode des approches cumulées du Chlorure.

On remarque sur le graphe qu'il y a plusieurs cassures indiquant plusieurs origines possibles des chlorures.

Le problème de la salure des eaux de la nappe des calcaires étant intimement lié aux apports par les eaux de surface et de ruissellement (lessivage des sels contenus dans les sols salés), aux alimentations indirectes à partir des relations hydrauliques avec les autres aquifères en contact avec les calcaires ainsi qu'à travers les niveaux marneux et argileux.

## 2.6 Qualité des eaux de la nappe du calcaire :

### 2.6.1 Potabilité

La potabilité est la qualité des eaux déterminée à partir des teneurs des éléments chimiques qu'elles contiennent. Pour définir la potabilité des eaux étudiées, nous avons utilisé les normes de potabilité physico-chimique basées sur la concentration en ions selon l'organisation mondiale de la santé (O.M.S) ces normes sont mentionnées dans le tableau 10 en annexe III.

Les eaux souterraines de cette nappe ont une dureté qui varie entre 22.92 °F au niveau du forage Site Sonalgaz et 168.73 °F au puits 105/366.

En général, les eaux de cette nappe au niveau des puits sont très dures. Les teneurs en calcium, magnésium et potassium, en moyenne, sont inférieures aux normes

internationales, respectivement (200, 150, 12 mg/l). Par contre les chlorures et sulfates ont des teneurs inférieures aux normes maximales admissibles. Quant à la valeur du sodium et nitrate, elle dépasse la norme internationale tolérable.

D'après ces résultats obtenus pour les hautes eaux, nous pouvons constater que les eaux de cette nappe au niveau des forages présentent une bonne qualité moyennement chargée en sel dissous, et peu chargée en sodium et en magnésium. Tandis que, au niveau des puits, les teneurs en certains éléments chimiques dépassent les concentrations maximales admissibles notamment pour Mg, Na, Cl et NO<sub>3</sub>, cela nous permet de dire que les eaux de ces puits sont minéralisées et leur potabilité est passable. Pour les basses eaux, Les eaux de cette nappe sont très dures. Les valeurs de la dureté sont comprises entre 30°F au niveau du puits 105/62, et 82 °F au forage O.Sly M1 ; Les teneurs en calcium, magnésium, potassium et nitrates en moyenne, sont inférieures aux normes internationales, Par contre les chlorures et sulfates ont des teneurs inférieures aux normes maximales admissibles. Quant à la valeur du sodium, elle dépasse la norme internationale tolérable. Dans l'ensemble présente une bonne qualité.

### 2.6.2 Aptitude des eaux à l'irrigation :

La qualité des eaux d'une nappe pour l'irrigation est évaluée par un coefficient appelé SAR (Sodium Absorption Ratio). Le SAR s'obtient par la formule suivante :

$$SAR = \frac{rNa^+}{\sqrt{\frac{rCa^{2+} + rMg^{2+}}{2}}} \dots\dots(35)$$

Si :

S.A.R < 10 : Eau excellente.

10 < S. A.R < 18 : Eau bonne.

18 < S. A.R < 26 : Eau convenable.

26 < S. A.R : Eau médiocre.

Cette méthode fait également intervenir la salinité et le risque d'alcalinisation des sols.

Les valeurs de S.A.R, pour les eaux des calcaires en hautes eaux sont comprises entre 2.7 et 8.7 pour les forages, 1.54 et 6.22 pour les puits, indiquant une eau excellente pour l'irrigation. En basses eaux, la valeur du SAR est comprise entre 1.3 et 6.7, traduisant ainsi une eau excellente pour l'irrigation. Les valeurs du S.A.R sont reportées dans le tableau 3 en annexe III.

## 2.7 Récapitulatif :

L'étude hydrochimique de la nappe des calcaires à lithothamnium a révélé en particulier que le faciès dominant est chloruré sodique à calcique mais avec des concentrations élevées en  $\text{SO}_4$ . Il traduit la présence d'une salinité certes naturelle mais globalement exogène à la formation carbonatée. Les teneurs en  $\text{HCO}_3$  restent très stables par rapport aux autres ions principaux. L'étude des paramètres physico-chimiques des eaux de cette nappe par l'analyse en composantes principales (ACP) fait ressortir trois pôles de minéralisation qui confirme l'étude hydrogéologique. En général, la nappe des calcaires présente des eaux de bonne qualité moyennement chargées en sel dissous.

Cette nappe présente une eau dure à très dure en période de hautes eaux traduisant ainsi une recharge directe et indirecte de la nappe. Inversement, en période de basses eaux la valeur moyenne du titre hydrotimétrique est plus faible, elle peut signifier une alimentation plus faible et donc une contamination limitée.

## 3. Hydrochimie de la nappe des grés et sable du pliocène marin :

### 3.1 Introductions :

Pour l'étude hydrochimique de cette nappe, on a exploité les résultats des analyses chimiques concernant cinq forages situés au Nord Est de la zone d'étude, effectués par l'A.B.H.

### 3.2 Les paramètres physico-chimiques :

La conductivité ne dépasse pas  $1250 \mu\text{S}/\text{cm}$  pour les hautes eaux, la valeur la plus élevée est observée dans le forage El Médina ( $2850 \mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Le pH mesuré donne des valeurs comprises entre 7.1 à 7.4 ces valeurs traduisent une eau à caractère neutre.

#### 3.2.4 Evolution du chimisme des eaux souterraines dans l'espace :

##### 1. Les teneurs en cations:

Les teneurs en  $\text{Ca}^{2+}$  s'échelonnent entre 94 à 126 mg/l pour les hautes eaux et 88 à 207 mg/l aux basses eaux. Cette minéralisation tient son origine des roches constituant cet horizon, tel que les calcaires et les grés calcareux. Les teneurs en magnésium  $\text{Mg}^{2+}$  varient entre 12 et 37mg/l pour les hautes eaux et 14 à 95 mg/l en basses eaux (figure 5 et 7 en annexe III).

On remarque que la teneur en  $\text{Na}^+$  est généralement faible, elle oscille entre 35 à 80 mg/l pour les hautes eaux et 25 à 220 mg/l en basses eaux. Les concentrations en sodium ont pour origine les séries gréseuses à fortes proportions de marnes.

Les concentrations en potassium dans cette région varient en général entre 1 et 2mg/l ; donc sont faible.

## 2. Les teneurs en anions :

Les valeurs plus élevées sont observées généralement au niveau des forages, elles s'échelonnent entre 77 à 115 mg/l pour les hautes eaux et 63 à 442 mg/l en basses eaux (figure 6 et 8 en annexe III). Tandis que Les valeurs en sulfates sont comprises entre 60 et 138 mg/l pour les hautes eaux et 58 à 417 mg/l pour les basses eaux.

Dans la nappe du grés et sable du pliocène marin, les eaux souterraines ont des teneurs en bicarbonates homogènes variant entre 217 à 397 mg/l pour les hautes eaux et 183 à 400 mg/l pour les basses eaux.

Cette concentration est due essentiellement au lessivage de la formation géologique de cette nappe : calcaire et grés à passage calcareux.

Les concentrations en nitrates, dans l'ensemble ne dépassent pas les normes de l'O. M. S. à l'exception du forage où en enregistrant la teneur élevée (105 mg/l).

### 3.2.5 Indice d'échange de base (i.e.b Schoeller) :

Les valeurs de l'indice d'échange de base sont mentionnées dans le tableau 6 en annexe III. Les échantillons ont pour la majorité des indices d'échange de base positif, qui varie entre 0,09 à 0,37 et traduisent la substitution du sodium de l'eau par le calcium et magnésium du sol.

### 3.2.6 Indices de saturation :

Les calculs des indices de saturation Pour la calcite montre une sur-saturation, par contre l'indice de saturation vis-à-vis l'aragonite montre une sur-saturation en hautes eaux et une sous-saturation en basse eaux pour la majorité des échantillons, le reste des minéraux évaporitiques montre une sous –saturation des eaux de la nappe.

## 3.3 Classification des eaux de la nappe :

La classification des eaux a permis de distinguer les faciès prédominants : bicarbonaté calcique et chloruré calcique selon Stabler et Schoeller, tandis que le diagramme de Piper (Figure n°9, 10, 11 et 12) nous donne le faciès de type chloruré et sulfaté, calcique et magnésien pour les deux périodes hautes et basses eaux.

## 3.4 Qualité des eaux de la nappe du pliocène marin :

### 3.3.1 Aptitude des eaux à l'irrigation :

Les résultats de calcul sont regroupés dans le tableau n°6 en annexe III, en général le S.A.R Varie entre 0.7 à 3.8, indiquant une eau excellente pour l'irrigation.

### 3.3.2 Potabilité des eaux :

La nappe des grés et sables du pliocène présente une eau de bonne qualité ; Les eaux de cette nappe en hautes eaux et basses eaux sont assez dures. Les valeurs de la dureté sont de l'ordre de 39 °F à 46 °F°.

### 3.5 Récapitulatif :

La classification des eaux a permis de distinguer les faciès prédominants bicarbonatés calcique en hautes eaux et chloruré calcique en basses eaux. La nappe des grés et sables du pliocène présente une eau de bonne qualité ; les eaux de cette nappe sont assez dure. On remarque exceptionnellement une forte concentration de NO<sub>3</sub> (105 mg/l), au niveau du forage Médina AEP situé dans la région de Mouafkia où la zone est à vocation agricole.

## 4. Hydrochimie de la nappe alluviale du quaternaire du moyen Cheliff occidental :

### 4.1 Introductions :

Pour l'étude hydrochimique de cette nappe, on a exploité 40 échantillons pour la période des hautes eaux et 15 échantillons pour la période des basses eaux. Ces analyses chimiques ont été effectuées par l'A.B.H et l'A.N.R.H.

### 4.2 Les paramètres physico-chimiques :

La conductivité s'échelonne entre 750 et 4550  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pour les forages et les puits, elles sont plus élevées dans les puits situés en centre de la nappe ; la valeur élevée 11710  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a été rencontrée au niveau du puits 82/72. L'eau a un caractère basique.

#### 4.2.3 Evolution du chimisme des eaux souterraines dans l'espace :

##### 1. Les teneurs en cations :

Les teneurs en Ca<sup>2+</sup> s'échelonnent entre 45 et 388 mg/l dans les forages et 98 à 260 mg/l aux puits de bordure, très élevée aux autres puits, la carte de la chimie (figure 13 et 14 en annexe III). Les concentrations du magnésium Mg<sup>2+</sup> varient entre 27 à 137mg/l pour les forages et 61 à 241 mg/l pour les puits de bordure, très élevées dans les autres puits.

D'après les résultats des analyses, on remarque que la teneur en Na<sup>+</sup> est généralement moins élevée dans les puits de bordure, très élevée dans les forages et les autres puits. Les teneurs oscillent entre 115 et 275mg/l pour puits de bordure et 70 à 800 mg/l au niveau des autres puits.

Les concentrations en potassium dans cette région varient en général entre 0 et 5 mg/l en haute eaux et 1 à 9 mg/l en base eaux, les valeurs élevées s'observent au niveau des puits (origine anthropique).

##### 5. Les teneurs en anions :

Les valeurs observées sont assez élevées. L'origine de ces teneurs élevées est due essentiellement à la salure de la nappe superficielle du gravier, les sols salés et autres origines anthropiques (figure 15 et 16 en annexe III).

Les valeurs en sulfates sont comprises entre 42 et 650 mg/l pour les forages. Les teneurs élevées sont dues essentiellement à l'apport de cet élément contenu dans les marnes gypseuses le long de la bordure Sud à l'Est d'Oum Drou et au Nord Ouest à Sobha.



Dans la nappe du quaternaire, les eaux souterraines ont des teneurs en bicarbonates qui peuvent atteindre 439 mg/l.

Cette forte concentration est due essentiellement aux éléments carbonatés contenus dans les alluvions et aux zones d'alimentation de bordures.

Les concentrations en nitrates, dans l'ensemble sont élevées en raison de la vocation agricole de la plaine.

#### **4.2.4 Indice d'échange de base (i.e.b Schoeller) :**

Les échantillons ont pour la majorité des indices d'échange de base positif, qui traduisent la substitution du sodium de l'eau par le calcium et magnésium du sol (tableau 9 en annexe III).

#### **4.2.5 Indices de saturation :**

Les calculs des indices de saturation vis-à-vis des principaux minéraux évaporitiques montre une sous-saturation de la majorité des échantillons de la nappe alluviale en haute eaux, tandis que une sur-saturation vis-à-vis la calcite en base eaux.

#### **4.3 Classification des eaux de la nappe :**

La classification des eaux a permis de distinguer les faciès prédominants : chlorurés calcique, sodique et magnésien pour les puits du centre de la nappe, chlorurés calcique pour les forages et variables pour le reste des puits selon Stabler et Schoeller, tandis que le diagramme de Piper (Figure 17 à 20 en annexe III) nous donne le faciès de type chloruré et sulfaté, calcique et magnésien pour la majorité des points d'eaux, qui caractérisent l'hétérogénéité du milieu.

#### **4.4 Qualité des eaux de la nappe alluviale du quaternaire :**

##### **4.4.1 Aptitude des eaux à l'irrigation :**

Dans l'ensemble, les points d'eaux de la nappe présentent une bonne eau pour l'irrigation ; Les résultats de calcul sont regroupés dans le tableau 9 en annexe III.

##### **4.4.2 Potabilité des eaux :**

La nappe alluviale du quaternaire présente une eau dur à très dur ; dont La dureté varie de 29 à 297.9 °F pour les puits localisés au milieu de la nappe et 11.5 à 124.9 °F pour les forages. En général, la qualité des eaux de cette nappe est médiocre à mauvaise.

##### **4.5 Récapitulatif :**

Le faciès chimique des eaux de la plaine du moyen Cheliff est chloruré calcique à sodique dans la majorité des points d'eaux. Les teneurs en Ca, Mg, Na, Cl, SO<sub>4</sub> et CE dépassent les teneurs admissibles de l'O.M.S pour les eaux potables. Cl, SO<sub>4</sub>, Ca et Na augmente de l'amont vers l'aval conformément au sens général de l'écoulement des eaux souterraines.

En général, la nappe alluviale du quaternaire présente une eau de qualité médiocre à mauvaise.

### 5. Conclusion :

Les eaux souterraines du bassin moyen Cheliff occidental présentent des valeurs très variables des paramètres physico-chimiques ce qui reflète la diversité des formations au sein desquelles circulent ces eaux. Par contre, dans la nappe du pliocène marin, où la lithologie du réservoir est plus homogène, on rencontre à quelques exceptions près une eau de même type.

Pour la nappe du calcaire à lithothamnium, la chimie révèle trois groupes d'eau :

- ✓ des eaux minéralisées dans un milieu fissuré
- ✓ des eaux peu minéralisées circulant dans des formations calcaires où la karstification est bien développée.
- ✓ des eaux intermédiaires moyennement minéralisées circulant dans un milieu fissuré et peu karstifié.

La minéralisation est élevée au niveau de la nappe du calcaire, l'enrichissement des points d'eau est lié à la nature du milieu fissuré et karstifié qui favorise l'infiltration des eaux de pluie, l'infiltration par retour des eaux d'irrigation chargées en sels dissous, par les alimentations indirectes à partir des aquifères en contact avec les calcaires, par les niveaux marneux et argileux et les échanges de base. Une petite quantité d'argile (en faible pourcentage) dans les roches carbonatées pourrait produire des changements appréciables des concentrations  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  par les échanges de base (Pascal et Custodio, 1990 Nader et al, 1980).

Pour ce qui est de la nappe alluviale, le chimisme de l'eau reflète :

- l'hétérogénéité du milieu qui se traduit par des propriétés pétrophysiques différentes du centre vers les bordures et d'amont vers l'aval entraînant des vitesses de circulations différentes et des durées de contact tout aussi différentes.
- les conditions de circulations des eaux souterraines traduites par les cartes piézométriques : circulation amont – aval et alimentation par les bordures.

Parallèlement, l'existence de lentilles gypseuses au niveau de la nappe superficielle favorise une dissolution rapide des éléments  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  qui produit une augmentation importante de la salinité des eaux de la nappe alluviale. Il en est de même de la texture et de la composition des sols, de la profondeur du niveau statique dans la nappe qui influent également sur la salinité de cette nappe.

## **6. La pollution des eaux**

### **6.1 Introduction :**

La qualité des eaux de surface et souterraines a connu ces dernières années, une grande détérioration à cause du développement urbain, industriel et agricole. Les rejets des agglomérations ainsi que celles des usines sont souvent rejetés directement au niveau des cours d'eau.

Le développement agricole, entraîne souvent une pollution rapide des eaux souterraines par les formes chimiques de l'azote, surtout celle de nitrate, en raison de leur solubilité et leur faible affinité aux échanges ioniques (Stumm et Morgan, 1996).

En raison des relations hydrauliques des différentes nappes avec les eaux superficielles, particulièrement celle des calcaires, nous avons circonscire cette problématique en nous intéressant aux principaux paramètres physico- chimiques responsables de la dégradation de la qualité des eaux. Plusieurs apports de contaminations ont été détectés : l'une d'origine naturelle due aux effets des évaporites, l'autre d'origine anthropique due aux rejets directs des eaux usées, aux rejets industriels et à l'utilisation des produits chimiques dans l'agriculture.

### **6.2 Mécanismes de transport du polluant en milieu souterrain :**

L'eau qui s'infiltre dans le sous-sol est le vecteur de transfert d'éléments chimiques vers les eaux souterraines. Dans un système aquifère (le sol, la zone non saturé et la zone saturée), l'effet des processus internes au cycle de l'azote peut être dominant par rapport aux modifications induites par les processus externes (Webb et Walling, 1985). Les processus internes interagissent avec les processus externes au cycle de l'azote, contrôlant le stock et les formes de l'azote contenu dans le sol, quelle que soit l'origine de ce dernier (Recous et al, 1997) les processus sont : La minéralisation où ammonification, L'organisation où immobilisation, La nitrification, La dénitrification, La volatilisation et La lixiviation où lessivage.

### **6.3 L'origine de la pollution :**

#### **6.3.1 Polluants d'origine naturelle :**

L'origine de la pollution naturelle est liée à la dissolution des formations géologiques (évaporitiques et carbonatées). La salinité des eaux souterraines présente l'un des grands problèmes dans les zones méditerranéennes, vu son effet sur la détérioration de la qualité des eaux et l'abaissement agricoles (Adams et al, 2001).

Dans les trois nappes du moyen Cheliff occidental, les eaux sont marquées par une forte concentration des paramètres chimiques qui souvent dépassent les normes de potabilité de l'OMS.

### 6.3.2 Polluants d'origine anthropique :

On distingue deux types de pollution anthropique : Pollution diffusé et pollution ponctuelle.

#### 1. Pollution diffuse :

L'activité agricole représente les principales sources de la pollution diffuse (c'est-à-dire qu'elle s'étend sur une grande surface).

Le nitrate est le polluant azoté exclusif des nappes souterraines. L'origine des nitrates sont les fertilisants agricoles (naturels ou synthétiques) et les effluents d'élevage.

