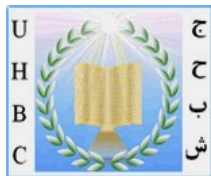


**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



**MEMOIRE**

*Présenté à*



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

*pour l'obtention du diplôme de*

**MAGISTER**

**Spécialité: Hydraulique**

**Option : Aménagement hydraulique**

**Thème**

***Contribution à la gestion qualitative  
des eaux souterraines dans les zones semi-arides  
Application au moyen Cheliff occidental***

*Par*

**HENNIA Kaddour**

*Soutenu le 27/06/2007 devant le Jury composé de:*

Mr. ISSAADI A.	Professeur, USTHB Alger	Président
Mr. SAAD HAMOUDI A.	Professeur, UHBB Chlef	Promoteur
Mme. BETTAHAR N.	M/C, UHBB Chlef	Co- Promoteur
Mr. ACHOUR D.	Professeur, UHBB Chlef	Examineur
Mr. DOUAOUI AEK.	Maître de Conférences, UHBB Chlef	Examineur

**2007**

## Remerciements

**J**e tiens à remercier en premier lieu le Professeur : SAAD ABDEL AMIR HAMOUDI d'avoir accepté d'encadrer ce mémoire,

Un grand **M**erci à Madame BETTAHAR NAÏMA pour avoir dirigé toutes les étapes de ce travail avec un zèle continu,

**J**e remercie les membres du jury :

Mr. ISSAADI A. Professeur, USTHB Alger

Président

Mr. ACHOUR D. Professeur, UHBB Chlef

Examineur

Mr. DOUAOUI AEK. Maître de Conférences, UHBB Chlef

Examineur

de m'avoir fait l'honneur d'accepter de juger ce travail,

**J'**adresse mes vifs remerciements au docteur DOUAOUI Abdelkader pour son appui dans les moments cruciaux de ce mémoire et pour son aide sans limites dans la partie statistique,

Un merci particulier à mon collègue BRADAÏ Abdelhamid pour son grand apport,

**M**erci à toutes les personnes de l'ADE/Chlef pour m'avoir accueilli dans le laboratoire d'analyse des eaux, au personnel de l'ANRH/Blida de m'avoir communiqué toutes les données nécessaires, au personnel de l'OPIC, de la DSA et de l'INPV,

**J**e souhaite associer à ceux-ci des remerciements pour le personnel (enseignants et travailleurs) du département d'Hydraulique de l'Université Hassiba Ben Bouali, Chlef,

**M**erci à ma famille qui m'a accompagné dans cette aventure, à ma mère en particulier, toujours patiente et attentive, à Sofiane et à sa mère, aux personnes qui ont contribué à rendre ces années d'étude inoubliables : Promotion 92/95 DEUA, Promotion 95/98 Ingénieur et Promotion 2002/03 Magister.

**TABLE DES MATIERES**

Remerciements	
Résumé.....	i
ملخص .....	ii
Abstract .....	iii
Liste des abréviations utilisées .....	iv
Liste des figures .....	v
Liste des tableaux .....	vi
Introduction .....	1
 <b>Chapitre I : Aperçu bibliographique</b>	
I. 1. Composition Chimique des eaux souterraines .....	4
I. 1. 1. Introduction .....	4
I. 1. 2. Propriétés Physiques .....	4
I. 1. 3. Propriétés Chimiques.....	6
I. 2. Paramètres de qualité des eaux souterraines .....	8
I. 2. 1. La dureté.....	9
I. 2. 2. Le pH.....	10
I. 2. 3. La turbidité.....	10
I. 2. 4. Les sulfates .....	10
I. 2. 5. Le fer.....	10
I. 2. 6. Le manganèse.....	10
I. 2. 7. Le fluor.....	10
I. 3. Détérioration de la qualité des eaux souterraines .....	10
I. 3. 1. Vulnérabilité des nappes à la pollution.....	11
I. 3. 2. Pollution des eaux souterraines.....	13
I. 4. Mécanismes de transport du polluant en milieu souterrain .....	18
I. 4. 1. Les processus physiques .....	18
I. 4. 2. Les processus biochimiques .....	19

**Chapitre II : Situation et description de la zone d'étude**

II. 1. Situation géographique de la zone d'étude .....	21
II. 2. Aperçu morphologique .....	22
II. 3. Hydrologie de la zone d'étude .....	22
II. 3. 1. Hydrographie .....	22
II. 3. 2. Hydrométrie.....	23
II. 4. Climatologie .....	23
II. 4. 1. Climatologie régionale .....	23
II. 4. 2. Climatologie locale .....	25
II. 5. Cadre géologique .....	28
II. 5. 1. Cadre géologique régional .....	28
II. 5. 2. Cadre géologique local .....	28
II. 5. 2. 1. Formations Anténéogènes .....	30
II. 5. 2. 2. Formations néogènes et quaternaires .....	30
II. 6. Cadre hydrogéologique .....	33
II. 6.1. Identification des principaux aquifères .....	33
II. 6.2. Choix de l'aquifère étudié .....	34
II. 6.3. Identification de la nappe étudiée .....	34
II. 6.4. Hydrodynamique de la nappe étudiée .....	35
II. 7. Cadre pédologique .....	37
II. 7.1.Principaux types de sols de la zone d'étude .....	37
II. 7.1.1. Les sols peu évolués .....	37
II. 7.1.2. Les vertisols .....	37
II. 7.1.3. Les sols calci-magnésiques .....	38
II. 7.1.4. Les sols halomorphes .....	38
II. 7.1.5. Les sols sesquioxides de fer .....	38
II. 7.1.6. Les sols isohumiques .....	39
II. 7.2. Perméabilité des sols de la zone d'étude .....	39
II. 8. Contexte socio – économique .....	40
II. 8. 1. Population .....	40
II. 8. 2. Agriculture et élevage .....	41
II. 8. 3. Industrie .....	41

<b>Chapitre III : Comportement hydrochimique</b>	
III.1. Les données disponibles .....	43
III.2. Variation des paramètres physico-chimiques .....	43
III.2.1. Analyse statistique .....	45
III.2.2. Hydrofaciès dominants .....	51
III.2.3. Analyses factorielles multidimensionnelles.....	53
III.2.3.1. Analyse en Composantes Principales (ACP) .....	53
III.2.3.2. Analyse Factorielle Discriminante (AFD).....	64
III.2.4 Cartes Multiparamétriques .....	67
III.2.4.1. Les variogrammes .....	67
III.2.4.2. Tracé des cartes multiparamétriques .....	68
<b>Chapitre IV : Etude de la pollution de la nappe alluviale du moyen Cheliff occidental</b>	
IV.1. Vulnérabilité de la nappe alluviale du MCO à la pollution .....	72
IV. 2. Sources de contamination des eaux de la nappe alluviale du MCO .....	72
IV. 2.1. Pollution d'origine naturelle.....	73
IV. 2.2. Pollution d'origine anthropique.....	73
IV. 2.2.1. Pollution diffuse.....	73
IV. 2.2.2. Pollution localisée.....	77
<b>Chapitre V : Les Moyens de gestion qualitative des eaux de la nappe alluviale du MCO</b>	
V.1 – Introduction .....	84
V.2. Classification qualitative des eaux souterraines de la nappe alluviale du MCO.....	84
V.2.1. Production d'eau pour l'irrigation .....	84
V.3. Les grandes orientations pour le bassin du moyen Cheliff occidental.....	87
V.4. Les moyens de gestion qualitative des eaux de la nappe alluviale du MCO.....	88
V.4.1 Réduction des sources de pollution localisée.....	88
V.4.2 Réduction des sources de pollution diffuse.....	89
V.5. Recommandations pour la vallée du moyen Cheliff occidental.....	90
Conclusion générale	
Bibliographie	
Annexes	

## **Résumé:**

La plaine du moyen Cheliff occidental abrite une nappe alluviale d'importante potentialité, exploitée pour l'alimentation en eau potable, pour l'irrigation et pour l'industrie. La bonne gestion qualitative des eaux de cette nappe exige d'abord l'évaluation de sa qualité et la détermination de son origine en vue de distinguer les paramètres à source anthropique. La représentation spatiale de cette qualité permet de voir l'effet des sources de pollution recensée dans cette zone.

Pour ce but, un total de cent neuf (109) échantillons analysés pendant les périodes de hautes et basses eaux des années 2002, 2003 et 2004 a été traité par la statistique élémentaire, la statistique multidimensionnelle (ACP et AFD) et la géostatistique multiparamétrique. Les résultats obtenus sont :

- L'origine de la minéralisation des eaux de cette nappe est triple et comprend :
  - **Les roches** (avec deux processus distincts : dissolution des évaporites et),
  - **Le sol** (minéralisation de la microflore produisant les teneurs naturelles des nitrates et hydrolyse de l'illite),
  - **Les apports polluants** transitant par l'intermédiaire des sols (à partir des engrais, des produits d'élevage, des eaux usées et des décharges publiques). Les éléments en cause sont, en prédominance les nitrates, et très faiblement le potassium et le sodium.
- Les eaux de la nappe sont classées en trois (03) groupes de qualité dont la dégradation de potabilité est progressive du groupe 01 au groupe 03. Au contraire, les nitrates et les bicarbonates varient dans le sens contraire.
- L'évaluation des apports d'azote sur les sols de la zone d'étude a montré l'influence directe des engrais chimiques dans la pollution de la nappe par les nitrates.

Les grandes orientations de gestion qualitative des eaux de la nappe alluviale du moyen Cheliff développées dans ce travail visaient principalement à atténuer l'effet de la pollution nitratée.

**Mots Clés :** Moyen Cheliff, nappe alluviale, minéralisation, ACP, AFD, qualité, pollution, nitrate, gestion.

## الملخص:

يتكون سهل الشلف الأوسد من مكن مائي غرينيتي الأصل ، الذي له أهمية كبير في تلبية احتياجات سكان المنطقة من مياه الشرب ، السقي و الصناعة إن التسر النوعي و الجيد لمياه هذا المكن تقتضى أولا تقدير هذه النوعية و تحديد أصلها ، و هذا بتحديد العناصر ذات المنشأ الداخلي (الجيولوجي) و الخارجي ، و كذلك إن التمثل الفضائي لنوعية هذه المياه سمحت لنا بأخذ نظرة شاملة عن مصادر التلوث الموجودة في المنطقة من اجل دراسة هذه النوعية و كيفية تسيره ، فقد تم أخذ مئة و تسعة ( 109 ) عينة محللة لمياه المكن الغرينيتي لفترات أعلي و ادني منسوب المياه لسنوات 2002 ، 2003 ، و 2004 ، و نتائج التحليل للعناصر الفيزيوكيميائية عولجت بالإحصاء الوصفي ، و الإحصاء متعدد الأبعاد (التحليل بالعناصر الأساسية - ACP - و التحليل المميز العاملي - AFD - ) و قد أعطت نتائج مايلي :

- إن معدنية مياه هذا المكن ثلاثية الأصل :
- الصخور ( مع عمليتين : تحلل الطبقات )
- التربة (الأرض) : تمعدون الميكروفلور ينتج بصورة طبيعية قليلا من النترات و

### تميمه الإليليبت

- الملوثات: (الأسمدة المعدنية و العضوية ، مياه الصرف الحضري ، و المزابل العمومية) ، و العناصر المخلفة هي بالدرجة الأولى النترات ، و بدرجة أقل البوتاسيوم و الصوديوم
- قدرت مياه هذا المكن في ثلاثة أفواج من حيث النوعية ، حيث أن التدهور يتدرج بالتنازل من الفوج الأول إلى الفوج الثالث لجميع العناصر معادة النترات و البكربونات تكون عكس ذلك حيث أنها تتحسن من الفوج الثالث إلى الأول خاصة في مستوي صعود مياه الجوفية .
- أن تقدير التلوث علي سطح الأرض للمنطقة المدروسة يبين تأثير مباشر للأسمدة الكيميائية في تلوث المكن المائي بالنترات.

إن الاهتمامات الكبرى الخاصة بتسيير النوعي لمياه هذا المكن الغرينيتي لسهل الشلف الأوسط و التي تم التطرق لها في هذا العمل تشير أساسا إلي الحد من التلوث بالنترات .

**كلمات المفاتيح :** سهل الشلف الأوسط ، مياه جوفية ، الطبقة الغرينية ، معدنية ،

التلوث ، نوعية ، النترات و التسيير

**ABSTRACT:**

The middle Cheliff plain occupying an alluvial plain which has a big potentiality, for the drinking water supply, irrigation and industry. The good wafer qualitative management for this plain requires initially the evaluation of its quality and the determination of its origin in order to distinguish the parameters with anthropic source. The space representation of this quality makes it possible look for the effect of the resources of pollution in this zone.

For this goal, a total of one hundred and nine (109) samples analyzed for the periods of high and low waters levies the years 2002, 2003 and 2004 which was treated by the elementary statistics, the multidimensional for statistics (ACP and AFD) and the multiparamétric geostatistic one. The results which are:

- this plain is triple which consist of :
  - **Rocks** (with two distinct processes: dissolution of the évaporites),
  - **The Soil** (mineralization of the microflore producing the natural contents of nitrates and hydrolizes illite),
  - **Pollutant organic and inorganic** (manures, sewer rag water and the waste tips). The residual elements are the nitrates, and very slightly potassium and sodium.
- The water of the aquifer is classified in three quality groups whose degradation gradually progressive from group 01 to group 03. On the contrary, the nitrates and the bicarbonates vary in the contrary direction.
  - The evaluation of the nitrogen contributions on the lands of the study zone showed the direct influence of the artificial fertilizers in the pollution of the plain by nitrates.

The main trends of qualitative management of water of the alluvial plain of the Cheliff middle area developed in this work mainly aimed at mitigating the effect of nitrated pollution.

**Key words:** Cheliff watershed area, alluvial aquifer, mineralization, ACP, AFD, quality, pollution, nitrate, management



## **Liste des abréviations utilisées**

ABH -CZ	: Agence du Bassin Hydrographique Cheliff - Zahrez
ACP	: Analyse en Composantes Principales
ADE	: Algérienne Des Eaux
AEP	: Alimentation en Eau Potable
AFD	: Analyse Factorielle Discriminante
ANRH	: Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
CEE	: Communauté Économique Européenne
CET	: Centre d'Enfouissement Technique
CMA	: Concentration Maximale Admissible
CORPEN	: Comité d'Orientation pour la Réduction de la Pollution des Eaux par les Nitrates
CV	: Coefficient de Variation
DA	: Déficit Agricole
DHW	: Direction de l'Hydraulique de la Wilaya
DPAT	: Direction de Planification et Aménagement du Territoire
DSA	: Direction des Services Agricoles
ECDE	: Entreprise du Ciment et Dérivés
ENAJUC	: Entreprise Nationale de Jus à Chlef
ENPC	: Entreprise Nationale de Plastique et Caoutchouc
ETP	: Evapotranspiration Potentielle
ETR	: Evapotranspiration Réelle
FNDRA	: Fond National de Développement et de Régularisation Agricole
INPV	: Institut National de Protection Végétale
MCO	: Moyen Cheliff Occidental
NOVER	: Nouveau Verre (entreprise de production de verre)
NTU	: Nephelometric Turbidity Unit
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé
ONIDC	: Office National d'Irrigation et de Drainage Centre
ONA	: Office National d'Assainissement
ONM	: Office National de la Météorologie
OPIC	: Office des Périmètres Irrigués Centre
RFU	: Réserve Facilement Utilisable
SAR	: Sodium Adsorption Ratio
SDAGE	: Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SIG	: Système d'Information Géographique
W s	: Water surcharge (surplus)

**Liste des Figures**

**Chapitre II : Situation et description de la zone d'étude**

<b>Fig. n° 01:</b> Situation de la zone d'étude .....	21
<b>Fig. n° 02:</b> Carte du réseau hydrographique du moyen Cheliff occidental.....	22
<b>Fig. n° 03:</b> Position des postes pluviométriques du moyen Cheliff occidental.....	24
<b>Fig. n° 04a:</b> Carte géologique de la Wilaya de Chlef et la zone d'étude.....	29
<b>Fig. n° 04b:</b> Carte géologique de la Wilaya de Chlef et la zone d'étude.....	30
<b>Fig. n° 05:</b> La stratigraphie synthétique du moyen-Chéelif occidental.....	31
<b>Fig. n° 06:</b> Localisation des forages et des puits paysans dans la zone d'étude .....	35
<b>Fig. n° 07:</b> Carte piézométrique de la nappe alluviale du MCO.....	36
<b>Fig. n° 08:</b> Carte pédologique de la zone d'étude .....	38
<b>Fig. n° 09:</b> Situation des communes de la vallée du moyen Cheliff occidental.....	40
<b>Fig. n° 10:</b> L'évolution de l'élevage dans la plaine du MCO pour les années 2002, 2003 et 2004..	41

**Chapitre III : Comportement hydrochimique**

<b>Fig. n° 11:</b> Localisation des points d'échantillonnage pour chaque campagne.....	44
<b>Fig. n° 12:</b> Evolution des paramètres statistiques pour les années 2002,2003 et 2004.....	52
<b>Fig. n° 13:</b> Cercles de corrélation des ACP étudiées de la période 2002-2004 (globale, annuelles et saisonnières globales).....	57
<b>Fig. n° 14:</b> Plan des individus pour l'année 2004 (hautes et basses eaux).....	61
<b>Fig. n° 15:</b> Variogrammes de l'axe 1 des deux campagnes de l'année 2004.....	68
<b>Fig. n° 16:</b> Cartes multiparamétriques de l'axe 1 des deux campagnes de l'année 2004.....	69

**Chapitre IV : Etude de la pollution de la nappe alluviale du Moyen Cheliff Occidental**

<b>Fig. n° 17:</b> Carte de vulnérabilité du moyen Cheliff occidental .....	72
<b>Fig. n° 18:</b> Répartition des zones agricoles de la plaine Cheliff suivant le découpage de l'ONIDC.....	74
<b>Fig. n° 19:</b> Répartition agricoles de la zone du MCO.....	75
<b>Fig. n° 20:</b> Répartition du cheptel sur la zone du MCO pour l'année 2004.....	76
<b>Fig. n° 21:</b> Carte géographique localisant le Centre d'Enfouissement Technique.....	79
<b>Fig. n° 22:</b> Carte des sources de pollution de la nappe alluviale.....	80
<b>Fig. n° 23:</b> Quantités d'azotes estimés dans la plaine pour l'année 2004.....	82

**Annexe 2**

<b>Fig .n° 24:</b> Histogrammes de fréquence pour l'année 2002	
<b>Fig .n° 25:</b> Histogrammes de fréquence pour l'année 2003	
<b>Fig .n° 26:</b> Histogrammes de fréquence pour l'année 2004	
<b>Fig .n° 27:</b> Histogrammes de fréquence pour les campagnes des hautes eaux 2002,2003 et 2004	
<b>Fig .n° 28:</b> Histogrammes de fréquence pour les campagnes des basses eaux 2002,2003 et 2004	
<b>Fig .n° 29:</b> Histogrammes de fréquence pour la moyenne nappe (2002,2003 et 2004)	

**Liste des Tableaux**

**Chapitre I : Aperçu bibliographique**

**Tabl. n° 01:** Classification d'une eau souterraine en fonction du Titre Hydrotimétrique.....9  
**Tabl. n° 02:** Exigences de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine fixées par la Communauté Européenne.....13

**Chapitre II : Situation et description de la zone d'étude**

**Tabl. n° 03:** Caractéristiques physiographiques des sous bassins versants de la zone d'étude .....23  
**Tabl. n° 04:** Données des stations hydrométriques du moyen Cheliff occidental.....23  
**Tabl. n° 05:** Les postes pluviométriques du moyen Cheliff occidental.....24  
**Tabl. n° 06:** Variations mensuelles des précipitations (mm) au niveau de la station de l'ONM Chlef (1980-2004).....25  
**Tabl. n° 07:** Températures moyennes relevées à la station de l'ONM Chlef (1980-2004).....25  
**Tabl. n° 08:** Calcul du bilan hydrologique pour l'année 2004 selon la méthode de Thornthwaite...27  
**Tabl. n° 09:** Volume d'eau prélevé de la nappe alluviale pour l'année 2004.....35

**Chapitre III : Comportement hydrochimique**

**Tabl. n° 10:** Variations du pH.....46  
**Tabl. n° 11:** Variation des teneurs en calcium.....46  
**Tabl. n° 12:** Variation des teneurs en magnésium .....46  
**Tabl. n° 13:** Variation des teneurs en sodium .....47  
**Tabl. n° 14:** Variation des concentrations du potassium .....47  
**Tabl. n° 15:** Variation des concentrations en chlorure..... 48  
**Tabl. n° 16:** Variation des concentrations en sulfate .....48  
**Tabl. n° 17:** Variation des concentrations en nitrates .....49  
**Tabl. n° 18:** Variation des concentrations en bicarbonates .....49  
**Tabl. n° 19:** Variation de la dureté .....50  
**Tabl. n° 20:** Variation de la conductivité .....50  
**Tabl. n° 21:** Hydrofaciès des captages de la nappe alluviale du moyen Cheliff occidental .....51  
**Tabl. n° 22:** Valeurs propres .....56  
**Tabl. n° 23:** Les coordonnées des variables actives sur les axes I et II .....56  
**Tabl. n° 24:** Matrice de corrélation des dix variables (pour toutes les ACP) .....58  
**Tabl. n° 25:** Les statistiques élémentaires des trois groupes pour la campagne des hautes eaux 2004.....62  
**Tabl. n° 26:** Les statistiques élémentaires des trois groupes pour la campagne des basses eaux 2004.....63  
**Tabl. n° 27:** Résultats des coefficients standardisés des deux campagnes de l'année 2004.....64  
**Tabl. n° 28:** Résultats du Test Chi<sup>2</sup>.....65  
**Tabl. n° 29:** Classification des groupes selon l'AFD.....66  
**Tabl. n° 30:** Résultats des variogrammes pour les deux campagnes de l'année 2004 .....67

**Chapitre IV : Etude de la pollution de la nappe alluviale du moyen Cheliff occidental**

<b>Tabl. n° 31:</b> Les zones agricoles de MCO.....	74
<b>Tabl. n° 32:</b> La répartition de la superficie irriguée par ONIDC pour les trois années 2002,2003, et 2004 .....	75
<b>Tabl. n° 33:</b> Estimation de la quantité d'azote minéral utilisé dans la région de MCO.....	76
<b>Tabl. n° 34:</b> Estimation de la quantité d'azote organique produit par l'élevage.....	77
<b>Tabl. n° 35:</b> Estimation de l'azote organique produit par les eaux usées domestiques dans la région.....	78
<b>Tabl. n° 36:</b> Estimation Total de la quantité d'azote produit dans le moyen Cheliff occidental .....	81

**Chapitre V : Moyens de la gestion qualitative des eaux de la nappe alluviale du MCO**

<b>Tabl. n° 37 :</b> Classification des captages basées sur les valeurs du SAR .....	85
<b>Tabl. n° 38 :</b> L'usage des eaux des captages étudiés selon l'utilisation agricole .....	86

**ANNEXES**

**Annexe 1**

<b>Tabl. n° 39:</b> Différents types de sols de la zone d'étude	
<b>Tabl. n° 40:</b> Données piézométriques (hautes et basses eaux 2004)	

**Annexe 3**

<b>Tabl. n° 41:</b> Paramètres indicateurs de pollution possibles	
<b>Tabl. n° 42:</b> Unités industrielles des communes de la zone d'étude	
<b>Tabl. n° 43:</b> Résultats d'analyses du lixiviat de la décharge de Meknassa	
<b>Tabl. n° 44:</b> Normes CORPEN	
<b>Tabl. n° 45:</b> Les valeurs du SAR des points d'eau (année 2004)	
<b>Tabl. n° 46:</b> Valeurs seuils pour les différents paramètres et pour l'aptitude d'usage d'eau en irrigation	

# *INTRODUCTION*

## ***Introduction***

La rareté généralisée des ressources en eau douce, leur destruction progressive et leur pollution croissante que l'on constate dans de nombreuses régions du monde, ainsi que l'intrusion graduelle d'activités incompatibles, exigent une intégration de la planification et de la gestion des ressources en eau. Cette opération doit couvrir toutes les étendues d'eau douce interdépendantes, notamment les eaux de surface et les eaux souterraines, et tenir dûment compte des aspects quantitatifs et qualitatifs.

Une politique nationale doit établir une mise en valeur des eaux de ces deux ressources et d'autres sources possibles doivent être appuyées en même temps par des mesures de protection des eaux et de limitation maximale du gaspillage. Il faut cependant accorder la priorité aux mesures destinées à prévenir les pollutions et à lutter contre les polluants correspondants.

Notre travail s'inscrit dans le cadre de cette réflexion à propos du devenir de la qualité des eaux d'une ressource souterraine potentielle située dans la partie occidentale du moyen Cheliff appartenant au grand bassin Cheliff-Zahrez. Il s'agit de la nappe alluviale destinée à l'alimentation en eau potable, à l'irrigation et à l'industrie et abritant un réseau de puits et forages très dense géré par l'ANRH.

L'occupation de sol est variée entre l'agriculture qui prédomine, l'urbanisme et l'industrie dont les conséquences peuvent être néfastes sur la qualité de ces eaux.

L'objectif visé dans ce travail est d'évaluer la qualité des eaux de cette nappe, représenter sa variabilité spatiale, déterminer l'origine de la minéralisation globale pour montrer les paramètres d'origine anthropique et décider, par conséquent des moyens à mettre en œuvre pour gérer et sauvegarder la qualité de ces eaux.

Ce travail suivra la chronologie ci-dessous:

- Le premier chapitre englobe une synthèse bibliographique sur la composition physico-chimique des eaux souterraines et leur pollution,
- Le deuxième chapitre expose les caractéristiques générales de la zone d'étude en synthétisant les données disponibles,
- Le troisième chapitre détaille les étapes de travail et les méthodes utilisées pour atteindre l'objectif tracé ; nous appliquons pour cela la statistique élémentaire, l'Analyse en Composantes Principales (ACP), l'Analyse Factorielle Discriminante (AFD) et la géostatistique multiparamétrique,
- Le quatrième chapitre évalue les apports d'azote sur les sols de la zone d'étude provenant des différentes sources,
- Le dernier chapitre met le point sur les grandes orientations à suivre pour mener une bonne gestion qualitative des eaux de la nappe alluviale du moyen Cheliff occidental.

*CHAPITRE I*

*APERÇU*

*BIBLIOGRAPHIQUE*



## **I. 1. Composition Chimique des eaux souterraines**

### **I. 1. 1. Introduction**

Les eaux souterraines en général ont une composition chimique déterminée provenant de la constitution des zones souterraines qu'elle a traversées et qui lui cèdent, ou avec qui elle échange différentes substances (Trombe, 1977). Les propriétés physiques et chimiques ainsi acquises caractérisent l'eau de la nappe qu'elle forme et sont conditionnées par les facteurs suivants ([www.u-picardie.fr/beaucham/cours.qge/du-8.htm](http://www.u-picardie.fr/beaucham/cours.qge/du-8.htm)) :

- La nature des roches traversées et des minéraux rencontrés au cours de l'infiltration;
- Le temps de contact de l'eau avec les minéraux, donc de la vitesse de percolation de l'eau dans le sous-sol ;
- Le temps de renouvellement de l'eau de la nappe par l'eau d'infiltration.

Dans les terrains cristallins (granitiques), sableux et gréseux c'est-à-dire riche en minéraux siliceux et silicatés- les eaux sont douces.

Dans les réservoirs calcaires, les eaux sont dures, moyennement à fortement minéralisées en sels de calcium et magnésium qui peuvent entartrer les conduites. Dans les réseaux karstiques, l'eau peut se charger de particules argileuses en suspension au cours des fortes pluies.

Au contact du gypse, l'eau peut se charger en sulfate de calcium et devient impropre à la consommation.

En bordure de mer, les aquifères peuvent être en contact avec l'eau de mer. L'eau de la nappe devient plus ou moins saumâtre. L'invasion de la nappe d'eau douce par l'eau salée est accélérée par les pompages et le rabattement de la nappe.

L'eau des nappes alluviales a une qualité qui dépend de celle de la nappe qui l'approvisionne et de celle de la rivière.

#### **1.1.2. Propriétés Physiques**

- **La température**

En général, les eaux souterraines jouissent d'une constance de température que ne peuvent avoir les eaux de ruissellement soumises aux évaporations, aux échanges thermiques avec l'extérieur et le sol superficiel au rayonnement solaire (Trombe, 1977).

Les eaux de fissures larges (terrains perméables en grand) présentent des caractères tout à fait différents. Dans les terrains calcaires, profondément fissurés et perméables à l'air et à l'eau, les eaux engouffrées (pertes) imposent rapidement leur température aux parois des galeries souterraines où elles circulent.

La connaissance précise de la température de l'eau est importante dans la mesure où celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et des gaz surtout.

- **La conductivité électrique**

La conductivité électrique des eaux apporte de précieux renseignements sur leur richesse en électrolytes dissous. Sa mesure donne une indication rapide que l'analyse chimique, beaucoup plus longue, vient renforcer et préciser (Trombe, 1977). Les éléments renseignés par ce paramètre dont la mesure doit se faire systématiquement sur terrain (en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) sont appelés éléments majeurs de l'eau. Ils correspondent aux cations  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  et aux anions  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , (et éventuellement Si). Ce sont les éléments indiqués classiquement sur les bouteilles d'eau minérale (Derron, 2000).

Les conductivités des eaux associées aux roches silicatées sont les moins élevées, jusqu'à  $300 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Les eaux des roches carbonatées ont des conductivités de  $100$  à  $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$  (Derron, 2000). Les roches contenant des sulfates (gypses, anhydrite, epsomite) augmentent considérablement la conductivité lorsqu'elles sont dissoutes :  $1000 - 3000 \mu\text{S}/\text{cm}$ .

- **La turbidité**

La turbidité traduit le trouble de l'eau. Elle est due (Drass, 2001):

- **Pour l'eau brute** : à la présence de matières en suspension entraînées dans les eaux captées dans les karsts (périodes de pluies),

- **Pour l'eau distribuée** : au dysfonctionnement ou à l'insuffisance du traitement (présence de fer ou de manganèse), aux phénomènes de corrosion dans le réseau entraînant des dépôts dans les canalisations.

La turbidité peut être importante dans les aquifères fissurés ou karstiques dans lesquelles les circulations d'eau sont particulièrement rapides lors des grandes précipitations atmosphériques (Galley et al., 1996).

Le risque principal pour la santé est dû aux micro-organismes (bactéries, virus, parasites) qui se fixent sur les matières en suspension et sont ainsi protégés de l'action du désinfectant. La limite de qualité en vigueur est de  $2 \text{ NTU}$ .

- **La couleur**

La couleur des eaux souterraines est, en général, très faible sauf si elles sont chargées de sels de fer.

- **La saveur**

La saveur d'une eau souterraine dépend des sels et des gaz qu'elle contient en suspension ou en solution. Quelques milligrammes de sels de fer ou de cuivre par litre sont décelés alors que plusieurs centaines de milligrammes de chlorure de sodium n'affectent pas le goût (Trombe, 1977)

- **L'odeur**

Les eaux souterraines non thermales sont, en général, inodores si elles sont potables. Par contre, les eaux provenant de marais ou même de lacs, si elles sont insuffisamment filtrées sont reconnaissables à une odeur rappelant celle de l'hydrogène sulfuré provenant de la décomposition de matières organiques (Trombe, 1977).

### I. 1. 3. Propriétés Chimiques

- **pH**

La détermination du pH constitue une mesure de la concentration des ions  $H^+$  dans l'eau. Cette mesure est très importante car la valeur du pH conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques.

Les eaux peu profondes (sub-surface) sont généralement neutres à basiques (pH = 7 – 9), et en équilibre avec la pression d' $O_2$  atmosphérique (oxydantes).

- **Calcium ( $Ca^{+2}$ )**

Les sels de calcium se rencontrent dans presque toutes les eaux naturelles. La teneur en calcium est liée directement à la nature géologique des terrains traversés par ces eaux. L'ion  $Ca^{++}$  est obtenu en majorité par l'attaque par  $CO_2$  dissous (acide carbonique) des roches calcaires (dolomie) ou par simple dissolution sous forme de sulfates dans le cas du gypse (Bremond & Vuichard, 1973).

Il se présente principalement sous forme de bicarbonate  $Ca (HCO_3)_2$  soluble. On le rencontre en moins grande quantité sous forme de carbonate, de chlorure et de sulfate (dans l'ordre des solubilités croissantes).

- **Magnésium ( $Mg^{+2}$ )**

La teneur en magnésium dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées. Le magnésium dans l'eau provient de l'attaque par l'acide carbonique des roches magnésiennes et de la mise en solution de magnésium sous forme de carbonate et de bicarbonate (notamment sur les calcaires dolomitiques du jurassique et du trias et sur les dolomies).

Les apports dus à l'industrie proviennent surtout de l'industrie de la potasse (Bremond & Vuichard, 1973).

### • Potassium ( $K^+$ )

Le potassium est un élément normal des eaux, où sa concentration est largement inférieure à celle du sodium, bien que leur abondance relative terrestre soit comparable (2.83 % pour le sodium et 2.59 % pour le potassium). En fait, bien que solubles, les sels de potassium sont surtout adsorbés dans les sols.

Le potassium provient de l'altération des formations silicatées (Gneiss, Schiste), des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (Debieche, 2002).

### • Sodium ( $Na^+$ )

C'est un des constituants majeurs de l'écorce terrestre (2,83 %) et il existe dans la totalité des eaux car la solubilité de ses sels est très élevée.

L'activité humaine emploie beaucoup des sels de sodium dans ses diverses industries, où il constitue le cation alcalin le meilleur marché. En agriculture, associé aux autres éléments alcalins et alcalino-terreux, il constitue un élément de maintien de la perméabilité des sols. Des teneurs anormalement élevées peuvent provenir d'apports industriels, du lessivage ou de la percolation de terrains salés et d'infiltration d'eaux saumâtres (Bremond & Vuichard, 1973).

Le sodium est souvent répandu dans les minéraux des roches magmatiques tels que les feld spaths et dans les dépôts sédimentaires.

### • Chlorures ( $Cl^-$ )

Les chlorures existent dans toutes les eaux à des concentrations très variables. L'origine peut en être naturelle (Bremond & Vuichard, 1973) ou autre telle que :

- Percolation à travers des terres salées ;
- Infiltrations d'eaux marines dans les nappes phréatiques ou profondes ;
- Rejets humains (en particulier l'urine) ;
- Industries extractives et dérivées (soudières, salines, mines de potasse, industries pétrolières...).

### • Sulfates ( $SO_4^{-2}$ )

Composés naturels des eaux, ils sont liés aux cations majeurs : calcium, potassium et sodium. Ils proviennent essentiellement de la dissolution du gypse ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) et aussi du lessivage des terrils pyrifères où les sulfures entraînés s'oxydent au contact de l'air en sulfates. Il est difficile de préciser les origines artificielles des sulfates vu leur importance dans l'industrie. On peut toute fois citer comme sources prépondérantes (Bremond & Vuichard, 1973) :

- Les tanneries
- L'industrie papetière ;
- Les textiles ;
- Les ateliers de décapage métallique.

- **Nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)**

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote organique. Leur présence dans une eau polluée atteste que le processus d'auto-épuration a déjà joué.

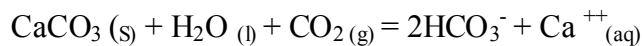
L'azote des nitrates, comme celui des nitrites, et de l'ammoniaque constitue l'un des éléments nutritifs des plantes.

Les nitrates se trouvant naturellement dans les eaux proviennent en grande partie de l'action de l'écoulement des eaux sur le sol constituant le bassin versant : la nature des zones de drainage joue donc un rôle essentiel dans leur présence.

En zone agricole, l'utilisation d'importantes quantités d'engrais minéraux, et l'augmentation du volume d'effluents d'origine animale à la suite du développement des élevages, provoquent un excédent d'azote dépassant les capacités d'utilisation par la végétation. Celui-ci est entraîné vers les nappes (Marjolet, 1990 et Akhmetieva, 1992 in Somlette, 1998).

- **Bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)**

La présence des Bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (Cipolin, Calcaire) par des eaux chargées en gaz carbonique. La somme des équations de dissolution est donnée comme suit :



## I. 2. Paramètres de qualité des eaux souterraines

La qualité d'une eau souterraine est caractérisée par un certain nombre de paramètres physiques et chimiques, déterminant à leur tour des caractères organoleptiques qui sont immédiatement perceptibles par l'utilisateur.

Les paramètres pris en compte sont :

- La dureté de l'eau correspondant à sa minéralisation en calcium et magnésium ;
- Le pH;
- La teneur en gaz dissous issus de l'atmosphère (O<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub>) ;
- La teneur en substances minérales dissoutes généralement sous forme ionique : anions (bicarbonates, chlorures, sulfates, nitrates, fluorures) et cations (calcium, magnésium, sodium, potassium, fer, manganèse, ammonium) ;
- La turbidité, produite par des matières en suspension (argiles) dans les aquifères karstiques.

A ces paramètres physico-chimiques s'ajoutent des paramètres microbiologiques souvent déterminants dans les aquifères calcaires.

Une teneur trop élevée d'un ou plusieurs composants chimiques cause des désagréments au consommateur (saveur, risques sanitaires) et aux canalisations (corrosion, entartrage...).

L'eau est alors jugée impropre à la consommation (et à sa distribution) à moins de subir au préalable un traitement approprié (cas des eaux chargées en nitrates).

Les paramètres qui déclassent une nappe pour l'eau potable ou impliquent un traitement correcteur pour sa potabilisation sont dans la pratique : la dureté, le pH, la teneur en sulfates, la turbidité, la teneur en fer, manganèse et fluore (<http://www.u-picardie.fr/beauchamp/cours.qge/du-8.htm>).

### I. 2. 1. La dureté

La dureté de l'eau dépend principalement de la somme des ions calcium et magnésium. La présence d'autres constituants comme le fer, le manganèse ou l'aluminium peuvent apporter une contribution à la dureté totale mais leur concentration n'est généralement pas très importante. La dureté de l'eau est liée à sa capacité de faire mousser le savon. Plus une eau est dure, plus il est difficile de faire mousser le savon. On distingue :

- Une dureté carbonatée qui correspond à la teneur en carbonates et bicarbonates de Ca et Mg ;
- Une dureté non carbonatée produite par les autres sels.

La dureté est mesurée par le titre hydrotimétrique exprimé en °F (degrés français) ; 1 °F correspond à 10 mg de carbonate de Ca dans un litre d'eau.

La potabilité d'une eau peut être estimée à partir des valeurs de son degré Hydrotimétrique comme le montre le tableau ci-dessous :

**Tabl. n° 1 :** Classification d'une eau souterraine en fonction du Titre Hydrotimétrique (Rodier 96).

Nature de l'eau	TH (F°)	Usage domestique
Eau très douce	0 – 7	Bonne Potabilité
Eau douce	7 – 14	Bonne Potabilité
Eau moyennement douce	14 – 22	Potabilité passable
Eau assez dure	22 – 32	Potabilité passable
Eau dure	32 – 54	Potabilité médiocre
Eau très dure	> 54	Potabilité mauvaise

La dureté de l'eau dépend essentiellement du contexte géologique. Les eaux des régions calcaires sont dures, celles des régions granitiques sont douces.

La dureté influe essentiellement sur l'état des canalisations et des appareils de chauffage et sur le lavage des linges. Une eau dure donne des dépôts de tartre dans les canalisations et chauffe-eau, ainsi que dans les filtres des robinets. D'autre part, ces dépôts carbonatés ont un effet bénéfique en protégeant les conduites de la corrosion.

En revanche, une eau trop douce est agressive vis-à-vis des canalisations ; la corrosion des canalisations en plomb est dès lors dangereuse pour la santé du consommateur.

### **I. 2. 2. Le pH**

Le pH de l'eau conditionne, en particulier, l'équilibre calco-carbonique et donc l'action de l'eau sur les carbonates (attaque ou dépôt). Le pH est acide dans les eaux des aquifères sableux ou granitiques et il est alcalin dans les calcaires. Il est corrigé selon le cas par élimination du CO<sub>2</sub> dissout en excès ou par correction de la dureté carbonatée.

### **I. 2. 3. La turbidité**

Les pics de turbidité suivent les fortes précipitations. Les eaux de ruissellement chargées de particules argileuses et d'autres matières indésirables- s'engouffrent dans les bétoires. La vitesse de circulation de l'eau dans le réseau souterrain en crue ne permet pas leur décantation et on les retrouve souvent à l'exutoire.

### **I. 2. 4. Les sulfates**

Les nappes captives en terrains calcaires sont moyennement à très sulfatées ; les teneurs varient entre 30 et 200 mg/l et parfois sont supérieures à 250 mg/l (Renard, 2002).

### **I. 2. 5. Le fer**

Le fer est un élément assez abondant dans les roches sous forme de silicates, d'oxydes et hydroxydes, de carbonates et de sulfures. Le fer est soluble à l'état d'ion Fe<sup>++</sup> (ion ferreux) mais insoluble à l'état Fe<sup>+++</sup> (ion ferrique). La valeur du potentiel d'oxydoréduction (Eh) du milieu conditionne donc sa solubilité et la teneur de l'eau en fer.

Les nappes captives isolées des échanges avec la surface sont en conditions réductrices : leur eau est ferrugineuse. Ce fer dissous précipite en milieu oxydant, en particulier au niveau des sources et à la sortie des conduites.

La présence de fer dans l'eau peut favoriser la prolifération de certaines souches de bactéries qui précipitent le fer où corrodent les canalisations.

### **I. 2. 6. Le manganèse**

Le manganèse accompagne généralement le fer dans les roches. Comme le fer, sa solubilité dépend du potentiel d'oxydoréduction (Eh).

### **I. 2. 7. Le fluor**

La teneur en fluor dépend beaucoup du temps de contact de l'eau avec les minéraux fluorés de l'aquifère. Elle est plus élevée dans les nappes captives. Absorbé en excès, le fluor peut entraîner des fluoroses dentaires (tâches roses sur l'émail) et osseuses (déformations osseuses et articulaires). La limite de qualité est fixée à 1500 µg/l (Drass, 2001).

## **I. 3. Détérioration de la qualité des eaux souterraines**

La qualité naturelle des eaux souterraines peut être altérée par l'activité humaine. Une altération qui peut être appréciée par mesures physico-chimiques et bactériologiques.

Dans le cas d'une détérioration jugée importante, l'eau ne sera plus considérée comme potable pour la consommation humaine. Elle pourra être telle quelle utilisée à d'autres fins (irrigation . . . .) ou devra subir un traitement approprié pour retrouver sa potabilité. L'eau des nappes n'est donc pas à l'abri de la pollution et l'auto-épuration naturelle n'est pas complète dans toutes les nappes et vis-à-vis de certaines substances.

### **I. 3. 1. Vulnérabilité des nappes à la pollution**

La vulnérabilité dépend du type de nappe, libre ou captive, et du mode de circulation de l'eau dans l'aquifère. Les nappes libres sont les plus vulnérables : les polluants d'origine superficielle peuvent diffuser librement dans le sol et la zone non saturée jusqu'au niveau piézométrique. D'autre part, la fluctuation verticale saisonnière du niveau piézométrique aboutit à rincer les particules de la zone non saturée et entraîner les substances qui y sont adsorbées ([www.u-picardie.fr/beaucham/cours.qge/du-8.htm](http://www.u-picardie.fr/beaucham/cours.qge/du-8.htm))

Les nappes captives en revanche sont mieux protégées par les couches imperméables qui les surmontent. Leur pollution apparaît lorsque le niveau protecteur imperméable est percé par un ouvrage (ancien forage, fouille profonde...).

Pour atteindre une nappe libre en milieux poreux, les polluants transportés par les eaux d'infiltration doivent franchir de nombreux obstacles :

- le sol : L'activité chimique et microbiologique est intense (oxydation, réduction...). Les polluants organiques peuvent être métabolisés et minéralisés. Les complexes argilo-humiques peuvent fixer de nombreux corps minéraux et organiques par adsorption.
- La zone non saturée : elle joue un rôle dans la filtration et la rétention de certaines substances. Cette action est d'autant plus efficace que la granulométrie est faible.
- La zone saturée : La filtration se poursuit dans le milieu poreux de la nappe ; le polluant est dilué dans la masse d'eau.

La protection de la nappe sera d'autant meilleure que le sol et la zone non saturée sont épais, que leur granulométrie est fine, que la vitesse de percolation de l'eau dans la nappe est faible. Par contre, ce type de nappe une fois contaminée par un polluant le reste longtemps.

Dans les nappes libres en milieu fissuré, la vulnérabilité à la pollution dépend de leur recouvrement. Les aquifères en terrains anciens (granites, schistes...) sont généralement recouverts par des formations meubles d'altération qui jouent le rôle de filtre. Ce n'est pas le cas dans les aquifères calcaires : les polluants s'infiltrent dans les fissures, y circulent rapidement et réapparaissent dans les sources et forages. La pollution apparaît sous forme de pics de courte durée ; elle disparaît rapidement si l'apport de polluant cesse.



Les nappes alluviales sont généralement en connexion hydraulique avec le cours d'eau ; la qualité de leur eau dépend de celle de la rivière. Un trait essentiel de ce type de nappe est la liaison privilégiée qui existe entre celle-ci et le cours d'eau qui la traverse. En situation naturelle (c'est-à-dire sans captage), le cours d'eau draine, le plus souvent, la nappe. Cette situation s'inverse temporairement lors des crues. Quand les captages sont implantés dans l'aquifère à proximité de la berge, les échanges ne s'effectuent alors que dans le seul sens rivière-nappe du fait de la mise en dépression de la nappe par les pompages (Doussan et al, 1995 in Detay, 1997).

L'eau prélevée au forage est donc un mélange d'eau de nappe, au sens strict, et d'eau issue de la rivière. Cette dernière composante peut représenter de 70 à 100% de l'eau pompée pour des forages situés à faible distance du cours d'eau. On constate également que l'eau ainsi produite et c'est une caractéristique essentielle de ce type d'exploitation, présente des modifications physico-chimiques considérables par rapport à l'eau superficielle dont elle est issue. Cet effet est connu sous les appellations « effet filtre des berges ».

Il est le plus souvent perçu comme un effet positif car généralement nombre de polluants présents dans la rivière ne sont pas retrouvés dans l'eau extraite (Bourg, 1992 et Sontheimer, 1980 in Detay, 1997).

Ainsi, dans le cas des nitrates, les captages implantés dans les plaines alluviales soumises à une agriculture intensive, présentent très souvent une contamination par les nitrates d'origine agricole. En revanche, les forages situés en bordure de rivière montrent généralement une concentration en nitrate faible, inférieure à celle trouvée dans le cours d'eau, visualisation directe d'une des conséquences de l'effet filtre des berges. De même, les concentrations en sulfate peuvent chuter de moitié. Au contraire, ammonium, fer manganèse et hydrogénocarbonate se présentent dans l'aquifère à des concentrations très supérieures à celles de la rivière mettant en évidence la prédominance du phénomène de réduction rencontré souvent à proximité des berges.

Dans tous les cas, la pollution des eaux souterraines est favorisée par certains aménagements et pratiques :

- interventions qui favorisent l'infiltration dans la nappe : forage de puits sans précaution, ouverture de gravière, puits perdus pour infiltrer les eaux usées...
- mauvaise gestion des eaux de ruissellement suite au drainage agricole et des eaux usées.
- modification des pratiques agricole : remplacement de la prairie par des cultures intensives, sols à nu pendant l'hiver.
- élevages intensifs produisant une accumulation locale d'excréments difficiles à gérer.

### I. 3. 2. Pollution des eaux souterraines

On appelle pollution tout facteur physique, chimique, ou biologique rejeté dans un émissaire, ou une réserve d'eau naturelle superficielle ou profonde, et qui risque de perturber à plus ou moins longue échéance l'équilibre biologique de cette eau, et de le rendre susceptible de causer tort à autrui.

Une eau souterraine est dite polluée lorsqu'elle contient, d'une part, des substances autres que celles liées à la structure naturelle des terrains où elle a séjourné et d'autre part lorsque les concentrations des constituants dissous ou en suspension dépassent les normes admissibles.

Le tableau n°02 montre les normes des paramètres physico-chimiques des eaux destinées à la consommation humaine fixées par la Communauté Européenne.

**Tabl. n°02:** Exigences de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine fixées par la Communauté Européenne (Lallemand, 1989).

Paramètres ou Substances	Teneurs			Substances en Traces Micros polluants (µg/l)	Teneurs	
	Guide	Max	Min		Guide	Max
Coloration : (mg/l de Platine)	5	20		Cadmium (Cd)		5
Turbidité:(degré Silice mg/l)	5	10		Cyanures (Cn)		50
Odeur, Saveur	Néant	Néant		Chrome Total (Sr)		50
Température:(degré centigrade)	12	25		Cuivre (Cu)	50	1500
				Mercure (Hg)		1
pH	6.5à8.5	9.5	6	Plomb (Pb)		50
Conductivité (µohms/cm)	400	1250		Zinc (Zn)	100	2000
Résidu sec à 180°C : (mg/l)		1500		Nickel (Ni)	5	50
Dureté totale: (F°)	35		10	Fer (Fe)	100	300
Calcium Ca : (mg/l)	100		10	Fluor : (F) (T:25 à 30°C)	700	
Magnésium Mg : (mg/l)	30	50	5	Fluor : (F) (T: 8 à 12°C)	1500	
				Manganèse (Mn)	20	50
Sodium Na : (mg/l)	< 20	100		Huiles minérales (résidu)		10
Potassium K : (mg/l)	≤ 10	12		Hydrocarbures aromatiques		0.2
Aluminium Al : (mg/l)	0.05			Phénols		0.5
Sulfates SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> : (mg/l)	5	250		Détergents		100
Chlorures Cl <sup>-</sup> : (mg/l)	5	200		Pesticides		0.5
Nitrates NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> : (mg/l)		50		Organismes pathogènes (par 100 ml)		0
Nitrites NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> : (mg/l)		0.1		Coliformes fécaux		0
Ammonium NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> : (mg/l)	0.05	0.5				
Arsenic (As) en µg/l		50				

- **Les polluants**

On appelle polluant toute substance d'origine naturelle ou anthropique qui s'accumule dans le sol et modifie l'équilibre naturel de ce dernier à la suite d'une intervention humaine

Il peut donc s'agir de substances naturelles (métaux, pétrole brut, nitrate) ou artificielle (pesticide organique, solvants organochlorés, gasoil . . . etc.). Certaines de ces substances peuvent déjà se trouver dans les sols en faible concentration (par exemple métaux lourds, nitrates).

On parle de pollution lorsque la concentration de ces substances naturelles ou artificielles dans les sols est plus élevée que la normale par suite de l'activité humaine.

- **Type des Polluants**

Les polluants peuvent être classés suivant différents critères (Lallemand, 1989):

**A/ En fonction de l'origine de la pollution**

☒ - *Urbaine* : Eaux de Vannes, eaux ménagères, eaux pluviales, eaux d'infiltration sous dépôts d'ordures, etc.)

☒ - *Industrielle* : Eaux usées, eaux d'infiltration sous dépôt industriel liquide dangereux tels que les hydrocarbures, eaux des bassins de lagunage etc.

☒ - *Agricole* : Eaux d'infiltration et de ruissellement sous aires cultivées, ou sous aires agricoles (élevages, lisiers, épandages d'engrais, produits phytosanitaires).

**B/ Selon la nature des Polluants**

Les facteurs qui peuvent modifier la composition et l'état des eaux sont nombreux et constituent autant de pollutions élémentaires.

**✚ Polluants Physiques**

Les trois principaux agents physiques de la pollution sont : La température, les matières en suspension et la turbidité et la radioactivité.

☒ - *La température* : L'augmentation de la température de l'eau surtout de surface provoque des effets écologiques sur la vie aquatique par prolifération des bactéries anaérobies. Elle diminue la solubilité de l'oxygène en offrant un déficit de l'activité biologique.

☒ - *Les Matières Solides en Suspension et la turbidité* : ces matières sont introduites par précipitation des eaux de surface. Certaines particules très petites de l'ordre du micron, peuvent ainsi transiter (particules d'asbestes par exemple). La turbidité de l'eau diminue la pénétration de la lumière nécessaire aux pigments chlorophylliens.

☒ - *La radioactivité* : est potentiellement le plus dangereux des polluants physiques ; c'est pourquoi tous les rejets sont sévèrement réglementés et contrôlés.

### ✚ Polluants Chimiques

L'eau par son pouvoir dissolvant élevé dissout les substances rejetées par l'activité humaine. Les polluants chimiques sont nombreux et d'origines diverses : sels minéraux dissous, métaux lourds, pesticides, détergents et hydrocarbures. Les métaux lourds, les pesticides et les détergents constituent les micropolluants.

☒ - *Les sels minéraux dissous* : les plus nocifs sont les composés de l'azote : nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) et nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ). Ils provoquent des troubles graves chez les jeunes vertébrés par dégradation de l'hémoglobine du sang et production de méthémoglobine toxique et sont les précurseurs de nitrosamines cancérigènes. Ces aspects toxicologiques sont encore très discutés et sujets à polémiques (L'hirondel, 1994 ; L'hirondel, 1996).

Par contre, la responsabilité des nitrates (et des phosphates) dans les phénomènes d'eutrophisation des rivières et eaux littorales est avérée. Ils correspondent à une prolifération importante de végétaux chlorophylliens, qui provoquent la baisse des quantités d'oxygène dissous disponible.

La norme de potabilité pour les nitrates est fixée à 50 mg/l par la Directive Européenne 80/778/CEE de Juillet 1980.

☒ - *Les sulfates et les chlorures*: Ils sont naturellement présents dans l'eau souterraine (dissolution des sels minéraux des réserves). Les chlorures par leur persistance dans tous les milieux, constituent d'excellents traceurs naturels. Leur teneur maximum dans l'eau potable est fixée à 200 mg/l selon l'O.M.S. (Lallemand, 1989).

☒ - *Les micropolluants (métaux lourds, pesticides et détergents)*: Les micros polluants regroupent des substances toxiques à très faible teneur dans l'eau. Ils sont dangereux même à l'état de traces, car la chaîne alimentaire a un effet cumulatif. Les plus dangereux sont : les cyanures très toxiques, le mercure, le chrome, le plomb, le sélénium, l'arsenic et le cadmium. Leur teneur, à l'état de traces, est sévèrement réglementée, même dans les eaux brutes de rivière utilisées par les stations de traitement.

Le terme de pesticides groupe tous les produits de lutte contre les parasites des cultures et des animaux. Leur évolution dans le sol, aboutissant à des dérivés toxiques, est encore mal connue. L'usage des détergents d'apparition récente, est en accroissement considérable. Ils inhibent les processus d'auto épuration, limitent le développement des micro-organismes du sol et entravent la ré oxygénation. La fabrication de détergents biodégradables devrait supprimer cette source de pollution.

☒ - *Les polluants organiques (micro organiques)* : L'eau souterraine est milieu des micro-organismes, pathogènes ou non.

Pratiquement elle en est dépourvue dans les conditions naturelles. Le pouvoir auto épurateur du sol est très efficace. Un problème particulier est posé par les aquifères karstiques au sein desquels l'auto épuration est faible, voire nulle.

**C/ Selon la répartition géographique :** On distingue:

- La pollution diffuse
- La pollution ponctuelle

#### **✚ La pollution diffuse**

L'agriculture constitue la première cause des pollutions diffuses des ressources en eau. Lorsque l'on considère les pollutions d'origine agricole, il faut englober à la fois celles qui ont trait aux cultures et à l'élevage.

Les activités agricoles sont en particulier largement impliquées dans les apports d'azote et ses dérivés (nitrates et nitrites) que l'on trouve en fortes concentrations dans les engrais, mais aussi dans les lisiers et purins d'élevage.

Cependant, certaines pratiques agricoles « normales » peuvent également être source de pollution, par exemple le retournement de sols forestiers ou de prairies naturelles qui peuvent libérer des quantités importantes de nitrates.

Le drainage, par la concentration des eaux chargées en fertilisants et en produits phytosanitaires et, localement, leur rejet direct en nappe par des puisards ou des forages, est également une cause de pollution importante, en premier lieu dans les aquifères fissurés (Galley et al., 1996).

#### **✚ La pollution localisée**

La contamination des eaux souterraines est dite localisée (ponctuelle) lorsque la source de pollution présente une extension géographique relativement restreinte. Tout entreposage déficient ou toute manipulation inadéquate de substances ou matières présentant un potentiel de contamination peut être à l'origine d'une contamination ponctuelle des eaux souterraines (Beudet, 1999).

Elle peut avoir une origine domestique ou industrielle et présenter un caractère chronique ou épisodique (Galley et al., 1996).

##### **a) - La pollution domestique et urbaine**

C'est la pollution causée par les eaux usées domestiques qui regroupent les eaux " ménagères " (eaux de cuisine et de salle de bains) et les eaux "vannes " (wc).

Les eaux ménagères qui représentent les deux tiers du total des eaux usées domestiques, contiennent, notamment, des graisses, des savons et détergents, des matières en suspension et des matières dissoutes ou minérales qui peuvent être transférés à la nappe. Le cas se produit avec les puits perdus, l'assainissement individuel avec infiltration dans le sol.

Le contenu polluant peut être estimé pour une personne utilisant en moyenne 150 à 200 l/j d'eau à (<http://www.eau-poitou-charentes.org/2-eau-et-usages-25-48.html>):

- 70 à 90 g matières en suspension,
- 60 à 70 g matières organiques,
- 10 à 20 g de matières azotées.

Les ordures ménagères accumulées dans des décharges sauvages ou non mises à la norme (centre d'enfouissement technique) libèrent également des lixiviats riches en polluants.

### **b) La pollution industrielle**

Si la pollution domestique des ressources est relativement constante, les rejets industriels sont au contraire caractérisés par leur très grande diversité suivant l'utilisation de l'eau au cours du procès industriel. Selon l'activité industrielle, on retrouve des pollutions aussi diverses que (Carnevale et al., 2006):

- des matières organiques, des graisses, et des hydrocarbures ;
- des métaux lourds, et des matières radioactives;
- des Acides, des produits chimiques divers ;

Les eaux pluviales, en lessivant les surfaces imperméabilisées des établissements industriels ainsi que divers équipements routiers, et en s'infiltrant à proximité, sont des sources de pollution localisées non négligeables (Galley et al., 1996).

### **D/ En fonction de la répartition dans le temps:**

- Pollution accidentelle (temporaire): L'émission exceptionnelle de matière polluante à la suite d'un incident peut entraîner un transfert à la nappe et sa pollution dont la durée dépend de son pouvoir d'auto-épuration et de sa vitesse de percolation.
- Pollution permanente (chronique): Elle est plus dommageable ; moins spectaculaire, elle peut passer inaperçue (pollution agricole par les nitrates, contamination par hydrocarbures à partir des sols pollués).
- Pollution saisonnière (sels de déneigement, etc.).

#### I. 4. Mécanismes de transport du polluant en milieu souterrain

L'occurrence ainsi que le mouvement de l'eau souterraine sont contrôlés presque entièrement par la topographie et la géologie. Les hétérogénéités géologiques, spécialement celles relevant de la porosité et de la perméabilité, les conditions physico-chimiques du milieu, ainsi que les caractéristiques propres aux polluants, sont largement responsables des grandeurs des enclaves de contaminants et sont paramètres pouvant influencer sur l'étendue d'une éventuelle pollution des eaux souterraines.

La fraction infiltrée des eaux de précipitation est généralement la principale contribution à la recharge des eaux souterraines. La fraction ruisselante des pluies devra parcourir une certaine distance en surface avant de voir ses chances d'infiltration augmenter, l'irrigation de surface et les différences de charges hydrauliques dans les aquifères sont également des facteurs pouvant contribuer à recharger des eaux souterraines.

Les processus responsables du transport des polluants dans la zone non saturée sont principalement l'advection, la dispersion mécanique et la diffusion moléculaire liquide. Dans la zone saturée, c'est quasi exclusivement sous forme dissoute que les polluants sont transportés. Nous suggérons ci-dessous une brève description des principaux mécanismes de transformation et d'atténuation du polluant en milieu souterrain.

##### I. 4. 1. Les processus Physiques :

- **La volatilisation:** Elle fait référence au transfert d'une substance de la surface du sol vers l'atmosphère. Dans le contexte des eaux souterraines, la volatilisation ne constitue pas un processus efficace de dissipation si le polluant a migré au-dessous de la surface du sol.

- **Le Lessivage:** Le lessivage des composés organiques sera régi en grande partie par les caractéristiques intrinsèques du sol tel que la porosité, le pH, le taux d'humidité et la teneur en argile et en matières organiques, de même que par les conditions météorologiques. En ce qui concerne les conditions climatiques, la durée et l'intensité des précipitations augmenteront ou atténueront la migration du polluant selon l'étendue de la diffusion ascendante (évaporation) relative au flux descendant (lixiviation).

- **L'adsorption :** Les phénomènes d'adsorption et de désorption peuvent retarder efficacement la migration des polluants dans le sol. Les constituants du sol les plus susceptibles d'être impliqués dans le processus sont ceux qui possèdent une grande surface spécifique (cas des argiles) ou encore des sites très réactifs sur lesquels peuvent se fixer diverses substances (cas de la matière organique). Le degré d'adsorption d'un polluant sera fortement relié à sa nature chimique c'est-à-dire à la grosseur de la molécule, sa polarité, la position de ses groupements fonctionnels, etc.