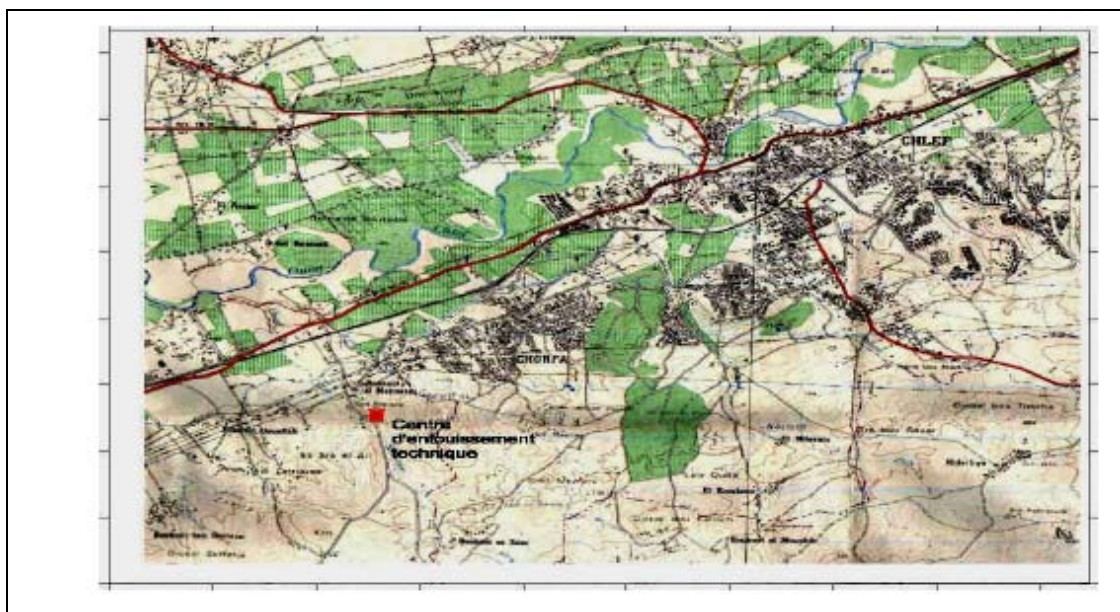
Le périmètre irrigué dans la zone d'étude couvrait une superficie de 2432 ha en 2002 (DSA de Chlef). Les cultures pratiquées bénéficient d'apports abusifs d'engrais chimiques pour l'amélioration des rendements agricoles. Ainsi que l'élevage qui se développe, produit une quantité importante de résidus animaux (fumiers, lisiers....).

#### 2. Pollution ponctuelle :

##### a. En milieu urbain :

Ce sont principalement les rejets d'eaux usées, l'impact sur les eaux souterraines est considérable dans la mesure où les eaux usées sont rejetées sans traitement dans les cours d'eau, c'est le cas pour la zone de O ; Sly – Boukadir.

Une autre source de pollution urbaine est celle liée aux décharges d'ordures ménagères, en générale, les lexiviats des décharges se composent de matières organiques, de matières en suspension, d'azote (ammoniacque qui pourrait se transformer en nitrates), de métaux lourds, de traces d'hydrocarbures et de divers sels.



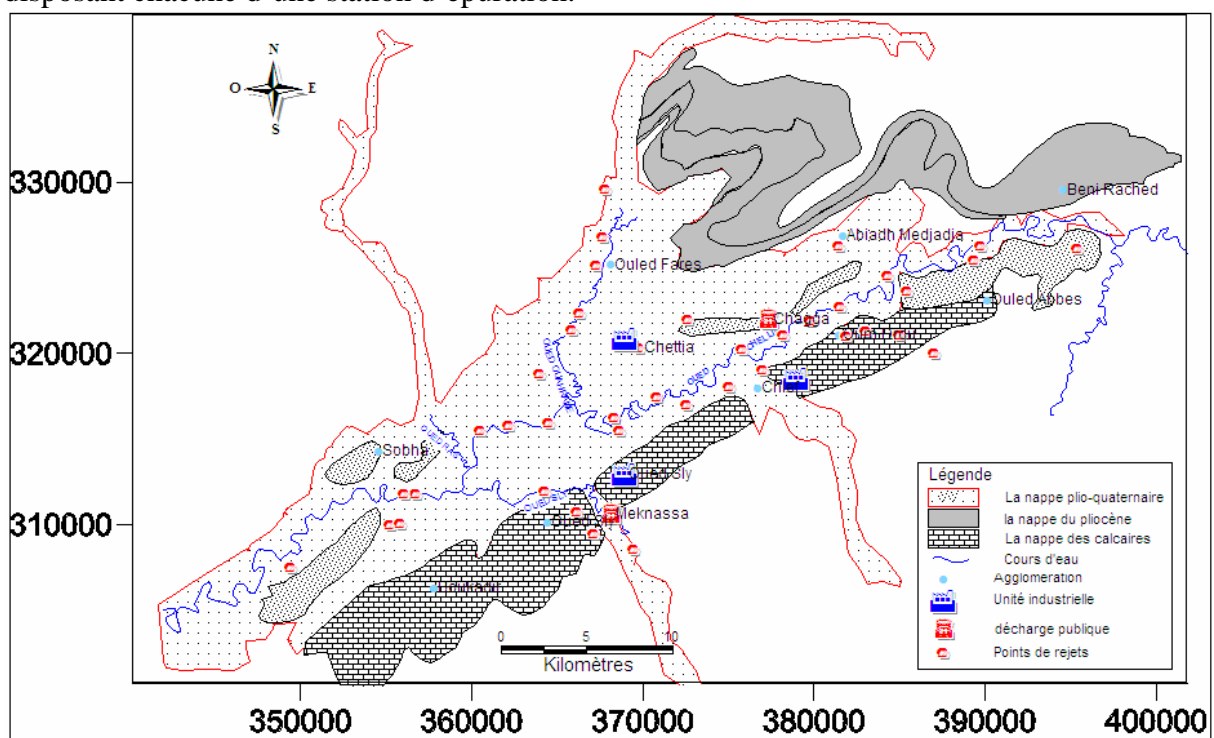
**Figure 69** : carte géographique localisant le centre d'enfouissement technique de Mekkassa (source : DHW de Chlef, 2005)

La décharge de la commune de Chlef « Meknassa » se situe dans la zone de l'oued Sly (figure 69). Les caractéristiques du lexiviats de cette décharge ont des effets néfastes sur la qualité des eaux souterraines dans la zone d'étude.

Les aquifères concernés par ce type de pollution sont donc essentiellement la nappe alluviale et la nappe des calcaires avec lesquelles les oueds entretiennent des échanges (oued Sly) avec possibilités de transfert de nitrates de l'oued vers La nappe.

#### b. En milieu industriel :

Le tissu industriel, dans la zone d'étude, est dominé par la zone industrielle d'Oued Sly et quelques zones d'activités telle que la zone de Chettia et Ouled Mohammed (figure 70). Tous les rejets de ce secteur vont directement à la nature, exception faite pour quatre unités disposant chacune d'une station d'épuration.



**Figure 70 :** Carte des sources de pollution dans le moyen Cheliff occidental.

Localement les industries peuvent représenter une source de pollution pour les eaux souterraines.

La composition chimique des eaux de l'Oued Sly (tableau 11 en annexe III), montre une dominance des cinq éléments chimiques majeurs :  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{HCO}_3^-$ . L'origine de ces éléments est liée à la dissolution des formations traversées par l'oued, particulièrement gypseuses, dans les zones amont. D'autres éléments secondaires ( $\text{NO}_2$ ) apparaissent au niveau de l'oued par des concentrations faibles ( $< 0.3\text{mg/l}$ ). L'existence de ces éléments est liée aussi aux rejets urbains et industriels qui sont envoyés directement dans l'oued.

Naturellement, les eaux souterraines ne contiennent généralement pas plus de 10 mg/l de nitrates et toute concentration supérieure à ce seuil est le signe d'une influence anthropique.

Les concentrations en nitrates, dans la nappe des grés et sable du pliocène ne dépasse pas les normes de l'OMS, à l'exception du forage Médina où on a enregistré 105mg/l.

Dans la nappe alluviale, Les concentrations en nitrates sont dans l'ensemble élevées.

Les teneurs en nitrates dans la nappe des calcaires atteignent 150 mg/l.

#### 6.4 Paramètres influençant l'évolution des nitrates dans les eaux souterraines :

Les concentrations sont très variables dans l'espace et dans le temps (variabilité saisonnières et interannuelle). Il convient de rappeler que le transfert des nitrates et des autres polluants vers les eaux souterraines peut être un processus relativement long (quelques années) et met en jeu de nombreux facteurs : nature du sol, contexte géologique, précipitations.

##### Distribution spatiale des teneurs en nitrates (effet du sol) :

La variation de la concentration en nitrates dans l'espace est liée aux activités agricoles qui se développent sur surface, la nature du toit de la nappe et les conditions d'oxydoréduction (Débeiche, 2002).

La zone la plus exposée à la pollution se situe dans la partie NE de la zone d'étude, cela est dû à la perméabilité du terrain (existence de fissures) et aux activités agricoles locales. Par contre vers le NW, le toit de la nappe devient plus argileux et assure sa protection.

#### 1. Evolution des nitrates en fonction de profondeur et type d'ouvrage :

Les nitrates évoluent inversement avec la profondeur.

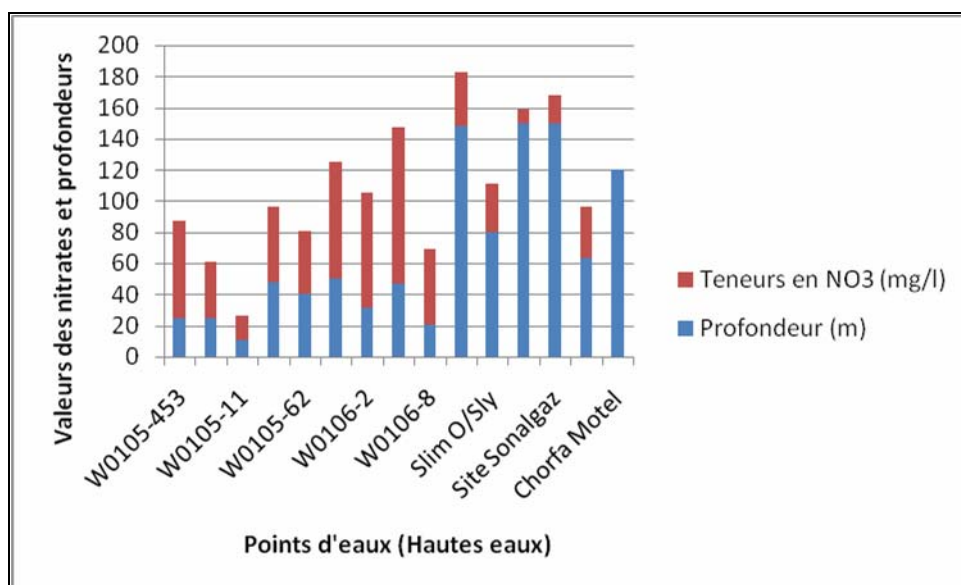


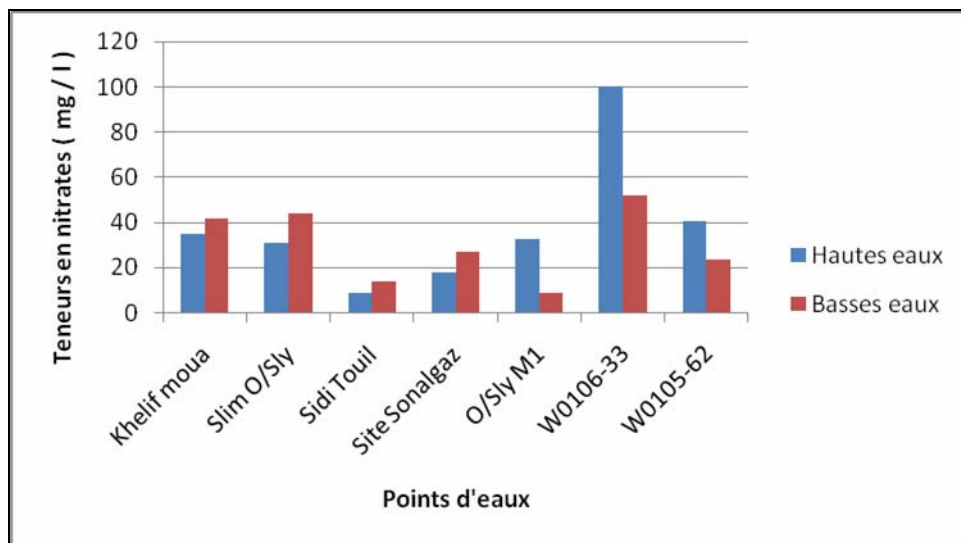
Figure 71: Impact de la profondeur et type d'ouvrage (hautes eaux, 2002).

L'influence de ce paramètre sur les nitrates est bien marquée (figure 71), les fortes teneurs sont observées au niveau des puits où les profondeurs sont généralement moins importantes que dans les forages. Les teneurs oscillent entre 9 et 35 mg/l (hautes eaux) ; 9 et 44mg/l (basses eaux) au niveau des forages, elles restent toujours < 50 mg/l. Par contre, au niveau des puits, on enregistre des valeurs plus élevées qui évoluent de 16 à 150 mg/l (hautes eaux) et 24 à 52 mg/l (basses eaux).

## 2. Evolution temporelle (saisonnière) de la teneur en nitrates :

Les variations saisonnières de la teneur en nitrates dans les eaux souterraines sont importantes (essentiellement liées aux variations climatiques).

L'évolution des teneurs au niveau des puits montre une augmentation pendant la période des hautes eaux (figure 72) en relation avec les pluies qui lessivent les terrains agricoles. Par contre, pendant la période des basses eaux, on observe une légère diminution de la concentration due à la diminution du potentiel d'oxydoréduction sous l'effet de l'activité bactérienne, qui produira une augmentation des teneurs en nitrites, ce qui provoque la réduction des nitrates.



**Figure 72:** Evolution saisonnières des points d'eaus (Hautes et basses eaux, 2002).

Au niveau des forages, on enregistra une évolution inverse à celle des puits, pendant la période des hautes eaux, on observe une légère diminution de la concentration en nitrates (figure 72), cela est due aux effets de la dilution par les eaux de pluie, à la profondeur de la nappe et à l'existence des formations argileuses qui empêche l'infiltration des nitrates vers la nappe.

Par contre, pendant les périodes des basses eaux, une légère augmentation des teneurs en nitrates sous l'effet de l'évapotranspiration qui concentre les ions nitrates et l'effet de l'irrigation. Cependant, l'effet de l'irrigation est très marqué par rapport à celui des pluies,

ce qui est vraisemblablement dû à l'effet de dilution engendré par les pluies moins chargées en nitrates que les eaux d'irrigations, provenant de la nappe elle-même où du barrage de Sidi Yakoub.

### **6.5 Incidence de nitrates dans les eaux souterraines :**

Les principales conséquences imputées à un excès de nitrates dans les eaux souterraines sont les suivantes :

- **Participation à l'eutrophisation des cours d'eau :**

En effet, en période de basses eaux où les oueds sont alimentés par les eaux souterraines, les nitrates présents en excès dans la nappe peuvent transiter vers l'oued et participer au phénomène d'eutrophisation. Les échanges nappes-rivières sont cependant complexes et souvent mal connus d'un point de vue chimique. L'interface que constituent les berges joue effectivement un rôle très variable d'un secteur à l'autre (transfert de polluant, dénitrification...)

- **Effets sur la santé humaine :**

Les principaux risques décrits par les spécialistes sont la méthéoglobinémie infantile et la possibilité de cancer de l'estomac (Gérin et al ; 2003) pour prévenir ces risques, la concentration maximale admissible pour l'eau potable a été fixée à 50 mg/l par l'OMS

### **6.6 Conclusion :**

L'interprétation de l'évolution des teneurs en nitrates, met en évidence une dégradation de l'état naturel des eaux souterraines mais que cette dégradation reste souvent acceptable pour la production d'eau potable.

- ✓ La dégradation liée aux centres urbains et industriels met en péril la qualité des cours d'eau et la qualité des eaux souterraines.
- ✓ La contamination des eaux souterraines est liée aux apports de fertilisants azotés en quantité exagérée.
- ✓ Les eaux de l'irrigation et celle de la pluie jouent un rôle majeur dans le transport des ions du nitrate du sol vers les nappes.
- ✓ L'existence des intercalations argileuses au niveau du toit de la nappe alluviale et calcaire la protègent contre les infiltrations des flux de polluants azotés et favorisent les conditions réductrices.



## Conclusion générale

En milieu aride à semi-aride, les problèmes de sécheresse et de surexploitation des eaux souterraines conduisent à fragiliser les réserves des aquifères tout en les rendant vulnérables à la pollution. C'est particulièrement le cas des aquifères à travers le Moyen Cheliff Occidental.

La synthèse hydrogéologique, conditionnée par les données disponibles, que nous avons menée dans le cadre de ce travail permet les conclusions suivantes :

1. Sur le plan géomorphologique, La région étudiée appartient à trois sous bassins versants de la plaine du moyen Cheliff : Oued Ras-Ouahrane, Oued Sly et Oued Cheliff- Ouarizane dont les caractéristiques principales traduisent un comportement qui pourraient favoriser l'infiltration des eaux superficielles au détriment du ruissellement. Parallèlement, la nature et la répartition des sols favoriseraient les échanges de base et l'enrichissement des eaux en calcium et en magnésium.

2. Si l'étude hydroclimatologique permet de caractériser les principaux éléments du climat, en revanche, elle n'a d'intérêt, dans toute étude hydrogéologique, que si elle permet d'établir un bilan hydrique et de déterminer la quantité d'eau qui assure la recharge des nappes. Dans ce cadre, les résultats obtenus conduisent à une infiltration moyenne au niveau des sous bassins qui varie entre 9.7 et 13.4 mm car conditionnée par plusieurs facteurs physiographiques largement influencés par la lithologie qui déterminera le comportement hydrologique des sous bassins versants étudiés. L'approche du bilan à l'échelle des calcaires à lithothamnium conduit à une infiltration plus élevée égale à 26.8mm. Nous considérons qu'il s'agit là d'une valeur minimum en raison de l'importante densité de fracturation des calcaires et de la présence d'une morphologie karstique de surface assez développée qui permettraient une infiltration et une recharge plus importante du réservoir calcaire.

3. L'étude lithostratigraphique complétée par la description structurale a permis de distinguer les formations susceptibles d'être aquifères de celles qui auront un rôle de formations imperméables. Les formations perméables ainsi définies sont :

- Les calcaires à lithothamnium.
- Les grès astiens marins et les sables dunaires à Hélix.
- Les grès, conglomérats et sables du villafranchien (couche rouges).
- Les alluvions grossières du Cheliff et de ses affluents ainsi que le complexe quaternaire ancien.

Les formations qui jouent le rôle de substratum imperméable ou de limite étanche correspondent aux marnes bleues du miocène supérieur et du pliocène qui affleurent sur les bordures Nord et Sud de la plaine.