- **La photo décomposition** : Une molécule de polluant qui est capable d'absorber de l'énergie en provenance du soleil pourra subir un certain nombre de réaction photochimiques entraînant ainsi sa dégradation. Le mécanisme n'est donc actif qu'à la surface du sol.

#### I. 4. 2. Les processus Biochimiques:

- **Dégradation chimique**: Les réactions chimiques les plus probables dans le milieu souterrain sont les processus d'hydrolyse des polluants qui se produisent habituellement par l'intermédiaire d'acides ou de bases, qui jouent le rôle de catalyseurs.

- **Dégradation par les micro-organismes** : La biodégradation représente le résultat final d'un ensemble de processus dynamiques qui sont impliqués dans la destruction biologique de composés organiques par les micro-organismes contenus dans le milieu souterrain. Les micro-organismes contribuent à l'atténuation du polluant par un ensemble de mécanismes comme la minéralisation, le cométabolisme, la détoxification, l'activation et le désamorçage.

- **Dégradation par les plantes** : Lorsque des végétaux sont mis en présence d'un milieu nutritif renfermant une certaine quantité de polluants, on observe une absorption du contaminant par les racines qui se produit assez rapidement. Une fois absorbé, le polluant peut subir des transformations sous l'influence du métabolisme de la plante hôte, ce qui retarde sa migration vers les eaux souterraines.



## *CHAPITRE II*

# *SITUATION ET DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE*

## II. 1. Situation géographique de la zone d'étude

La zone d'étude couvre la vallée du Cheliff, depuis 11 Km de l'amont d'Oum Drou, jusqu'à 10 km en aval de Boukadir. Elle s'étend dans la partie centrale jusqu'à Ouled Fares dans la vallée de l'affluent dit Oued Ouahrane. La partie se trouvant au Sud et longeant la route nationale n°4 à 4 Km environ est également incluse dans la présente étude (Fig. n°01).

La zone ainsi définie occupe un territoire de 321 km<sup>2</sup> environ dans le bassin du moyen Cheliff occidental appartenant lui même au grand bassin hydrographique Cheliff-Zahrez et est formé par trois sous bassins versants codés respectivement (0122, 0123 et 0124).

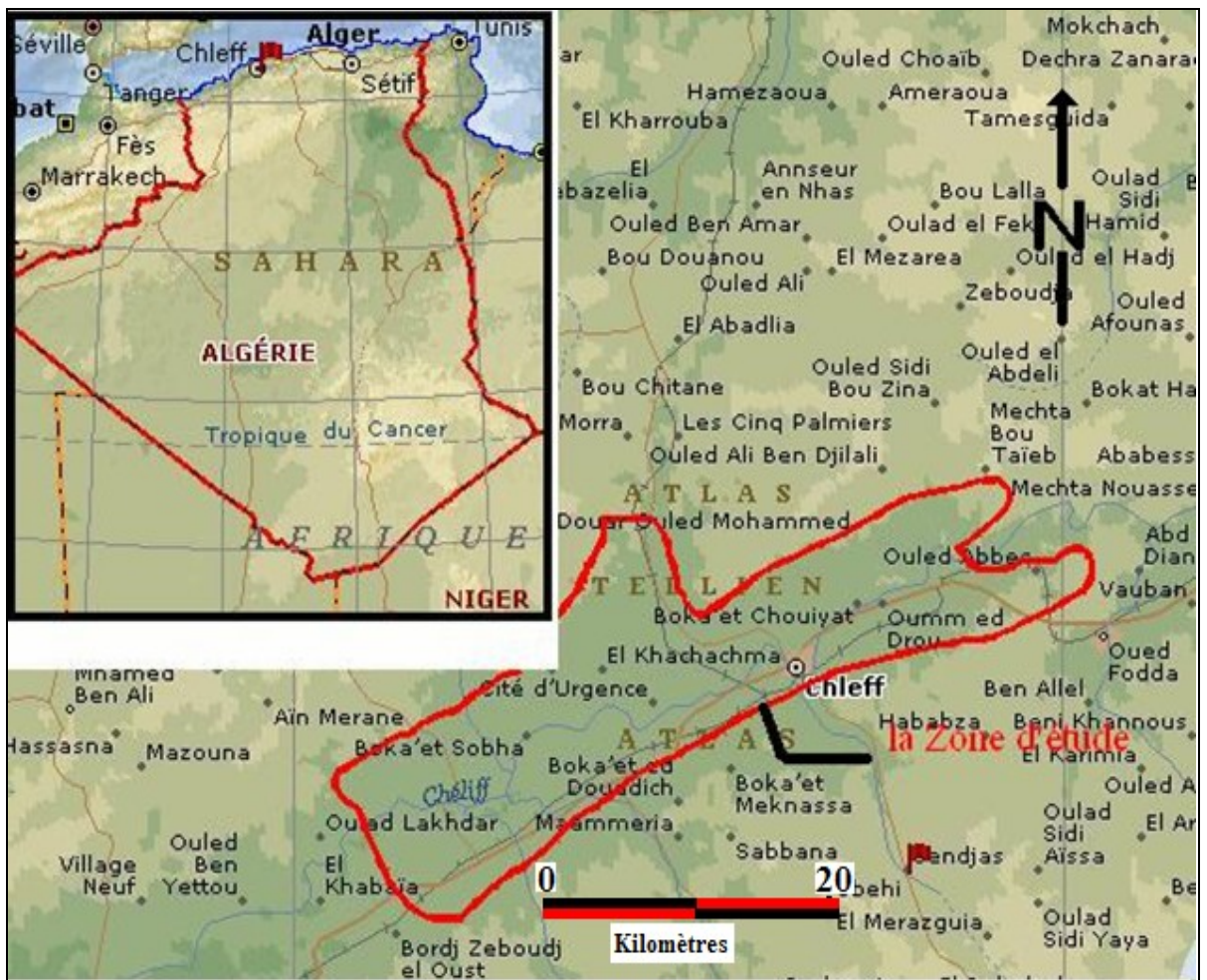


Fig. n°01 : Situation de la zone d'étude (source Atlas mondial, année 2005)

Ce secteur est limité :

- Au Nord par les monts de Medjadja (flanc sud du Dahra) d'altitude moyenne 600 m
- Au Sud par le massif de l'Ouarsenis d'altitude moyenne 1200 m.

Il s'étend sur les communes : Ouled Abbes, Oum Drou, L'abiodh Medjadja, Chlef, Chettia, Ouled Fares, Sobha, Oued Sly et Boukadir.

## II. 2. Aperçu morphologique

Le bassin du moyen Cheliff occidental qui correspond à un bassin sédimentaire d'orientation Est – Ouest, est étroitement lié à son historique géologique depuis le tertiaire jusqu'à nos jours ; il comprend les ensembles morphologiques suivants :

- Les collines de Medjadja avec une altitude de 400 à 500 m ;
- Les montagnes rouges, et leur prolongement oriental avec une altitude de 160 à 200 m ;
- Les plateaux situés au Sud–Est et au Sud–Ouest de la ville de Chlef avec une altitude de 200 à 350 m ;
- La plaine du Cheliff qui forme une étroite bande dans sa partie orientale d'une dizaine de kilomètre de largeur qui draine le Cheliff.

## II. 3. Hydrologie de la zone d'étude

### II. 3. 1. Hydrographie

Le bassin versant du moyen Cheliff occidental comprend les bassins collecteurs des Oueds suivants : l'oued Sly qui prend sa source dans les montagnes de l'Ouarsenis se déversant dans le Cheliff dans la localité du même nom située à une quinzaine de kilomètres de Chlef ; l'oued Ras et l'oued Ouahrane (prenant leur source dans les monts du Dahra) ; l'oued Tsighaout et l'oued Tafelout prenant naissance au niveau des piémonts des montagnes de l'Ouarsenis.

Les caractéristiques physiographiques des sous bassins ainsi définis sont présentés dans le tableau n° 3.

Le réseau hydrographique du moyen Cheliff occidental présente donc un chevelu hydrographique dense, avec une totalité de 1967 Km dont 646 Km permanents et 1321 Km temporaires (Fig. n°02).

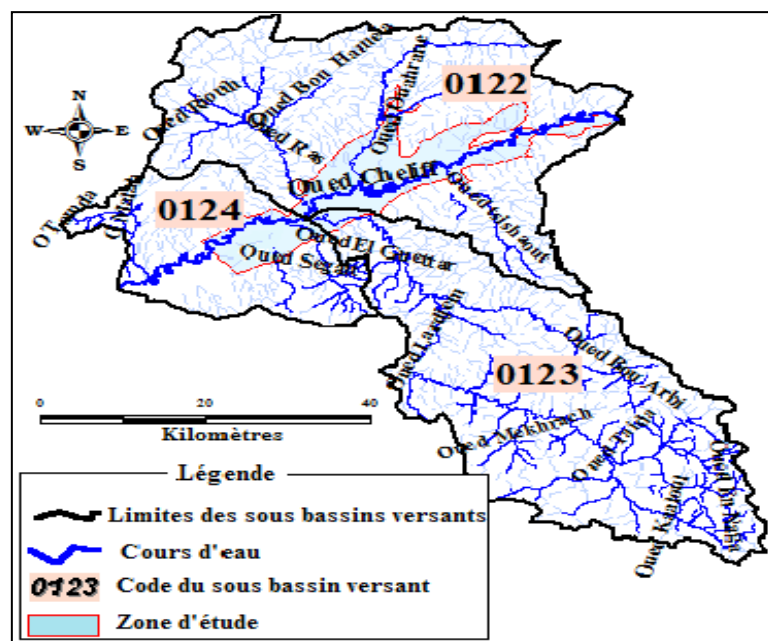


Fig. n°02: Carte du réseau hydrographique du moyen Cheliff occidental (ABH-CZ)

Le principal cours d'eau est l'Oued Cheliff qui traverse la zone d'étude sur 70 Km, et reçoit le long de son trajet les affluents principaux suivants :

- sur la rive droite : - l'Oued Ras ;  
- l'Oued Ouahrane.
- sur la rive gauche : - l'Oued Tsighaout ;  
- l'Oued Sly.

**Tabl. n°03:** Caractéristiques physiographiques des sous bassins versants de la zone d'étude

Sous Bassin	Code du sous Bassin	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Périmètre (Km)	Indice de Compacité	Longueur des cours d'eau (km)			Densité de drainage km/km			Dénivelée Spécifique	Classement Du Relief
					permanents	temporaires	Total	permanents	temporaires	Total		
Ouahrane Ras	0122	1438.452	225.523	1.66	225	970	895	0.156	0.465	0.621	429	Assez fort
Sly	0123	1404.071	221.180	1.65	285	387	672	0.202	0.275	0.477	649	Fort
Boukadir	0124	574.763	119.965	1.40	136	264	400	0.236	0.459	0.695	478	A Fort
<b>Total</b>		<b>3417.286</b>			<b>646</b>	<b>1321</b>	<b>1967</b>					

## II. 3. 2. Hydrométrie

Le réseau hydrométrique de la vallée du moyen Cheliff occidental observé par l'ANRH compte quatre (04) stations hydrométriques implantées sur le réseau hydrographique (Tabl. n°04)

**Tabl. n°04:** Données des stations hydrométriques de la vallée du MCO (ABH-CZ 2004)

Oued	Dénomination	Mise en Service	Apports 2000- 2001 Hm <sup>3</sup>	Q <sub>max</sub> m <sup>3</sup> /s
Cheliff	Ponteba	1958	185	1300 (Déc. 88)
Ouahrane	Ouled Fares	1972	4	130.60 (Mai 91)
Sly	Ouled B / AEK	1965	45	147.70 (oct.94)
Ras	Sobha	1972	/	/

Les stations d'Oued Ouahrane et d'Oued Sly enregistrent de faibles débits, conséquence du climat semi aride de la région.

## II. 4. Climatologie

### II. 4. 1. Climatologie régionale

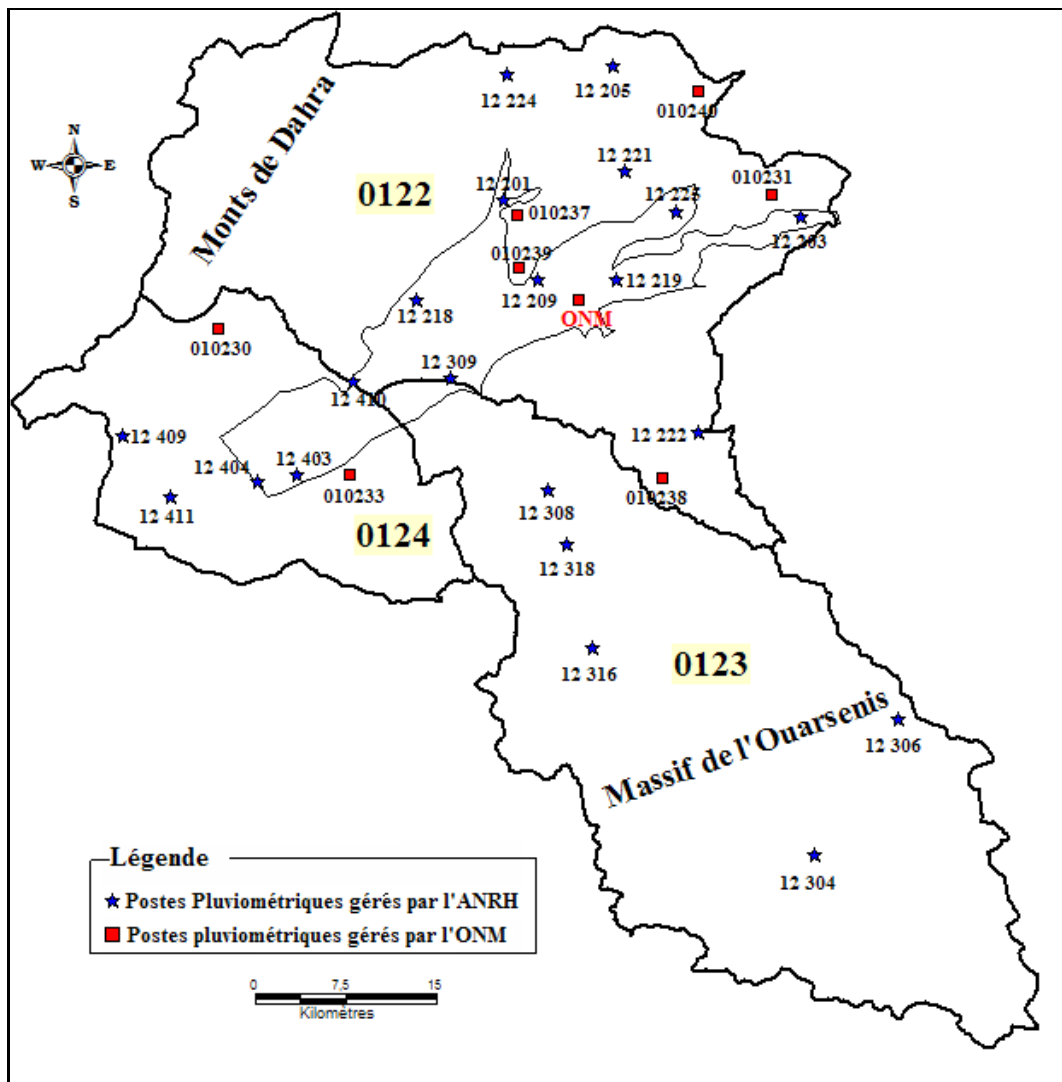
Le bassin du moyen Cheliff occidental est couvert par un réseau de vingt neuf (29) postes pluviométriques dont vingt et un (21) gérés par l'ANRH et huit (08) par l'ONM (Tabl. n°05 et Fig. n°03).

En général, le bassin du moyen Cheliff occidental subit l'influence méditerranéenne au Nord et continentale au Sud d'où un climat semi-aride avec des hivers froids et des étés chauds. La plaine du Cheliff est reconnue en Algérie par sa chaleur en été, notablement élevée ; en effet, elle a été citée comme " Curiosité" météorologique.

**Tabl. n° 05:** Les postes pluviométriques du moyen Cheliff occidental

Code du sous bassin	Dénomination	Nombre des postes pluviométriques gérés par :	
		L' ANRH	L'ONM
<b>0122</b>	Oued Ras + Ouahrane	10	6
<b>0123</b>	Oued Sly	06	/
<b>0124</b>	Boukadir	05	2
	<b>TOTAL</b>	<b>21</b>	<b>8</b>

L'analyse des données pluviométriques interannuelles pour la période 1968-2001 dans le moyen Cheliff occidental montrent une variation de hauteur de pluie entre 270 et 520 mm, la valeur maximale (520mm) est enregistrée dans la partie Nord et sur les chaînes de l'Ouarsenis. Les précipitations annuelles enregistrées par les différentes stations pour l'année 2001/2002 sont supérieures aux moyennes interannuelles (ANRH, 2004).



**Fig. n° 03:** Position des postes pluviométriques du moyen Cheliff occidental

## II. 4. 2. Climatologie locale

### A) Les Précipitations mensuelles

Onze stations pluviométriques intéressent directement la vallée du moyen Cheliff occidental (P-defluent (code :12203), Oum drou (code :12225), ONM-Chlef , DDA-Chlef (code : 12219), Chettia (code :12209), Ouled Fares (code : 12201), Es soula exp(code : 12218) , Oued Sly (code : 12309), Boukadir BRG(code : 12410), Merdja (code :14403) et Ferme Denat (code : 12404)) dont les périodes de fonctionnement varient d'une station à une autre.

La station de Chlef appartenant à l'ONM servira de référence, compte tenu de la fiabilité de ses données. Les données se répartissent sur une échelle mensuelle de 1980 à 2004. Une étude statistique des données des précipitations est présentée dans le tabl. n°06.

Le tableau montre que la précipitation moyenne varie entre 200 et 550 mm.an<sup>-1</sup>. La saison hivernale est la plus pluvieuse avec une moyenne de 45 mm.mois<sup>-1</sup> et un pic au mois de novembre ce qui produit une recharge de la nappe et une dilution des éléments chimiques. Par contre, l'été est sec avec une faible recharge de 4 mm.mois<sup>-1</sup>, ce qui produira une évaporation rapide de cette dernière.

**Tabl. n°06:** Variations mensuelles des précipitations (mm) au niveau de la station de l'ONM Chlef (1980-2004).

Station ONM Chlef (1980-2004)													
Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Annuelle
Moyenne	17.54	34.66	53.45	50.29	42.98	42.97	38.85	35.26	25.79	5.28	2.34	4.38	353.83
Max	68.4	114.5	172.3	128.6	83.6	131.8	73.5	158.2	88.8	28.6	10.2	26.3	542.10
Min	0.0	1.3	0	2.00	0	0	0.4	0.7	0	0	0	0	220.60
Ecart type	16.89	27.28	39.29	32.58	24.44	34.49	24.16	32.4	21.4	8.27	3.58	6.64	93.87
Saisons	Automne			Hiver			Printemps			Eté			
Moyenne	35.218			45.417			33.304			4.004			

L'écart type entre les valeurs des précipitations mensuelles est plus important pendant le mois de novembre (39.3 mm).

### B) Température

Les températures moyennes mensuelles relevées à la station de l'ONM Chlef (Tab. n°07) donnent les valeurs suivantes :

**Tabl. n°07:** Températures moyennes relevées à la station de l'ONM Chlef (1980-2004)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Moy
T°C	25.43	20.13	14.99	11.34	10.90	11.35	13.84	15.84	20.4	25.52	29.29	29.04	19

Ce tableau montre que les moyennes mensuelles les plus élevées sont observées essentiellement pendant la période d'été (Juin - Septembre) avec des températures variant de 25 à 29°C.

Par contre, les températures les plus basses, de 10 à 14°C, sont observées pendant la période d'hiver (décembre à mars) avec un minimum pendant le mois de janvier (10.9°C). Les autres mois présentent des températures intermédiaires (16 à 20°C).

Ces caractéristiques de la température indique, d'un point de vue hydrochimique, que les valeurs élevées de la température pendant la période d'été, produisent une évaporation de l'eau et en même temps une augmentation de la concentration des éléments chimiques dans la nappe.

### C) Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite

Cette méthode est utilisée pour les climats sub-humide et semi-aride, et vu les caractéristiques intermédiaires du climat méditerranéen, cette formule a été appliquée.

Elle est basée sur la notion de réserve d'eau facilement utilisable (RFU). On admet que la hauteur d'eau stockée dans le sol qui est reprise par l'évapotranspiration est de 100 mm au maximum (Gaude, 1976 in Debieche, 2002).

La méthode de Thornthwaite nous permet à partir des données de base (précipitation, température (T°C), le coefficient thermique mensuel (K) et l'indice thermique mensuel (i) de calculer l'évapotranspiration potentielle selon la relation suivante :

$$ETP(\text{mm}) = 16 \left( \frac{10T}{I} \right)^a K \quad \text{ou} \quad I = \sum i = \sum \left( \frac{T}{5} \right)^{1.514} \quad \text{et} \quad a = 0.016I + 0.5$$

Le principe de calcul du bilan hydrologique de Thornthwaite est le suivant :

- si pour un mois  $P = ETP$  on pose que l' $ETP = ETR$ , la quantité d'eau qui reste ( $P - ETR$ ) va alimenter la RFU jusqu'à son maximum (100 m) et si elle dépasse cette valeur il y aura un excès (WS) qui va partir soit sous forme d'infiltration efficace vers la nappe, soit sous la forme de ruissellement.

- si  $P < ETP$ , la valeur de  $ETR = P + RFU$ , jusqu'à égalisation avec  $ETP$ . Si la RFU est nulle, il va se produire un déficit agricole  $Da = ETP - ETR$ , ce dernier paramètre représente alors le besoin des cultures à l'irrigation.

La lame d'eau ruisselée est calculée par la méthode de Tixeront –Berkaloff

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

Le calcul de ces paramètres pour l'année 2004 (fin de la période d'étude) est présenté dans le tabl n°08:

**Tabl. n°08:** Calcul du bilan hydrologique pour l'année 2004 selon la méthode de Thornthwaite

<b>Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite (2004)</b>													
<b>Mois</b>	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
<b>T °c</b>	10.8	12.3	13.1	16	17.8	26.3	29.8	30.6	26.8	22.4	13.6	11.2	
<b>I</b>	3.20	3.90	4.29	5.81	6.83	12.34	14.91	15.52	12.70	9.68	4.54	3.39	97.198
<b>K</b>	0.7	0.8	1	1.2	1.3	1.3	1.3	1.2	1.1	0.9	0.8	0.7	
<b>P (mm/mois)</b>	29.6	45.5	16.1	29.1	79.6	7.8	0.0	2.7	0.6	38.1	28.6	83.4	361.1
<b>ETP (mm)</b>	13.91	20.76	29.55	53.48	72.13	160.8	207.9	202.1	141.5	80.08	25.53	14.99	1022.9
<b>ETR (mm)</b>	13.91	20.76	29.55	53.48	72.13	77.44	0	2.7	0.6	38.1	25.53	14.99	349.19
<b>RFU (100mm)</b>	100	100	86.55	62.17	69.64	0	0	0	0	0	3.07	71.48	
<b>Da (mm)</b>	0	0	0	0	0	83.36	207.9	199.4	140.9	41.98	0	0	673.54
<b>WS (mm)</b>	15.69	24.74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40.43

Ce tableau montre que l'évapotranspiration maximum a été observée pendant les mois de juillet et d'août pour des valeurs de 208 et 202 mm, ce qui produit un déficit agricole et nécessite une irrigation pour les zones cultures. Par contre, pendant les mois de janvier et février, on observe une recharge qui dépasse la RFU, le surplus d'eau va partir soit sous forme d'infiltration vers la nappe, soit sous forme de ruissellement.

Le ruissellement est donné par la formule empirique de Tixeront Berkaloïff :

$$R = \frac{P^3}{3 \cdot ETP^2} \quad \text{Si } P < 600 \text{ mm}$$

$$R = \frac{(361.1)^3}{3 \cdot (1022.9)^2} = 15 \text{ mm / an}$$

Cette formule a donné donc une valeur de 15 mm.an<sup>-1</sup> ce qui représente 4% environ de la précipitation. Le reste de la hauteur des pluies, va partir sous forme d'infiltration, qui correspond à 25.43 mm.an<sup>-1</sup> (I=Ws-R= 40.43 -15 = 25.43 mm.an<sup>-1</sup>) ce qui correspond à 7% des précipitations.

Ces résultats nous montrent que les pluies n'assurent pas le stockage permanent de l'eau dans la réserve d'eau facilement utilisable (RFU), ce qui produit un besoin des sols agricoles à l'irrigation surtout pendant la période d'été, par des eaux des oueds, de la nappe ou par les eaux du barrage de Sidi yacoub (implanté dans la gorge de Oued Lardjam sur l'oued Sly au sud-ouest de la ville de Chlef dans la commune de Ouled Ben Abdelkader).



## II. 5. Cadre géologique

### II. 5. 1. Cadre géologique régional

Le moyen Chelif occidental appartient aux bassins sédimentaires Sub-littoraux du Nord Algérien. Ce bassin qui s'allonge d'Est en Ouest a été mis en place après la dernière phase tectonique (ANRH, 2004).

- Au Nord, cette dépression est séparée de la mer par le Tell septentrional, représentée par une suite de reliefs parallèles formés essentiellement de terrains jurassiques et crétacés que l'on retrouve aussi dans la plaine (Dahra et massifs épi métamorphiques à schistosités du Doui, Rouina et Témoulga).

- Au Sud, le bassin est limité par le tell méridional représentant un ensemble de massif montagneux, le substratum est principalement marno-calcaire et correspond à l'attochtone tellien avec ses différentes nappes.

Ces deux ensembles Telliens ont été structurés au cours du mésozoïque suite à plusieurs phases tectoniques :

- \* Une phase infra-crétacée compressive donnant des plis d'orientation NE-SW
- \* Une phase datée Aquitano-Burdigalienne compressive et profonde génératrice d'un nouvel épi-métamorphisme.

Pendant que les nappes Telliennes achèvent de se mettre en place, un nouveau cycle sédimentaire s'amorce, marqué par la transgression qui envahit le bassin et finit par déposer une épaisse sédimentation mio-plioquaternaire (Fig. n° 04a).

Parallèlement le bassin est soumis pendant tout le Néogène à une importante tectonique qui continue jusqu'à l'actuel comme en témoigne l'intense activité séismique de la région.

### II. 5. 2. Cadre géologique local

Les ensembles lithologiques rencontrés dans la plaine sont : les terrains néogènes et quaternaires dans la zone centrale du bassin ; le substratum, essentiellement secondaire sur les bordures du bassin représenté par :

- Les monts de l'Ouarsenis au Sud, du Dahra au Nord et par les massifs épimétamorphiques à schistosités du Doui, Rouina et Temoulga à l'Est (Kireche, 1977 in Achour, 1997).
- Les terrains allochtones mis en place lors des différentes phases tectoniques alpines (Eocène moyen, Miocène inférieur).

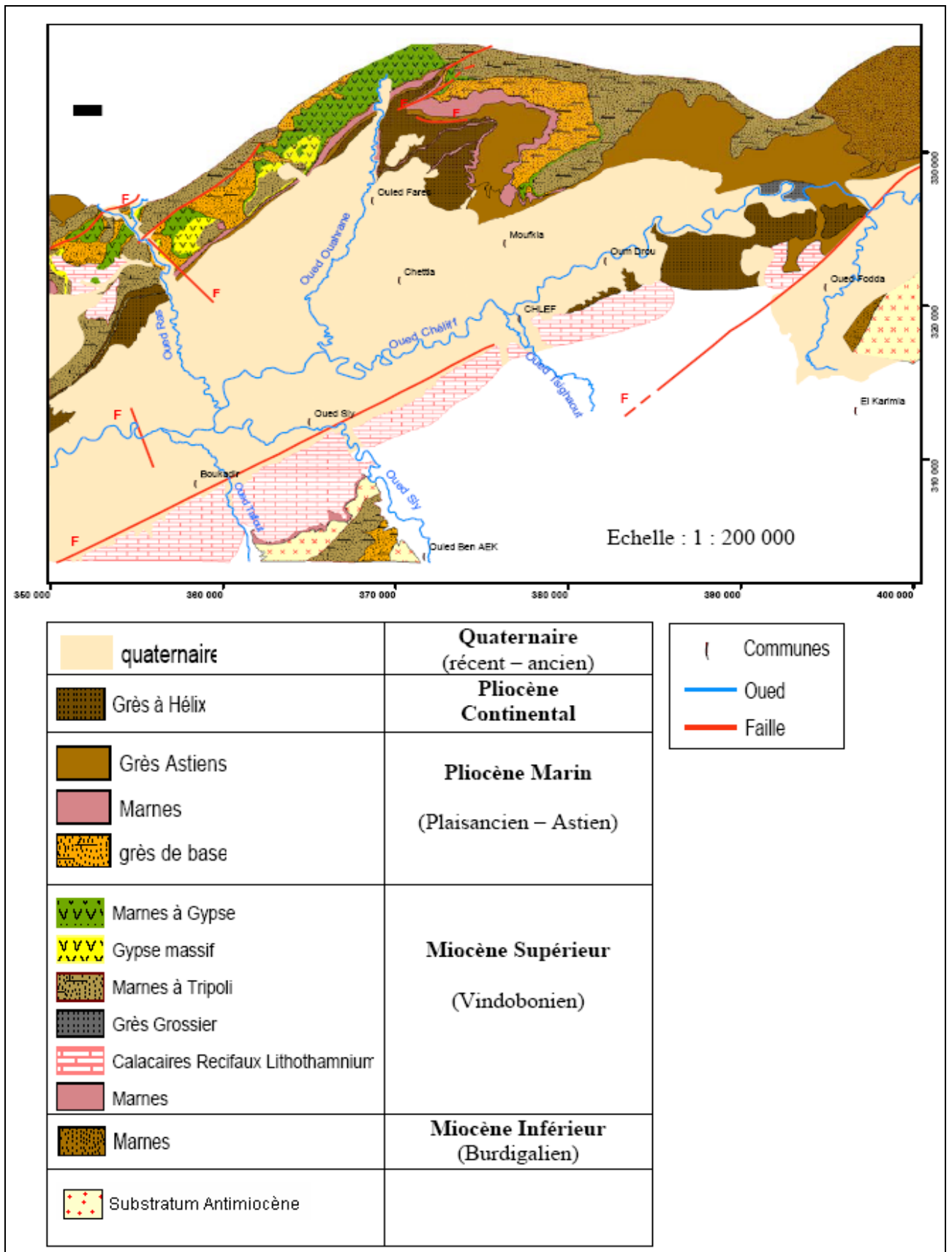
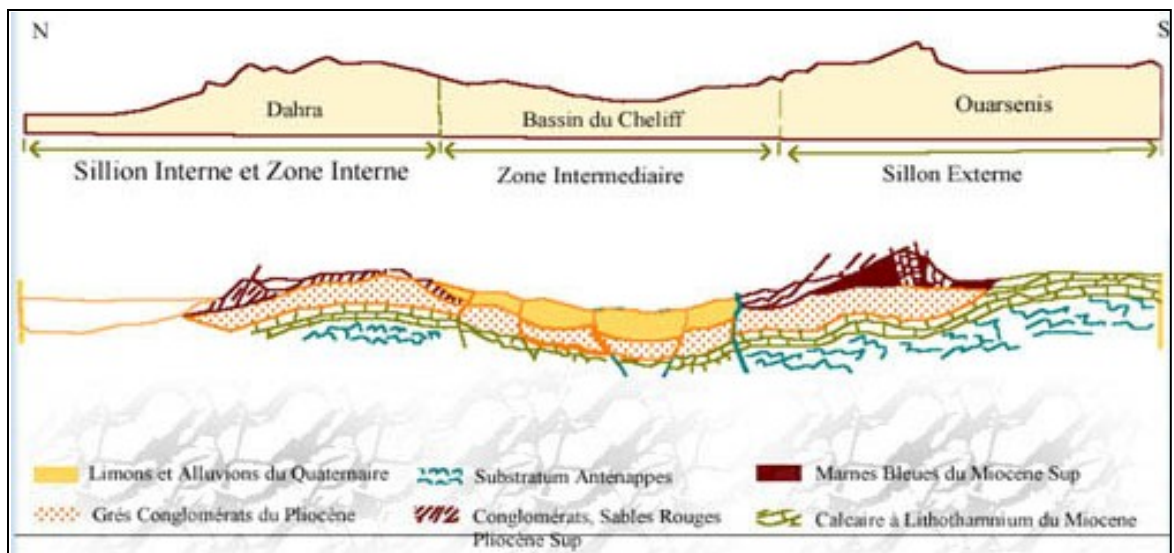


Fig. n°04a : Carte géologique de zone d'étude



**Fig. n°04b** : Coupe géologique

### Lithostratigraphie

Le log stratigraphique synthétique du moyen Cheliff occidental est montré dans la figure n°05.