Ces conclusions sont confortées par l'étude géophysique qui a bien mis en évidence les niveaux électriquement résistants susceptibles d'être aquifères et a précisée leurs répartitions spatiales et souvent leurs relations avec les eaux superficielles. C'est particulièrement au niveau du débouché de l'Oued Sly où les résistances des calcaires sont faibles en raison du faciès marneux de base mais aussi et surtout de la contamination du réservoir calcaire par les eaux salées de l'Oued.

Les résultats de cette étude géophysique ont également montré que les formations grossières du Villafranchien étaient particulièrement développées dans les zones synclinales du Nord, dans les régions au Sud –Oued Farés et de Mouafkia.

4. Sous l'angle hydrogéologique et après avoir défini les formations susceptibles de constituer des aquifères exploitables, identification fondée sur l'analyse lithostratigraphique et structurale du bassin, les données de forage et l'étude géophysique, nous avons précisé les principales caractéristiques des aquifères en portant un intérêt particulier à la nappe des calcaires à lithothamnium afin de mieux comprendre son fonctionnement hydrodynamique.

Les calcaires présentent les caractéristiques morphologiques de surface typiques des milieux karstiques, particulièrement observables dans la région de Boukadir où la karstification en surface et en profondeur est bien marquée, les fissures et les joints de stratification sont très ouverts.

Plus à l'Est dans la région Chlef, la karstification semble moins développée. A ce niveau, les calcaires sont bien fissurés mais nous n'avons observé ni grottes ni morphologie karstique particulière de surface.

Entre ces deux extrêmes, la zone intermédiaire délimitée par les oueds Tsighaout et O.Sly présente quant à elle des caractéristiques intermédiaires : fissuration prononcée et karstification moins développée que dans la région de Boukadir.

Nous distinguons également une double alimentation :

- une alimentation importante directe par l'impluvium qui correspond à la totalité des affleurements calcaires en fonction du degré de fissuration et de la morphologie de surface
- une alimentation indirecte qui s'effectue par l'intermédiaire des eaux de surface (Oued Sly) mais aussi le biais des autres aquifères en relation hydraulique avec les calcaires (secteur d'Oum Drou, bordure de l'Ouarsenis, au Nord Est où les calcaires

sont en contact avec les grès). Par ailleurs, la faille de bordure qui limite les alluvions de la plaine des calcaires met en relation l'aquifère des alluvions et celui des calcaires.

Le volume de la recharge par infiltration directe est estimé à 4.03 hm<sup>3</sup>/an. Nous considérons que cette valeur ne constitue qu'un minimum car :

- ✓ Le coefficient d'infiltration direct estimé à 26.8 mm/an peut être fortement majoré conformément aux résultats précédents.
- ✓ les apports indirects difficiles à quantifier ne sont pas pris en compte.

La nappe des grés et sables astiens se trouve sous forme libre ou captive ; elle se situe à une profondeur minimum de 100 mètres, au centre de la plaine de Mouafkia elle atteint son épaisseur maximum (200 à 320 mètres) pour s'amincir vers les bordures et disparaître complètement au sud des montagnes rouges.

Cette nappe peu exploitée montre une perméabilité de l'ordre de  $10^{-6}$  à  $10^{-4}$  m/s et une transmissivité moyenne de  $8.10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s.

Les potentialités en eaux de cette nappe sont estimées à 3Hm<sup>3</sup>/an par Sogreah (1984).

La nappe des Grés, conglomérats et sables villafranchien est représentée par des sables et grés rouges en moyenne d'une cinquantaine de mètres d'épaisseur avec des passages conglomératiques et des marnes. Le forage MCO5 bis capte cette formation entre 100 et 216 m. Elle se développe depuis la bordure de la rive droite de la vallée du Cheliff Jusqu'au Nord de la ville de Chlef dans la montagne rouge.

Au niveau de l'ensemble alluvial du Quaternaire, deux nappes sont reconnues dans la plaine de l'Oued Chellif, l'une superficielle et l'autre profonde. Elles constituent une seule et même unité hydrogéologique à caractère captif devenant libre sur les bordures de la plaine.

Les cartes piézométriques (hautes eaux et basses eaux) montrent globalement la même morphologie de la surface piézométrique qui se caractérise par :

- Des écoulements qui s'effectuent des bordures vers l'axe central de la vallée puis prennent une direction Est - Ouest à SE-NW parallèlement à l'axe principal de l'oued Cheliff.
- A l'Est, une pente croissante de la surface piézométrique où la vitesse de circulation de l'eau y est maximale.
- Au nord - Est, des dépressions hydrauliques liées à des pompages intensifs.
- Au centre de la plaine, un écoulement lent.
- A l'Ouest, un ralentissement (seuil).

- L'existence de dômes piézométriques liés au rehaussement du substratum et à la réinfiltration des eaux d'irrigation.
- une alimentation de la nappe alluviale à partir des calcaires à lithothamnium.
- une zone semi perméable qui permettrait une relation hydraulique entre la première nappe du synclinal de Mouafkia et la nappe alluviale. Il en est de même des grès astiens en contact par faille avec les alluvions.

Les transmissivités des alluvions qui varient entre  $2.10^{-2}$  à  $7.10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s traduisent l'hétérogénéité du réservoir.

5. L'étude hydrochimique de la nappe des calcaires à lithothamnium a révélé un faciès dominant de type chloruré sodique à calcique mais avec des concentrations élevées en SO<sub>4</sub>. Il traduit la présence d'une salinité certes naturelle mais globalement exogène à la formation carbonatée. L'analyse en composantes principales (ACP) fait ressortir trois pôles de minéralisation qui confirme l'étude hydrogéologique. Les relations hydrauliques avec les eaux de surface et les eaux des autres aquifères, les échanges de bases avec les marno-calcaires et les argiles sont les principaux facteurs qui modifient le chimisme primaire des eaux. Ainsi donc, la salure des eaux de la nappe des calcaires est intimement lié aux apports par les eaux de surface et de ruissellement (lessivage des sels contenus dans les sols salés), aux alimentations indirectes à partir des relations hydrauliques avec les autres aquifères en contact avec les calcaires ainsi qu'à travers les niveaux marneux et argileux.

Les eaux de la nappe des grès et sable du pliocène marin présentent des faciès prédominants de type bicarbonatés calcique en hautes eaux et chlorurés calcique en basses eaux. Elles sont de bonne qualité néanmoins assez dure, car les valeurs du titre hydrotimétrique varient, pendant la période des hautes eaux, entre 32 et 45 °F, et entre 24 et 64 °F pendant la période des basses eaux. On observe exceptionnellement une forte concentration de NO<sub>3</sub> (105 mg/l), au niveau du forage Médina AEP situé dans la région de Mouafkia où la zone est à vocation agricole.

Pour ce qui des eaux de la nappe alluviale du quaternaire du moyen Cheliff occidental, le faciès chimique est de type chloruré calcique à sodique dans la majorité des points d'observations. Les teneurs en Ca, Mg, Na, Cl, SO<sub>4</sub> et CE dépassent les teneurs admissibles de l'O.M.S pour les eaux potables. Cl, SO<sub>4</sub>, Ca et Na augmente de l'amont vers l'aval conformément au sens général de l'écoulement des eaux souterraines.

Le chimisme de l'eau est le reflet de trois facteurs essentiels:

- l'hétérogénéité du milieu qui se traduit par des propriétés pétrophysiques différentes du centre vers les bordures et d'amont vers l'aval.

- les conditions de circulations des eaux souterraines traduites par les cartes piézométriques: circulation amont – aval et alimentation par les bordures.
- l'existence de lentilles gypseuses au niveau de la nappe superficielle qui favorise une dissolution rapide des éléments  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  et produit une augmentation importante de la salinité des eaux de la nappe alluviale. Il en est de même de la texture et la composition des sols, de la profondeur du niveau statique.

Globalement, la nappe alluviale du quaternaire présente une eau de qualité médiocre à mauvaise.

La vulnérabilité à la pollution des eaux de ces différentes nappes en raison essentiellement de leurs relations hydrauliques avec les eaux de surface est liée :

- aux effets des évaporites.
- aux rejets directs des eaux usées, aux rejets industriels et à l'utilisation des produits chimiques dans l'agriculture.

La nappe des calcaires à lithothamnium du moyen chéiff est considérée comme l'un des aquifères le plus important de la région. Aussi et pour parvenir à une meilleure connaissance hydrogéologique de ce système, nous recommandons :

- D'équiper les oueds qui le traversent de station de jaugeage pour permettre une approche plus exacte du bilan hydrique.
- De délimiter les zones à fortes perméabilités par exemple à partir de photographies aériennes et estimer les apports indirects.
- D'implanter un réseau d'observation piézométrique pour identifier l'hydrodynamisme de la nappe.
- D'effectuer des analyses chimiques périodiques pour étudier l'évolution du chimisme dans l'espace et dans le temps et de contrôler la qualité de ces eaux.
- D'utiliser éventuellement la géochimie isotopique.

Une bonne connaissance acquise sur les mécanismes de fonctionnement de ce système permettrait alors de s'intéresser ensuite aux aspects liés à la modélisation numérique.

## Références bibliographiques

- ABH-CZ - 2004** – Cadastre Hydraulique du bassin hydrographie du Cheliff-Aval du barrage de Boughzoul – Première partie : Haut et moyen Cheliff, 62 p.
- ABH-CZ - 2004** – Cadastre Hydraulique du bassin hydrographie du Cheliff-Aval du barrage de Boughzoul – Deuxième partie : Bas Cheliff et Mina, 52 p.
- AGENCE DE L'EAU FRANÇAISE- 2003** – Système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines SEQ-Eaux Souterraines, 75 P.
- ANRH -2004** – Annuaire Hydrogéologique de la nappe alluviale du haut et moyen Cheliff, 17 p.
- BAKALOWICZ, M – 2002-** Hydrogéologie karstique. Caractéristiques et concept. Méthodes d'exploration, d'exploitation et de gestion active. Cours DEA. H.H.G.G. Université Paris – 6.
- BEAUDET, R -1999** – Les eaux souterraines, document de soutien à l'atelier de travail de la Commission du 3 juin 1999, Québec 39 P.
- BOULAIN, J - 1957** – Etude des sols des plaines du Cheliff -Thèse Doctorat, Université d'Alger, 582 p.
- BREMOND, R. & VUICHARD, R. (1973)** – Paramètres de la qualité des eaux, Ministère de la protection de la nature et de l'environnement, SPEPE, Paris, 179 p.
- CARNEVALE, E. et all. (2006)** – Impacts des activités et des intrants agricoles (engrais, pesticides, déchets, etc.) sur les eaux situées en aval des exploitations. Haute Ecole de Gestion de Genève – Suisse, 14 p.
- CASTANY. G- 1982-** Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Publication de Dunod Université ; p. 236.
- CHAPELLIER. D -2000/ 01-** Prospection électrique de surface. Cours online de géophysique ; Université de Lausanne ; Institut Français du pétrole.
- C.G.G-1967-** Prospection géophysique dans la plaine de Mouafkia.
- C.G.G-1972-** Prospection géophysique par sondage électriques du moyen Cheliff occidental.
- C.G.G – 1966-** Etude Hydrologique par prospection électrique et sismique dans l'oued Sly.
- DAKOURE, D. (2003)** – Etude hydrogéologique et géochimique de la bordure Sud-Est du bassin sédimentaire de Taoudeni (Burkina Faso - Mali) - Essai de modélisation. Thèse de Doctorat, Université Paris VI, 255 p.
- DEBIECHE T-H. (2002)** – Evolution de la qualité des eaux (Salinité, Azote et Métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle (application à la basse de la plaine Seybouse –Nord –Est Algérien). Thèse de Doctorat / Université de Franche-Comté, France, 235 p.
- DERRON, M H. (2000)** – Interaction eau-roche de base température : Géochimie des eaux de sources et interaction eau-roche dans les Alpes », cours donné au Centre d'Analyse Minérale, Science de la Terre, Univ. Lausanne, 20 p.
- DETAY, M. (1997)** – La gestion active des aquifères. Paris, Masson. 410 p.

**DRASS. (2001)** – La qualité des eaux destinées à la consommation humaine, Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales de Poitou-Charente, France.

**ELHAKIM. M- 2005-** Les aquifères karstiques de l'Anti-Liban et du nord de la plaine de la BEKAA : Caractéristiques, fonctionnement, évolution et modélisation d'après l'exemple du système karstique ANJAR- CHAMSINE (Liban). Thèse de doctorat. Université de Montpellier.

**EDDY. T -2005-** Etude de l'impact d'une pollution accidentelle et d'une pollution agricole sur les ressources en eau souterraine. Thèse de doctorat. Ecole polytechnique universitaire de LILLE.

**ETIENNE. R – 2005-** Caractérisation de sols hétérogènes par des méthodes géophysiques. These de doctorat. Grenoble1.

**FREEZE, R.A. & CHERRY, J.A- (1979)** – Groundwater. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ pp 604.

**GALLEY et al. (1996)** – Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux, Agence de l'Eau de Seine-Normandie, France.

**GOULARD, M et al. (1987)** – Comparaison d'approches multivariées pour l'étude de la variabilité spatiale des sols. *Agronomie*, 7 (9). pp 657 – 665

**HUBERTY, C J. (1975)** – Discriminante analyses. *Review of education research*, pp 45,543-598.

**LALLEMEND –BARRES A. et ROUX J C. (1989)** – Guide méthodologique d'établissement des périmètres de protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humaine. Edition du BRGM, Orleans, 219 p.

**L'HIRONDEL J. (1994)** – Les nitrates de l'alimentation chez l'homme : métabolisme et innocuité. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 80, n°2, pp. 41-52

**L'HIRONDEL J. (1996)** – Les nitrates et l'homme – Le mythe de leur toxicité. Ed de l'Institut de l'Environnement, 144 p.

**MARTIN C. (2003)** – Mécanismes hydrologiques et hydrochimiques impliqués dans les variations saisonnières des teneurs en nitrate dans les bassins versants agricoles. Approche expérimentale et modélisation. Thèse Doctorat, Ecole de Renne 1- France. 283 p. **MATERON G. (1965)** – Les variables régionalisées et leurs estimations. Ed Masson, Paris. 305 p.

**MATTAUER, M. (1958)** – Etude géologique de l'Ouarsenis oriental (Algérie). Thèse Es-science Paris. pp 296 – 313.

**MATTHESS, G. (1972)** – Die Beschaffenheit des Grubdwassers. *Lehrbuch der Hydrogéologie Bd 2 Gebr.*

**MISEREZ. J. J- 1973-** Géochimie des eaux du Karst Jurassien. Thèse de doctorat. Université de Neuchâtel.

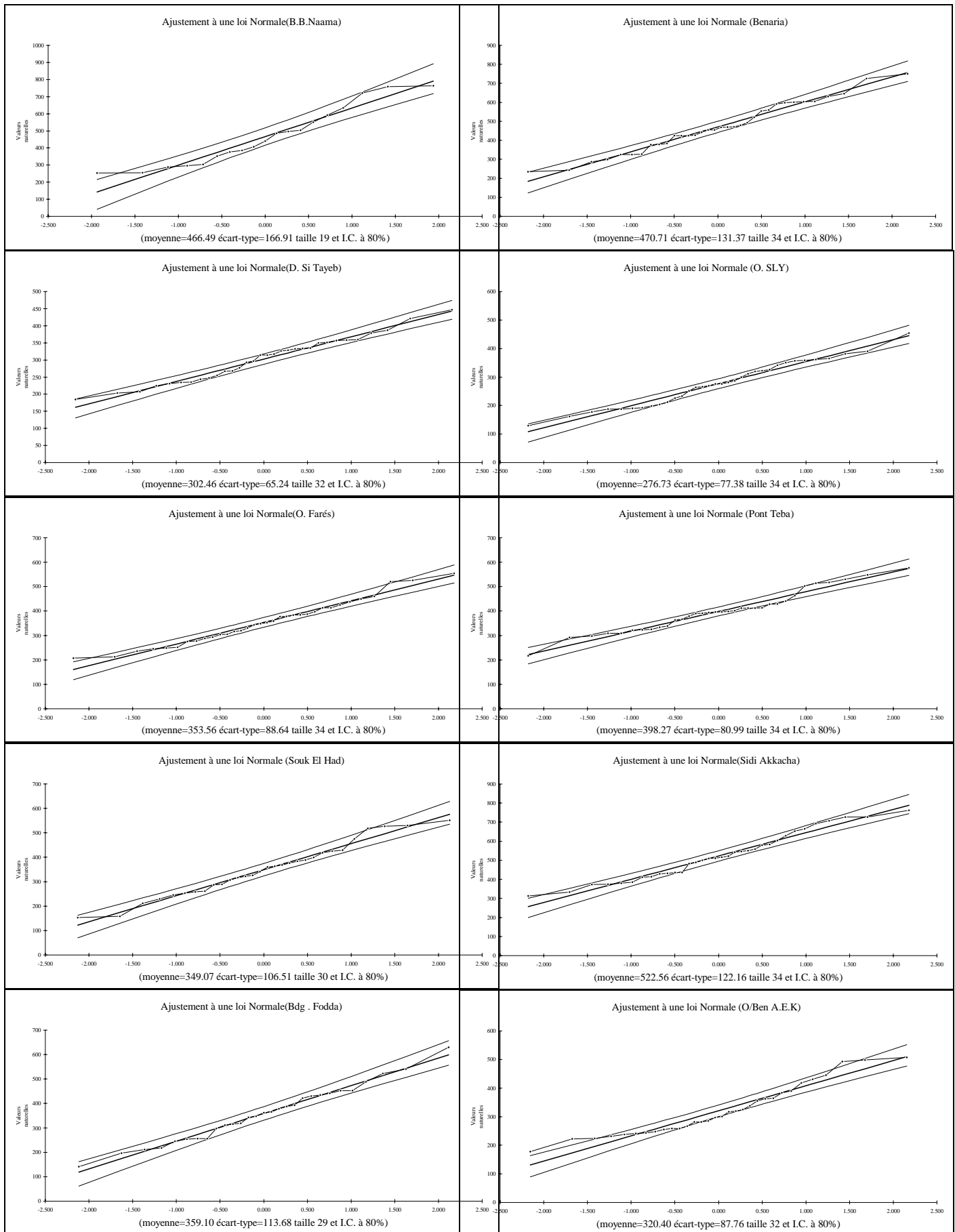
**PHILIPPEAU, G. (1986)** -- Comment interpréter les résultats d'une Analyse en Composantes Principales? – Collection STA-ITCF. 93p.

**PRADINES. D – 1977-** Etude hydrogéologique du Moyen Cheliff occidental ; compte rendu de forage.

**POLVÊCHE .J-1960-** Contribution à l'étude géologique de l'Ouarsenis Oranaie. Pub.serv.carte géol. n°24. 577p.

- RENARD, F. (2002)** - Cours d'hydrogéologie - Master Professional-DESS LTHE (Laboratoire d'étude des transferts en Hydrologie et Environnement), 54 p.
- RODIER J. (1996)** -- L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer 8<sup>e</sup> édition Dunod, Paris. 1383 p.
- SCET – ARG1 (1). (1985)** -- Hydrologie – Hydrogéologie et bilan des ressources, Etude du réaménagement et de l'extension du périmètre du moyen Chéiff : Rap A1.1. 2. Pub. Ministère de l'Hydraulique. 72 p.
- SCET – ARG1 (2). (1985)** -- Bilan des ressources hydriques, Etude du réaménagement et de l'extension du périmètre du moyen Chéiff Rap A1.1. Pub. Ministère de l'Hydraulique. pp 4- 28.
- SCET – ARG1 (3). (1985)** -- Rapport de synthèse, Etude du réaménagement et de l'extension du périmètre du moyen Chéiff. Pub. Ministère de l'Hydraulique. 75p.
- SCHRAMBACH M (1966)** – Exploitation et conservation des nappes souterraines des plaines du haut, moyen, le bas Cheliff et la Mina inférieure
- SOMLETTE, L. (1998)** -- Contribution à l'étude hydrogéologique de la distribution et du devenir des nitrates dans les nappes de fissures, de l'échelle du périmètre expérimental à celle du bassin versant côtier. Thèse de Doctorat, université de Bretagne, France, 340 p.
- SCHÜRCH. M -2000-** Détermination des paramètres hydrauliques et hydrochimiques d'un aquifère alluvial dans une vallée alpine (Valaise,Suisse). Thèse de doctorat de doctorat, université de Neuchâtel.
- SCHRAMBACH. M- 1966-** Exploitation et conservation des nappes souterraines des plaines du Haut, Moyen et Bas Cheliff et de la Mina inférieur.
- SCHRAMBACH. M – 1966-** Exploitation et conservation de la nappe des calcaires à lithothamnium. Synthèse des études des travaux antérieurs 1965.
- TROMBE, F. (1977)** -- Les eaux souterraines - QUE SAIS-JE ?-, 3<sup>e</sup> édition : 4<sup>e</sup> trimestre, presses universitaires de France, 128 P. **TAHRAOUI -D, N. (2006)** -- Analyse des Déchets Ménagers Solides de la Ville de Chlef. Méthodes de Traitement – mémoire de Magister, Université de Chelf, 149 p.
- TOMASSONE, R. (1988)** -- Comment interpréter les résultats d'une AFD ? .Collection STAT- ITCF, 56 p.
- THIERRIN. J - 1990-** Contribution à l'étude des eaux souterraines de la région de FRIBOURG (Suisse occidentale). Thèse de doctorat, université de Neuchâtel.
- VOLTZ M. (1986)** – Variabilité spatiale des propriétés physiques en milieu alluvial : essai de cartographie quantitative des paramètres hydrodynamiques.Thèse Doc. Ing ENSAM. 198p.





**Figure1 : Ajustement de la loi normal à l'échantillon.**

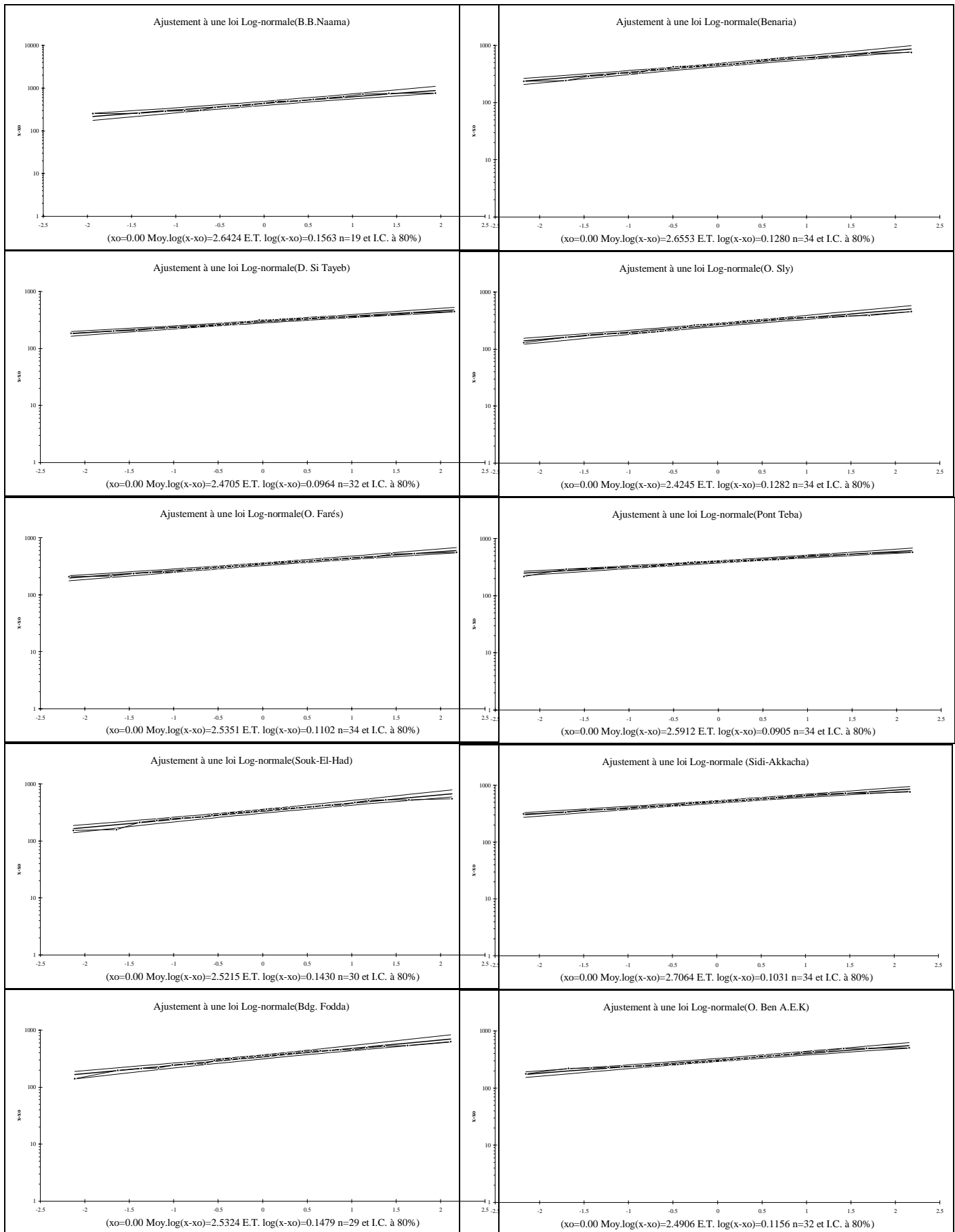


Figure 2 : Ajustement de la loi log normal à l'échantillon.

**Tableau1** : Calcul des paramètres morphométriques du Bassin O. Ras et Ouahrane.

Classe des altitudes	Surface partielles (Km2)	Pourcentage %	Fréquence ai	Dénivelé di	ai.di	(ai.di)1/2
1000-1200	0,4	0,03	0,003	200	0,6	0,77
800-1000	5,1	0,35	0,004	200	0,8	0,89
600-800	14,36	0,99	0,01	200	2	1,41
400-600	394,9	27,45	0,27	200	54	7,34
200-400	674,59	46,89	0,47	200	94	9,69
0-200	349,1	24,27	0,243	200	48,6	6,97
Total	1438,45	100	1			27,1

**Tableau2** : Calcul des paramètres morphométriques du Bassin O. Sly.

Classe des altitudes	Surface partielles (Km2)	Pourcentage %	Fréquence ai	Dénivelé di	ai.di	(ai.di)1/2
1600-1800	0,15	0,01	0,0001	200	0,02	0,14
1400-1600	0,74	0,05	0,005	200	1	1
1200-1400	4,15	0,29	0,003	200	0,6	0,77
1000-1200	75,88	5,40	0,054	200	10,8	3,28
800-1000	394,17	28,07	0,281	200	56,2	7,49
600-800	437,07	0,31	200	62	7,87	2,80
400-600	269,42	0,19	200	38,4	6,19	2,48
200-400	168,6	0,12	200	24	4,89	2,21
0-200	53,89	0,04	200	7,8	2,79	1,67
Total	1404,07	1				21,87

**Tableau 3** : Calcul des paramètres morphométriques du Bassin Cheliff-Ouarizane

Classe des altitudes	Surface partielles (Km2)	Pourcentage %	Fréquence ai	Dénivelé di	ai.di	(ai.di)1/2
800-1000	3,98	0,69	0,007	200	1,4	1,18
600-800	16,65	2,89	0,029	200	5,8	2,41
400-600	128,32	22,32	0,22	200	44	6,63
200-400	182,41	31,73	0,32	200	64	8
0-200	243,4	42,34	0,42	200	84	9,17
Total	574,76	100	0,996			27,39

**Tableau 3 :** FORAGE: KHLIEF MOUMNIA 2  
ESSAI DE POMPAGE (DESCENTE)

DATE : 20/02/2007.

DUREE : 48 H

DEBIT : 20.50 l/s.

NS : 37.92 m.

 $\Delta$  : RABATTEMENT

T : TEMPS

N.D : NIVEAU DYNAMIQUE.

T (min)	N.D (m)	$\Delta$ (m)
1	70.14	32.22
2	70.62	32.7
3	70.84	32.92
4	71.02	33.1
5	71.1	33.18
6	71.18	33.26
7	71.22	33.3
8	71.26	33.34
9	71.29	33.37
10	71.3	33.38
12	71.28	33.9
14	72.3	34.38
16	72.41	34.49
18	72.51	34.59
20	72.64	34.72
22	72.79	34.87
24	72.82	34.9
26	72.84	34.92
28	72.86	34.94
30	72.87	34.95
35	72.86	34.94
40	72.85	34.93
45	72.84	34.92
50	72.86	34.94
55	72.87	34.95
60	73.88	35.96
65	73.92	36
70	73.96	36.04
75	73.98	36.06
80	74	36.08
85	74.1	36.18
90	74.25	36.33
100	74.3	36.38
105	74.35	36.43
110	74.4	36.48
115	74.46	36.54
120	74.54	36.62
130	74.59	36.67
140	74.6	36.68
150	74.64	36.72
160	74.62	36.7
170	74.71	36.79
180	74.75	36.83
200	74.78	36.86
215	74.81	36.89
230	74.83	36.91
245	74.85	36.93
260	74.87	36.95

T (min)	N.D (m)	$\Delta$ (m)
280	74.89	36.97
300	74.92	37
320	74.95	37.03
350	74.98	37.06
380	74.99	37.07
410	75	37.08
470	75.02	37.1
530	75.05	37.13
590	75.07	37.15
650	75.07	37.15
710	75.11	37.19
770	75.13	37.21
830	75.15	37.23
890	75.17	37.25
950	75.2	37.28
1010	75.21	37.29
1070	75.22	37.3
1130	75.21	37.29
1190	75.19	37.27
1250	75.18	37.26
1310	75.17	37.25
1370	75.18	37.26
1430	75.18	37.26
1490	75.19	37.27
1550	75.19	37.27
1610	75.2	37.28
1670	75.21	37.29
1730	75.22	37.3
1790	75.23	37.31
1850	75.24	37.32
1910	75.25	37.33
1970	75.26	37.34
2030	75.27	37.35
2090	75.28	37.36
2150	75.29	37.37
2210	75.3	37.38
2270	75.29	37.37
2330	75.28	37.36
2390	75.29	37.37
2450	75.3	37.38
2510	75.3	37.38
2570	75.27	37.35
2630	75.26	37.34
2690	75.23	37.31
2750	75.23	37.31
2810	75.25	37.33
2870	75.24	37.32

**Tableau 4 :**

**FORAGE: KHLIEF MOUMNIA 2**  
**ESSAI DE POMPAGE (REMONTE)**

DATE : 20/02/2007.

DUREE : 48 H

 $\Delta$ :RABATTEMENT

DEBIT : 20.50 l/s.

T' : TEMPS.

NS : 37.92 m.

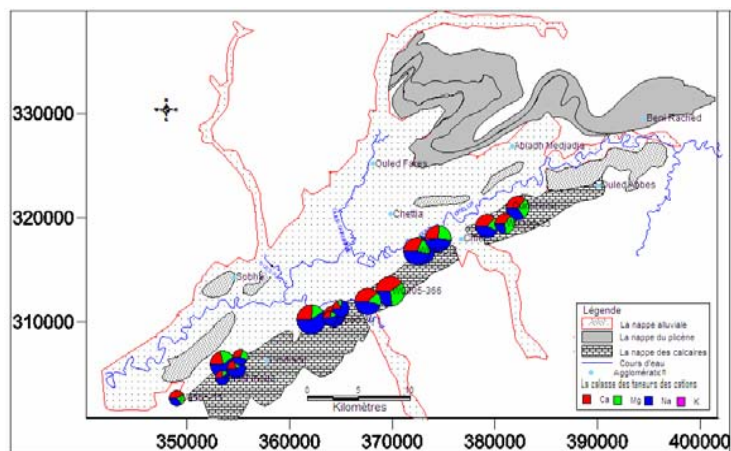
N.D : NIVEAU DYNAMIQUE.

T' (min)	1+T/T'	N.D (m)	$\Delta$ (m)
1	2881	58.8	20.88
2	1441	55.56	17.64
3	961	54.35	16.43
4	721	50.17	12.25
5	577	48.83	10.91
6	481	47.67	9.75
7	412.4	46.42	8.5
8	361	45.58	7.66
9	321	44.97	7.05
10	289	44.59	6.67
12	241	43.55	5.63
14	206.7	42.6	4.68
16	181	42.2	4.28
18	161	41.93	4.01
20	145	41.33	3.41
25	116.2	41.16	3.24
30	97	40.55	2.63
35	83.3	40.25	2.33
40	73	40.03	2.11
45	65	39.81	1.89
50	58.6	39.76	1.84
55	53.4	39.65	1.73
60	49	39.55	1.63
65	45.3	39.44	1.52
70	42.1	39.35	1.43
75	39.4	39.28	1.36
80	37	39.2	1.28
85	34.9	38.9	0.98
90	33	38.8	0.88
95	31.3	38.71	0.79
100	29.8	38.65	0.73
105	28.4	38.6	0.68
120	25	38.57	0.65

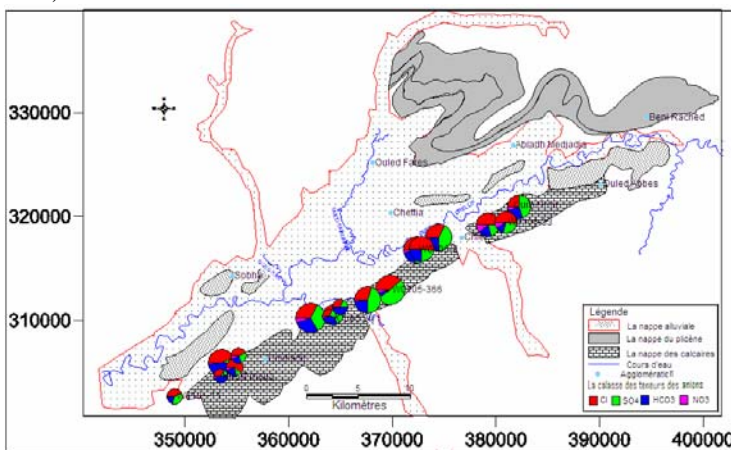
Tableau 6 : Données piézométrique (hautes et basses eaux 2006).

N°BIRH	X (m)	Y (m)	Z (m)	avr-06		sept-06		obs	nature
				N/S	N/P	N/S	N/P		
W082-58	400750	327500	116.61	8.20	108.41	7.18	109.43		PUITS
W082-61	392500	323600	236.00	4.29	231.71				PUITS
W082-72	389525	324900	138.92	13.10	125.82	14.25	124.67		PUITS
W082-87	379825	323050	117.88	15.95	101.93	16.38	101.50		PUITS
W82-113	376900	323750	123.92	65.48	58.44	66.23	57.69	bis	forage
W082-125	381200	326900	167.70	13.12	154.58	13.60	154.10	bis	PUITS
W082-127	387600	324800	138.92	6.87	132.05	7.80	131.12		PUITS
W082-128	397325	320900	193.25			26.00	167.25		PUITS
W082-137	402900	329500	148.12	27.58	120.54	24.65	123.47		PUITS
W082-136	397075	323150	149.10	21.15	127.95	21.26	127.84		PUITS
W0105-2	367150	312450	97.91	23.49	74.42	21.80	76.11		PUITS
W0105-6	346400	300700	90.25	27.46	62.79	28.40	61.85		PUITS
W0105-8	362100	310200	91.43			26.32	65.11		PUITS
W0105-11 bis	348800	302650	73.11	10.69	62.42	10.84	62.27	bis	PUITS
W0105-19	363660	311650	90.53	MI		29.1	61.43		PUITS
W0105-51	354800	305450	97.58	55.79	41.79	55.10	42.48		PUITS
W0105-57	357800	310075	78.80			6.15	72.65		PUITS
W0105-65	351675	304650	81.34	17.73	63.61	17.02	64.32		PUITS
W0105-84	353900	307250	88.67	12.55	76.12	12.54	76.13		PUITS
W0105-91	356000	308100	77.60	6.93	70.67	7.42	70.18		PUITS
W0105-102	357675	308200	77.32	13.69	63.63	13.60	63.72		PUITS
W0105-307	349300	307350	70.21	19.41	50.80	19.66	50.55		PUITS
W0105-313	352475	308810	93.69	32.04	61.65	32.02	61.67		PUITS
W0105-348	352600	312075	98.08	35.73	62.35	35.17	62.91		PUITS
W0105-383 bis	369800	320150	92.77			47.7	45.07		PUITS
W0105-453	355150	306650	92.99	20.26	72.73	19.50	73.49		PUITS
W0105-548	354200	315000	129.36	48.04	81.32	47.20	82.16		PUITS
W0105-574	354910	310550	75.12	11.48	63.64	11.90	63.22		PUITS
W0105-575	358100	310010	79.71	16.57	63.14	17.20	62.51		forage
W0105-589	359010	316650	84.35	21.91	62.44	22.30	62.05		forage
W0106-2	372400	316800	98.65	35.21	63.44				PUITS
W0106-15	390750	317800	212.82	6.60	206.22	7.10	205.72		PUITS
W0106-18	393350	315900	195.21	9.06	186.15	10.00	185.21		PUITS
W0106-19	394775	315625	187.68	7.89	179.79	7.53	180.15		PUITS
W106-24 bis	393050	313850	223.80	10.48	213.32	10.86	212.94		PUITS
W0106-33	380950	319450	148.82	40.80	108.02	39.42	109.40		PUITS
W0106-35	379500	319500	138.67	6.86	131.81	7.12	131.55		PUITS
W105-1033	364990	320500	93.58	36.69	56.89				forage
W105-675	355090	310085	74.78	9.00	65.78				PUITS
W82-52 bis	403383	327010	111.37	19.65	91.72				PUITS

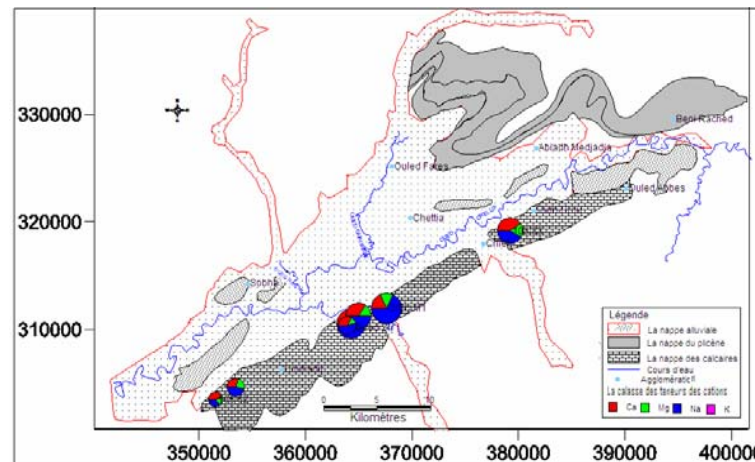




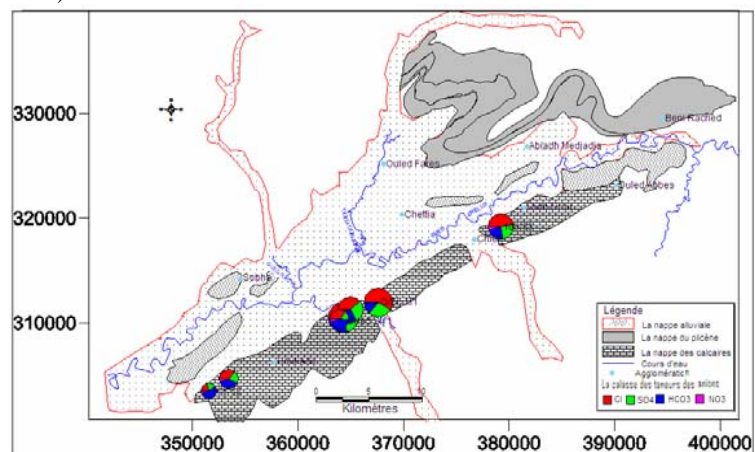
**Figure 1:** La carte des teneurs en cations de la nappe des calcaires en hautes eaux (Avr, 2002).