La région d'étude comprend deux ensembles lithologiques :

- Les formations anténéogènes.
- Les formations néogènes et quaternaires.

#### II-5-2-1-Formations Anténéogènes

Elles sont d'âges créacés inférieurs –oligocènes, le substratum affleure en îlots dans le bassin du moyen Cheliff occidental (Mattauer, 1958).

#### II-5-2-2-Formations néogènes et quaternaires

Les terrains néogènes correspondent à une épaisse accumulation de dépôts mio-plioquaternaire post nappes reposant en discordance sur les formations plus anciennes.

**A/ Le Miocène** : il est formé du :

##### 1/ Miocène Inférieur (Burdigalien)

Il affleure largement sur la bordure nord du bassin et également sur la bordure sud sur plus de 100Km, le long du massif de l'Ouarsenis dans la vallée d'Oued Sly.

Cette série miocène débute par des conglomérats et des poudings qui passent vers le haut à des grès argileux noirâtre de 100 m d'épaisseur. Ces grès deviennent plus argileux en montant dans la série et passent à une épaisse série monotone d'argile et de marnes bleues à noirâtres qui présentent 700 m d'épaisseur au niveau des bordures du bassin.

##### 2/ Miocène Supérieur (Vindobonien)

Il comprend dans sa série classique les termes principaux suivants :

- Les formations de base constituées par les marnes bleues avec des niveaux généralement détritiques.

- Les séries terminales représentées par les marnes à tripolis et des formations gypseuses.

Ce miocène supérieur affleure largement au Sud de Boukadir avec une base de calcaire à lithothamniées, puis des grès grossiers, des conglomérats et des marnes. A l'Ouest de Boukadir, il est représenté par une faible épaisseur de calcaires à algues.

A Oued Sly, Sud de la ville de Chlef, il est formé par les calcaires à lithothamniées qui reposent sur un substratum crétacé.

ERESYS		ETAGES	DESCRIPTIONS	LITH.	EPAL.	
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. Limons grisés 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 lithothamniées		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 1400 m
			Néocomien	Argiles gréseuses avec des quartzitiques		
		JURASSIQU.	Malm	Marno-calcaires Marnes compactes ( Oxfordien )	300	
			Dogger Lias	Calcaires microcristallins/ siltstones noduleux Calcaires dolométiques	à 700 m	
PALEOZOIQUE		Trias	Gypses, cargneules, dolomies, argillites et marnes barriolées			
			Socle métamorphosé...			

Fig. n° 05: La stratigraphie synthétique du moyen-Chélif occidental d'après Mattauer (1958)

**B/Pliocène:** Dans le bassin du moyen Cheliff, le pliocène représente un cycle sédimentaire complet débutant par une transgression sur les séries gypseuses de la fin du miocène pour se terminer par la régression astienne. Il est formé par la succession des dépôts suivants :

- niveau détritique de base.
- marnes bleues et calcaires construites (plaisancien).
- grès marins (astiens).
- grès continentaux (pliocène terminal).

On distingue un pliocène marin et un pliocène continental :

**1/Pliocène marin :** formé par :

- **le plaisancien:** Ce niveau est représenté par une série de marnes bleues très comparables aux marnes bleues du miocène. Elles sont souvent plus claires, grisâtres et même blanchâtres parce que plus carbonatées et parfois sableuses.

Le plaisancien passe progressivement dans sa partie supérieure à des marnes sableuses et à des sables argileux formant tous les termes de passage aux grès astiens. L'épaisseur de cet ensemble varie de 0 à plus de 700 m des bordures aux zones axiales du bassin.

- **l'astien :** Représenté par une série marine finement sableuse ou gréseuse, de couleur jaune fauve, les grès sont souvent pulvérulents à ciment calcaire et peuvent localement passer à des calcaires gréseux. L'astien affleure assez largement sur les plateaux de Medjadja (S.E du Dahra). Il plonge régulièrement sous la plaine du Cheliff, passant d'un pendage de trente degrés à l'horizontal au centre de la plaine.

**2/Pliocène continental :** Il est formé par des sables et des grès à Hélix souvent d'origine dunaires. Ces derniers succédant avec une certaine continuité de sédimentation aux grès marins Astiens, débutant après quelques alternances de niveaux marins et continentaux, par des dépôts fluviatiles et lacustres renfermant des lentilles irrégulières de sables grossiers et graviers.

Le pliocène continental affleure largement sur toute la bordure S.E. du Dahra. Au Sud du Cheliff, sur la bordure de l'Ouarsenis, le pliocène disparaît complètement. A ce niveau, le quaternaire vient recouvrir directement les calcaires gréseux du miocène.

Les sédiments miocènes et pliocènes sont très salifères ; il est très probable que cette salure provienne en partie des produits de remaniement des formations triasiques (Scet- Agri, (1), 1985).

### **C/ Les terrains quaternaires**

Ils sont d'origine continentale, on distingue un quaternaire ancien et un quaternaire récent :

**1/Le quaternaire ancien:** Les dépôts du quaternaire ancien affleurent dans les monts de Medjadja, les montagnes rouges et la bordure Sud de la dépression Cheliff-Oum Drou.

Ils sont représentés essentiellement par des conglomérats mais dans le détail, on distingue quatre ensembles plus ou moins différenciés :

- Un premier ensemble à la base, épais et franchement conglomératique, vient ensuite un ensemble conglomératique aussi, mais dont la limite entre les bancs est soulignée par des niveaux à ciment calcaire. Il s'ensuit un troisième ensemble sablo-conglomératique. Des dépôts du quaternaire ancien se terminent par des conglomérats à ciment rouge.

L'épaisseur de ces dépôts est en moyenne de 100 à 120 m mais ils peuvent atteindre localement des épaisseurs beaucoup plus grandes au synclinal de Boukadir et d'Ouled Farès (200 m d'épaisseur).

**2/Le quaternaire récent:** Il correspond à des alluvions dont le caractère essentiel est la prédominance des éléments fins (limons). Ces derniers correspondent à d'anciennes vases asséchées qui recouvrent le centre de la plaine. Quant aux alluvions actuelles, elles forment surtout le lit majeur de l'Oued Cheliff et de ses affluents. Elles sont formées de galets et cailloux bien arrondis.

## II. 6. Cadre Hydrogéologique

### II. 6.1. Identification des principaux aquifères

L'étude géologique, l'analyse lithostratigraphique et la structure du bassin nous ont permis de distinguer les terrains susceptibles de constituer les aquifères suivants :

- Les formations des grés de base du pliocène inférieur (nappe des grés et sables astiens) ;
- Les calcaires grumeleux à lithothamnium du miocène supérieur (nappe à lithothamnium) ;
- Les formations des grés, sables et conglomérats du quaternaire (nappe alluviale)

#### A) Miocène calcaire

Les calcaires du miocène affleurent le long de la limite Sud de la vallée du moyen Cheliff occidental avec un pendage peu accusé N – NO. L'observation des affleurements et des données des forages suggère la présence d'espaces vides et des fissures internes ouvertes provoquées par la dissolution des carbonates sous l'influence de l'infiltration de l'eau de pluie particulièrement le long de contact. L'aquifère s'est développé dans ces espaces vides (ANRH, 2004).

#### B) Pliocène marin (Astien)

Le pliocène marin est une suite d'argiles et de marnes, avec des couches minces de grés. Il affleure au Nord de la vallée du Cheliff.

#### C) Quaternaire Pliocène continental

Des sédiments détritiques d'âge sub-pliocène quaternaire forment le remblai de la vallée. Ces sédiments incluent des argiles et des marnes épaisses avec des lits de sables de graviers et de conglomérats.

Les roches du pliocène et celles du quaternaire plus anciennes sont plus consolidées. Elles contiennent des grés et des conglomérats avec une cimentation argileuse ou calcaire.

Les descriptions lithologiques des forages (ANRH, 2004) indiquent que plus de 20% des matériaux traversés sont décrits comme étant des sables, des graviers et des grès. Elles montrent également des profondeurs allant de 12 à 300 m avec une profondeur moyenne de 66 m.

L'examen des coupes lithologiques montre également :

- Qu'au-dessous de la zone des sols, on trouve une importante épaisseur de matériaux argileux (souvent décrits comme argile plus plastique ou compacte, argile limoneuse ou sableuse).

Les épaisseurs moyenne et maximale enregistrées sont de 23 m et 50 m. Ce profil argileux épais se trouve dans une grande partie de la zone centrale dans la vallée du Cheliff ;

- Une couche mince de sable fin de 1 à 3 m d'épaisseur se trouve parfois à l'intérieur de la partie supérieure de ces sédiments argileux généralement entre 9 et 15 m de profondeur. Elle est invariablement rapportée comme contenant des eaux salées, la répartition de cette couche est irrégulière et semble être horizontalement discontinue ;

La répartition des sables perméables et des graviers à l'intérieur des profils des forages qui traversent les sédiments plio-quaternaire a été examinée. L'épaisseur et le pourcentage des matériaux productifs, donc crépinables représentent au moyenne 21 % de la coupe et peuvent atteindre localement 80 % ;

L'intervalle allant de la surface du sol à 50 m de profondeur contient peu de matériaux perméables (seul 12 % de l'épaisseur peut être productif). En revanche l'intervalle allant de 50 à 100 m contient au moyenne 60 % de sable et de graviers crépinables.

## **II. 6.2. Choix de l'aquifère étudié**

Parmi les trois principaux aquifères (miocène calcaire, pliocène marin et quaternaire) cités précédemment, nous avons choisi la nappe alluviale du quaternaire pour les raisons suivantes :

- Elle représente une ressource souterraine importante car elle mobilise 48 % des besoins en eau potable de la wilaya de Chlef (ABH- CZ, 2004) ;

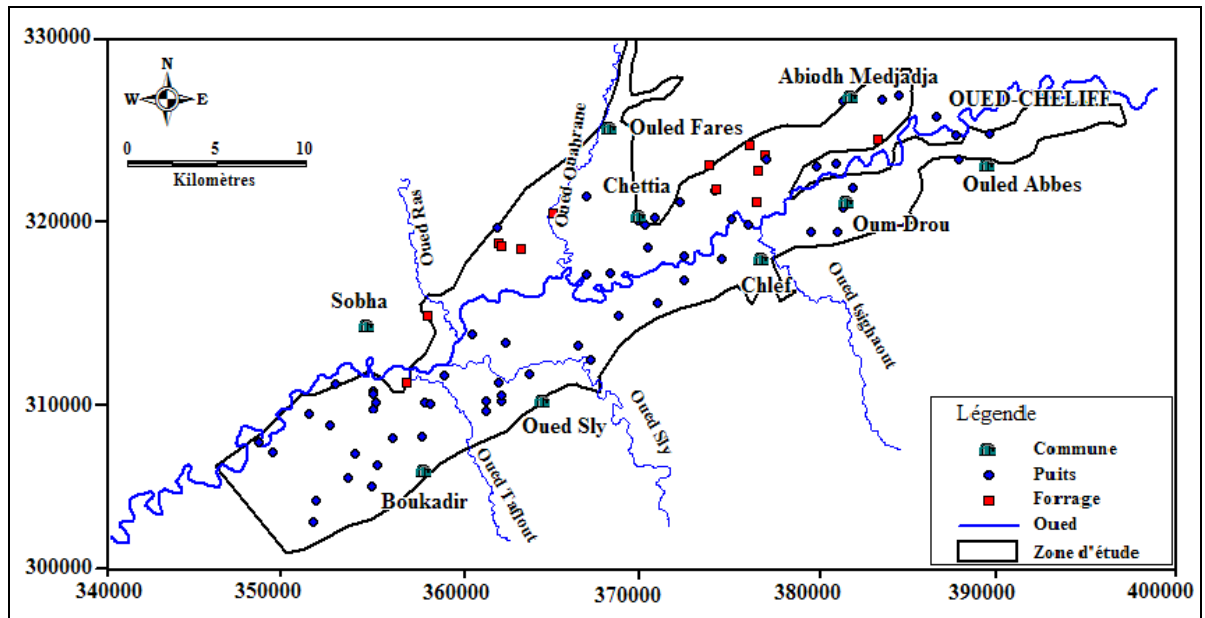
- Elle regroupe un nombre important de sources de pollution qui causent la dégradation qualitative de ces eaux ;

- Le réseau d'implantation y est très dense ; nous comptons quatorze (14) forages et soixante et un (61) puits (Fig. n°06) qui font objet de suivis piézométrique et hydrochimique annuels par l'ANRH et l'ABH-CZ.

## **II. 6.3. Identification de la nappe étudiée**

La nappe alluviale du moyen Cheliff occidental est séparée de celle de l'orientale, en amont, par le seuil d'Oum Drou, et à l'aval par le seuil de Boukadir. Elle est limitée au Nord par les monts de Dahra et au Sud par le massif de l'Ouarsenis.

Cette nappe couvre une superficie de 321 Km<sup>2</sup> environ et un périmètre de 199 Km. Elle est couverte par les limons qui s'étendent sur toute la plaine et sur la bordure Sud du lit actuel. En profondeur, par contre, se trouvent les alluvions grossières en plusieurs horizons. Elle sont bien développées dans l'axe Nord du Synclinal entre Ouled Fares et Sobha et dans la plaine de Mouafkia ;



**Fig. n°06:** Localisation des forages et des puits paysans dans la zone d'étude

La vallée du moyen Cheliff occidental abrite cette nappe alluviale importante exploitée pour les besoins en eau potable et d'irrigation des principales agglomérations de la zone centrale de la wilaya de Chlef ; le volume exploité en 2004 est de l'ordre de 15.49 Hm<sup>3</sup> pour l'A.E.P, l'irrigation et l'industrie (Tabl. n° 09).

**Tabl. n° 09:** Volume d'eau prélevé de la nappe alluviale pour l'année 2004 (Source, ABH-CZ)

Usage	Volume prélevé (en Hm <sup>3</sup> ) pour l'année 2004
Domestique	10.00
Agricole	4.75
Industriel	0.74
<b>Total</b>	<b>15.49</b>

## II. 6.4. Hydrodynamique de la nappe étudiée

### A) Piézométrie

Les mesures piézométriques ont été effectuées au courant des mois d'Avril et Septembre 2004 (Tabl.n°40 de l'annexe 1), ce qui nous a permis d'élaborer deux cartes piézométriques (Fig. n°7a et Fig. n°7b).

Les niveaux piézométriques de la nappe varient de 130 m dans la région d'Oum Drou à 60 m dans celle de Boukadir.



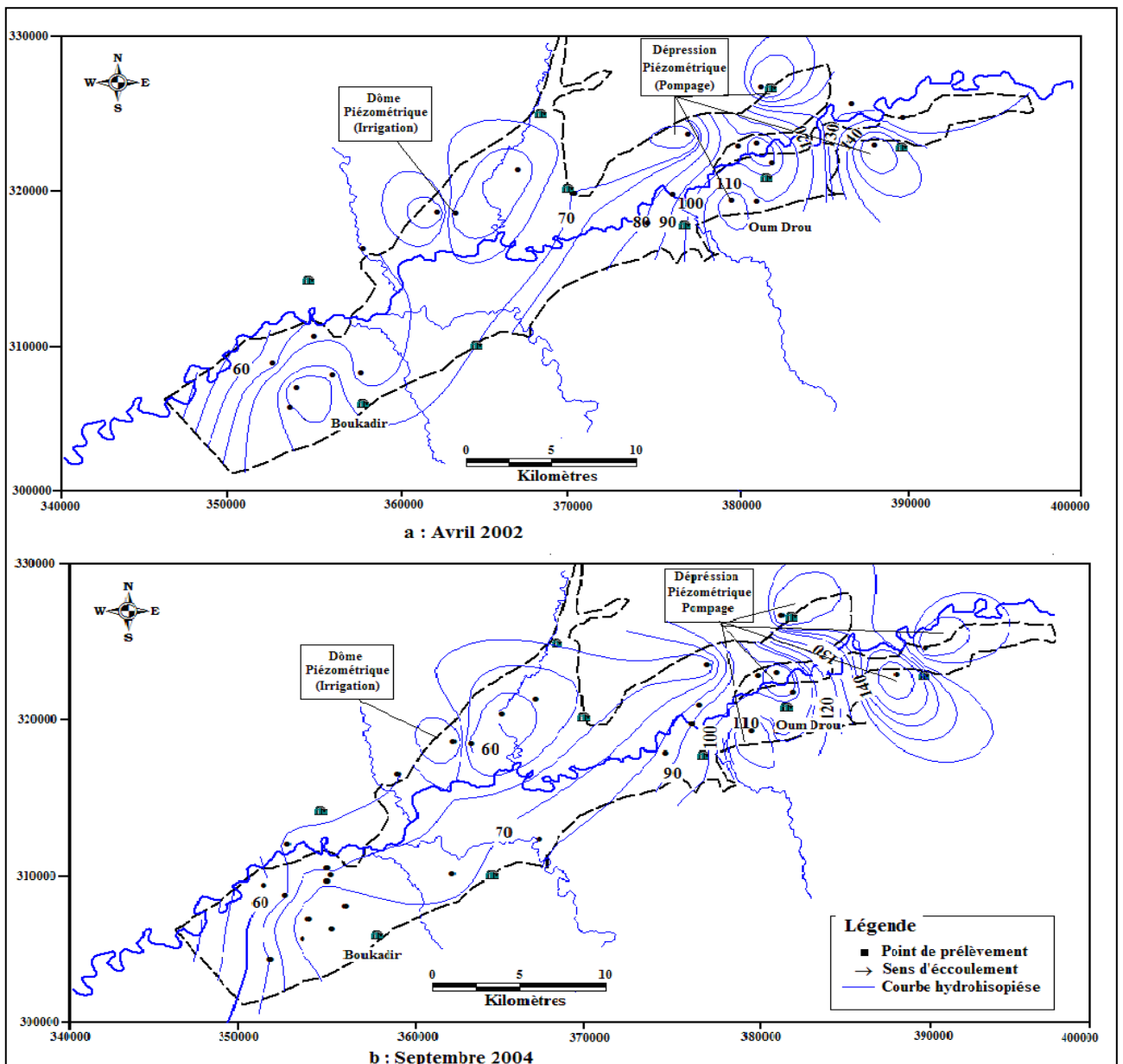


Fig. n° 07: Cartes piézométriques de la nappe alluviale du MCO

Il est remarqué aussi une remontée du niveau piézométrique de la nappe allant de 0.4 à 3.5 m dans notre zone, cependant, une valeur maximale de 5.37 m est observée au puits W82-84 situé dans la zone d'Oum Drou. Les remontées moyennes de la nappe sont de 0.5 m à Boukadir, 1.5 mètres dans la région de Chlef. Ces remontées du niveau de la nappe sont dues à l'alimentation, par infiltration, en période de hautes eaux et par les lâchés du barrage Sidi Yacoub situé sur les massifs montagneux qui bordent la plaine alluviale du Cheliff.

Cependant, nous avons également constaté parfois une légère baisse du niveau de la nappe ne dépassant que très rarement 0.5 m pour atteindre une valeur maximale de 1.5 m. Une baisse due à l'intense exploitation de la nappe pour les besoins agricoles. Les écoulements de la nappe se font des bordures vers l'axe central de la vallée avant de prendre une direction Est - Ouest parallèlement au cours d'eau de l'Oued Cheliff.

Ces écoulements sont conditionnés par la structure géologique du bassin organisé en double synclinal, et par les variations de faciès. Il existe également une alimentation de la nappe par la bordure Sud (à partir des calcaires à lithothamnées) qui est nettement plus importante que celle provenant de la bordure Nord à partir des aquifères du pliocène (Schrambach, 1967).

### **B) Relation Oued-nappe**

Les échanges oued-nappe peuvent avoir lieu dans les deux sens, dans un cas, l'oued a un rôle drainant, dans l'autre, il a un rôle d'alimentation. Les variations du niveau piézométriques dans l'aquifère sont liées à la pluviométrie et au niveau de la rivière associée. Dans la zone d'étude, il existe deux sortes de liaisons (Achour, 1997) :

- **Liaison directe** : Parce que l'Oued Cheliff a creusé son lit dans l'aquifère, ce type de liaison directe existe d'une manière certaine car des puits sont implantés dans le lit mineur de l'Oued Cheliff

- **Liaison indirecte** : La vallée du moyen Cheliff occidental est une région à vocation agricole, ainsi une partie des eaux d'irrigation se réinfiltré dans la nappe, ainsi que les pertes dans les canaux d'irrigation et des séguias qui contribuent à la recharge du réservoir.

## **II. 7. Cadre pédologique**

D'après l'inventaire des ressources en sols d'Algérie réalisé par l'ANRH de 1963 jusqu'à 2001, quatorze (14) études pédologiques ont été réalisées dans le territoire de la wilaya de Chlef. Cependant, il est intéressant de remarquer qu'on y retrouve très nettement les grands ensembles de sols déjà décrits par Boulaine en 1957.

Ces études rapportent des précisions considérables sur les limites et présentent de nombreux résultats analytiques qui caractérisent chaque unité et dont la synthèse a permis d'établir une carte des sols présentée dans la figure n°08 (Scet Agri, (3), 1985).

### **II. 7.1. Principaux types de sols de la zone d'étude**

#### **II. 7.1.1. Les sols peu évolués**

Ils sont à caractéristiques physico-chimiques très variées selon les différentes conditions de leur dépôt et de leur migration ; leur granulométrie peut être argileuse, limoneuse ou sableuse s'ils sont d'apport alluvial. On les rencontre sur la majorité de la plaine (80 %) et en particulier dans la partie centrale de la vallée.

#### **II. 7.1.2. Les vertisols**

Les vertisols sont riches en argiles gonflantes (Smectites). Ils se définissent comme des sols à profil homogène ou irrégulièrement différenciés suite aux mouvements verticaux par gonflement et rétraction respectivement en périodes humides et sèches. On les retrouve rarement dans la vallée du moyen Cheliff occidental (partie Nord dans la commune de Sobha).

### II. 7.1.3. Les sols calci-magnésiques

Ce sont des sols d'apport alluvial, et colluvial. Ils sont plus au moins différenciés, et parfois des accumulations, calcaires continues sous forme d'encroûtement, et de croûte. Le  $\text{Ca}^{+2}$  et  $\text{Mg}^{+2}$  dominant la genèse du sol. On les retrouve surtout dans les limites de la nappe alluviale du moyen Cheliff occidental.

### II. 7.1.4. Les sols halomorphes

Les sols halomorphes groupent un ensemble de sols dont les caractères essentiels d'évolution sont :

- soit la richesse en sels solubles ;
- soit la richesse en sodium échangeable

On les retrouve dans la partie Ouest de la vallée avec petite cadence.

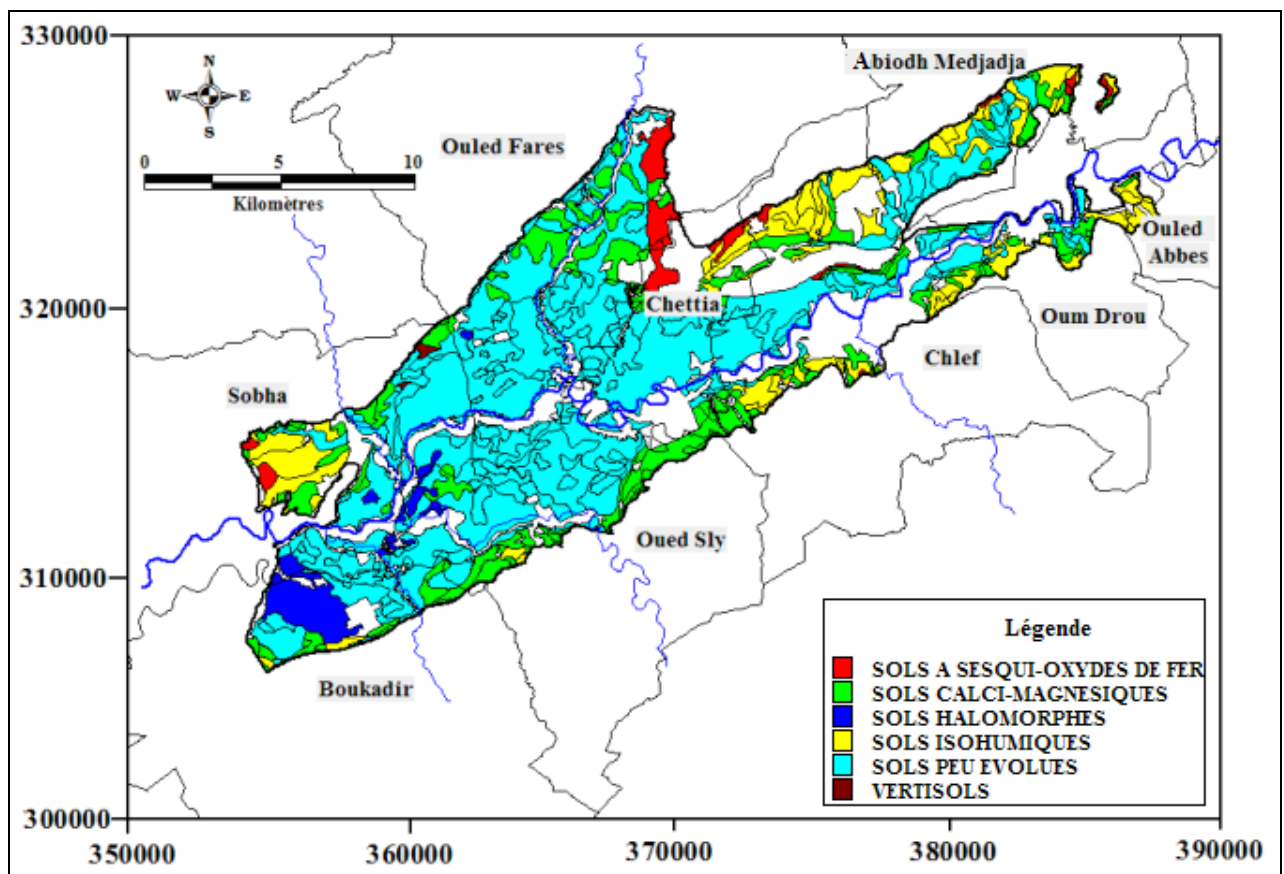


Fig. n°08: Carte pédologique de la zone d'étude (Source, ABH-CZ)

### II. 7.1.5. Les sols sesquioxydes de fer

Les sols sesquioxydes de fer sont riches en sesquioxydes, caractérisés par :

- Un complexe argileux constitué par des argiles de néoformation kaolonique en mélange avec des argiles héritées principalement des illites. Même héritée, la montmorillonite s'y maintient rarement ou seulement en faible quantité;

- l'individualisation des sesquioxydes de fer (ou de manganèse) qui leur confère une couleur très accusée (rouge ocre);
- la teneur en matière organique est faible et le taux de saturation est supérieur à 50 % ;
- la richesse en sesquioxydes résulte de l'hydrolyse des minéraux très poussée mais moins complète que pour les sols fersiallitiques. On trouve ce type de sol, avec petite quantité, dans la partie Nord de la vallée du moyen Cheliff occidental dans la commune d'Ouled Fares.

#### **II. 7.1.6. Les sols isohumiques**

Les sols isohumiques (Steppique ou pseudo – Steppique) sont caractérisés par une teneur progressivement décroissante de la matière organique. On les retrouve dans les parties Nord et Sud de la vallée avec petite quantité.

#### **II. 7.2. Perméabilité des sols de la zone d'étude**

Au sein du périmètre du moyen Cheliff occidental, 07 zones homogènes ont été retenues et cartographiées au 1/50 000. Elles sont définies à partir des 4 critères fondamentaux de texture, tirsification, salinité et teneur en calcaire actif (Scet Agri (2), 1985) (voir les détails dans le tabl. n°39 de l'annexe 1).

Il faut retenir que les sols sont épais sur la presque totalité de la zone d'étude ; en effet, la profondeur est de l'ordre de 120 cm pour les zones retenues de 1 à 6, quant à la zone 7, 80% de ses sols ont une profondeur de 120 cm et 20 % entre 30 et 50 cm.

Par ailleurs, les résultats des essais d'infiltration par grands secteurs homogènes sont :

- Dans les alluvions récentes profondes et non salées (zone 1), la perméabilité est de l'ordre de 3 cm/h
- Dans les alluvions récentes un peu salées et un peu tirsifiées (zone 2), la perméabilité est plutôt faible et varie de 1 à 2 cm/h. En profondeur, elle est inférieure à 1 cm/h.
- Dans les alluvions fortement tirsifiées mal structurées (zone 3), la perméabilité est inférieure à 1 cm/h.
- Dans les alluvions fortement salées (zone 4), la perméabilité est de l'ordre de 1 cm/
- Dans les alluvions anciennes et les sols de piémont (zone 6), la perméabilité est globalement bonne (de l'ordre de 10 cm/h). On note toutefois des variations importantes sur un même site : la perméabilité peut passer de 11 cm/h à 2 cm/h ou de 17 cm/h à 3 cm/h ; ces valeurs traduisent les hétérogénéités des sols. Globalement ces sols ont une bonne structure et une bonne porosité, induisant une bonne infiltration.
- Les sols sur croûtes et encroûtement (zone 7), présentent une perméabilité médiocre, de l'ordre de 3 cm/h ; ceci est semble-t-il lié à une structure fine et une porosité plutôt faible.