**Figure 2:** La carte des teneurs en anions de la nappe des calcaires en hautes eaux (Avr, 2002).



**Figure 3:** La carte des teneurs en cations de la nappe des calcaires en basses eaux (Sept, 2002).



**Figure 4 :** La carte des teneurs en anions de la nappe des calcaires en basses eaux (Sept, 2002).



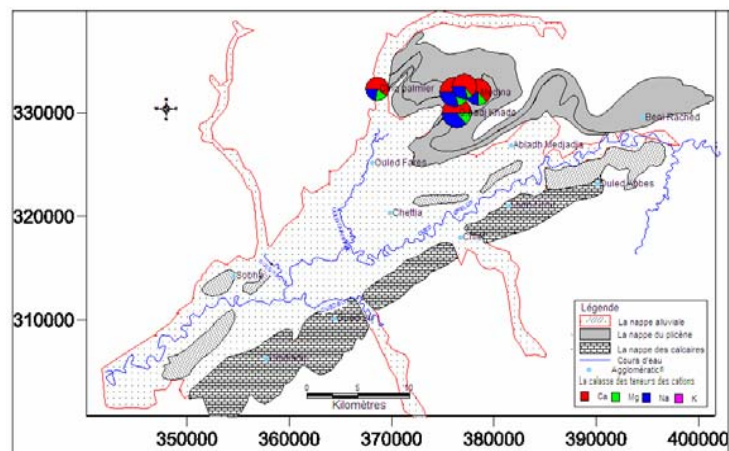


Figure 5: La carte des les teneurs en cations de la nappe du pliocène en hautes eaux

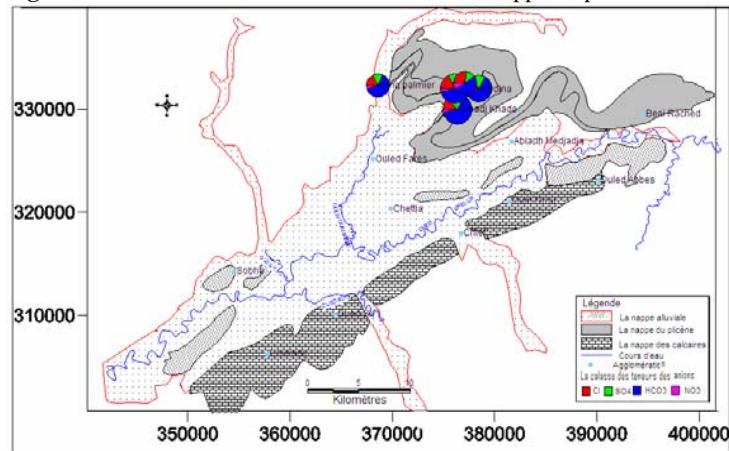


Figure 6: La carte des les teneurs en cations de la nappe du pliocène en basses eaux

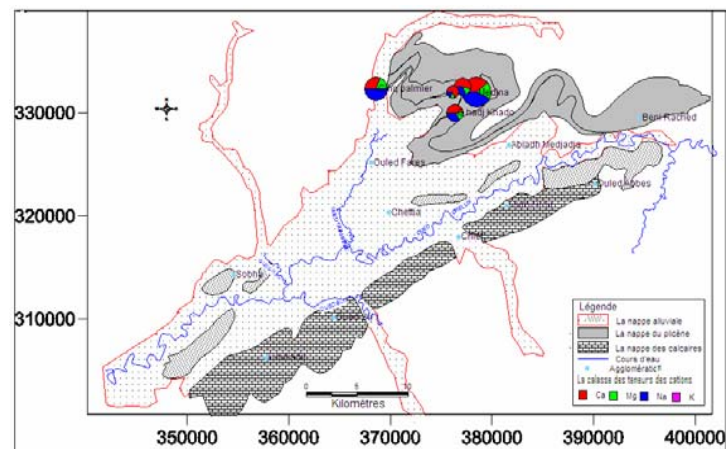


Figure 7: La carte des les teneurs en anions de la nappe du pliocène en hautes eaux

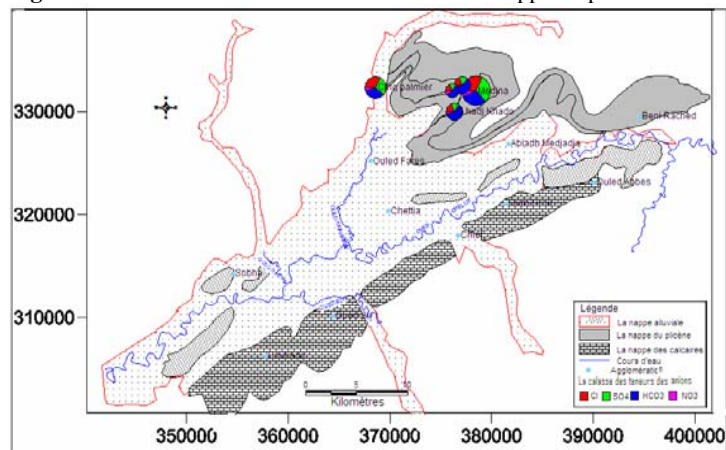
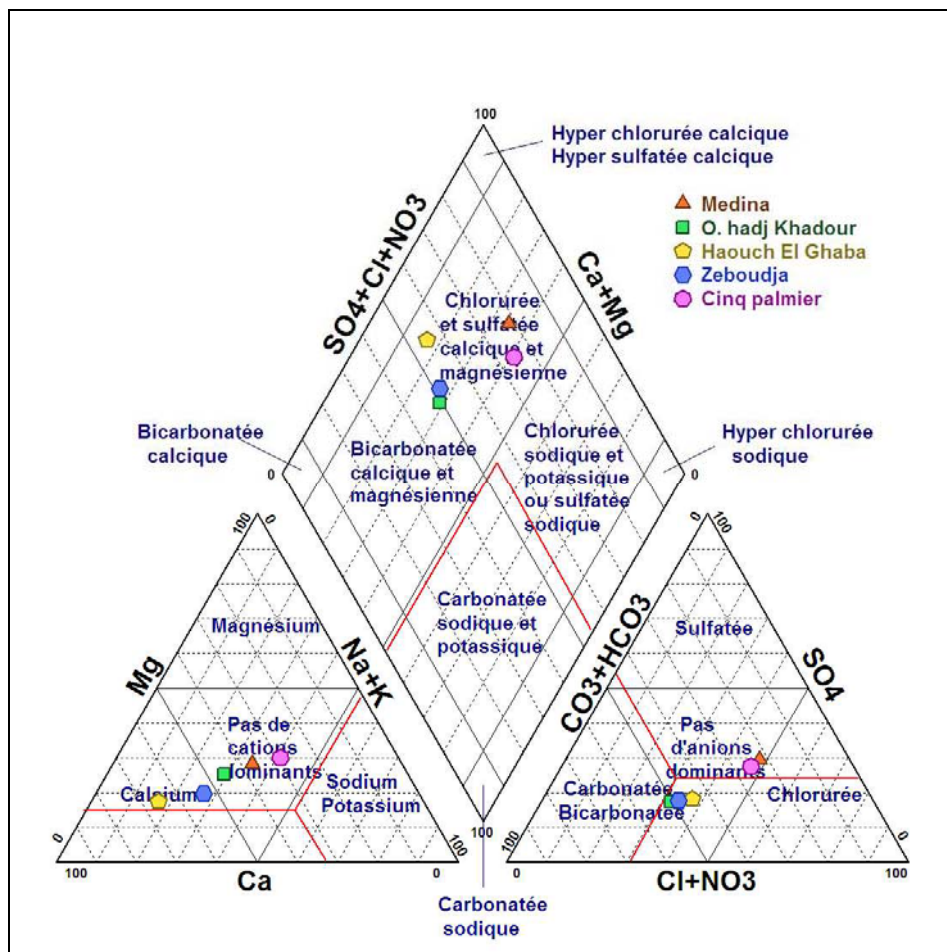
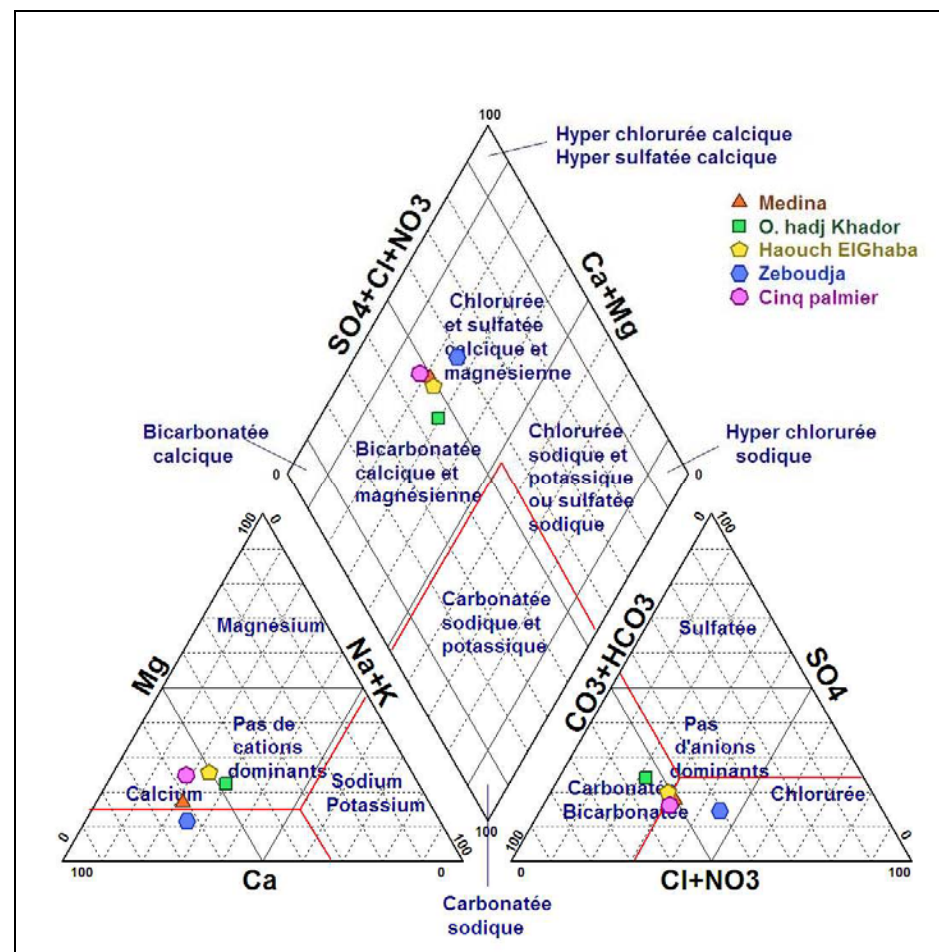


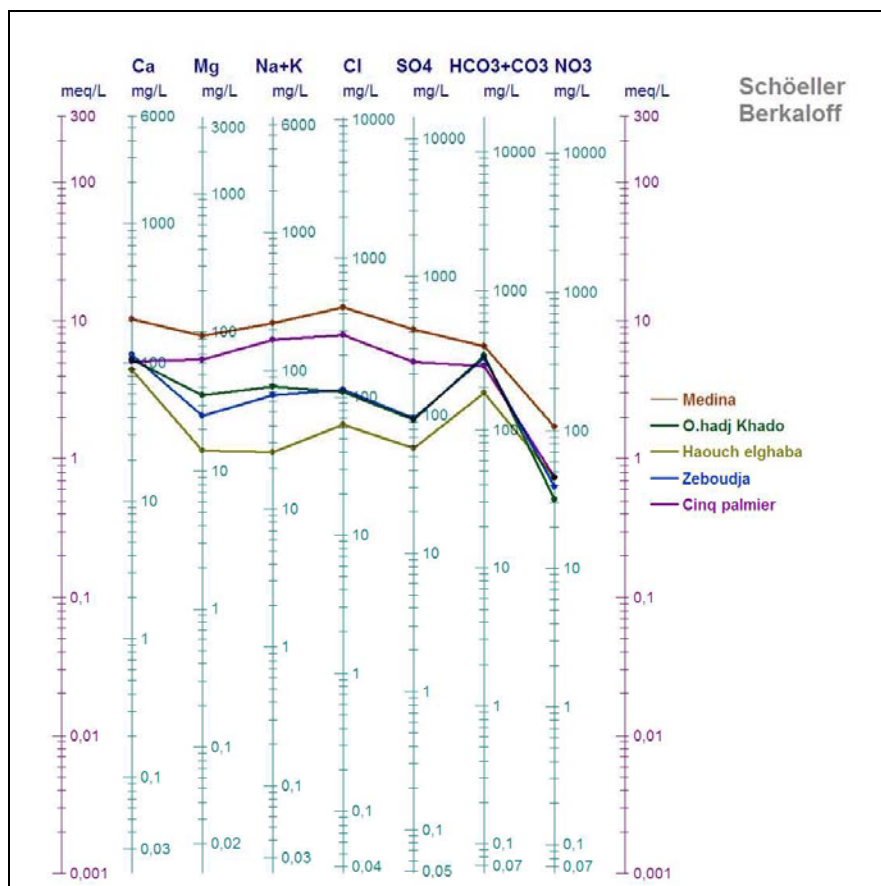
Figure 8: La carte des les teneurs en anions de la nappe du pliocène en basses eaux



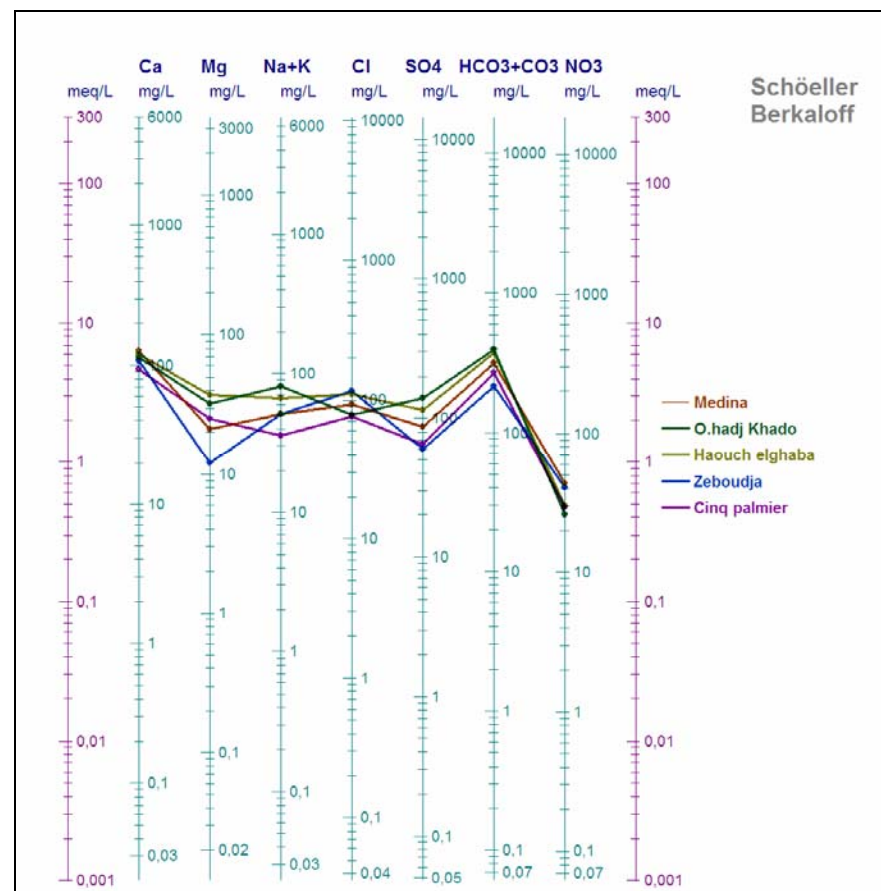
**Figure 9:** Diagramme de Piper pour la nappe du pliocène (Hautes eaux).



**Figure 10:** Diagramme de Piper pour la nappe du pliocène (Basses eaux).



**Figure 11 :** Diagramme de Schoeller pour la nappe du pliocène (Hautes eaux).



**Figure 12 :** Diagramme de Schoeller pour la nappe du pliocène (Basses eaux).



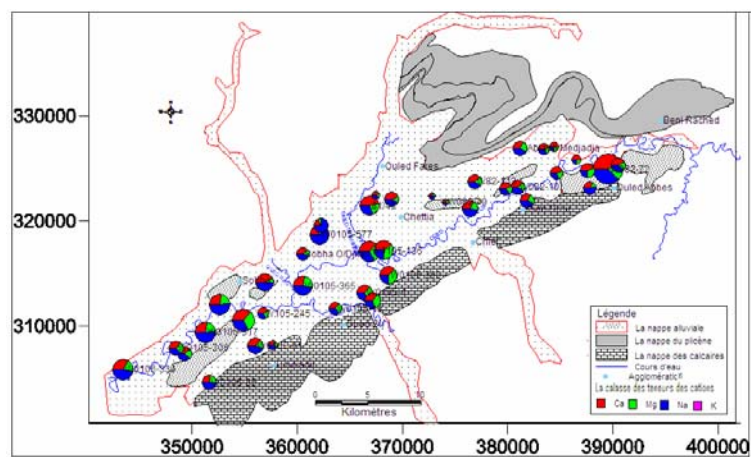


Figure 13: La carte des teneurs des cations pour la nappe alluviale en hautes eaux.