## II. 8. Contexte socio – économique

### II. 8. 1. Population

Le bassin versant du moyen Cheliff occidental est partagé entre trente (30) communes appartenant aux trois wilayas ( Chlef (20 sur 35), Tissemsilt (8 sur 22) et Relizane (2 sur 38) ), mais la vallée étudiée est partagée entre neuf (09) communes sur trente cinq (35) de la wilaya de Chlef (Fig. n°09): Chlef, Oued Sly , Boukadir , Sobha , Chettia , Ouled Fares , l'Abiodh Medjadja , Oum Drou et Ouled Abbas).

La population est évaluée pour les neuf communes à 469723 habitants en 2004 (DPAT). Cependant, la distribution de cette population ne se fait pas d'une manière rationnelle, elle est concentrée dans les villes comme Chettia, Chlef, Oued Sly, Boukadir, tandis que les zones rurales sont quasi-exodes.

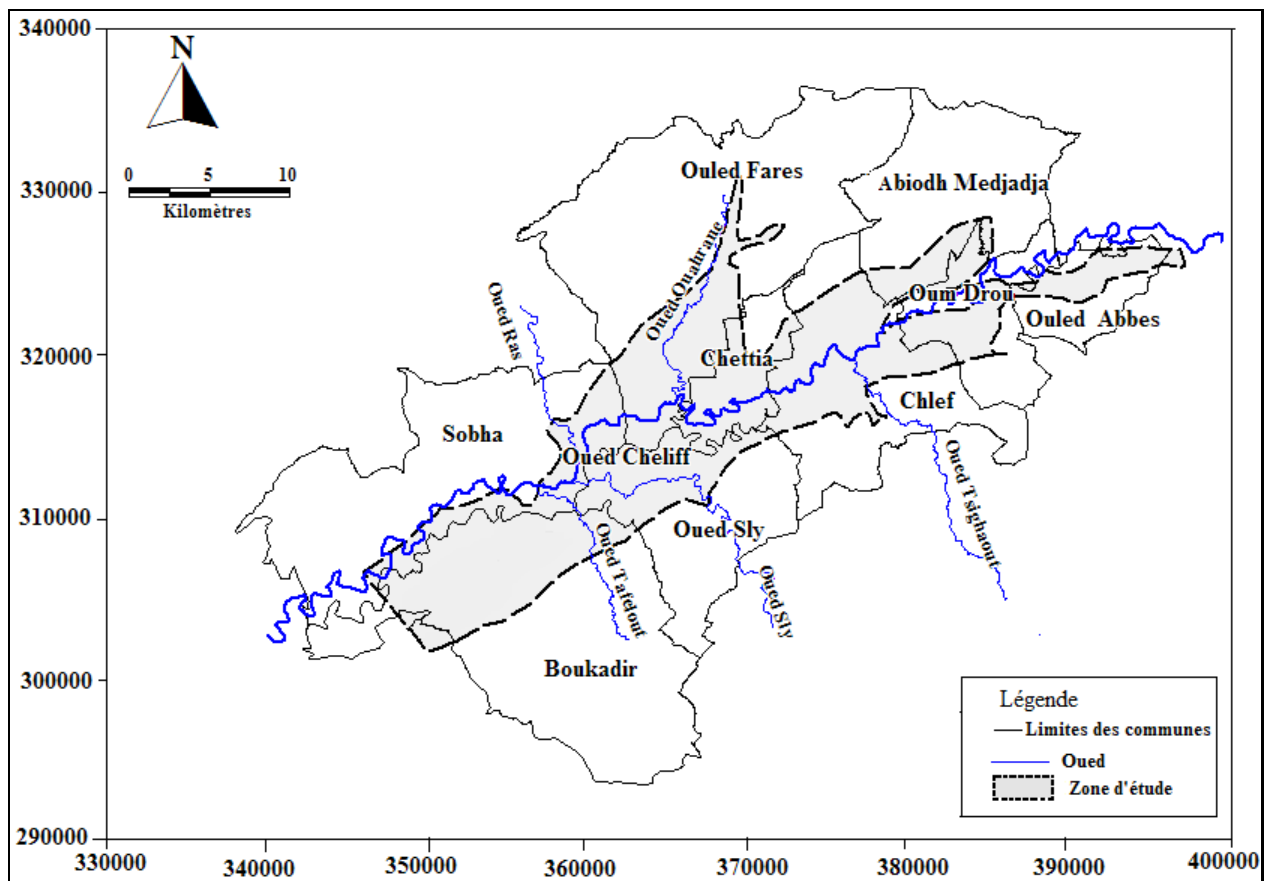
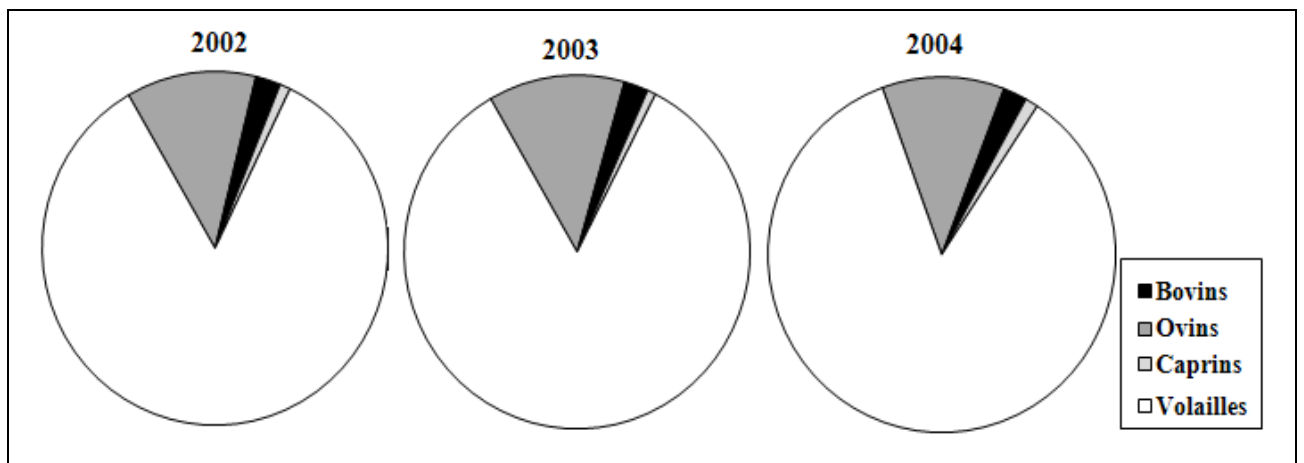


Fig. n°09: Situation des communes de la vallée du moyen Cheliff occidental

### II. 8. 2. Agriculture et élevage

L'agriculture caractérise en particulier la plaine du moyen Cheliff occidental, avec une dominance de l'arboriculture fruitière notamment les agrumes, concentrée sur la rive droite de l'oued Cheliff. Le maraîchage vient en seconde position et se pratique dans les parties Nord et Ouest (Sobha, Chettia, Ouled Fares, l'Abiodh Medjadja et Boukadir). Quant aux céréales et fourrages, leur production est limitée dans la partie Est surtout, dans les communes l'Abiodh Medjadja, Oum Drou, et Ouled Abbas.

La région a connu un développement important dans le domaine agricole (Agriculture & élevage) avec le programme de FNDRA lancé en 2000, ce qui explique l'augmentation de l'élevage pratiqué dans la plaine du moyen Cheliff occidental à partir de l'année 2001 surtout l'aviculture (Fig. n°10) vu la demande accrue sur la viande blanche à cause de la cherté de la viande rouge.



**Fig. n°10:** L'évolution de l'élevage dans la vallée du MCO pour les années 2002, 2003 et 2004

### II. 8. 3. Industrie

Les unités industrielles se concentrent dans trois communes à savoir dans les zones industrielles d'Oued Sly, Chlef et Chettia avec des natures et des productions différentes (voir Tabl. n° 42 de l'annexe 3). La commune d'Ouled Fares dénombre quelques unités industrielles connues surtout pour la production des boissons gazeuses. Les effluents correspondants sont rejetés directement dans l'oued Cheliff et ses affluents sans aucune épuration au préalable.

*CHAPITRE III*

*COMPORTEMENT*  
*HYDROCHIMIQUE*

L'approche hydrochimique va aborder les caractéristiques chimiques et physico-chimiques générales des eaux, puis l'origine des éléments en solution. Notons que l'eau, lors de son transit dans l'aquifère, subit plusieurs évolutions en fonction de la nature des terrains traversés, des minéraux rencontrés et du temps et des conditions de transit dans les formations. L'évolution dans le temps a permis de préciser les mécanismes essentiels de minéralisation et de modification de la composition des eaux dans le milieu poreux. L'évolution dans l'espace a permis d'identifier des zones à différents degrés de potabilité. En raison de l'utilisation multiple des eaux de la nappe étudiée (AEP, irrigation et industrie), et de son exposition aux différents paramètres de pollution, il serait important de définir une stratégie pour une bonne gestion qualitative de ces eaux.

### III.1. Les données disponibles

La caractérisation des eaux souterraines concerne essentiellement l'analyse des paramètres de base (pH, température et conductivité) et des éléments « majeurs ».

Un total de cent neuf (109) prélèvements a été effectué par l'ANRH sur les points d'eau captant la nappe alluviale de la vallée du moyen Cheliff occidental pendant les périodes hautes et basses eaux pour les années 2002, 2003, et 2004. La localisation des points pour chaque campagne est représentée sur la figure n°11.

- Sur le terrain sont généralement mesurés la température, le pH et la conductivité électrique; ces paramètres permettent de définir les caractéristiques fondamentales de l'eau.
- Au laboratoire sont analysés les ions majeurs ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , et  $\text{NO}_3^-$ ). Les éléments « majeurs » permettent d'affiner l'approche de terrain. La dureté (TH) est mesurée aussi au laboratoire.

Le contrôle de la validité des résultats d'analyse chimique est fait à l'aide de la balance ionique.

$\text{BI} = (\sum\text{A} - \sum\text{C}) / (\sum\text{A} + \sum\text{C}) * 100$  en %. L'analyse est déclarée acceptable si  $-5 \leq \text{BI} \leq 5$  %.

Avec :  $\sum\text{A}$  = la somme des anions en milliéquivalents par litre

$\sum\text{C}$  = la somme des cations en milliéquivalents par litre

### III.2. Variation des paramètres physico-chimiques

Pour avoir une idée sur l'origine des variables et apprécier le faciès chimique des eaux, plusieurs techniques de traitement existent : des méthodes statistiques simples et des méthodes multidimensionnelles lorsqu'on dispose de plusieurs paramètres, comme c'est le cas en géochimie.



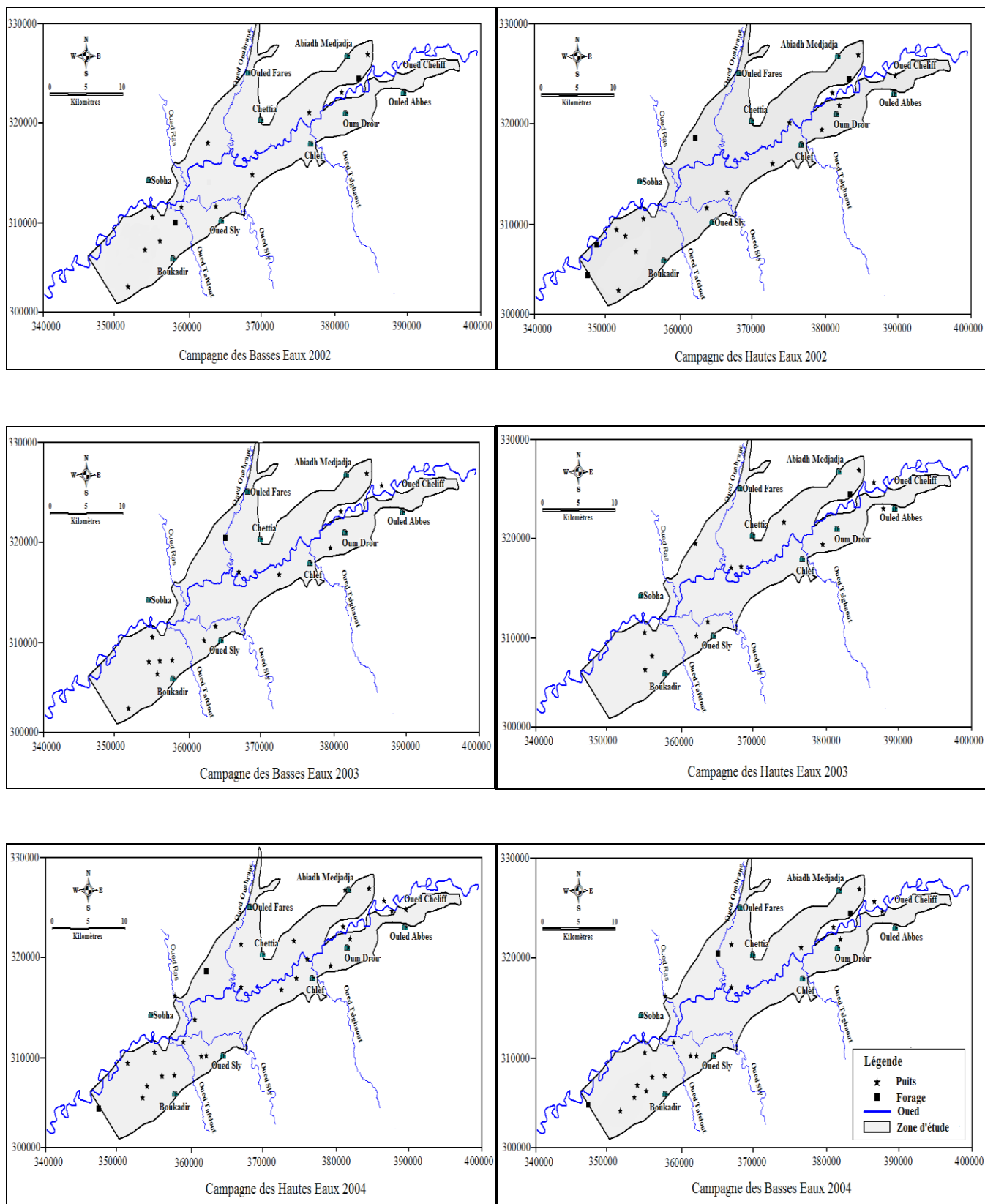


Fig. n°11: Localisation des points d'échantillonnage pour chaque campagne

### III.2.1. Analyse statistique

Pour que la moyenne d'une série de données  $m$  soit réellement représentative de l'ensemble de la série, il faut que les données ne s'écartent pas trop de sa valeur. La dispersion autour de la moyenne est mesurée par le coefficient de variation (CV) qui représente le rapport de l'écart-type à la moyenne :  $CV = \sigma/m$ . Par convention, on estime que la série est homogène lorsque  $CV < 50\%$ .

Pour l'ensemble des campagnes étudiées et quelque soit le paramètre analysé hormis le pH et les bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) (voir tableaux de n°10 jusqu'au n°20), le coefficient de variation reste supérieur à 50% caractérisant ainsi l'hétérogénéité des séries de données.

Les valeurs moyennes, maximales et minimales des caractéristiques physico-chimiques, en plus de leur report sur les tableaux cités, sont représentées sous forme d'histogrammes (Fig. n°12) et comparées aux normes maximales admissibles des eaux destinées à la consommation humaine selon le conseil des communautés européennes (CEE) du 15 juillet 1980 in Rodier (1996).

le potassium et les nitrates présentent des teneurs moyennes inférieures ou proches de la norme pour toutes les campagnes. Au contraire, les chlorures, les sulfates et le sodium en particulier sont caractérisés par des teneurs moyennes qui dépassent de loin les normes.

- **La Température**

Les seules données de température disponibles correspondent à la campagne Avril 2004. Les valeurs maximales atteintes sont les plus fortes sur le site situé en bas de versant (zone Sud Ouest) avec une moyenne de  $23.4^\circ\text{C}$  puis sur le site à mi-versant (zone Est) avec une moyenne de  $20.5^\circ\text{C}$  et les plus faibles sont en haut du versant (Sud de la zone d'étude) avec une moyenne de  $17^\circ\text{C}$ .

En général, la température dans tous les points d'eau est inférieure à  $25^\circ\text{C}$  (température à ne pas dépasser dans une eau destinée à la consommation humaine d'après le CEE (Rodier, 1996)).

Les eaux souterraines sont évidemment moins sensibles aux variations de température que les eaux superficielles.

- **Potentiel d'Hydrogène (pH)**

C'est un paramètre qui détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau. Les mesures du pH ont donné les résultats présentés dans le tableau n°10.

**Tabl. n° 10:** Variations du pH

Paramètres statistiques	HE 2002	BE 2002	HE 2003	BE 2003	HE 2004	BE 2004	Moyenne (Nappe)
Min	6.95	7.00	7.20	7.00	7.10	6.70	6.70
Max	7.52	8.00	8.00	7.70	8.30	8.10	8.30
Moy	7.17	7.43	7.56	7.33	7.78	7.45	7.48
Ecart type	0.15	0.28	0.24	0.19	0.24	0.40	0.34
CV	0.02	0.04	0.03	0.03	0.03	0.05	0.04
Norme de potabilité fixée par le CEE: $6,5 < \text{pH} < 9,5$							

Ce tableau montre que tous les points d'eau se trouvent dans l'intervalle de la norme de potabilité mais avec des valeurs variables. Les valeurs du pH de la nappe varient de 6.7 à 8.3 à cause de la couverture sableuse ou argileuse qui l'isole de l'air.

- **Calcium ( $\text{Ca}^{+2}$ )**

Les résultats de l'analyse des ions calcium sont présentés dans le tableau n° 11.

**Tabl. n° 11:** Variation des teneurs en calcium

Paramètres Statistiques	HE 2002	BE 2002	HE 2003	BE 2003	HE 2004	BE 2004	Moyenne (Nappe)
Min (mg/l)	74.00	62.80	70.80	80.81	66.67	68.72	62.80
Max (mg/l)	931.00	482.40	511.22	505.05	895.00	462.55	931.00
Moy (mg/l)	276.06	209.60	204.58	237.12	279.47	221.73	243.47
Ecart type (mg/l)	212.29	117.04	118.41	128.61	187.61	109.75	155.56
CV	0.77	0.56	0.58	0.54	0.67	0.49	0.64
Norme de potabilité fixée par le CEE : 100 mg/l							

Ce tableau montre que les teneurs de calcium de la nappe varient entre 62.80 et 931.00 mg/l, de même, plus de 80 % des échantillons présente des concentrations supérieures à la norme de potabilité des eaux. L'écart type oscille entre 109.75 et 212.29 mg/l, ce qui donne une grande variation des concentrations. Les ions calcium dans la nappe proviennent de la dissolution des calcaires du miocène supérieur et des dolomies de l'Ouarsenis et Dahra (Achour, 1997)

- **Magnésium ( $\text{Mg}^{+2}$ )**

Il présente les mêmes origines que celles du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite).

Les teneurs observées au niveau de la nappe sont présentées dans le tableau n° 12.

**Tabl. n° 12:** Variation des teneurs en magnésium

Paramètres Statistiques	HE 2002	BE 2002	HE 2003	BE 2003	HE 2004	BE 2004	Moyenne (Nappe)
Min (mg/l)	29.00	28.32	47.76	59.15	29.50	40.12	28.32
Max (mg/l)	326.00	279.84	446.05	363.64	595.60	395.06	595.60
Moy (mg/l)	137.78	102.66	118.85	136.44	187.58	142.08	144.18
Ecart type (mg/l)	87.68	63.94	106.56	90.03	141.87	84.01	105.25
CV	0.64	0.62	0.90	0.66	0.76	0.59	0.73
Norme de potabilité fixée par Le CEE : 50 mg/l							

Les valeurs moyennes dépassent toutes la norme de potabilité. Les valeurs du CV varient entre 59 et 90 % ce qui témoigne de la grande variabilité dans les teneurs de cet élément.

• **Sodium ( $\text{Na}^+$ )**

Les teneurs de sodium dans la nappe varient entre 30 et 950 mg/l, avec plus 75 % des points de prélèvement dépassent la norme de potabilité. Le CV oscille autour de 60% environ attestant de l'importance de la variabilité des teneurs de cet élément (voir tableau n°13).

**Tabl. n° 13:** Variation des teneurs en sodium

Paramètres Statistiques	HE 2002	BE 2002	HE 2003	BE 2003	HE 2004	BE 2004	Moyenne (Nappe)
Min (mg/l)	45.00	50.00	65.00	90.00	70.00	30.00	30.00
Max (mg/l)	950.00	750.00	650.00	650.00	915.00	325.00	950.00
Moy (mg/l)	384.17	310.77	278.21	296.33	387.33	199.32	313.19
Ecart type (mg/l)	271.75	200.76	173.87	171.13	234.10	90.12	208.24
CV	0.71	0.65	0.62	0.58	0.60	0.45	0.66
Norme de potabilité fixée par le CEE : 150 mg/l							

La présence des ions sodium dans la nappe est due principalement à la dissolution des formations évaporitiques riches en halite. Anthropiquement, il peut provenir des eaux usées et des décharges.

• **Potassium ( $\text{K}^+$ )**

Les concentrations observées au niveau de la nappe sont reportées dans le tableau n°14.

**Tabl. n° 14:** Variation des concentrations du potassium

Paramètres Statistiques	HE 2002	BE 2002	HE 2003	BE 2003	HE 2004	BE 2004	Moyenne (Nappe)
Min (mg/l)	1.00	1.00	2.00	2.00	0.00	0.00	0.00
Max (mg/l)	3.00	9.00	10.00	8.00	15.00	3.00	15.00
Moy (mg/l)	2.06	4.38	4.93	3.80	2.37	0.48	2.72
Ecart type (mg/l)	0.54	2.72	2.53	1.61	3.14	0.98	2.61
CV	0.26	0.62	0.51	0.42	1.32	2.06	0.96
Norme de potabilité fixée par le CEE : 12 mg/l							

Les valeurs observées dans le tableau montrent que la quasi-totalité des points ont des teneurs inférieures à la norme de potabilité, avec des CV généralement élevés prouvant l'origine anthropique de cet élément liée à l'utilisation des engrais NPK. Cependant, des concentrations de cet élément peuvent provenir des formations argileuses riches en potassium (illite).

- **Chlorures (Cl)**

Les concentrations sont données dans le tableau n° 15.

**Tabl. n° 15:** Variation des concentrations en chlorure

Paramètres Statistiques	HE 2002	BE 2002	HE 2003	BE 2003	HE 2004	BE 2004	Moyenne (Nappe)
Min (mg/l)	83.00	92.00	142.00	320.00	115.00	270.00	83.00
Max (mg/l)	2700.00	1780.00	2330.00	1335.00	3330.00	1350.00	3330.00
Moy (mg/l)	881.28	628.96	646.54	686.80	1012.69	705,27	791.30
Ecart type (mg/l)	720.20	462.02	551,41	349.88	818.24	334.40	602.72
CV	0.82	0.73	0.85	0.51	0.81	0.47	0.76
Norme de potabilité fixée par le CEE : 200 mg/l							

La quasi-totalité (95%) des échantillons présente des concentrations en chlorure dépassant de très loin la norme de potabilité avec une moyenne qui varie entre 600 et 1000 mg/l environ.

Les fortes teneurs en chlorures sont dues aux caractéristiques spéciales de cet élément qui ne rentre pas dans les phénomènes de précipitation chimique, ne s'adsorbe pas par les formations géologiques et qui est très mobile. Dans la zone d'étude, les chlorures proviennent, géologiquement, de la dissolution des formations évaporitiques et peuvent provenir, anthropiquement, des eaux usées.

- **Sulfates (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>)**

Les concentrations observées sont indiquées dans le tableau n° 16.

**Tabl. n° 16:** Variation des concentrations en sulfate

Paramètres Statistiques	HE 2002	BE 2002	HE 2003	BE 2003	HE 2004	BE 2004	Moyenne (Nappe)
Min (mg/l)	58.00	88.00	8.00	97.00	72.00	25.00	8.00
Max (mg/l)	1485.00	980.00	1275.00	1375.00	1650.00	1500.00	1650.00
Moy (mg/l)	483.72	409.42	407.25	547.00	635.63	480.23	510.67
Ecart type (mg/l)	383.05	298.20	385.00	452.07	490.63	438.26	423.82
CV	0.79	0.73	0.95	0.83	0.77	0.91	0.83
Norme de potabilité fixée par le CEE : 250 mg/l							

La majorité des points de prélèvement (65%) ont une teneur en sulfate dépassant la norme de potabilité. Les concentrations en sulfate des eaux de la nappe varient entre 8 et 1650 mg/l, et les CV entre 77 et 95 % attestant de la grande variabilité des teneurs de cet élément. Sa présence dans la nappe est liée principalement à la dissolution des formations évaporitiques du Dahra et trias anté-nappes de l'Ouarsenis ainsi que des formations gypsifères du miocène sous la plaine; anthropiquement, il peut provenir des engrais (sulfate d'ammonium 21%).

- **Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )**

Les concentrations observées sont reportées dans le tableau n°17.

**Tabl. n° 17:** Variation des concentrations en nitrates

Paramètres Statistiques	HE 2002	BE 2002	HE 2003	BE 2003	HE 2004	BE 2004	Moyenne (Nappe)
Min (mg/l)	21.00	0.00	0.50	9.00	4.00	0.00	0.00
Max (mg/l)	350.00	225.00	255.00	160.00	150.00	150.00	350.00
Moy (mg/l)	91.61	62.08	77.54	49.40	48.78	54.09	62.29
Ecart type (mg/l)	93.45	66.19	58.35	35.67	35.05	39.58	57.38
CV	1.02	1.07	0.75	0.72	0.72	0.73	0.92
Norme de potabilité fixée par le CEE: 50 mg/l							

Les nitrates représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble. Les concentrations moyennes sont presque toutes supérieures à la norme, avec un CV proche à supérieure de 1, ce qui atteste de son origine anthropique liée principalement à l'application des engrais azotés. L'élevage, les rejets d'eaux usées et les décharges publiques peuvent constituer une autre origine des nitrates dans la zone d'étude.

- **Bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )**

Les concentrations observées au niveau de la nappe sont reportées dans le tableau n°18.

**Tabl. n° 18:** Variation des concentrations en bicarbonates

Paramètres Statistiques	HE 2002	BE 2002	HE 2003	BE 2003	HE 2004	BE 2004	Moyenne (Nappe)
Min (mg/l)	211.00	210.45	175.68	184.53	193.98	48.80	48.80
Max (mg/l)	822.00	475.80	442.25	439.81	1220.00	335.50	1220.00
Moy (mg/l)	404.83	348.69	309.12	323.93	383.40	145.10	316.98
Ecart type (mg/l)	134.94	84.48	68.40	66.64	191.29	63.66	151.45
CV	0.33	0.24	0.22	0.21	0.50	0.44	0.48

Les teneurs extrêmes des bicarbonates varient entre 48.8 et 1220 mg/l. Des variations importantes sont enregistrées autour des valeurs moyennes (écart type variant de 64 à 135 mg/l environ) ce qui indique une hétérogénéité des origines des bicarbonates.

Les valeurs les plus élevées sont observées sur la bordure sud de la plaine au niveau des points d'eau situés sur la limite des formations de calcaires à Lithothamnium et de la plaine alluviale (en exemple, le puits 105-83 situé dans la zone de Boukadir avec une teneur de 1220 mg/l). Les valeurs faibles observées aux autres points de la plaine confirment l'existence d'une formation argileuse imperméable (marnes bleues plaisanciennes) entre les calcaires et les alluvions plio-quadernaire, laquelle formation est absente au niveau de la bordure sud de la plaine (Achour, 1997).

- **La dureté (Titre Hydrotimétrique)**

Les valeurs du TH pour les eaux de la nappe oscillent entre un maximum de 415 F° observée dans le puits (105 /574) dans la région de Sobha et un minimum de 30 F° au puits (105/62) dans la région de Boukadir, la moyenne étant de 121 F° (tabl. n°19). La quasi totalité des captages présente des eaux très dures par rapport au seuil fixé à 15 F° par la réglementation française (Rodier, 1996).

**Tabl. n° 19:** Variation de la dureté

Paramètres Statistiques	HE 2002	BE 2002	HE 2003	BE 2003	HE 2004	BE 2004	Moyenne Nappe
Min (F°)	30.80	30.00	37.60	51.21	28.90	37.26	28.90
Max (F°)	369.00	237.20	313.66	277.78	415.00	277.78	415.00
Moy (F°)	128.43	95.18	100.66	116.13	147.99	114.63	121.26
Ecart type (F°)	87.21	54.50	73.03	67.72	102.65	60.83	79.73
CV	0.68	0.57	0.73	0.58	0.69	0.53	0.66

Les conséquences d'une dureté élevée connues pour les usages domestiques sont le non moussage du savon, le bouchage des chauffe-bains et la formation des couches jaunes sur les baignoires, l'évier et autres.

L'alimentation de la nappe alluviale par la nappe calcaire du sud (Chap.II parag. II-2-2) semble favoriser l'enrichissement de ses eaux par des eaux dures. A ceci, il faut ajouter les apports à partir des terrains gypseux.

- **Conductivité électrique**

La minéralisation globale de l'eau peut être déterminée soit par la conductivité électrique (méthode rapide), soit par la teneur en ions dissous obtenue par sommation des concentrations des anions et des cations car celles-ci sont fortement corrélées dans toutes les formations aquifères (Dakoure, 2003). La minéralisation d'une eau est donc égale approximativement à sa conductivité électrique [ $\mu\text{S}/\text{cm}$  à 25 °C] fois A, avec A compris entre 0.55 et 0.75 pour la plupart des eaux souterraines naturelles (Freeze et Cherry, 1979 ; Matthes, 1972).

La conductivité électrique est un paramètre important en hydrogéologie ; sa variation est liée, à température constante, aux modifications de la minéralisation des eaux souterraines.

Les résultats des conductivités sont résumés dans le tableau n°20.

**Tabl. n° 20:** Variation de la conductivité en  $\mu\text{S}/\text{cm}$

Paramètres Statistiques	HE 2002	BE 2002	HE 2003	BE 2003	HE 2004	BE 2004	Moyenne Nappe
Min ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	920	960	990	1000	850	1190	850
Max ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	9640	7870	9560	7090	11710	6510	11710
Moy ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	4290	3350	3260	3590	4800	3300	3880
Ecart type ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	2540	1800	2280	1810	3090	1490	2360
CV	0.59	0.54	0.70	0.50	0.64	0.45	0.61
Norme de potabilité fixée par le CEE : 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$							

Les échantillons d'eau souterraine prélevés à travers la nappe alluviale du M.C.O au cours des années 2002,2003 et 2004 montrent que ces eaux sont très chargées puisque 55 % des points des prélèvements enregistrent des valeurs moyennes de conductivité électrique supérieures à la norme de potabilité, et ceci pour toutes les campagnes, avec un CV variant entre 45 et 70 %. Ces fortes valeurs sont dues à la dissolution des formations évaporitiques du Dahra et trias anté- nappes de l'Ouarsenis ainsi qu'à la dissolution des minéraux silicatés.