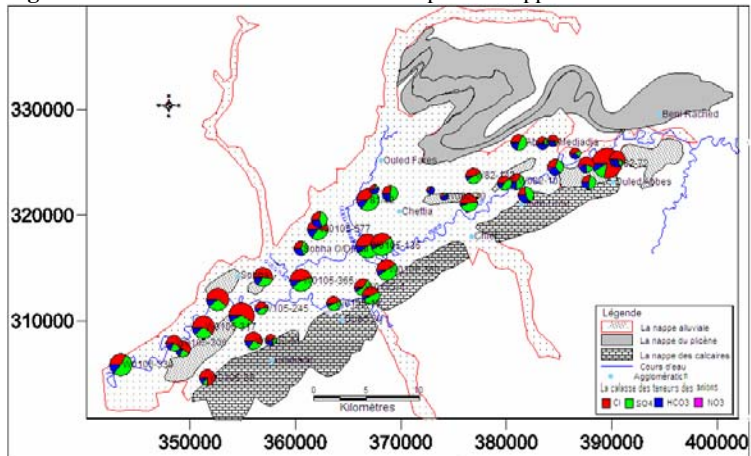


Figure 14: La carte des teneurs des cations pour la nappe alluviale en basses eaux.

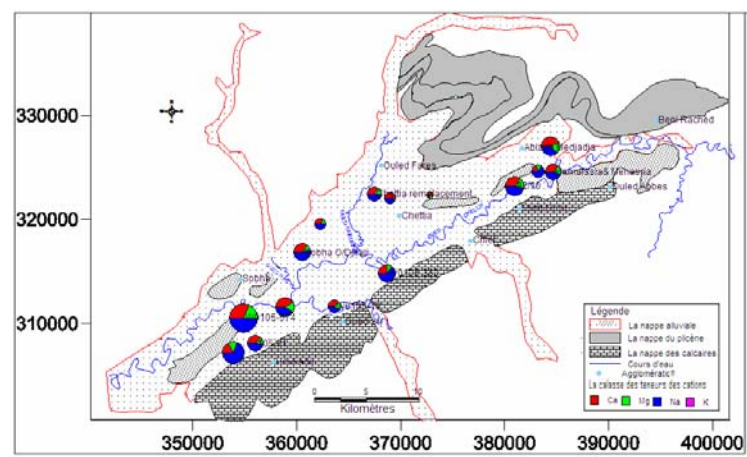


Figure 15 : La carte des teneurs des anions pour la nappe alluviale en hautes eaux.

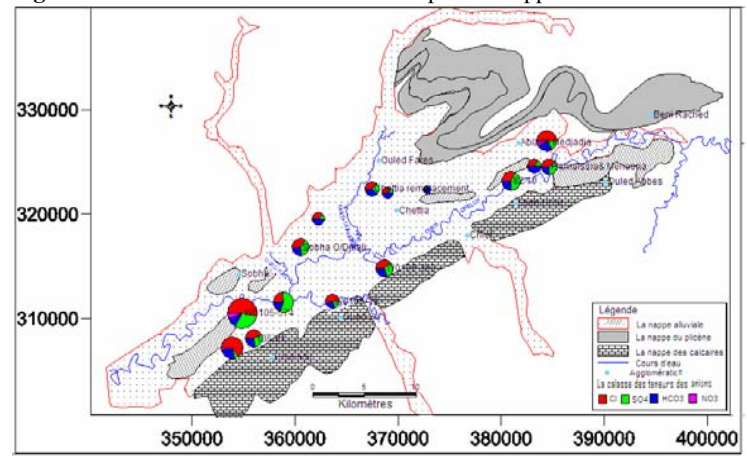
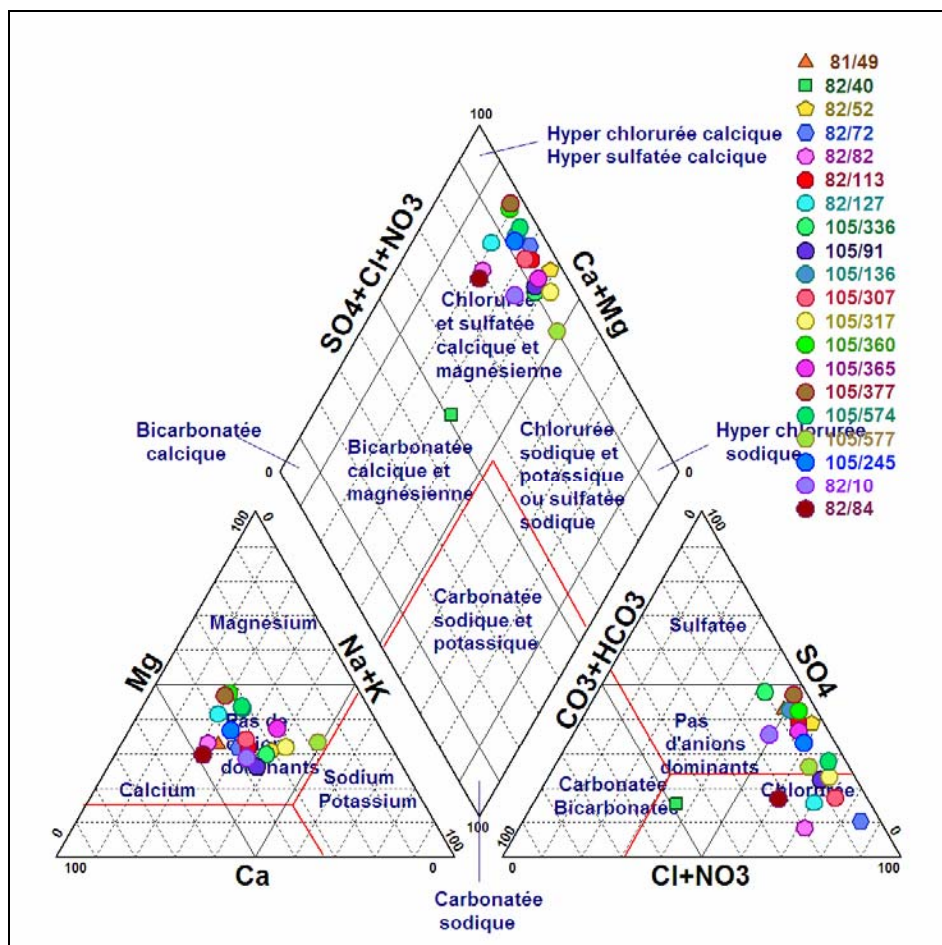
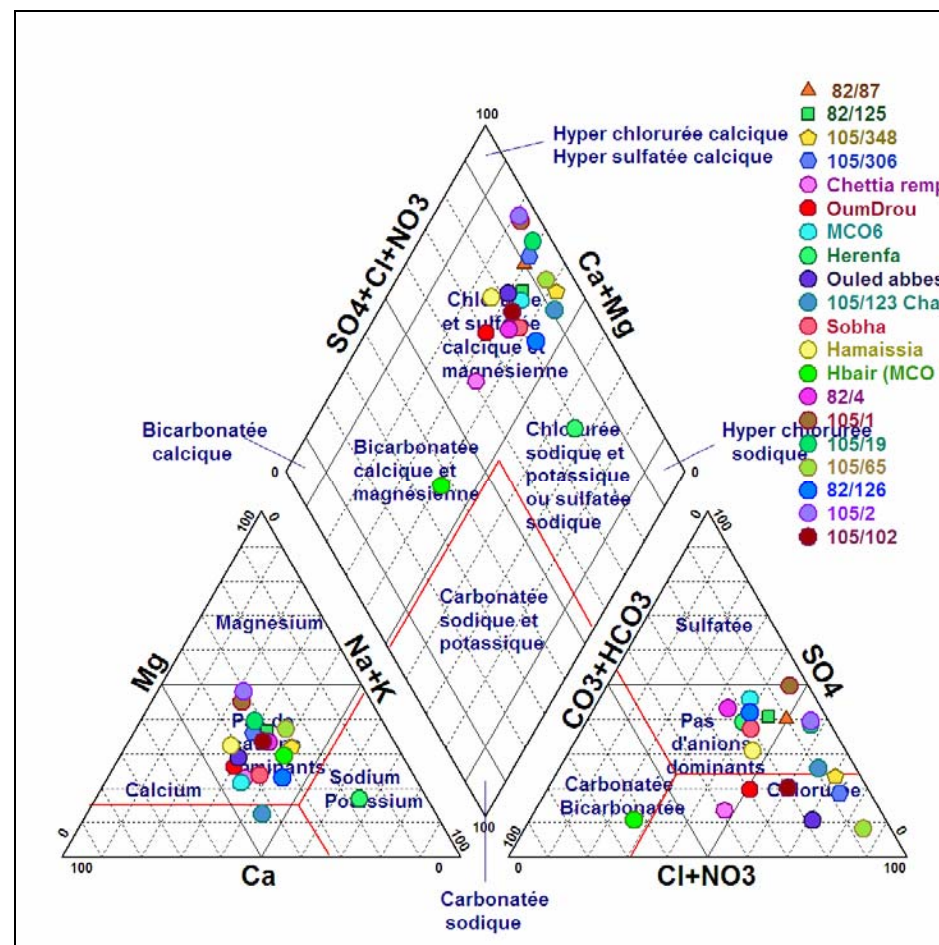


Figure 16 : La carte des teneurs des anions pour la nappe alluviale en basses eaux.





**Figure 17a:** Diagramme de Piper pour la nappe alluviale (hautes eaux).



**Figure 17b:** Diagramme de Piper pour la nappe alluviale (hautes eaux).

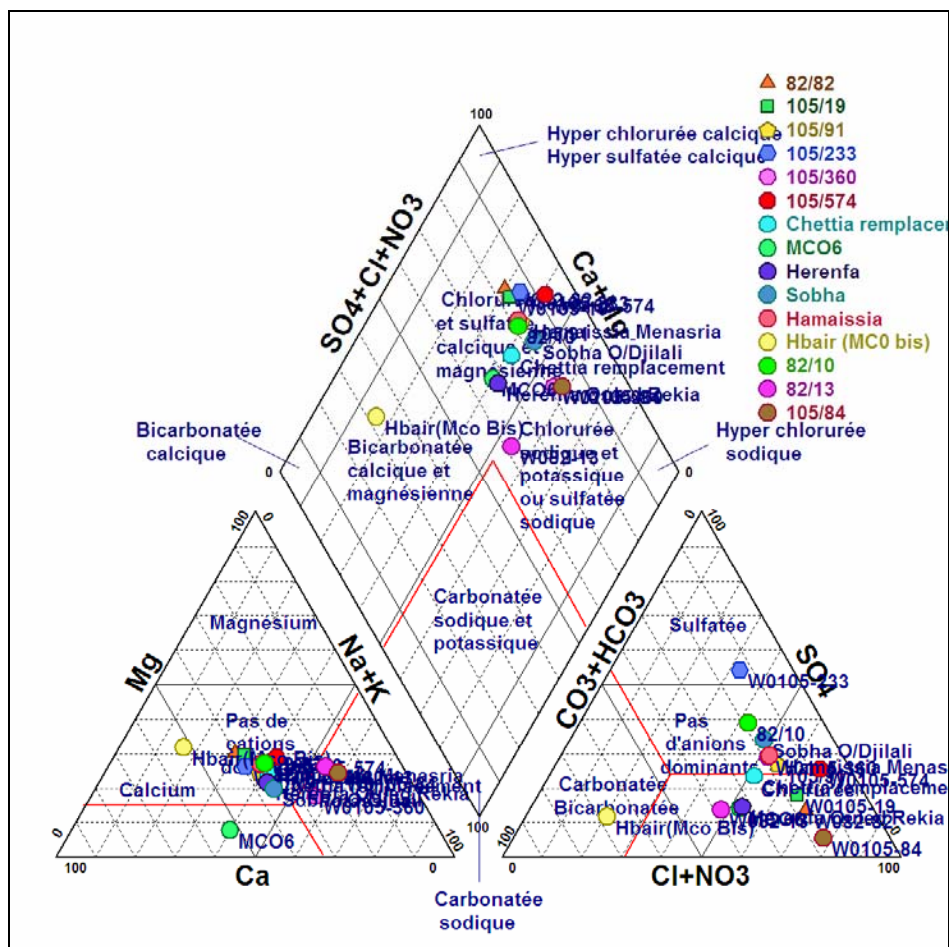


Figure 18: Diagramme de Piper pour la nappe alluviale (Basses eaux).

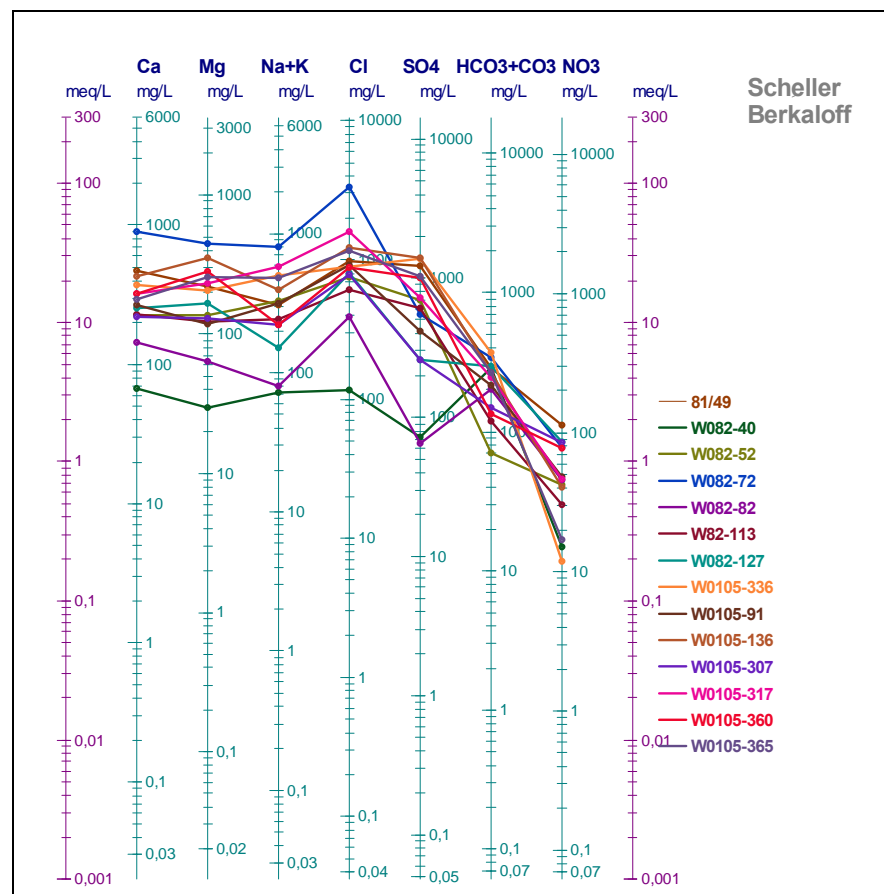


Figure 19a : Diagramme de Schoeller pour la nappe alluviale (hautes eaux).

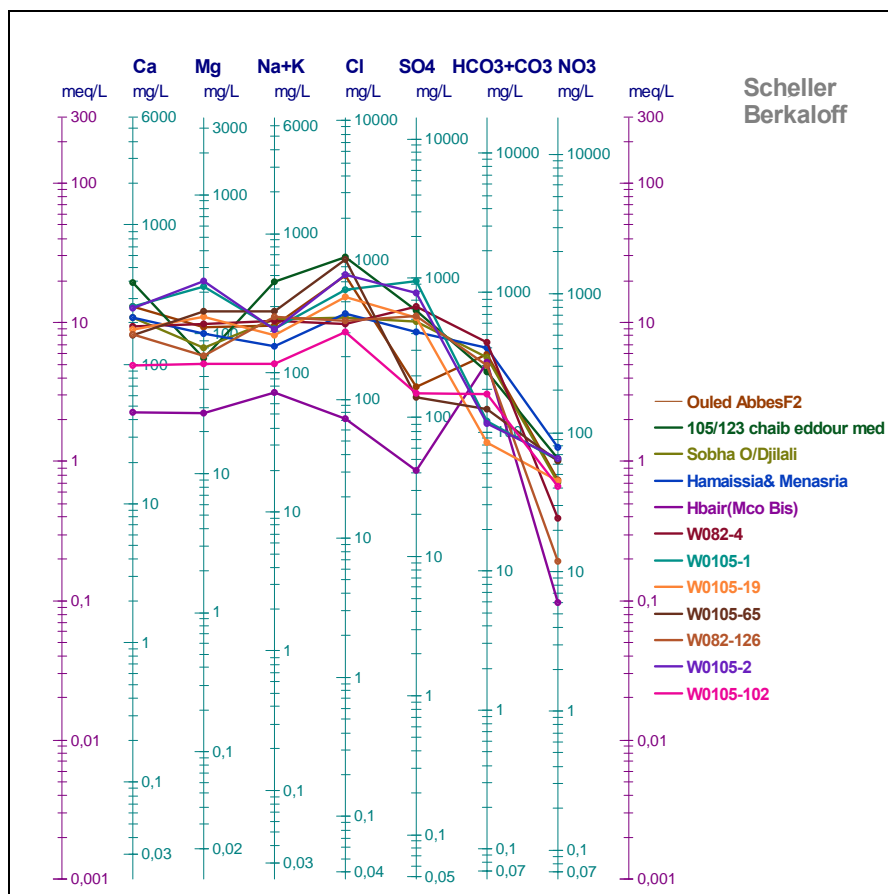


Figure 19b : Diagramme de Schoeller pour la nappe alluviale (hautes eaux).

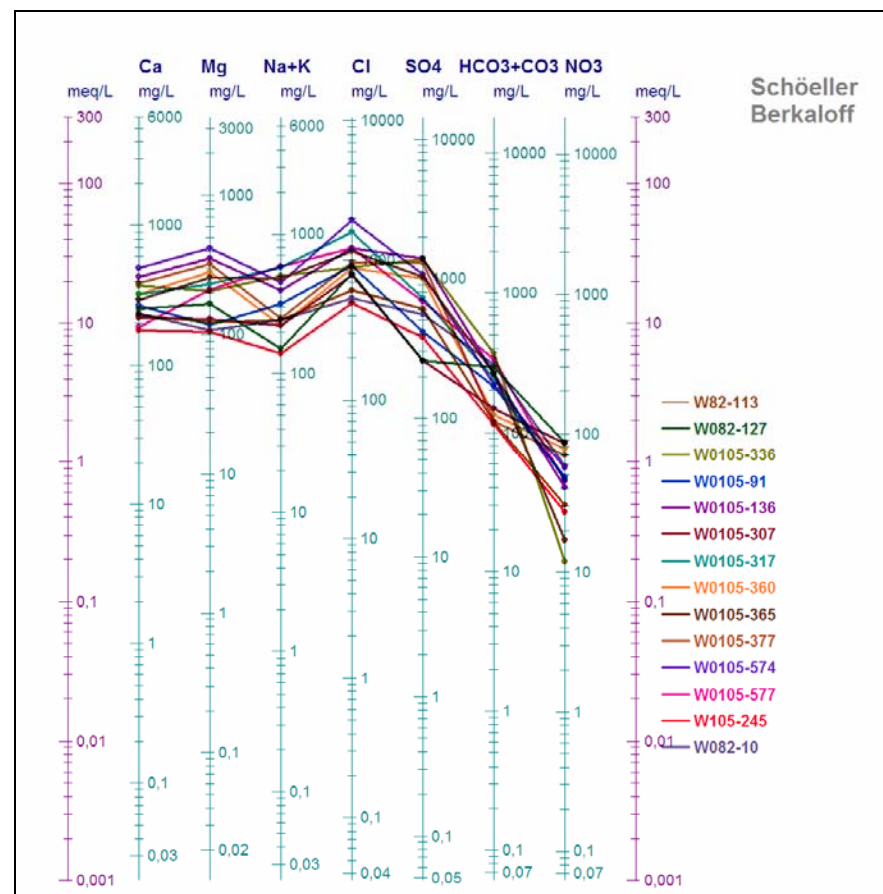
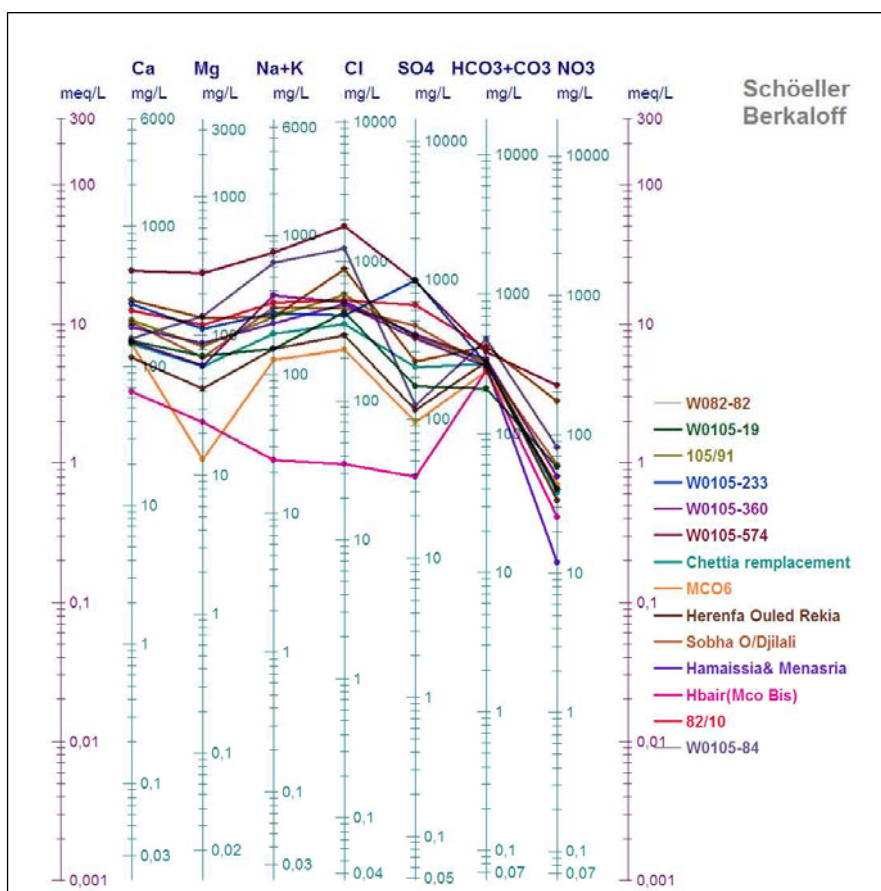


Figure 19c : Diagramme de Schoeller pour la nappe alluviale (hautes eaux).





**Figure 20 :** Diagramme de Schoeller pour la nappe alluviale (Basses eaux).



**Tableau 1** : les analyses chimiques de la nappe des calcaires à lithothamnium en hautes eaux (Avr ; 2002).

Ponit d'eau	X(mm)	Y(m)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	HCO3 (mg/l)	NO3 (mg/l)	CE μS/cm	PH	TH (°F)	Balance ionique(%)	Faciès
			Ca (méq/l)	Mg (méq/l)	Na (méq/l)	K (méq/l)	Cl (méq/l)	SO4(méq/l)	HCO3 (méq/l)	NO3 (méq/l)					
W0105-8	362100	310200	197	103	435	0,8	613	633	516	101	3840	7,5	92,42	-3,22	Chloruré sodique
			9,85	8,45	18,9	0,8	17,27	13,2	8,46	1,62					
W0105-453	355150	306650	69	58	100	0	270	150	120	62	1350	6,9	41,15	-4,34	Chloruré magnésium
			3,45	4,76	4,35	0	7,61	3,13	1,97	0,99					
W0105-83	353525	305975	134	119	363	1,5	683,8	100	712	36	3120	7,9	83,16	-2	Chloruré sodique
			6,7	9,75	15,8	0,038	19,26	2,08	11,67	0,58					
82/02	366868	321438	176,8	137	161	0,75	329,8	550	300	75	2680	7,1	101,1	0,33	Sulfaté magnésium
			8,84	11,19	7,01	0,02	9,29	11,46	4,92	1,21					
W0105-11	349000	302700	93	47	80	0	250	198	101	16	1270	7,4	42,8	-4,43	Chloruré calcique
			4,65	3,85	3,48	0	7,04	4,13	1,66	0,26					
W0105-51	354800	305450	70	61	195	0	440	71	151	47,8	1600	7	42,71	-0,41	Chloruré sodique
			3,5	5	8,48	0	12,39	1,48	2,48	0,77					
W0105-366	369800	312950	292	230	200	0,2	700,4	941	114	75,5	4140	7,5	168,7	-0,32	Chloruré magnésium
			14,6	18,85	8,7	0,005	19,73	19,61	1,87	1,22					
W0106-2	372400	316800	203	124	280	0	512,5	688	294	74	3370	7,9	102,3	-3,41	Chloruré sodique
			10,15	10,2	12,2	0	14,44	14,3	4,82	1,19					
W0106-33	380950	319450	144	144	110	0	555	270	133	100	2480	6,9	96,09	-4,74	Chloruré magnésium
			7,2	10,8	4,78	0	15,63	5,63	2,18	1,61					
W106-37	379200	319200	183	90	200	2	600	240	212	150	2690	8	83,04	-4,74	Chloruré calcique
			9,15	7,38	8,7	0,05	16,9	5	3,48	2,42					
W0106-8	374500	318025	163	157	275	15	512,5	638	358	48	3360	8	106,4	-1,49	Chloruré sodique
			8,15	12,9	12	0,38	14,44	13,3	5,87	0,77					
Khefif moua	353450	304650	51	32	120	2	185	78	239	35	1120	7,19	26,08	-4,04	Chloruré sodique
			2,55	2,62	5,22	0,05	5,21	1,63	3,92	0,56					
Slim O/Sly	363900	310350	55	30	100	3	160	95	199	31	980	6,92	26,25	-2,91	Chloruré sodique
			2,75	2,46	4,38	0,08	4,51	1,98	3,26	0,5					
Sidi Touil	364300	310500	144	69	215	2	405	295	312	9	2150	7,11	64,75	-1,24	Chloruré sodique
			7,2	5,66	9,35	0,05	11,41	6,15	5,11	0,15					
Site Sonalgaz	365000	311300	50	25	190	2	195	120	280	18	1180	7,21	22,92	-0,08	Chloruré sodique
			2,5	2,04	8,26	0,05	5,49	2,5	4,59	0,29					
O/Sly M1	367600	312000	224	93	260	2	458	638	356	33	3030	7,5	94,75	-3,8	Sulfaté sodique
			11,2	7,62	11,3	0,05	12,9	13,29	5,84	0,53					

**Tableau 2 :** les analyses chimiques de la nappe des calcaires à lithothamnium en basses eaux (Sept ; 2002).

Ponit d'eau	X(mm)	Y(m)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	HCO3 (mg/l)	NO3 (mg/l)	CE μS/Cm	PH	TH (°F)	RS (mg/l)	Min(mg/l)	Balance ionique(%)	Faciès
			Ca (méq/l)	Mg (méq/l)	Na (méq/l)	K (méq/l)	Cl (méq/l)	SO4 (méq/l)	HCO3 (méq/l)	NO3 (méq/l)							
105/62	351550	303500	73	28	50	6	92	88	232	24	5240	7,2	30	524	502	-2,07	Bicarbonaté calciq
			3,65	2,29	2,17	0,15	2,59	1,83	3,8	0,39							
106/33	379200	319200	184	79	180	6	488	247	227	52	2450	7,6	79	1560	1519	0,4	Chloruré calciq
			9,2	6,47	7,83	0,15	13,75	5,15	3,72	0,84							
Khelif moua	353450	304650	72	53	105	2	235	135	228	42	1360	7,4	40	824	843	-4,04	Chloruré sodique
			3,6	4,34	4,56	0,05	6,62	2,81	3,74	0,68							
Slim O/Sly	363900	310350	80	31	125	2	230	97	248	44	1330	7,5	33	906	825	-4,85	Chloruré sodique
			4	2,54	5,45	0,05	6,48	2,02	4,06	0,71							
Sidi Touil	364300	310500	166	95	277	3	368	600	383	14	2840	7,2	82	1651	1761	-2,03	Sulfaté sodique
			8,3	7,78	12,04	0,08	10,37	12,5	6,28	0,22							
Site Sonalgaz	365000	311300	153	65	215	2	390	290	301	27	2210	7	65	1502	1370	-0,02	Chloruré sodique
			7,65	5,32	9,35	0,05	10,98	6,04	4,93	0,43							
O/Sly M1	367600	312000	105	81	385	2	750	333	176	9	3520	7,6	60	1815	2182	-4,73	Chloruré sodique
			5,25	6,64	16,34	0,05	21,13	6,94	2,88	0,14							

**Tableau 3** : les différents indices (i.e.b, indices de saturation et S.A.R) de la nappe des calcaires à lithothamnium en hautes et basses eaux en période 2002.

Ponit d'eau	i.e.b (HE)	IsCalcite(HE)	IS Aragonite(HE)	IS dolomite(HE)	ISGypse(HE)	Is Anydrite(HE°)	SAR(HE)
	i.e.b (BE)	IsCalcite(BE)	Is Aragonite(BE)	IS Dolomite(BE)	ISGypse(BE)	ISAnydrite (BE)	SAR(BE)
Khelif moua	-0,012	-0,4	-0,54	-1,19	-1,8	-2,02	3,2
	0,304	-0,29	-0,44	-0,92	-1,45	-1,67	2,3
Slim O/Sly	0,011	-0,44	-0,58	-1,34	-1,67	-1,89	2,7
	0,151	-0,2	-0,35	-1,01	-1,54	-1,76	3
Sidi Touil	0,176	0,08	-0,07	-0,36	-0,92	-1,14	3,7
	-0,169	0,19	0,05	-0,05	-0,61	-0,83	4,3
Site Sonalgaz	-0,564	-0,35	-0,49	-1,2	-1,64	-1,86	5,5
	0,144	0,09	-0,05	-0,39	-0,9	-1,12	3,7
O/Sly M1	0,12	0,28	0,13	-0,02	-0,48	-0,7	3,7
	0,224	-0,33	-0,48	-0,97	-1,05	-1,27	6,7
Chorfa Motel	-0,012	-0,19	-0,34	-0,46	-1,24	-1,46	8,7
	/	/	/	/	/	/	/
W0106-33	0,694	-0,31	-0,45	-0,81	-0,99	-1,21	1,6
	0,42	0,04	-0,1	-0,48	-0,9	-1,12	2,8
105/62	/	/	/	/	/	/	/
	0,104	-0,24	-0,38	-1,09	-1,57	-1,79	1,3
W0105-8	-0,141	0,36	0,22	0,25	-0,57	-0,79	6,22
W0105-453	0,428	-0,59	-0,74	-1,46	-1,43	-1,65	2,14
W0105-83	0,179	0,37	0,23	0,5	-1,48	-1,7	5,47
82/02	0,243	0,11	-0,03	-0,08	-0,62	-0,84	2,2
W0105-11	0,506	-0,54	-0,68	-1,57	-1,18	-1,4	1,7
W0105-51	0,316	-0,51	-0,65	-1,27	-1,78	-2	4,1
W0105-366	0,559	-0,16	-0,3	-0,6	-0,28	-0,5	2,1
W0106-2	0,157	0,14	0	-0,12	-0,5	-0,72	3,81
W106-37	0,482	0	-0,15	-0,51	-0,94	-1,16	3
W0106-8	<b>0,145</b>	<b>0,13</b>	<b>-0,01</b>	<b>0,05</b>	<b>-0,63</b>	<b>-0,85</b>	<b>3,67</b>

**Tableau 4** : les analyses chimiques de la nappe des grés et sable du pliocène en hautes eaux (Avr ; 2002).

Point d'eau	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	HCO3 (mg/l)	NO3 (mg/l)	CE $\mu$ S/cm	PH	TH (°F)	RS	Min (mg/l)	Balance ionique(%)	Faciès
	Ca (méq/l)	Mg (méq/l)	Na (méq/l)	K (méq/l)	Cl (méq/l)	SO4 (méq/l)	HCO3 (méq/l)	NO3 (méq/l)							
Medina	126	21	50	1	92	87	318	43	910	7,38	40,25	681	565	-0,39	Bicarbonaté calcique
	6,3	1,72	2,17	0,03	2,59	1,81	5,21	0,69							
O.hadj Khado	114	32	80	2	78	138	397	26	1040	7,42	41,83	745	645	0,59	Bicarbonaté calcique
	5,7	2,62	3,48	0,05	2,2	2,88	6,21	0,42							
Haouch elghaba	121	37	65	1	110	115	379	30	1070	7,42	45,67	567	484	-0,07	(Bicarbonaté) Chloruré calcique
	6,45	3,52	3,48	0,05	4,79	3,58	4,44	0,71							
Zeboudja	109	12	50	1	115	60	217	41	780	7,13	32,25	887	775	-0,46	Bicarbonaté calcique
	5,45	0,98	2,17	0,03	3,24	1,25	3,56	0,66							
Cinq palmier	94	25	35	1	77	65	268	29	800	7,4	34,22	519	496	-0,48	Bicarbonaté calcique
	4,7	2,05	1,52	0,03	2,17	1,35	4,39	0,47							

**Tableau 5** : les analyses chimiques de la nappe des grés et sables du pliocène en basses eaux (Sept ; 2002).

Point d'eau	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	HCO3 (mg/l)	NO3 (mg/l)	CE $\mu$ S/cm	PH	TH (°F)	RS	Min (mg/l)	Balance ionique(%)	Faciès
	Ca (méq/l)	Mg (méq/l)	Na (méq/l)	K (méq/l)	Cl (méq/l)	SO4 (méq/l)	HCO3 (méq/l)	NO3 (méq/l)							
Medina	126	21	50	1	92	87	318	43	910	7,38	40,25	681	565	-0,39	Bicarbonaté calcique
	6,3	1,72	2,17	0,03	2,59	1,81	5,21	0,69							
O.hadj Khado	114	32	80	2	78	138	397	26	1040	7,42	41,83	745	645	0,59	Bicarbonaté calcique
	5,7	2,62	3,48	0,05	2,2	2,88	6,21	0,42							
Haouch elghaba	121	37	65	1	110	115	379	30	1070	7,42	45,67	567	484	-0,07	(Bicarbonaté) Chloruré calcique
	6,45	3,52	3,48	0,05	4,79	3,58	4,44	0,71							
Zeboudja	109	12	50	1	115	60	217	41	780	7,13	32,25	887	775	-0,46	Bicarbonaté calcique
	5,45	0,98	2,17	0,03	3,24	1,25	3,56	0,66							
Cinq palmier	94	25	35	1	77	65	268	29	800	7,4	34,22	519	496	-0,48	Bicarbonaté calcique
	4,7	2,05	1,52	0,03	2,17	1,35	4,39	0,47							

**Tableau 6 :** les différents indices (i.e.b, indices de saturation et S.A.R) de la nappe des grés et sables du pliocène en hautes et basses eaux en période 2002.

Ponit d'eau	i.e.b (HE)	IsCalcite(HE)	IS Aragonite(HE)	IS dolomite(HE)	ISGypse(HE)	Is Anydrite(HE°)	SAR(HE)
	i.e.b (BE)	IsCalcite(BE)	Is Aragonite(BE)	IS Dolomite(BE)	ISGypse(BE)	ISAnydrite (BE)	SAR(BE)
Medina	0,15	0,49	0,35	0,01	-1,37	-1,59	1,1
	0,23	0,31	0,17	0,09	-0,67	-0,89	3,8
O.hadj Khado	-0,6	0,57	0,43	0,4	-1,23	-1,45	1,7
	-0,09	0,06	-0,08	-0,56	-1,43	-1,65	1,9
Haouch elghaba	0,26	0,58	0,43	0,44	-1,29	-1,51	1,6
	0,37	-0,24	-0,39	-1,48	-1,63	-1,86	0,7
Zeboudja	0,32	0,03	-0,11	-1,09	-1,56	-1,78	1,2
	0,1	0,09	-0,06	-0,68	-1,38	-1,6	1,6
Cinq palmier	0,29	0,33	0,19	-0,11	-1,59	-1,81	0,8
	0,09	-0,08	-0,22	-0,55	-1,11	-1,33	3,9

**Tableau 7 : les analyses chimiques de la nappe alluviale en hautes eaux (Avr ; 2002).**

Ponit d'eau	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	HCO3 (mg/l)	NO3 (mg/l)	CE μS/cm	PH	TH (°F)	Balance ionique(%)	Faciès
	Ca (még/l)	Mg (még/l)	Na (még/l)	K (még/l)	Cl (még/l)	SO4(még/l)	HCO3 (még/l)	NO3 (még/l)					
81/49	473	218	305	2	981,3	1223	288	115	5940	7,2	209,1	-4,2	Chloruré calcique
	23,7	17,88	13,26	0,05	27,64	25,5	4,72	1,83					
W082-40	67	30	70	2	115	72	288	15	850	7,5	28,96	-4,2	Bicarbonatécalcique
	3,35	2,46	3,04	0,05	3,23	1,5	4,72	0,24					
W082-52	225	137	325	2	750	700	70	42	3900	7,5	113,2	-1,1	Chloruré sodique
	11,3	11,23	14,13	0,05	21,12	14,6	1,14	0,67					
W082-72	895	447	800	3	3330	550	339	79	####	7,1	409,9	1,84	Chloruré calcique
	44,8	36,67	34,78	0,08	93,8	11,5	5,55	1,26					
W082-82	144	64	78	2	390	65	201	46	1600	7,35	62,71	-1,6	Chloruré calcique
	7,2	5,24	3,39	0,01	10,98	1,35	3,29	0,74					
W82-113	230	123	240	0,5	609,9	605	119	30,4	3320	7,45	108,8	-0,3	Chloruré calcique
	11,5	10,08	10,43	0,01	17,18	12,6	1,95	0,48					
W082-127	256	165	149	1,38	812,5	261	293	86,5	3390	7,7	132,9	-2,5	Chloruré sodique
	12,8	13,52	6,48	0,04	22,89	5,44	4,8	1,4					
W0105-336	372	207	500	2	890	1375	373	12	5940	7,8	179,2	-2,3	Sulfaté sodique
	18,6	16,96	21,74	0,05	25,07	28,6	6,11	0,19					
W0105-91	269	118	314	1,5	921,3	419	215	48	3860	7,85	117	-2,9	Chloruré sodique
	13,5	9,67	13,65	0,04	25,95	8,73	3,52	0,77					
W0105-136	433	356	395	1	1220	1400	265	41	6800	7,85	256,6	-0,3	Chloruré Magnésium
	21,7	29,2	17,17	0,03	34,36	29,2	4,34	0,65					
W0105-307	220	130	221	0	788,1	260	150	85,1	2890	7,5	109,5	-0,3	Chloruré calcique
	11	10,66	9,6	0	22,2	5,41	2,45	1,36					
W0105-317	320	232	578	0	1582	724	246	46,8	6130	7,6	176,8	-3,4	Chloruré sodique
	16	19,03	25,13	0	44,56	15,1	4,03	0,74					
W0105-360	319	281	220	0,3	877,9	996	134	77,6	4980	7,9	196,8	-0,3	Chloruré Magnésium
	16	23,05	9,56	0,01	24,72	20,8	2,19	1,24					
W0105-365	296	256	482	1	1172	1038	264	16,9	5940	7,6	180,6	-2,1	Chloruré Magnésium
	14,8	21	20,95	0,03	33	21,6	4,32	0,27					
W0105-377	389	321	247	0	969	1300	120	70,4	5450	7,8	230,9	-0,8	Chloruré Magnésium
	19,5	26,33	10,73	0	27,29	27,1	1,96	1,12					
W0105-574	500	415	450	4,5	1938	1075	222	56	8230	7,3	297,9	-1,7	Chloruré Magnésium
	25	34,04	19,56	0,11	54,57	22,4	3,63	0,89					
W0105-577	186	212	590	3	1210	688	336	45	5410	8,3	134,9	-2,1	Chloruré sodique
	9,3	17,39	25,65	0,08	34,08	14,3	5,5	0,72					
W105-245	180	106	140	0	488,5	381	116	26,9	2500	7,7	89,08	-0,5	Chloruré calcique
	9	8,69	6,08	0	13,76	7,93	1,9	0,42					
W082-10	235	108	238	1,5	537,5	559	309	58	3200	7,55	103,9	-2,8	Chloruré calcique
	11,8	8,85	10,35	0,04	15,14	11,6	5,06	0,93					
W082-84	135	50	70	0,5	291,5	121	203	51	1430	7,55	54,81	-3,4	Chloruré calcique
	6,75	4,1	3,04	0,01	8,21	2,52	3,32	0,82					