### III.2.2. Hydrofaciès dominants

Le faciès chimique des eaux est intimement lié à la nature des terrains traversés lors du transit de ces eaux ainsi qu'à la nature du sol (Achour, 1997). Les résultats sont présentés dans le tableau n°21.

**Tabl. n°21:** Hydro faciès des captages de la nappe alluviale du moyen Cheliff occidental

Année	Campagne	Nombre d'échantillons	les sels par ordre prédominant (%)							
			NaCl	CaCl	NaSO <sub>4</sub>	MgCl	CaHCO <sub>3</sub>	CaSO <sub>4</sub>	NaHCO <sub>3</sub>	MgSO <sub>4</sub>
2002	H E	18	<b>61.11</b>	27.78	5.56	0.00	5.56	0.00	0.00	0.00
	B E	13	<b>61.54</b>	30.77	0.00	0.00	7.69	0.00	0.00	0.00
2003	H E	14	<b>64.29</b>	21.43	0.00	7.14	7.14	0.00	0.00	0.00
	B E	15	<b>73.33</b>	13.33	0.00	6.67	0.00	6.67	0.00	0.00
2004	H E	27	<b>33.33</b>	22.22	7.41	29.63	3.70	0.00	3.70	0.00
	B E	22	22.73	<b>31.82</b>	0.00	27.27	0.00	4.55	0.00	13.64
<b>Moyenne (Nappe)</b>		<b>109</b>	<b>53</b>	<b>24</b>	<b>2</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>

Le lessivage des calcaires à Lithothamnées du miocène supérieur (affleurant sur les bordures sud de la zone d'étude) et l'hétérogénéité lithologique des formations du plio-quadernaire formant l'aquifère alluvial, sont à l'origine de ces faciès chimiques.

Le faciès chloruré sodique prédomine quelque soit la période de prélèvement et quelques soit le nombre d'échantillons. Cette domination des ions chlorure et sodium est supposé être dû à la dissolution des formations évaporitiques du Dahra et trias anté-nappe de l'Ouarsenis.

La présence du faciès sulfaté de certains ouvrages aurait pour origine les formations gypsifères du miocène sous la plaine.

Cette classification ne prend en compte que les anions et cations dominants et fait abstraction aux autres variables, même si ces dernières présentent des teneurs élevées. Nous avons alors utilisé l'analyse multidimensionnelle pour mieux comprendre le processus d'acquisition du chimisme des eaux de la nappe.



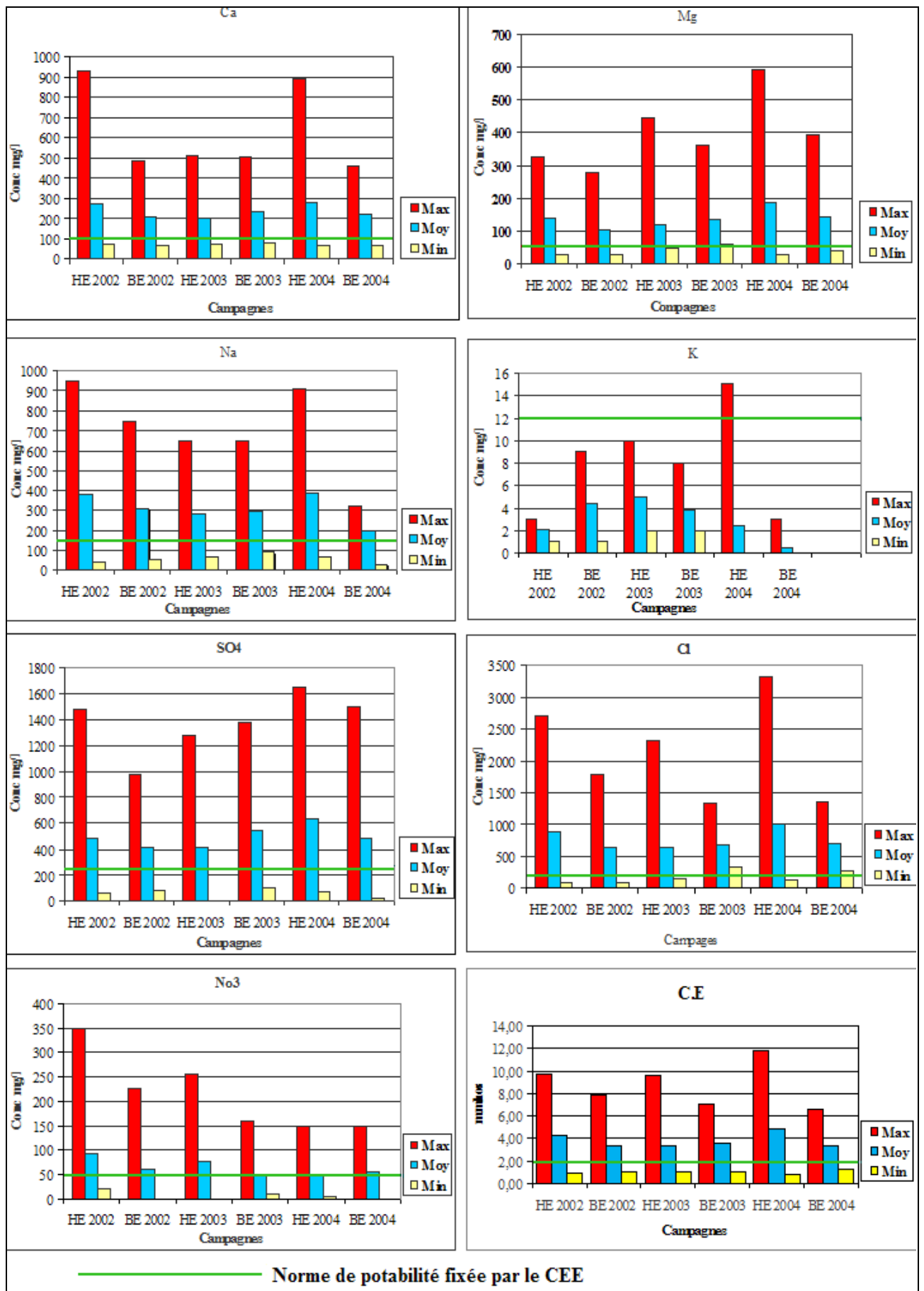


Fig. n°12: Evolution des paramètres statistiques pour les années 2002,2003 et 2004

### III.2.3. Analyses factorielles multidimensionnelles

#### III.2.3.1. Analyse en Composantes Principales

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) consiste à exprimer un ensemble de variables en un ensemble de combinaisons linéaires de facteurs non corrélés entre eux, ces facteurs rendent compte d'une fraction de plus en plus faible de la variabilité des données. Cette méthode permet de représenter les données originelles (individus et variables) dans un espace de dimension inférieure à l'espace originel, tout en limitant au maximum la perte d'information. La représentation des données dans des espaces de faible dimension (ici 2 dimensions) en facilite considérablement l'analyse. Le premier axe factoriel est celui qui explique le plus grand pourcentage de la variance totale, le second explique ensuite le plus grand pourcentage de variance résiduelle.

Le but de l'ACP est de permettre une visualisation de données multidimensionnelles et l'étude de la structure des variables. Il s'agit de proposer une représentation simple des paramètres analysés sur les points d'eau captant la nappe étudiée sur un graphique en deux dimensions.

Dans notre travail, l'ACP va permettre de déterminer les origines et principaux mécanismes de minéralisation et les corrélations entre éléments et individus.

Le traitement de nos données par analyse en composantes principales (ACP) a été réalisé par le logiciel Spad Version 5.50.

Nous avons réalisé plusieurs analyses en composantes principales sur les données hydrochimiques des six campagnes de prélèvement.

L'examen des données à travers des histogrammes établis pour les dix variables étudiées ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , CE et pH) est le meilleur moyen pour « prendre connaissance » des données. Les Histogrammes (les figures n° 24, 25, 26, 27, 28, et 29 de l'annexe 2) sont, d'une manière générale, homogène et non uniforme, selon la classification de Freeze (1975). Ils présentent généralement une allure unimodale.

Toutefois, quelques variables présentent des exceptions en ayant quelques échantillons qui s'écartent relativement par rapport à l'ensemble des autres points tout en restant très minoritaires pour ne pas peser sur la distribution et classer les allures des histogrammes dans la catégorie des distributions bimodales.

#### A) ACP globale 2002/2004

Les facteurs I et II expriment 62 % de la variance. Le tableau des matrices de corrélations (tabl. n°24) montrent que les variables  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$  sont toujours corrélées positivement entre elles et à la conductivité électrique. Elles sont représentées sur le facteur I comme le montre les fortes valeurs de corrélation (tabl. n° 23) qui constitue ainsi le pôle de la minéralisation évaporitique.

La variable  $K^+$  est faiblement corrélée, positivement ou négativement avec ces variables mais elle est généralement bien représentée sur le facteur II. Sa corrélation assez significative avec les variables  $HCO_3^-$  et  $NO_3^-$  prises individuellement ou simultanément peut attester d'une origine mixte comme vont le montrer les différentes ACP établies.

La variable  $NO_3^-$  est représentée beaucoup plus sur l'axe II positivement ou négativement (tableau n°23), par contre elle n'est corrélée avec aucune des variables du premier groupe défini pour la majorité des campagnes étudiées. L'origine anthropique de cet élément se confirme.

Cette ACP globale montre un pôle de la minéralisation évaporitique indiqué par l'axe I de variance 50.25 %, avec une relation positive entre la conductivité et les variables  $SO_4^{2-}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Cl^-$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ . Cet axe traduit le processus prédominant du réservoir étudié. L'axe II de variance 12.39 % indique un pôle de pollution urbaine et agricole. L'union entre les bicarbonates et le potassium aurait son origine dans des processus de contamination par décharge (voir tabl n° 41 de l'annexe 3). ; ceci est dû au fait que la présence de l'ion bicarbonate est liée à l'augmentation de  $CO_2$  provenant de la décomposition de la matière organique des décharges.

Les nitrates, en position opposée à ces deux variables ( $HCO_3^-$  et  $K^+$ ) par rapport à l'axe II, trouveront leur origine dans les engrais de type azoté ou dans les produits d'élevage.

## **B/ ACP annuelles**

### **1/ ACP 2002**

L'axe I exprimant 55.48 % de la variance traduit la minéralisation évaporitique. L'axe II présentant 13.23 % de la variance exprime une origine anthropique commune aux ions  $NO_3^-$ ,  $HCO_3^-$ . L'ion sodium  $Na^+$ , avec une corrélation très élevée avec l'axe I (0.85), présente aussi une corrélation non négligeable avec l'axe II (0.38), ce qui atteste de son autre origine (extérieure) commune à celle des deux ions précédents liée à la dissolution du calcaire dans le sol et aux décharges (voir tabl n° 41 de l'annexe 3). La variable  $K^+$  est difficile à identifier car elle n'est corrélée avec aucun axe ni aucune variable.

### **2/ ACP 2003**

L'axe I exprimant 55.91% de la variance indique à la fois le pôle évaporitique par la relation positive entre les éléments  $SO_4^{2-}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$  et la conductivité électrique, et le pôle des carbonates par une relation inverse entre l'évolution des bicarbonates et le pH. L'axe II présentant 16.05 % de la variance exprime une origine anthropique commune aux ions  $NO_3^-$  et  $K^+$  liée aux engrais minéraux de type NPK (chapitre IV, paragraphe : IV. 3. 2. 1. ).

### **3/ ACP 2004**

Cette ACP montre, à travers la projection sur le plan I-II l'existence de trois groupes:

- Le premier se développe sur l'axe I (50.25 % de la variance), il présente le pôle de la minéralisation évaporitique avec une relation positive entre la conductivité et les variables  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ .

- Le deuxième et le troisième ensemble se positionnent sur l'axe II (12.39 % de la variance):

✓ Les valeurs positives représentent un processus secondaire du réservoir lié à l'hydrolyse de l'illite présente dans la fraction fine des alluvions et mise en évidence par les analyses minéralogiques effectuées par Boulaine (1957). Ce processus qui libère l'ion potassium ( $\text{K}^+$ ) est régi par une réaction qui consomme de l'acide carbonique et s'accompagne donc d'une augmentation du pH avec production de bicarbonates. Dans les conditions normales (absence de pollution) l'acide carbonique constitue la principale source de protons.

Ce genre de réactions est donc particulièrement important dans la zone non saturée et la partie supérieure de la nappe et s'atténue progressivement avec la profondeur .

✓ La valeur négative traduit la dégradation anthropique de la qualité de l'eau liée principalement à l'ion nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ), pouvant être conséquence d'une utilisation intensive d'engrais chimiques de type azoté, de produits d'élevage, des eaux usées et des décharges.

### **C/ ACP saisonnières globales**

#### **1/ ACP hautes eaux 2002-2004**

Avec 51.38 % de la variance, l'axe I exprime toujours le pôle évaporitique. L'axe II représentant 14.23 % de la variance indique à la fois le pôle des carbonates par une relation inverse entre l'évolution des bicarbonates et le pH, et le pôle de la pollution urbaine et agricole. En effet, la variable  $\text{NO}_3^-$  trouvera son origine dans les eaux usées et les décharges, par contre la variable  $\text{K}^+$  trouvera son origine dans une autre source externe liée à l'épandage d'engrais de type PK d'où leur opposition par rapport à l'axe II. Cette période caractérisée généralement par des apports d'eau importants (période pluvieuse) favorise le lessivage en profondeur des éléments issus d'une origine extérieure.

#### **2/ ACP basses eaux 2002-2004**

C'est l'ACP la plus complexe puisqu'elle montre la variable nitrate bien corrélée avec l'axe I (0.48) et nullement corrélée avec l'axe II. Mais ceci peut très bien s'expliquer par le fait que les nitrates, pour des faibles teneurs, peuvent provenir naturellement d'un processus de minéralisation dans le sol. Cette transformation chimique se produit sous l'action de la microflore du sol, son importance est conditionnée par divers paramètres dont les plus importants sont le pH du sol (la minéralisation est faible en sol acide, le pH optimum pour la minéralisation de l'azote est compris entre 6,5 et 8,5 ; d'ailleurs, les sols de la zone d'étude sont très alcalins et montrent des valeurs de pH dans cet intervalle), la température et l'humidité du sol.

Elle est particulièrement active quand le sol est chaud et humide (l'optimale d'activité se situant dans l'intervalle 30 - 35°C, ce qui correspond justement aux caractéristiques de cette période connue par de fortes températures). L'axe I avec 48.2 % de la variance montre aussi la prédominance de la minéralisation évaporitique. L'axe II représenté par les bicarbonates et le potassium indique un pôle de pollution urbaine.

L'union entre les bicarbonates et le potassium aurait son origine dans des processus de contamination par décharge (voir tabl n° 41 de l'annexe 3) ; ceci est dû au fait que la présence de l'ion bicarbonate est liée à l'augmentation de CO<sub>2</sub> provenant de la décomposition de la matière organique des décharges.

L'ion sodium Na<sup>+</sup>, avec une corrélation très élevée avec l'axe I (0.70), présente aussi une corrélation non négligeable avec l'axe II (0.48), ce qui atteste de son autre origine (extérieure) commune à celle des deux ions précédents (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> et K<sup>+</sup>) liée aux décharges et aussi au sol.

**NB :** Les ACP saisonnières par année n'ont pas apporté de nouvelles informations sur l'origine de la minéralisation des eaux de la nappe alluviale du moyen Cheliff occidental, c'est pourquoi nous n'avons pas jugé utile de les présenter.

**Tabl. n°22 :** Valeurs propres

Campagnes	Nombre	Numéro d'axe	Valeur	Pourcentage (%)	Pourcentage Cumulé
HE 2002	18	1	5.50	55.01	55.01
		2	1.74	17.42	72.43
BE 2002	13	1	5.90	59.07	59.07
		2	1.98	19.78	78.85
Année 2002	31	1	5.55	55.48	55.48
		2	1.32	13.23	68.71
HE 2003	14	1	6.43	64.27	64.27
		2	1.51	15.16	79.43
BE 2003	15	1	6.01	60.17	60.17
		2	1.31	13.12	73.29
Année 2003	29	1	5.59	55.91	55.91
		2	1.60	16.05	71.96
HE 2004	27	1	5.49	54.91	54.91
		2	1.32	13.23	68.14
BE 2004	22	1	5.02	50.26	50.26
		2	1.73	17.32	67.58
Année 2004	49	1	5.17	51.76	51.76
		2	1.77	17.74	69.50
HE 2002/2004	59	1	5.13	51.38	51.38
		2	1.42	14.23	65.61
BE 2002/2004	50	1	4.82	48.20	48.20
		2	1.80	18.03	66.23
Moyenne nappe 2002/2004	109	1	5.02	50.25	50.25
		2	1.23	12.39	62.64

**Tabl. n°23:** Les coordonnées des variables actives sur les axes I et II

Variables	Année 2002		Année 2003		Année 2004		HE 2002-2004		BE 2002-2004		Global 2002-2004	
	Axe 1	Axe 2	Axe 1	Axe 2	Axe 1	Axe 2	Axe 1	Axe 2	Axe 1	Axe 2	Axe 1	Axe 2
Ca <sup>+2</sup>	0.87	-0.42	0.93	0.02	-0.90	0.30	0.91	-0.01	0.93	-0.15	0.91	-0.18
Mg <sup>+2</sup>	0.96	-0.14	0.92	0.12	-0.96	0.11	0.94	0.21	0.90	-0.23	0.93	0.03
Na <sup>+</sup>	0.85	0.38	0.82	0.13	-0.89	-0.21	0.89	-0.16	0.70	0.48	0.85	0.21
K <sup>+</sup>	-0.16	0.26	0.15	0.60	-0.33	-0.42	0.19	0.51	-0.15	0.85	0.09	0.42
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	0.72	-0.13	0.89	-0.10	-0.79	0.10	0.80	0.28	0.80	-0.21	0.78	0.05
Cl <sup>-</sup>	0.96	-0.09	0.91	0.24	-0.92	0.11	0.95	-0.01	0.85	0.05	0.93	-0.03
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.73	0.44	-0.08	0.83	0.13	0.60	0.21	-0.60	0.42	0.06	0.29	-0.36
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.38	0.80	0.58	-0.39	-0.26	-0.62	0.17	-0.48	0.23	0.85	0.27	0.56
C.E	0.93	-0.21	0.99	0.10	-1.00	0.04	0.97	-0.04	0.99	0.07	0.97	-0.01
pH	-0.34	0.09	-0.50	0.54	-0.03	-0.82	-0.17	0.65	-0.27	0.07	-0.15	0.73

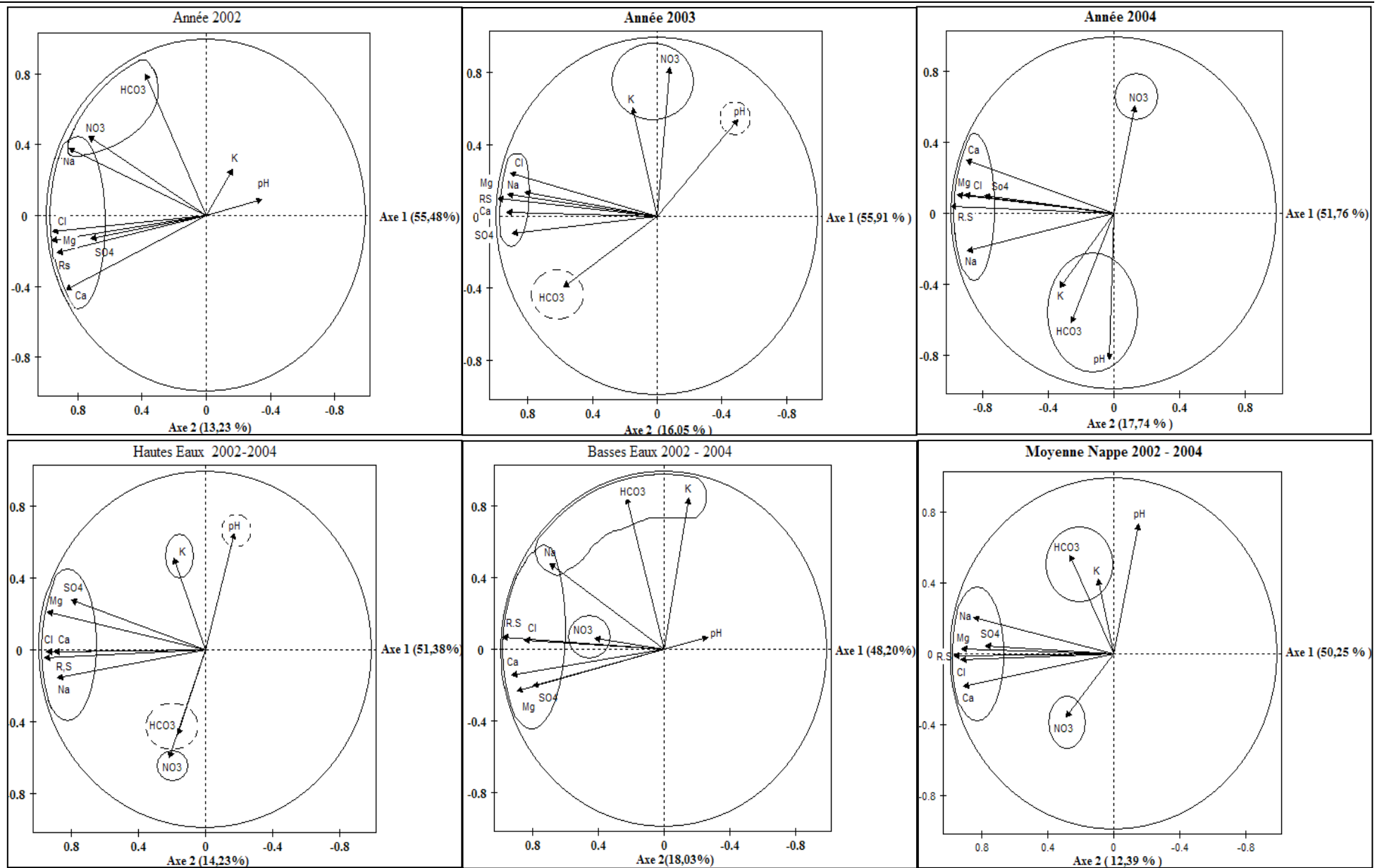


Fig. n° 13: Cercles de corrélation des ACP étudiées de la période 2002-2004 (globale, annuelles et saisonnières globales)



## Conclusion

En récapitulant les résultats obtenus par l'approche statistique, on peut définir que l'origine de la minéralisation des eaux de la nappe alluviale du moyen Cheliff occidental est triple, et comprend :

- **Les roches** (avec deux processus distincts : dissolution des évaporites)
- **Le sol** (minéralisation de la microflore produisant les teneurs naturelles des nitrates et hydrolyse de l'illite)
- **Les apports polluants** transitant par l'intermédiaire des sols (à partir des engrais, des produits d'élevage, des eaux usées et des décharges publiques).

Il apparaît donc que les éléments qui peuvent induire la pollution des eaux de la nappe étudiée sont les nitrates, le potassium et très faiblement le sodium. Comme le potassium se présente presque toujours en teneur faible et au dessous de la norme de potabilité, la seule variable qui peut constituer une source de contamination de la nappe reste les nitrates. La gestion qualitative des eaux de cette nappe se basera donc exclusivement sur l'évaluation de la pollution nitratée qui sera détaillée dans le chapitre IV

### D) Etude des individus

L'étude des individus a concerné l'année 2004 (hautes et basses eaux) du fait qu'elle englobe le plus grand nombre d'échantillons (quarante échantillons). L'espace des individus (Fig. n°14a et n°14b) permet de distinguer trois groupes d'ouvrages le long de l'axe 1 pour chacune des deux périodes. La composition des groupes est la suivante :

- **pour la campagne des hautes eaux**
  - Groupe I : 04, 06, 07, 10, 15, 23, et 27.
  - Groupe II : 02, 03, 08, 09, 13, 14, 19, 21, 24, et 25.
  - Groupe III : 01, 05, 11, 16, 17, 18, 20, et 22
- **pour la campagne des basses eaux**
  - Groupe I : 04, 06, 07, 09, 14, et 18.
  - Groupe II : 02, 03, 05, 08, 10, 12, 13, 16, 17, et 22.
  - Groupe III : 01, 15, 19, 20, et 21.

La caractérisation des groupes retenus pour les deux campagnes de l'année 2004 est illustrée à travers les résultats des statistiques élémentaires regroupés dans les tableaux n°25 et n°26. L'examen de ces tableaux a permis les déductions suivantes :



- **pour la campagne des hautes eaux**

La qualité des eaux de la nappe se détériore dans le sens croissant des trois groupes c-a-d que le premier groupe abrite, en majorité, les captages offrant des eaux à faibles concentrations pour la plupart des éléments chimiques. Dans le deuxième groupe, les concentrations sont en augmentation et continuent ainsi dans le dernier groupe. Par contre, les nitrates et les bicarbonates ( $\text{NO}_3^-$  et  $\text{HCO}_3^-$ ) ne suivent pas cette évolution surtout pour la campagne des hautes eaux 2004.

Ainsi:

- Le groupe I (composé de sept individus) est caractérisé par la meilleure qualité ; les teneurs moyennes ( plus de la moitié) et quelques teneurs maximales sont inférieures aux normes de potabilité fixée par le CEE

- Le groupe II (composé de dix individus) est caractérisé par une qualité moyenne à passable ; quelques teneurs moyennes et la majorité des teneurs minimales sont inférieures aux normes de potabilité.

- Le groupe III (composé de huit individus) est caractérisé par la plus mauvaise qualité ; la majorité des teneurs minimales et moyennes sont supérieures à la norme de potabilité.

- **Pour la campagne des basses eaux**

Les groupes retenus pour cette campagne montrent une même tendance d'évolution que ceux de la précédente campagne avec une légère augmentation des concentrations pour cette dernière (hautes eaux) due au phénomène de dilution.

Ainsi :

- Le groupe I (composé de six individus) est caractérisé par la meilleure qualité ; les teneurs moyennes de la quasi-totalité des éléments avec quelques teneurs maximales sont inférieures aux normes de potabilité fixées par le CEE.

- Le groupe II (composé de dix individus) est caractérisé par une qualité moyenne à passable ; quelques teneurs moyennes et plus de la moitié des teneurs minimales sont inférieures aux normes de potabilité fixées par le CEE.

- Le groupe III (composé de huit individus) est caractérisé par la plus mauvaise qualité ; la majorité des teneurs minimales et moyennes sont supérieures aux norme de potabilité.