W082-87	223	97	187	1,08	464,7	524	171	33,8	2870	7,25	95,96	-0,2	Chloruré calcique
	11,2	7,95	8,13	0,03	13,09	10,9	2,8	0,55					
W082-125	196	144	247	2	487,5	625	285	39	3200	8	108,9	0,54	Chloruré Magnésium
	9,8	11,8	10,74	0,05	13,73	13	4,67	0,62					
W0105-348	320	232	578	0,5	1582	724	246	46,8	6130	7,6	176,8	0,03	Chloruré calcique
	12,2	7,46	9,7	0,01	20,24	5,21	2,56	1,29					
W0105-306	215	137	215	0	777,5	279	153	80,3	2950	7,6	110,8	-0,2	Chloruré magnésium
	10,8	11,24	9,35	0	21,9	5,8	2,51	1,28					
Chettia remplacement	108	35	100	1	190	80	300	37	1150	7,26	41,58	0,43	Chloruré calcique
	5,4	2,87	4,35	0,03	5,35	1,67	4,92	0,6					
Oum D'rrou	167	60	130	2	320	180	348	44	1740	7,49	66,75	-0,6	Chloruré calcique
	8,35	4,92	5,65	0,05	9,02	3,75	5,71	0,71					
MCO6	256	76	225	4	375	650	296	34	2830	7,31	95,67	-1	Sulfaté calcique
	12,8	6,23	9,78	0,1	10,56	13,5	4,85	0,55					
Herenfa Ouled Rekia	91	56	410	3	383	543	376	35	2650	7,15	46,08	-3,2	Sulfaté sodique
	4,55	4,59	17,83	0,08	10,79	11,3	6,16	0,57					
Ouled AbbasF2	261	111	215	3	775	165	361	46	3070	7,17	11,5	-0,6	Chloruré calcique
	13,1	9,1	9,35	0,08	21,83	3,44	5,92	0,74					
105/123 chaib eddour med	388	67	445	5	1050	580	270	65	4550	6,8	124,9	-3	Chloruré calcique
	19,4	5,5	19,35	0,13	29,58	12,1	4,43	1,05					
Sobha O/Djilali	215	80	240	2	383	488	343	44	2630	7,1	87,08	0,92	Chloruré calcique
	10,8	6,56	10,44	0,05	10,79	10,2	5,62	0,71					
Hamaissia& Menasria	216	101	155	1	413	413	399	79	2620	7,2	96,08	-4,1	Chloruré calcique
	10,8	8,29	6,74	0,03	11,63	8,61	6,54	1,28					
Hbair(Mco Bis)	45	27	70	2	72	42	315	6	750	7,29	22,5	-3,9	Bicarbonaté sodique
	2,25	2,21	3,04	0,05	2,03	0,88	5,16	0,1					
W082-4	186	119	239	0	347,5	631	439	24,5	2980	7,55	95,85	-1,8	Sulfaté sodique
	9,3	9,76	10,39	0	9,79	13,2	7,2	0,39					
W0105-1	260	218	209	0	615,6	957	119	63,2	4010	7,2	155,7	-0,3	Sulfaté magnésium
	13	17,88	9,09	0	17,34	19,9	1,95	1,01					
W0105-19	180	134	185	0	540,7	520	84	45,5	2010	7,3	100,6	-0,2	Chloruré Magnésium
	9	11	8,04	0	15,23	10,8	1,38	0,73					
W0105-65	161	145	275	0	1000	138	146	62	3410	7,5	100,7	-3,8	Chloruré sodique
	8,05	11,89	11,96	0	28,17	2,88	2,39	0,99					
W082-126	165	70	250	2	367,5	533	300	12	2560	8	70,31	-3,2	Sulfaté sodique
	8,25	5,74	10,87	0,05	10,35	11,1	4,92	0,19					
W0105-2	253	241	205	0,6	790,9	787	115	65,1	3950	7,5	163,4	-0,3	Chloruré calcique
	12,7	19,77	8,91	0,02	22,28	16,4	1,89	1,04					
W0105-102	98	61	115	1,5	303,5	149	188	41,5	1500	7,8	49,86	-1,5	Chloruré Magnésiumsodique calcique
	4,9	5	5	0,04	8,55	3,1	3,08	0,66					

**Tableau 8 :** les analyses chimiques de la nappe alluviale en basses eaux (Sept ; 2002).

Ponit d'eau	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	HCO3 (mg/l)	NO3 (mg/l)	CE μS/cm	RS (mg/l)	Min(mg/l)	PH	TH (°F)	Balance ionique(%)	Faciès
	Ca (méq/l)	Mg (méq/l)	Na (méq/l)	K (méq/l)	Cl (méq/l)	SO4(méq/l)	HCO3 (méq/l)	NO3 (méq/l)							
W082-82	299	136	250	8	888	260	422	175	4190	2493	2598	7	131	-3,89	Chloruré sodique
	14,95	11,14	10,87	0,2	25,01	5,42	6,92	2,82							
W0105-19	152	72	145	7	430	172	210	58	1940	1279	1203	7,1	68	-0,05	Chloruré calcique
	7,58	6	6,3	0,18	12,11	3,58	3,45	0,94							
105/91	212	84	255	5	575	388	329	41	2990	1926	1854	7,6	88	0,61	Chloruré sodique
	10,6	8,88	11,09	0,13	16,2	8,08	5,39	0,66							
W0105-233	278	112	275	2	413	985	318	40	3350	2732	2077	7,2	116	-3,81	Chloruré sodique
	13,9	9,3	11,96	0,05	11,62	20,52	5,21	0,65							
W0105-360	150	61	365	6	513	405	339	49	2980	1762	1848	7,5	63	-1,12	Cloruré calcique
	7,5	5,06	15,87	0,15	14,44	8,44	5,56	0,79							
W0105-574	482	280	750	2	1780	980	381	225	7350	4957	4557	7,4	237	-0,2	Sulfaté calcique
	24,12	23,32	32,61	0,05	50,14	20,42	6,24	3,63							
Chettia remplacement	143	60	195	2	355	235	318	38	2020	1072	1252	7,3	61	0,26	Chloruré sodique
	7,15	4,92	8,48	0,05	10	4,89	5,21	0,61							
MCO6	144	13	125	2	233	95	282	43	1310	907	812	7,2	42	0,39	Chloruré calcique
	7,2	1,06	5,43	0,05	6,56	1,98	4,62	0,69							
Herenfa Ouled Rekia	115	42	152	2	295	117	331	33	1650	969	1023	7,2	46	-2,64	Chloruré sodique
	5,75	3,44	6,61	0,05	8,31	2,44	5,43	0,53							
Sobha O/Djilali	206	70	300	3	463	470	307	61	3290	2208	2040	7,3	81	1,77	Chloruré sodique
	10,3	5,74	13,04	0,8	13,04	9,79	5,03	0,98							
Hamaissia & Menasria	190	88	230	4	493	382	304	12	2710	1697	1680	7	84	-0,39	Chloruré sodique
	9,5	7,21	10	0,1	13,89	7,96	4,98	0,19							
Hbair(Mco Bis)	65	24	22	2	35	38	284	25	630	429	391	7,7	26	-4,6	Bicarbonaté calcique
	3,25	1,97	0,95	0,05	0,98	0,79	4,65	0,4							
82/10	249	120	325	1	525	658	409	0	3520	2396	2182	7,8	112	1,74	Chloruré sodique
	12,45	9,84	14,13	0,03	14,79	13,71	6,7	0							
W082-13	63	51	200	3	295	117	410	10	1610	1044	998	8	37	-4,8	Chloruré sodique
	3,14	4,21	8,7	0,08	8,31	2,44	6,72	0,16							
W0105-84	160	139	625	9	1243	125	476	80	5250	2914	3255	7,4	98	0,09	Chloruré sodique
	8	11,39	27,17	0,23	35,01	2,6	7,8	1,29							

**Tableau 9** : les différents indices (i.e.b, indices de saturation et S.A.R) de la nappe alluviale en hautes et basses eaux en période 2002.

Ponit d'eau	i.e.b (HE)	IsCalcite(HE)	IS Aragonite(HE)	IS dolomite(HE)	ISGypse(HE)	Is Anydrite(HE°)	SAR(HE)
	i.e.b (BE)	IsCalcite(BE)	Is Aragonite(BE)	IS Dolomite(BE)	ISGypse(BE)	ISAnydrite (BE)	SAR(BE)
81/49	0,52	0,42	0,27	0,31	-0,03	-0,3	2,9
W082-40	0,04	-0,19	-0,33	-0,92	-1,7	-1,9	1,79
W082-52	0,33	-0,45	-0,59	-1,31	-0,47	-0,7	4,2
W082-72	0,63	0,68	0,53	0,87	-0,25	-0,5	5,43
W082-82	0,69	-0,07	-0,22	-0,69	-1,51	-1,7	1,35
W82-113	0,56	0,46	0,31	0,38	-0,77	-1	3,01
W082-127	0,39	-0,19	-0,34	-0,85	-0,5	-0,7	3,16
W0105-336	0,72	0,24	0,1	0,11	-0,82	-1	1,77
W0105-91	0,13	0,42	0,28	0,41	-0,08	-0,3	5,14
W0105-136	0,47	0,12	-0,02	-0,31	-0,61	-0,8	4
W0105-307	0,31	0,23	0,09	-0,13	-0,69	-0,9	3,55
W0105-317	0,5	0,31	0,17	0,36	-0,05	-0,3	3,39
W0105-360	0,57	-0,1	-0,24	-0,62	-0,86	-1,1	2,9
W0105-365	0,44	0,18	0,04	0,04	-0,41	-0,6	5,97
W0105-377	0,61	-0,07	-0,21	-0,38	-0,25	-0,5	2,16
W0105-574	0,11	0,11	-0,04	-0,37	-0,81	-1	6,33
W0105-577	0,36	0,18	0,04	0,11	-0,29	-0,5	4,93
W105-245	0,61	-0,05	-0,2	-0,38	-0,09	-0,3	2,23
W082-10	0,64	0,28	0,14	0,3	-0,13	-0,4	3,58
W082-84	0,35	0,51	0,37	0,6	-0,17	-0,4	6,7
W082-87	0,25	0,11	-0,04	0,08	-0,63	-0,9	6,99
W082-125	0,56	-0,27	-0,42	-0,97	-0,74	-1	2,04
W0105-348	0,31	0,23	0,09	-0,06	-0,52	-0,7	3,2
W0105-306	0,04	0,36	0,22	0,22	-0,45	-0,7	4,23
W082-84	0,63	-0,09	-0,23	-0,8	-1,25	-1,5	1,3
W082-87	0,22	0,23	0,08	0,21	-1,38	-1,6	8,73
W082-125	0,38	-0,03	-0,17	-0,61	-0,54	-0,8	2,63
W0105-348	0,21	0,12	-0,03	-0,09	-0,55	-0,8	3,25
W0105-306	0,52	0,18	0,04	0,04	-0,41	-0,6	3,08
W0105-306	0,57	-0,1	-0,25	-0,59	-0,84	-1,1	2,81

Ponit d'eau	i.e.b (HE)	IsCalcite(HE)	IS Aragonite(HE)	IS dolomite(HE)	ISGypse(HE)	Is Anydrite(HE°)	SAR(HE)
	i.e.b (BE)	IsCalcite(BE)	Is Aragonite(BE)	IS Dolomite(BE)	ISGypse(BE)	ISAnydrite (BE)	SAR(BE)
Chettia remplacement	0,18	0	-0,14	-0,67	-1,49	-1,72	2,13
	0,15	0,1	-0,05	-0,38	-1	-1,22	3,45
Oum D'rou	0,37	0,2	0,06	-0,22	-1,04	-1,26	2,19
MCO6	0,06	0,3	0,12	-0,2	-0,4	-0,62	3,16
	0,16	0,1	-0,05	-1,05	-1,31	-1,53	2,67
Herenfa Ouled Reikia	0,66	-0,1	-0,21	-0,53	-0,89	-1,11	8,3
Ouled AbbasF2	0,2	0,05	-0,09	-0,53	-1,34	-1,56	3,08
105/123 chaib eddour med	0,57	0,4	0,21	0,15	-0,92	-1,2	2,8
	0,34	0,4	0,21	-0,2	-0,35	-0,57	5,47
Sobha O/Djilali	0,03	0,3	0,12	-0,1	-0,58	-0,8	3,54
	0,06	0,19	0,05	-0,28	-0,62	-0,84	4,6
Hamaissia& Menasria	0,42	0,3	0,19	0,14	-0,65	-0,85	2,17
	0,27	0,16	0,02	-0,2	-0,73	-0,95	3,5
Hbair(Mco Bis)	0,52	-0,3	-0,45	-1,02	-2,07	-2,29	2,03
	0,02	-0,2	-0,32	-0,99	-1,94	-2,16	0,59
W082-4	0,06	0,3	0,15	0,2	-0,56	-0,78	3,35
W0105-1	0,48	-0,2	-0,32	-0,63	-0,31	-0,53	2,31
	0,47	-0,4	-0,58	-1,19	-0,64	-0,86	2,54
W0105-19	0,46	-0,1	-0,2	-0,63	-1,11	-1,33	2,42
W0105-65	0,57	-0,3	-0,39	-0,73	-1,27	-1,49	3,77
W082-126	0,05	0,1	-0,05	-0,37	-0,64	-0,86	4,1
W0105-2	0,6	-0,2	-0,35	-0,63	-0,41	-0,63	2,2
W0105-102	0,41	-0,3	-0,41	-0,93	-1,3	-1,53	2,24
W0105-233	0,03	0,29	0,15	0	-0,24	-0,46	3,51
W082-13	0,06	-0,1	-0,26	-0,52	-1,6	-1,82	2,94

**Tableau 10 :** normes internationales de potabilité d'une eau (Selon l'OMS).

Paramètres	Unité	Niveau guide	Concentration maximale admissible
pH	/	6.5 à 8.5	9.5
Conductivité électrique	$\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20°C	1000	
R.de sec	mg/l		1500
Minéralisation	mg/l	500	2000
Dureté totale	°F		50
Calcium (Ca)	mg/l	75	200
Magnésium (Mg)	mg/l	50	150
Sodium (Na)	mg/l	20	150
Potassium (K)	mg/l	10	10
Chlore (Cl)	mg/l	200	600
Sulfate (SO <sub>4</sub> )	mg/l	200	400
Bicarbonates (HCO <sub>3</sub> )	mg/l		
Nitrates (NO <sub>3</sub> )	mg/l		50

**Tableau 11 : Résultats d'analyses physico-chimiques de l'eau Oued Sly lieu Ouled Ben AEK.**

Elément	1ère	2ème	3ème	4ème	5ème	6ème	7ème	8ème	9ème	10ème	11ème	12ème
T de l'air (°c)	24	22	26	32	26	24	14	17	22	18	/	26
T de l'eau (°c)	20.5	20	20	24	20	21	9	14	16	16	/	20
O2 dissous (mg/l)	/	8	8.4	8.4	8			8.1	8.2	7.4	/	7.2
Conductivité (µs/cm)	1400	1390	1580	1620	1520	1570	2810	1200	1770	1940	/	1640
Calcium Ca (mg/l)	86	70	63	106	103	106	173	120	130	140	/	94
Magnésium Mg (mg/l)	60	48	53	31	28	28	84	40	61	54	/	39
Sodium Na (mg/l)	95	145	115	170	153	145	315	85	207	207	/	202
Potassium K (mg/l)	0	1	3	0	2	1	2	1	2	3	/	3
Chlorures Cl (mg/l)	105	235	255	313	305	275	450	208	218	211	/	317
Sulfates SO4 (mg/l)	410	280	195	280	223	290	513	200	528	499	/	286
Carbonates CO3 (mg/l)	177	179	160	141	140	146	262	215	211	184	/	146
Nitrates NO3 (mg/l)	17	2	3	3	0	0	8.06	26	9	6	/	3
Résidu sec (mg/l)	1093	893	1030	1252	1000	1148	1932	1002	1440	1440	/	1640
pH	7.7	7.7	8.1	7.8	7.6	7.6	7.7	7.6	8	7.7	/	8.1
MES (mg/l)	107	/	146	99	/	41	32	/	2678	259	/	324
Turbidité NTU	5	5	1.3	4.4	/	1.93	/	/	2592	245	/	21
Nitrites NO2 (mg/l)	0	0.22	0	0.01	0.02	0.01	0.034	/	0.09	0.01	/	0.2

**Tableau 12 : Période de prélèvement.**

N° de la campagne	Date
1ère	du 14 à 23 Mars 1999
2ème	du 24 à 29 Avril 1999
3ème	du 05 à 09 Juin 1999
4ème	du 24 à 29 Juillet 1999
5ème	du 25 à 30 Septembre 1999
6ème	du 23 à 28 Octobre 1999
7ème	du 22 à 30 Novembre 1999
8ème	au mois de Décembre 1999
9ème	du 25 à 31 Janvier 2000
10ème	du 24 à 29 Février 2000
11ème	au mois d'Avril 2000
12ème	au mois de Mai 2000