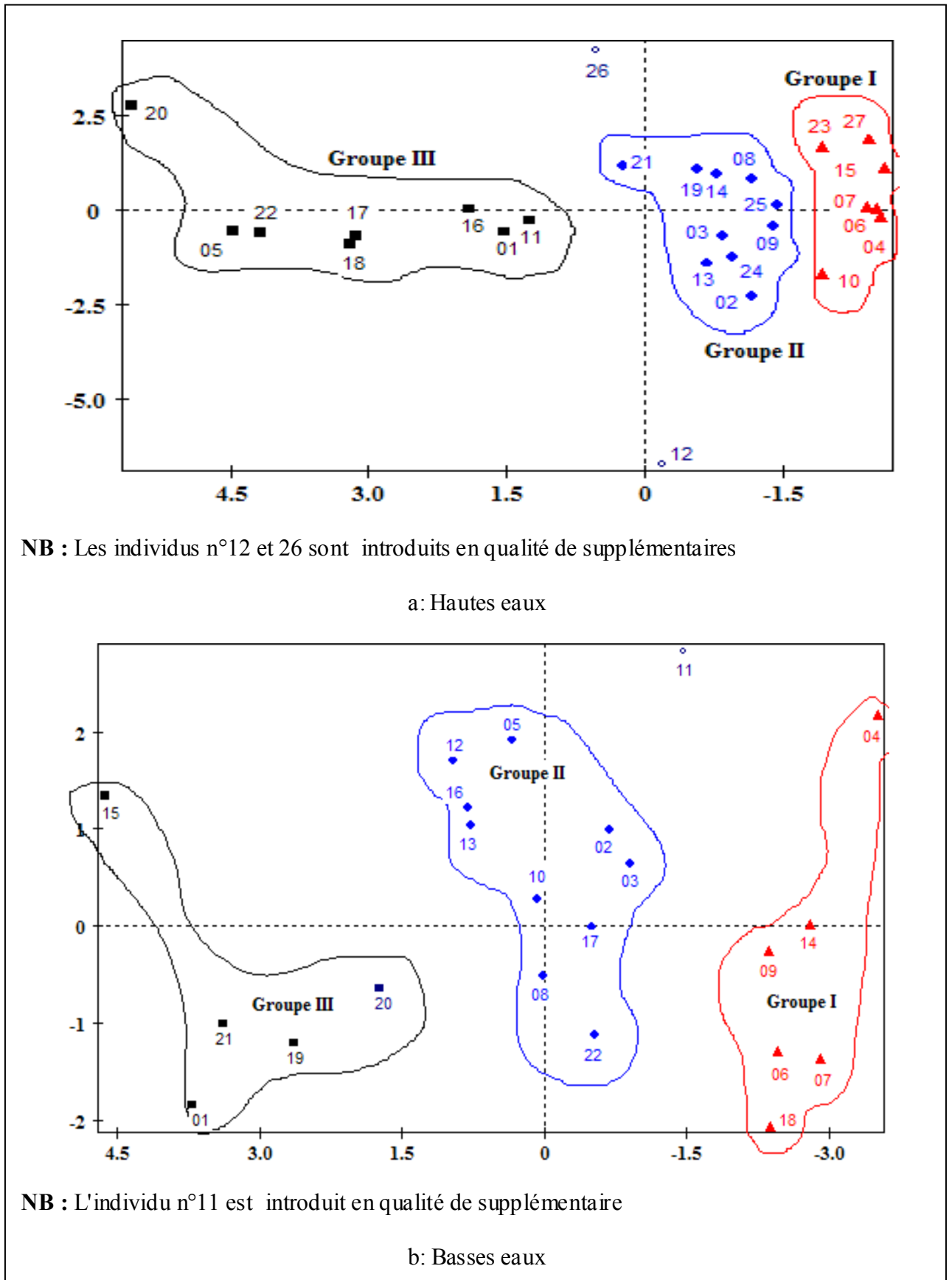


Fig. n°14: Plan des individus pour l'année 2004 (hautes et basses eaux)

Tabl. n°25: Les statistiques élémentaires des trois groupes pour la campagne des hautes eaux 2004

		Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	R.S	pH
<b>Groupe I</b>	<b>w 82-40</b>	66.67	29.50	70.00	2.00	72.00	115.00	15.00	287.00	596.00	7,50
	<b>w82-82</b>	150.00	66.00	105.00	1.00	80.00	380.00	53.00	243.70	1029.00	7,50
	<b>w82-84</b>	151.67	51.25	110.00	1.00	142.00	308.00	66.00	296.16	1071.00	7,70
	<b>w105-8</b>	123.33	54.75	265.00	0.00	303.00	333.00	59.00	455.37	1519.00	7,60
	<b>w105-102</b>	80.42	70.25	130.00	2.00	142.00	292.00	57.00	248.88	979.60	8,00
	<b>w105-1186</b>	215.29	85.45	275.00	2.00	160.00	875.00	115.00	193.98	1894.00	7,90
	<b>w106 -35</b>	182.62	89.72	200.00	2.00	240.00	600.00	150.00	211.98	1654.00	8,00
Min (mg/l)	<b>66,67</b>	<b>29,50</b>	<b>70,00</b>	<b>0,00</b>	<b>72,00</b>	<b>115,00</b>	<b>15,00</b>	<b>193,98</b>	<b>596,00</b>	<b>7,50</b>	
Max (mg/l)	<b>215,29</b>	<b>89,72</b>	<b>275,00</b>	<b>2,00</b>	<b>303,00</b>	<b>875,00</b>	<b>150,00</b>	<b>455,37</b>	<b>1894,00</b>	<b>8,00</b>	
Moy (mg/l)	<b>138,57</b>	<b>63,85</b>	<b>165,00</b>	<b>1,43</b>	<b>162,71</b>	<b>414,71</b>	<b>73,57</b>	<b>276,72</b>	<b>1248,94</b>	<b>7,74</b>	
Ecart Type (mg/l)	<b>53,09</b>	<b>20,83</b>	<b>81,85</b>	<b>0,79</b>	<b>83,26</b>	<b>248,45</b>	<b>44,64</b>	<b>86,89</b>	<b>453,14</b>	<b>0,22</b>	
CV	<b>0,38</b>	<b>0,33</b>	<b>0,50</b>	<b>0,55</b>	<b>0,51</b>	<b>0,60</b>	<b>0,61</b>	<b>0,31</b>	<b>0,36</b>	<b>0,03</b>	
<b>Groupe II</b>	<b>w82-4</b>	170.00	92.20	287.00	0.00	555.00	345.00	30.00	543.00	1958.00	7,70
	<b>w82-10</b>	240.83	112.50	305.00	2.00	617.50	575.00	80.00	431.00	2262.00	7,60
	<b>w82-125</b>	195.83	143.75	247.00	2.00	625.00	487.00	39.00	284.57	2033.00	8,00
	<b>w82-127</b>	260.83	165.00	192.00	0.00	272.00	875.00	78.00	388.88	2163.00	7,90
	<b>w105-84</b>	171.73	128.17	480.00	0.00	108.00	1300.00	35.00	470.62	2643.00	7,90
	<b>w105-91</b>	258.33	111.25	317.00	3.00	375.00	925.00	41.00	281.00	2302.00	7,90
	<b>w105-368</b>	217.92	150.00	245.00	4.00	645.00	587.50	21.00	231.80	2126.00	7,60
	<b>w105-577</b>	185.97	212.10	590.00	3.00	687.50	1210.00	45.00	335.81	3266.00	8,30
	<b>w106-Mosq</b>	237.49	156.57	280.00	0.00	582.50	662.50	64.00	479.46	2410.00	7,90
<b>w106-2</b>	202.72	123.90	280.00	0.00	687.50	512.50	74.00	294.33	2195.70	7,90	
Min (mg/l)	<b>170,00</b>	<b>92,20</b>	<b>192,00</b>	<b>0,00</b>	<b>108,00</b>	<b>345,00</b>	<b>21,00</b>	<b>231,80</b>	<b>1958,00</b>	<b>7,60</b>	
Max (mg/l)	<b>260,83</b>	<b>212,10</b>	<b>590,00</b>	<b>4,00</b>	<b>687,50</b>	<b>1300,00</b>	<b>80,00</b>	<b>543,00</b>	<b>3266,00</b>	<b>8,30</b>	
Moy (mg/l)	<b>214,17</b>	<b>139,54</b>	<b>322,30</b>	<b>1,40</b>	<b>515,50</b>	<b>747,95</b>	<b>50,70</b>	<b>374,05</b>	<b>2335,87</b>	<b>7,87</b>	
Ecart Type (mg/l)	<b>34,01</b>	<b>34,12</b>	<b>120,33</b>	<b>1,58</b>	<b>197,05</b>	<b>318,78</b>	<b>21,46</b>	<b>103,90</b>	<b>380,01</b>	<b>0,21</b>	
CV	<b>0,16</b>	<b>0,24</b>	<b>0,37</b>	<b>1,13</b>	<b>0,38</b>	<b>0,43</b>	<b>0,42</b>	<b>0,28</b>	<b>0,16</b>	<b>0,03</b>	
<b>Groupe III</b>	<b>w81/49</b>	482.50	203.00	425.00	4.00	1235.00	1095.00	79.00	487.70	4060.00	7,50
	<b>w82-72</b>	895.00	446.75	800.00	2.00	550.00	3330.00	79.00	339.16	6426.00	7,10
	<b>w105 - 233</b>	371.67	207.00	500.00	2.00	1375.00	890.00	12.00	372.71	3811.00	7,80
	<b>w105-136</b>	414.17	316.50	550.00	2.00	1300.00	1290.00	11.00	365.00	4319.00	7,90
	<b>w105-317</b>	400.00	324.50	915.00	1.00	1237.50	2250.00	13.00	331.84	5548.00	7,60
	<b>w105-365</b>	387.08	371.50	790.00	2.00	1425.00	1850.00	4.00	433.41	5366.00	7,70
	<b>w105-574</b>	670.14	595.60	650.00	9.00	1650.00	2625.00	12.00	315.00	6655.00	7,90
	<b>w105-580</b>	502.62	458.64	750.00	3.00	1350.00	2500.00	4.00	451.71	6105.00	7,70
Min (mg/l)	<b>371,67</b>	<b>203,00</b>	<b>425,00</b>	<b>1,00</b>	<b>550,00</b>	<b>890,00</b>	<b>4,00</b>	<b>315,00</b>	<b>3811,00</b>	<b>7,10</b>	
Max (mg/l)	<b>895,00</b>	<b>595,60</b>	<b>915,00</b>	<b>9,00</b>	<b>1650,00</b>	<b>3330,00</b>	<b>79,00</b>	<b>487,70</b>	<b>6655,00</b>	<b>7,90</b>	
Moy (mg/l)	<b>515,40</b>	<b>365,44</b>	<b>672,50</b>	<b>3,13</b>	<b>1265,31</b>	<b>1978,75</b>	<b>26,75</b>	<b>387,07</b>	<b>5286,25</b>	<b>7,65</b>	
Ecart Type (mg/l)	<b>181,26</b>	<b>133,02</b>	<b>169,62</b>	<b>2,53</b>	<b>317,86</b>	<b>849,04</b>	<b>32,44</b>	<b>62,89</b>	<b>1104,11</b>	<b>0,26</b>	
CV	<b>0,35</b>	<b>0,36</b>	<b>0,25</b>	<b>0,81</b>	<b>0,25</b>	<b>0,43</b>	<b>1,21</b>	<b>0,16</b>	<b>0,21</b>	<b>0,03</b>	

Tabl. n°26: Les statistiques élémentaires des trois groupes pour la campagne des basses eaux 2004

		Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	R.S	pH
Groupe I	w82/13	82.18	40.12	130.00	2.00	25.00	361.00	3.00	217.77	837.00	8,10
	w82/82	138.97	61.63	50.00	0.00	50.00	400.00	39.00	158.60	930.00	7,20
	w82/84	118.83	49.55	30.00	0.00	100.00	275.00	36.00	109.80	737.80	7,40
	w105/8	74.12	48.58	170.00	0.00	330.00	280.00	42.00	61.00	1004.40	7,90
	w105/102	116.01	51.24	100.00	1.00	155.00	315.00	26.00	128.10	901.00	7,60
	w105/453	68.72	57.53	100.00	0.00	150.00	270.00	62.00	119.56	831.00	6,90
Min (mg/l)		<b>68,72</b>	<b>40,12</b>	<b>30,00</b>	<b>0,00</b>	<b>25,00</b>	<b>270,00</b>	<b>3,00</b>	<b>61,00</b>	<b>737,80</b>	<b>6,90</b>
Max (mg/l)		<b>138,97</b>	<b>61,63</b>	<b>170,00</b>	<b>2,00</b>	<b>330,00</b>	<b>400,00</b>	<b>62,00</b>	<b>217,77</b>	<b>1004,40</b>	<b>8,10</b>
Moy (mg/l)		<b>99,80</b>	<b>51,44</b>	<b>96,67</b>	<b>0,50</b>	<b>135,00</b>	<b>316,83</b>	<b>34,67</b>	<b>132,47</b>	<b>873,53</b>	<b>7,52</b>
Ecart Type (mg/l)		<b>28,62</b>	<b>7,49</b>	<b>51,25</b>	<b>0,84</b>	<b>108,81</b>	<b>53,24</b>	<b>19,49</b>	<b>52,47</b>	<b>92,34</b>	<b>0,44</b>
C.V		<b>0,29</b>	<b>0,15</b>	<b>0,53</b>	<b>0,00</b>	<b>0,81</b>	<b>0,17</b>	<b>0,56</b>	<b>0,40</b>	<b>0,11</b>	<b>0,06</b>
Groupe II	w82/4	201.41	145.02	190.00	0.00	707.50	350.00	19.00	335.50	1922.00	7,40
	w82/10	229.61	103.93	170.00	1.00	500.00	500.00	36.00	186.05	1742.20	7,50
	w82/52	224.77	136.80	325.00	3.00	700.00	750.00	42.00	69.54	2418.93	7,50
	w82/127	251.76	165.56	105.00	0.00	250.00	750.00	95.00	196.73	1940.60	7,50
	w105/65	160.73	145.26	275.00	0.00	137.50	1000.00	62.00	146.40	1908.00	7,50
	w105/84	277.23	166.34	290.00	0.00	90.00	1350.00	50.00	184.83	2374.00	8,00
	w105/91	278.75	124.71	310.00	0.00	462.50	917.50	55.00	148.23	2318.00	7,80
	w105/233	263.37	187.65	275.00	0.00	770.00	792.50	10.00	150.98	2510.00	7,70
	w105/368	218.52	142.47	140.00	0.00	757.50	507.50	23.00	89.98	1952.00	7,70
	w105/1186	203.70	148.89	165.00	0.00	158.00	930.00	0.00	48.80	1660.00	6,90
Min (mg/l)		<b>160,73</b>	<b>103,93</b>	<b>105,00</b>	<b>0,00</b>	<b>90,00</b>	<b>350,00</b>	<b>0,00</b>	<b>48,80</b>	<b>1660,00</b>	<b>6,90</b>
Max (mg/l)		<b>278,75</b>	<b>187,65</b>	<b>325,00</b>	<b>3,00</b>	<b>770,00</b>	<b>1350,00</b>	<b>95,00</b>	<b>335,50</b>	<b>2510,00</b>	<b>8,00</b>
Moy (mg/l)		<b>230,99</b>	<b>146,66</b>	<b>224,50</b>	<b>0,40</b>	<b>453,30</b>	<b>784,75</b>	<b>39,20</b>	<b>155,70</b>	<b>2074,57</b>	<b>7,55</b>
Ecart Type (mg/l)		<b>37,49</b>	<b>23,23</b>	<b>78,83</b>	<b>0,97</b>	<b>275,04</b>	<b>289,44</b>	<b>28,04</b>	<b>81,05</b>	<b>302,48</b>	<b>0,29</b>
C.V		<b>0,16</b>	<b>0,16</b>	<b>0,35</b>	<b>2,42</b>	<b>0,61</b>	<b>0,37</b>	<b>0,72</b>	<b>0,52</b>	<b>0,15</b>	<b>0,04</b>
Groupe III	w 81/49	462.55	233.58	185.00	0.00	1210.00	867.50	150.00	89.06	3327.00	6,90
	w105/136	452.67	395.06	240.00	0.00	1500.00	1150.00	71.00	163.48	4100.00	7,80
	w105/574	329.22	234.57	250.00	0.00	500.00	1250.00	100.00	128.71	2823.00	6,70
	w105/580	292.18	145.68	290.00	0.00	520.00	1000.00	105.00	162.87	2541.00	7,00
	w105/1033	311.93	244.94	295.00	0.00	1400.00	750.00	125.00	93.03	3370.00	7,00
Min (mg/l)		<b>292,18</b>	<b>145,68</b>	<b>185,00</b>	<b>0,00</b>	<b>500,00</b>	<b>750,00</b>	<b>71,00</b>	<b>89,06</b>	<b>2541,00</b>	<b>6,70</b>
Max (mg/l)		<b>462,55</b>	<b>395,06</b>	<b>295,00</b>	<b>0,00</b>	<b>1500,00</b>	<b>1250,00</b>	<b>150,00</b>	<b>163,48</b>	<b>4100,00</b>	<b>7,80</b>
Moy (mg/l)		<b>369,71</b>	<b>250,77</b>	<b>252,00</b>	<b>0,00</b>	<b>1026,00</b>	<b>1003,50</b>	<b>110,20</b>	<b>127,43</b>	<b>3232,20</b>	<b>7,08</b>
Ecart Type (mg/l)		<b>81,38</b>	<b>90,08</b>	<b>44,53</b>	<b>0,00</b>	<b>482,47</b>	<b>203,10</b>	<b>29,46</b>	<b>36,10</b>	<b>597,13</b>	<b>0,42</b>
C.V		<b>0,22</b>	<b>0,36</b>	<b>0,18</b>	<b>0,00</b>	<b>0,47</b>	<b>0,20</b>	<b>0,27</b>	<b>0,28</b>	<b>0,18</b>	<b>0,06</b>

### III.2.3.2. Analyse Factorielle Discriminante (A.F.D)

#### A/ Définition

L'Analyse Factorielle Discriminante est une méthode inférentielle dont l'objectif est de déterminer les caractéristiques qui discriminent entre des groupes de variables quantitatives ou qualitatives (Huberty, 1975 ; Tomasson 1988). Son principe est :

- Si un certain nombre de groupes sur plusieurs variables présentent une différence significative au sens statistique du terme, l'AFD tente de déterminer par ordre d'importance les variables responsables de cette distinction des groupes.
- Pour atteindre cet objectif, elle considère de nouvelles variables (combinaisons linéaires des précédentes).
- Géométriquement ces nouvelles variables sont représentées par des axes sur lesquels elle projette les divers points des groupes.
- Ces axes sont appelés axes des fonctions discriminantes, et on désire que la projection des points donne lieu au maximum de superposition des divers groupes.

#### B/ Application de l'A.F.D

La classification obtenue dans la dernière étape de l'A.C.P pour les deux campagnes de l'année 2004 a été maintenue (trois groupes distincts). Le logiciel Statistica 5.1 nous a permis d'obtenir les résultats d'application de cette méthode montrés dans ce qui suit :

##### 1/ Etude des variables

- **Coefficients Standardisés**

Les Coefficients standardisés sont des coefficients qui peuvent être utilisés pour calculer les résultats canoniques bruts de chaque observation pour chaque analyse discriminante, les résultats obtenus sont représentés dans le tableau n°27.

**Tabl. n°27:** Résultats des coefficients standardisés des deux campagnes de l'année 2004

	Hautes Eaux 2004		Basses Eaux 2004	
	Axe 1	Axe 2	Axe 1	Axe 2
Ca <sup>+2</sup>	0.01	- 0.04	0.34	- 0.51
Mg <sup>+2</sup>	- 0.05	- 0.01	1.38	- 1.30
Na <sup>+</sup>	- 0.02	- 0.03	0.81	- 0.35
K <sup>+</sup>	- 0.50	0.07	-0.44	- 0.96
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	0.00	- 0.04	-6.88	- 9.71
Cl <sup>-</sup>	- 0.01	-0.03	-5.93	- 6.81
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	- 0.05	0.00	-0.74	- 1.86
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	- 0.01	- 0.03	-1.54	- 1.23
R.S	0.01	0.03	2.87	9.54
pH	2.36	- 6.34	1.10	- 0.13
<b>Valeur</b>	<b>48.43</b>	<b>0.66</b>	<b>22.77</b>	<b>1.71</b>
<b>Pourcentage</b>	<b>99.00</b>	<b>1.00</b>	<b>93.00</b>	<b>7.00</b>

Les résultats de ce tableau montrent que le premier axe discriminant a la valeur propre la plus élevée pour les deux périodes étudiées ; 48.43 (99 % de l'information totale discriminante) pour la période des hautes eaux et 22.77 (93 % de l'information totale discriminante) pour la période des basses eaux. Le deuxième axe discriminant est représenté par une valeur propre de 0.66 (1 %) pour le premier cas et 1.71 (7%) pour le deuxième cas.

Pour l'interprétation des résultats, on va donc se contenter du premier axe discriminant pour sa grande représentativité de l'inertie discriminante.

- **Corrélation Canonique et Teste de Chi<sup>2</sup>**

Les corrélations canoniques expriment les mesures de la relation qui existe entre les variables et l'axe factorielle. Les résultats obtenus par le logiciel Statistica sont représentés dans le tableau ci-dessous :

**Tabl. n°28:** Résultats du Teste Chi<sup>2</sup>

Campagne	Axe	Valeur Propre	Canoniques. R	Lambda de Wilks	Chi <sup>2</sup>	dl	Niveau p
HE 2004	Soustraire axe 1	48.43	0.99	0.01	77.11	20.00	0.00
	Soustraire axe 2	0.66	0.63	0.60	8.85	9.00	0.45
BE 2004	Soustraire Axe 1	22.77	0.98	0.02	56.25	20.00	0.00
	Soustraire axe 2	1.71	0.79	0.37	13.48	9.00	0.14

Les résultats du tableau n°28 montrent que pour les deux cas, la valeur du Chi<sup>2</sup> pour le premier axe discriminant est la plus élevée : 77.11 et 56.25 avec une probabilité nulle et une grande corrélation canonique (0.99 et 0.93) pour les deux périodes respectivement. Le deuxième axe présente des valeurs plus faibles pour le Chi<sup>2</sup> et la corrélation canonique pour les deux périodes toujours.

L'interprétation se fera donc par rapport au premier axe discriminant seulement à cause de sa grande inertie, sa valeur maximum du Chi<sup>2</sup> et sa faible probabilité.

- **Classification**

Elle permet d'affecter aux individus les bonnes classes ou bien les groupes afin de montrer la bonne discrimination de ces groupes. Les résultats obtenus (à l'aide du logiciel Statistica toujours) sont présentés dans le tableau n°29 .

La classification des individus obtenue par l'application de l'A.F.D (Tabl. n°29) a donné un pourcentage d'individus bien classés de 100 % pour les deux campagnes par rapport au premier axe discriminant déjà choisi. Il n'y a pas un changement dans l'affectation des individus aux trois groupes dans l'application des l'A.F.D par rapport à la classification obtenue par l'A.C.P.

Tabl. n°29: Classification des groupes selon l'A.F.D

	Hautes Eaux 2004			Basses Eaux 2004		
	Classification	Axe I	Axe II	Classification	Axe I	Axe II
	Observée	p = 0,28	p = 0,40	Observée	p = 0,28	p = 0,47
1	G_3:3	<b>G_3:3</b>	G_2:2	G_3:3	<b>G_3:3</b>	G_2:2
2	G_2:2	<b>G_2:2</b>	G_1:1	G_2:2	<b>G_2:2</b>	G_1:1
3	G_2:2	<b>G_2:2</b>	G_1:1	G_2:2	<b>G_2:2</b>	G_1:1
4	G_1:1	<b>G_1:1</b>	G_2:2	G_1:1	<b>G_1:1</b>	G_2:2
5	G_3:3	<b>G_3:3</b>	G_2:2	G_2:2	<b>G_2:2</b>	G_1:1
6	G_1:1	<b>G_1:1</b>	G_2:2	G_1:1	<b>G_1:1</b>	G_2:2
7	G_1:1	<b>G_1:1</b>	G_2:2	G_1:1	<b>G_1:1</b>	G_2:2
8	G_2:2	<b>G_2:2</b>	G_1:1	G_2:2	<b>G_2:2</b>	G_1:1
9	G_2:2	<b>G_2:2</b>	G_1:1	G_1:1	<b>G_1:1</b>	G_2:2
10	G_1:1	<b>G_1:1</b>	G_2:2	G_2:2	<b>G_2:2</b>	G_1:1
11	G_3:3	<b>G_3:3</b>	G_2:2	G_2:2	<b>G_2:2</b>	G_3:3
12	G_2:2	<b>G_2:2</b>	G_1:1	G_2:2	<b>G_2:2</b>	G_1:1
13	G_2:2	<b>G_2:2</b>	G_1:1	G_1:1	<b>G_1:1</b>	G_2:2
14	G_1:1	<b>G_1:1</b>	G_2:2	G_3:3	<b>G_3:3</b>	G_2:2
15	G_3:3	<b>G_3:3</b>	G_2:2	G_2:2	<b>G_2:2</b>	G_1:1
16	G_3:3	<b>G_3:3</b>	G_2:2	G_2:2	<b>G_2:2</b>	G_1:1
17	G_3:3	<b>G_3:3</b>	G_2:2	G_1:1	<b>G_1:1</b>	G_2:2
18	G_2:2	<b>G_2:2</b>	G_1:1	G_3:3	<b>G_3:3</b>	G_2:2
19	G_3:3	<b>G_3:3</b>	G_2:2	G_3:3	<b>G_3:3</b>	G_2:2
20	G_2:2	<b>G_2:2</b>	G_1:1	G_3:3	<b>G_3:3</b>	G_2:2
21	G_3:3	<b>G_3:3</b>	G_2:2	G_2:2	<b>G_2:2</b>	G_1:1
22	G_1:1	<b>G_1:1</b>	G_2:2			
23	G_2:2	<b>G_2:2</b>	G_1:1			
24	G_2:2	<b>G_2:2</b>	G_1:1			
25	G_1:1	<b>G_1:1</b>	G_2:2			

### Etude de potabilité des groupes

La potabilité de l'eau est définie par des paramètres physiques et chimiques et biologiques, mais surtout en fonction de son usage. Nous avons fait référence aux valeurs maximales recommandées par le conseil des communautés européennes destinées pour la consommation humaine. Les trois groupes retenus par l'A.C.P et l'A.F.D montrent des qualités d'eau comme suite :

- Le groupe I offre des eaux à concentrations conformes aux normes de potabilité pour plus la de la moitié des éléments chimiques, exception faite pour quelques points dont le dépassement des normes pour quelques paramètres physico-chimiques ne peut influencer la bonne qualité de ce groupe.

- Le groupe II montre une qualité moyenne à passable du fait que plus de 70 % des captages enregistrent des concentrations ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$  et  $\text{Cl}^-$ ) dépassent les normes de potabilité.

- Le groupe III abrite les captages qui offrent la plus mauvaise qualité d'eau (des eaux non potables); en effet, la quasi-totalité des concentrations pour la majorité des paramètres physico-chimique n'est pas conforme aux normes fixées par le CEE.

### Conclusion sur l'application de l'A.F.D

L'application de l'analyse factorielle discriminante (A.F.D) a permis de faire un tri hiérarchie du niveau de dégradation de la qualité physico- chimique des eaux de la nappe alluviale du moyen Cheliff occidental. Cette hiérarchie est représentée par l'affectation des individus aux bons groupes à partir des groupes proposés par l'A.C.P.

Un pourcentage de 100 % de bonne affectation a été obtenu, et les trois groupes obtenus par le plan des individus de l'A.C.P sont retenus. La qualité de l'eau se dégrade du premier groupe (bonne qualité) et progressivement jusqu'au troisième (qualité médiocre à mauvaise).

### III.2.4 Cartes Multiparamétriques

L'approche géostatistique multiparamétrique permet d'estimer la qualité de l'eau qui est fonction de plusieurs paramètres (cations et anions) en tenant compte de l'auto corrélation entre les coordonnées des individus déterminées par l'AC.P.

Cette méthode consiste à cartographie les valeurs des coordonnées des individus sur l'axe d'ACP pris en considération, elle permet de dégager un fond régional des mesures, c'est-à-dire la tendance en grand de la zone d'étude (Goulard & al., 1987). Peu de travaux ont été effectués par cette méthode, on retient le travail de Webster (1977) qui a utilisé cette méthode pour exprimer la périodicité des propriétés physico-chimiques sur des sols à relief et celui de Voltz (1986) qui a aussi utilisé cette méthode pour les paramètres hydrodynamiques.

A partir des groupes ressortis par l'ACP et restaurés par l'AFD, on va tracer les deux cartes multiparamétriques correspondant aux périodes hautes et basses eaux de l'année 2004. Les valeurs des coordonnées seront considérées comme variables régionalisées dont on détermine la structure spatiale par l'étude du variogramme.

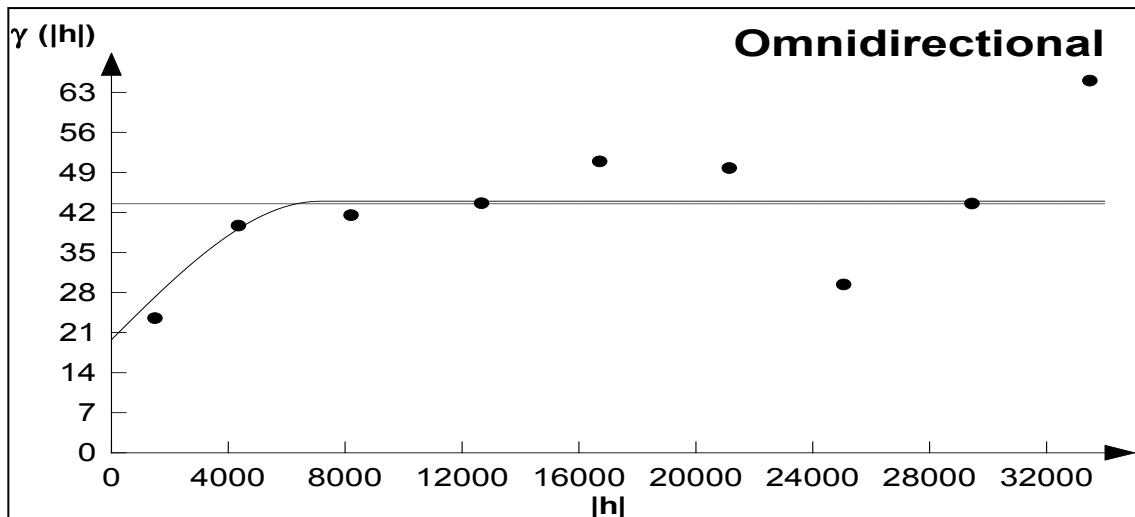
#### III.2.4.1. Les variogrammes

Les variogrammes établis pour les deux périodes s'ajustent à un modèle sphérique avec des valeurs élevées de l'effet de pépite qui s'approchent un peu de la moitié de la variance totale du moins pour le premier cas.

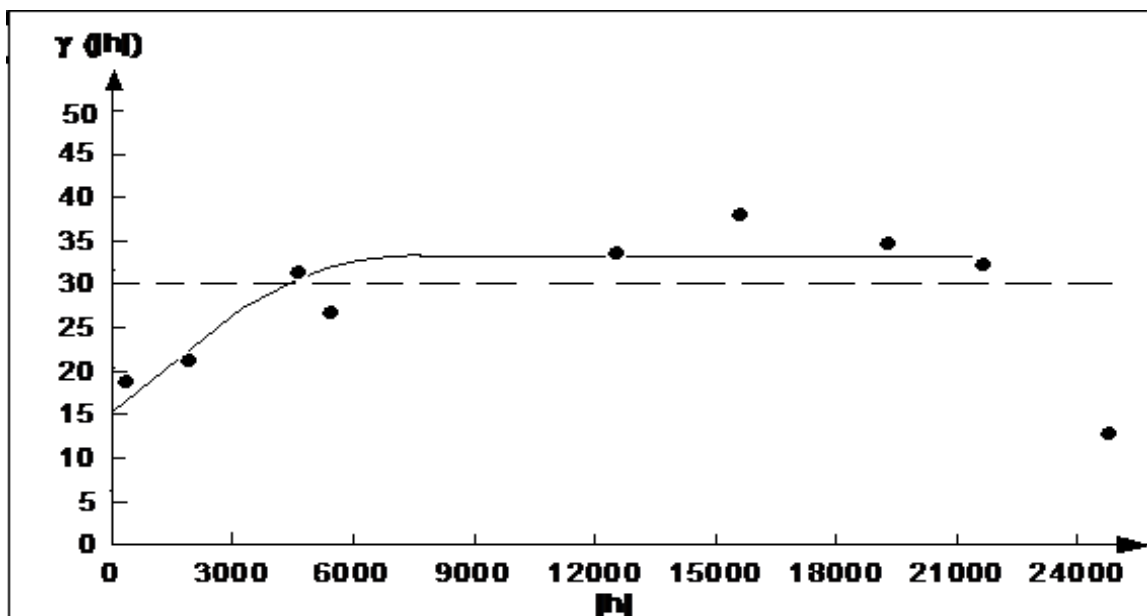
**Tabl. n°30:** Résultats des Variogrammes pour les deux campagnes de l'année 2004

Campagne	Modèle	Effet de pépite	Portée	Palier
Hautes Eaux	Sphérique	19.76	7173.73	43.99 m
Basses Eaux	Sphérique	15.89	6056.34	31.46 m





a : Hautes eaux



b : Basses eaux

Fig. n°15: Variogrammes de l'axe 1 des deux campagnes de l'année 2004

#### III.2.4.2. Tracé des cartes multiparamétriques

Les données utilisées pour le tracé des deux cartes multiparamétriques correspondant aux deux périodes étudiées sont les coordonnées géographiques des points d'eau des trois groupes obtenus et les coordonnées obtenues par la méthode d'A.F.D. Le logiciel ArcGis a permis d'établir les deux cartes présentées par les figures n°16a et n°16b.



- **Carte multiparamétrique des hautes eaux**

Le groupe 02 qui présente une qualité moyenne couvre presque toute la plaine. Les eaux du groupe 01 caractérisées par la bonne qualité sont localisées à l'Abiodh Medjadja au nord et à oued Sly, Boukadir et beaucoup plus en aval au sud ouest de la plaine.

L'alimentation de la nappe alluviale par la nappe calcaire en ces endroits semble favoriser des phénomènes de dilution et donc l'atténuation de la minéralisation des eaux de la nappe étudiée. Au contraire, les eaux du groupe 03 qualifiées de non potables se localisent au Nord Ouest de la nappe dans les communes de Sobha , Oueld Fares et une partie de Chettia .

Les apports d'eau venant des formations évaporitiques du Dahra pourraient être à l'origine de la forte minéralisation des eaux de ce groupe.

Cependant, le groupe 01(de faible minéralisation) présente des concentrations très élevées en nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) et en bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ). La zone concernée (Sud Ouest de la plaine) connaît une utilisation intensive d'engrais chimiques de type azoté en plus de l'influence de la décharge de Meknassa à Oued Sly.

De même, l'influence de la nappe calcaire au sud de la plaine dans l'augmentation des concentrations des bicarbonates pourrait être importante.

- **Carte multiparamétrique des basses eaux**

La tendance globale de la répartition des groupes de qualité présentée par cette carte (Fig. n°16b) est la même que celle de la figure n°16a. La zone du groupe 02 s'est trouvée rétrécie au profit du groupe 03. Les apports d'eau par infiltration sont faibles en cette période de l'année caractérisée par de fortes températures, le renouvellement des réserves souterraines est faible et donc les concentrations des éléments augmentent.

### **Conclusion**

Les méthodes multidimensionnelles (ACP et AFD) et la cartographie multiparamétrique ont permis de classer la qualité des eaux de la nappe alluviale du moyen Cheliff occidental en trois (03) groupes dont la potabilité par rapport à la minéralisation totale diminue progressivement du groupe 01 jusqu'au groupe 03. Au contraire, les nitrates et les bicarbonates varient dans le sens contraire pour la campagne des hautes eaux.

## *CHAPITRE IV*

# *LA POLLUTION DES EAUX DE LA NAPPE ALLUVIALE DU MOYEN CHELIFF OCCIDENTAL*

Dans ce chapitre, nous essaierons de répondre à la question suivante :

- Quels sont les types de pollution qui menacent les eaux de la nappe alluviale du MCO ?

La réponse ne sera pas simple vu la diversité des pratiques connues dans la zone et qui engendre une diversité de types de polluants pouvant atteindre la nappe étudiée. Le travail qui pourrait donc résumer le degré d'influence de ces polluants de différentes natures sur l'aptitude des terrains à les acheminer vers la nappe doit prendre en considération l'action simultanée de plusieurs facteurs. Ce travail est déjà réalisé dans la zone d'étude et une carte traduisant cette action est déjà établie ; c'est la carte de vulnérabilité de la nappe alluviale du moyen Cheliff occidental.

#### IV.1. Vulnérabilité de la nappe alluviale du MCO à la pollution

La carte de vulnérabilité du moyen Cheliff occidental (Fig. n°17) a été établie par la méthode DRASTIC. Elle montre bien que la grande partie de la nappe alluviale est caractérisée par une vulnérabilité moyenne, les zones les plus vulnérables se concentrent au nord ouest de la plaine (mais en dehors des limites de la zone) et aux alentours de la commune de Chlef et un peu au nord de la commune de Ouled Abbas. Les terrains les moins vulnérables se retrouvent en particulier à Boukadir et un peu en aval et au sud d'Oum Drou.

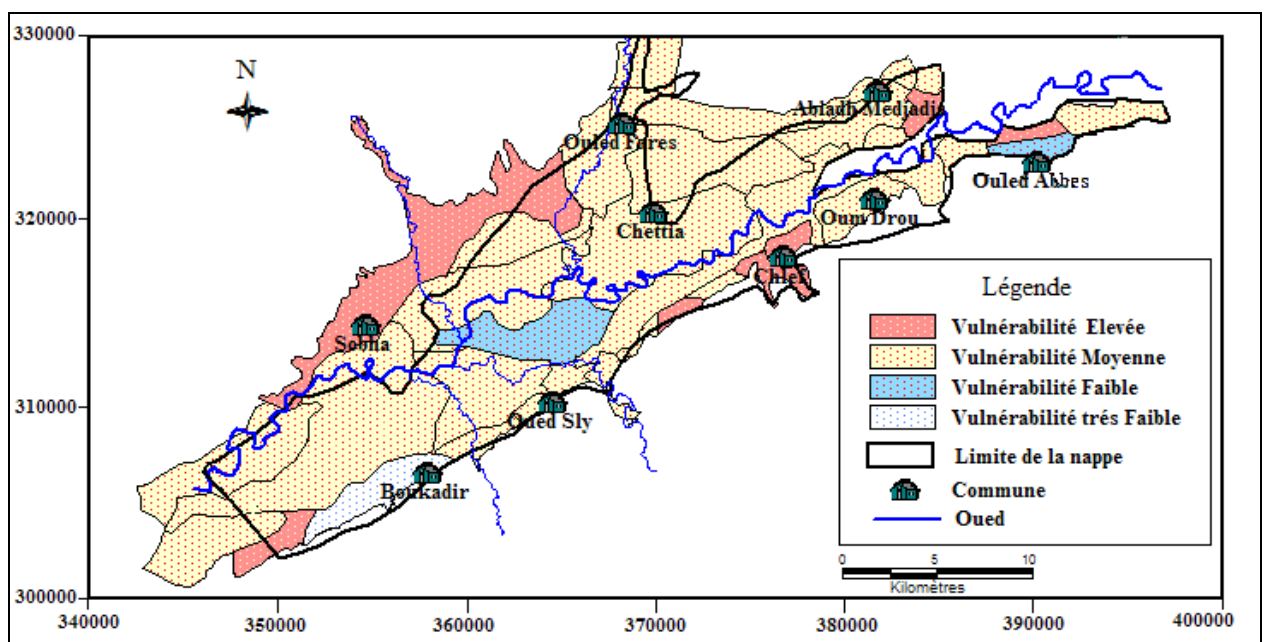


Fig. n°17: Carte de vulnérabilité du moyen Cheliff occidental (Source : ABH C-Z)

#### IV. 2. Sources de contamination des eaux de la nappe alluviale du MCO

Le lien étroit entre la pollution des eaux et le sol est évident, étant donné que les substances présentes dans le sol peuvent être entraînées plus ou moins rapidement vers les eaux souterraines avec les eaux de drainage, ou vers les eaux de ruissellement. Une partie importante des problèmes de contamination des ressources en eau potable provient d'une contamination préalable des sols.

Malgré la capacité importante du sol à atténuer les effets d'une éventuelle pollution, cette atténuation reste généralement partielle compte tenu des doses très élevées apportées aux sols. Donc la nature des sols et les activités humaines sur un territoire conditionnent et modifient la qualité de la ressource souterraine. La pollution de cette ressource peut donc être d'origine naturelle ou anthropique.

#### **IV. 2.1. Pollution d'origine naturelle**

Ce type de pollution se traduit par de fortes concentrations des éléments liés à la nature des terrains traversés. L'étude détaillée des paramètres chimiques des eaux de la nappe alluviale du moyen Cheliff occidental dont les concentrations sont importantes et dépassent les normes de potabilité ( $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$ , et  $SO_4^{2-}$ ) est détaillée dans le chapitre précédent.

#### **IV. 2.2. Pollution d'origine anthropique**

Les activités humaines peuvent causer l'émission de substances susceptibles de contaminer les sols et de s'infiltrer jusqu'aux eaux souterraines. On distingue deux principaux types de pollution anthropique :

- Pollution diffuse
- Pollution localisée

##### **IV. 2.2.1. Pollution diffuse**

Les pratiques agricoles constituent les principales sources de la pollution diffuse. Pour satisfaire les besoins alimentaires de la population qui connaît une croissance rapide, le programme national du développement agricole (FNRDA) fut lancé en 2000, apportant un développement dans les techniques d'irrigation, et une utilisation irrationnelle d'engrais minéraux de type azoté en particulier, en vue d'augmenter les rendements des cultures. A ceci, s'ajoute le développement qui a touché aussi l'élevage. Les conséquences de telles pratiques dans la zone d'étude sur la contamination des eaux souterraines en particulier par les nitrates sont à craindre.

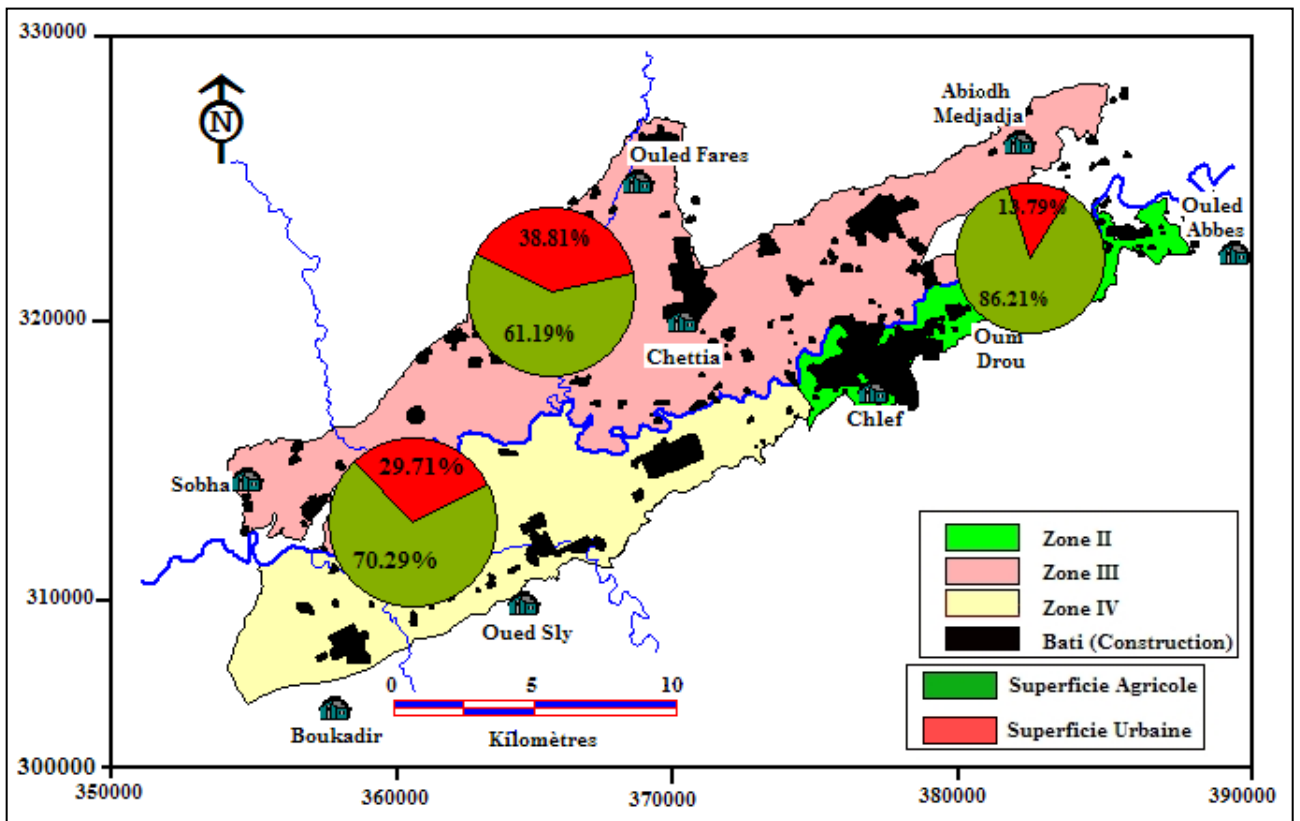
- **Apports d'azote par l'agriculture**

Le périmètre du moyen Cheliff occidental couvre une superficie de 27000 ha environ soumis à un découpage en trois zones établi par l'ONIDC (Ex : OPIC) comme le montre le tableau n°31 et la figure n°18. 18000 ha sont des terrains agricoles, mais seulement 9041 ha seulement sont cultivés. Cette superficie est partagée entre l'arboriculture qui prédomine (4741 ha), le maraîchage qui occupe une deuxième position (2700 ha), les céréales (1000 ha), les fourrages (200 ha) et enfin les jachères (400 ha). Ces cultures sont irriguées en majorité par les propres moyens du fellah (à partir des puits individuels) et à partir des barrages de Sidi Yacoub et d'Oued Fodda.

**Tabl. n°31:** Les zones agricoles du MCO (Source : DSA + ONIDC)

Zones (ONID)	Superficies (ha)						
	Géographique	Agricole	Cultures				Jachères
			Arboriculture	Maraîchage	Fourrages	Céréales	
Zone II	2668.00	2300.00	1266.00	618.00	30.00	100.00	10.00
Zone III	15312.00	9370.00	1560.00	1495.00	90.00	400.00	300.00
Zone IV	8565.00	6020.00	1915.00	587.00	80.00	500.00	90.00
Total (ha)	26545.00	17690.00	4741.00	2700.00	200.00	1000.00	400.00
			9041.00				

Au niveau de chaque zone est montrée l'importance des zones agricoles par rapport aux zones urbaines comme la montre la figure ci-dessous.



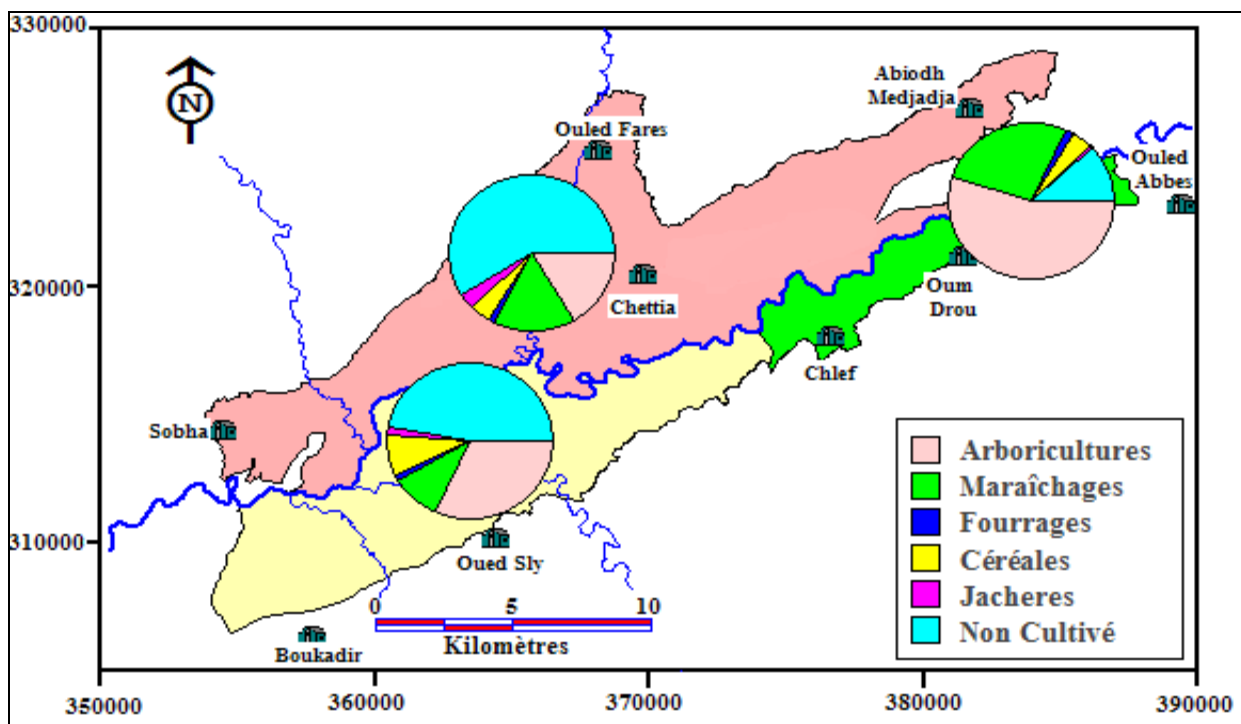
**Fig. n°18:** Répartition en zones agricoles de la vallée du moyen Cheliff occidental

Seules les superficies irriguées par l'ONIDC à partir des lâchers de barrage de Sidi yacoub et d'Oued Fodda pour chaque zone sont recensées et reportées dans le tableau n°32 et la figure n°19

**Tabl. n°32:** Répartition des superficies irriguées par l'ONIDC pour les trois années d'étude (2002, 2003 et 2004 d'après l'ONIDC)

Superficies (ha) irriguées par l'ONIDC pour l'année 2002						
Zones	Souscrites	Irriguées	Arboriculture	Maraîchage	Fourrages	Céréales
Zone II	3168	530.35	515.95	14.4	0.00	0.00
Zone III		598.70	589.05	9.65	0.00	0.00
Zone IV		974.70	778.60	166.1	30.00	0.00
<b>Total</b>	<b>3168</b>	<b>2103.75</b>	<b>1883.60</b>	<b>190.15</b>	<b>30.00</b>	<b>0.00</b>
Superficies (ha) irriguées par l'ONIDC pour l'année 2003						
Zone II	4359,69	581.92	463.17	117.5	1.25	0.00
Zone III		1111.33	10.85	1100.23	0.25	0.00
Zone IV		1592.00	1104.2	476.65	11.15	0.00
<b>Total</b>	<b>4359,69</b>	<b>3285.25</b>	<b>1578.22</b>	<b>1694.38</b>	<b>12.65</b>	<b>0.00</b>
Superficies (ha) irriguées par l'ONIDC pour l'année 2004						
Zone II	3258,51	429.25	382.40	46.85	0.00	0.00
Zone III		963.60	950.00	13.60	0.00	0.00
Zone IV		1355.25	1124.10	225.70	5.45	0.00
<b>Total</b>	<b>3258,51</b>	<b>2748.10</b>	<b>2456.50</b>	<b>286.15</b>	<b>5.45</b>	<b>0.00</b>

**NB:** Le reste de la superficie est irrigué par les propres moyens du Fellah



**Fig. n°19 :** Répartition des cultures dans les zones du périmètre du MCO pour l'année 2004

La fumure appliquée est basée essentiellement sur l'utilisation d'engrais minéraux riches en azote. Une enquête sur terrain auprès des agriculteurs nous a permis de recenser les engrais les plus utilisés dans la zone d'étude et qui sont : le NPK 15.15.15, l'urée 46 %, et le sulfate d'ammonium 21%.



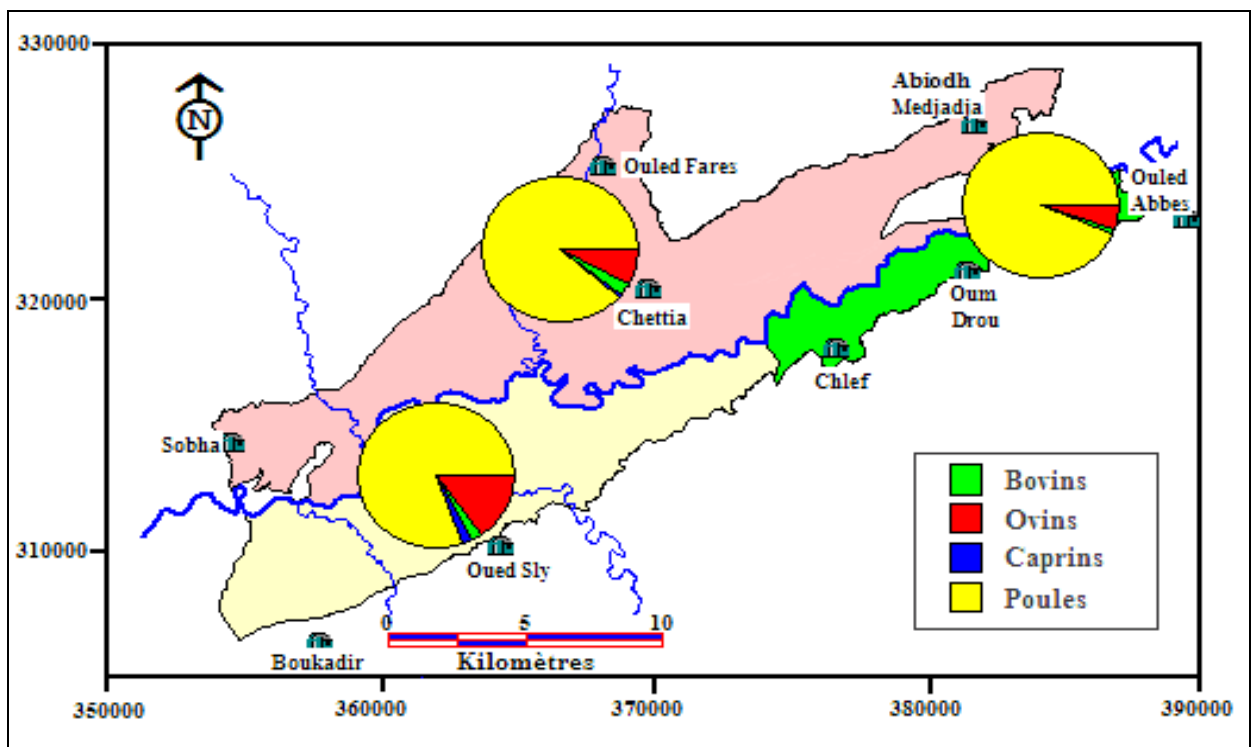
Les quantités d’engrais réellement épandues sont récoltées auprès des agriculteurs et des fournisseurs d’engrais (de l’INPV), les quantités d’azote apportées au sol et qui peuvent se transformer facilement en nitrates, sont déduites par simple calcul à partir des doses épandues ; les résultats obtenus sont reportés dans le tableau n°33.

**Tabl. n°33:** Estimation des quantités d’azote minéral apportées au sol à partir d’engrais

Zones		Superficies des cultures (ha)			Quantités totales d'azote
		Arboriculture	Maraîchage	Céréales	
Zone II		1266.00	618.00	100.00	521.08
Zone III		1560.00	1495.00	400.00	963.83
Zone IV		1915.00	587.00	500.00	651.73
Taux et Type d'engrais utilisé (qx/ha/ an))	NPK 15/15/15	5.00	10.00		
	Urée 46 %	0.00	6.00		
	Sulfate d'ammonium 21%	6.00	0.00		
		<b>Total</b>			<b>2136.64</b>

• **Apports d’azote par l’élevage**

L’élevage dans la zone d’étude est une pratique réservée généralement aux privés. Les avicultures dominant (voir la figure n°20).



**Fig. n°20:** Répartition de l’élevage dans le périmètre du MCO (année 2004)

La pratique d’élevage produit d’importantes quantités de déchets solides et liquides très riches en azote organique ; ces derniers sont infiltrés directement dans le sol alors que les déchets solides sont anarchiquement abandonnés dans la nature ou utilisés comme engrais.

L'estimation des quantités d'azote organique produit par l'élevage pour les années d'étude (2002, 2003 et 2004) est déduite des normes COPREN 1988, 1999 et 2001 (Circulaire PMPOA N° 5010 du 15 mai 2003) présentées dans le Tableau n°44 de l'annexe 3). Les résultats obtenus sont regroupés dans le Tableau n°34.

**Tabl. n°34:** Estimation des quantités d'azote organique produit par l'élevage

Zones	Quantités d'Azote (T/an)				
	Bovins	Ovins	Caprins	Poules	Total
<b>année 2002</b>					
Zone II	49.44	48.19	3.46	26.09	127.17
Zone III	134.29	47.48	3.72	14.60	200.09
Zone IV	31.80	29.92	3.42	9.23	74.38
<b>Total</b>	<b>215.52</b>	<b>125.59</b>	<b>10.60</b>	<b>49.93</b>	<b>401.64</b>
<b>année 2003</b>					
Zone II	52.35	45.85	3.36	25.80	127.36
Zone III	149.18	71.91	4.61	18.73	244.43
Zone IV	35.16	40.24	1.61	10.04	87.05
<b>Total</b>	<b>236.69</b>	<b>158.00</b>	<b>9.58</b>	<b>54.57</b>	<b>458.84</b>
<b>année 2004</b>					
Zone II	51.68	40.85	3.35	39.98	135.86
Zone III	146.76	56.20	5.71	34.68	243.35
Zone IV	34.20	28.61	3.82	8.52	75.16
<b>Total</b>	<b>232.63</b>	<b>125.66</b>	<b>12.88</b>	<b>83.19</b>	<b>454.36</b>

#### IV. 2.2.2. Pollution localisée

Elle peut être d'origine :

- Domestique et urbaine
- Industrielle

- **Pollution domestique et urbaine**

La région d'étude compte approximativement 42 agglomérations de plus de mille habitants, dont la quasi – totalité possède un réseau d'assainissement de type unitaire où chaque habitant utilise en moyenne 150 litres d'eau par jour pour les rejeter après dans ces réseaux. Les eaux usées domestiques regroupent les eaux “ ménagères “ qui représentent les deux tiers du total des eaux usées domestiques contenant notamment des graisses , des savons , des détergents , des matières en suspension et des matières dissoutes organiques ou minérales.

Le contenu polluant peut être estimé pour une personne utilisant en moyenne 150 à 200 l/j d'eau à ((<http://www.eau-poitou-charentes.org/2-eau-et-usages-25-48.html>):

- 60 à 90 g matières en suspension.
- 50 à 70 g matières organiques.
- 10 à 20 g de matières azotées.

La totalité des eaux domestiques de la plaine du MCO raccordées au réseau d'assainissement sont rejetées dans l'oued Cheliff et ses affluents sans aucune épuration. Celles qui ne sont pas raccordées au réseau d'assainissement sont rejetées dans des fosses sceptiques individuelles ou collectives sans épuration toujours.

Ces eaux polluent le sol et peuvent rejoindre les eaux de la nappe alluviale, surtout lors des fortes pluies en période de hautes eaux (Novembre à Avril) après une longue période sèche et chaude qui dure du mois de Mai jusqu'au mois d'Octobre ; ceci peut provoquer un pic de pollution particulièrement nocif dû à la lixiviation des polluants aux alentours de ces fosses sceptiques.

L'estimation de l'azote organique produit par les eaux usées domestiques est basée sur le volume d'eaux usées domestiques des populations non raccordées au réseau d'assainissement (volume des eaux rejetées dans les fosses) sachant que le taux moyen de non raccordement est de 21%.

**Tabl. n°35:** Estimation de l'azote organique produit par les eaux usées domestique dans la région

Zones	Quantités d'eau domestique rejetée dans les fosses sceptiques (m <sup>3</sup> /j)			Quantités d'azote organique produit par les eaux domestiques (T/an)		
	2002	2003	2004	2002	2003	2004
Zone II	1061.59	667.27	440.42	29.06	18.27	12.06
Zone III	455.66	352.27	246.02	12.47	9.64	6.73
Zone IV	417.58	418.18	228.24	11.43	11.45	6.25
<b>Total</b>	<b>1934.83</b>	<b>1437.72</b>	<b>914.68</b>	<b>52.97</b>	<b>39.36</b>	<b>25.04</b>

**NB :** Exemple de calcul : Zone II année 2004 :

$$440.42 \text{ (m}^3\text{/j)} \times (0.015/200 \times 100) \text{ T/m}^3 \times 365 \text{ j} = 12.06 \text{ T/an}$$

Les eaux usées urbaines rejetées par les installations collectives telles que les hôpitaux, les écoles, les commerces, les hôtels et restaurants sont aussi acheminées vers des points de rejet sans aucune épuration au préalable et finissent par rejoindre la nappe par infiltration lorsque les conditions sont favorables.

Une autre source de pollution urbaine ne peut être ignorée, c'est celle liée aux décharges d'ordures ménagères. En général, les lixiviats des décharges se composent essentiellement de matière organique, de matières en suspension, d'azote (ammoniacque qui pourrait se transformer en nitrates), de métaux lourds, de traces d'hydrocarbures et de divers sels.

Au niveau de la zone d'étude et du point de vue historique, le service d'hygiène de l'Assemblée Populaire Communale (A.P.C.) de Chlef, déclare, en 2004, la fermeture de la décharge sauvage de « Hay Chegga », qui existait bien avant les années 50. En effet, après le séisme d'octobre 1980 et après éparpillement des habitants du chef-lieu de la wilaya, cette dernière a été exploitée conjointement par les communes limitrophes à savoir celle de Chettia, d'Oum Drou, de Chlef et d'Abiodh Medjadja.

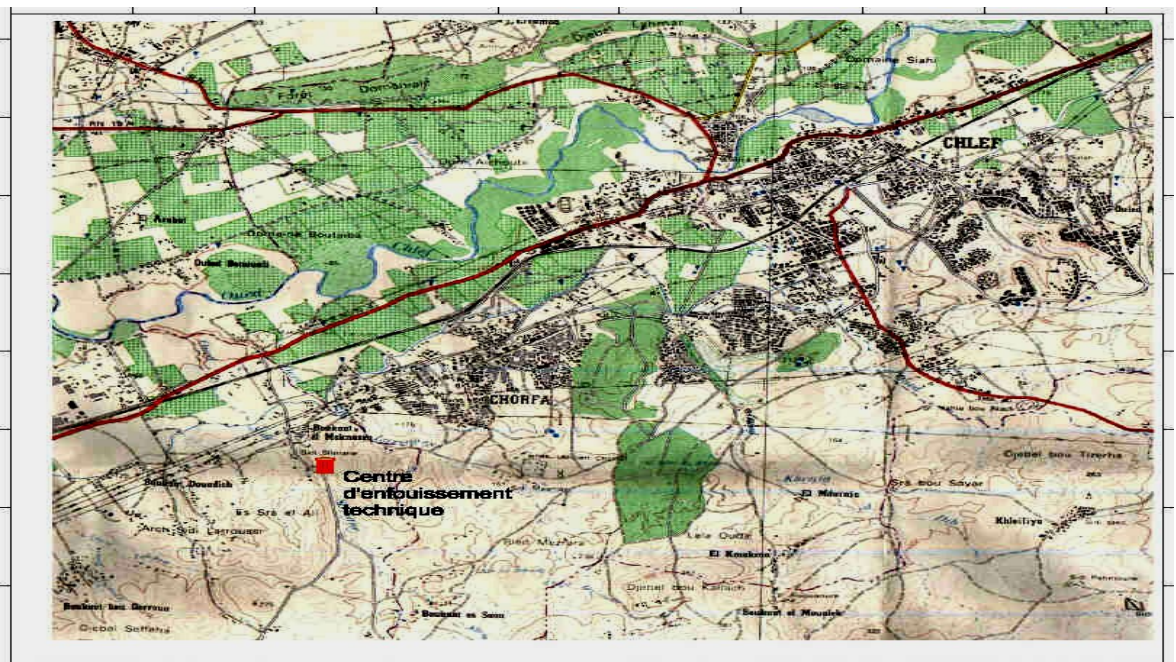
Pendant la même année, il déclare l'ouverture de la décharge, appelée Centre d'Enfouissement Technique (CET) de « Meknassa », destinée en particulier pour les déchets solides urbains de la ville de Chlef.

Géographiquement, la décharge de la commune de Chlef « Meknassa » se situe à huit (08) kilomètres au sud-ouest du chef-lieu de la wilaya de Chlef, sur une plate forme appartenant à la commune d'Oued-Sly (Fig. n°21). Elle est limitée :

- A l'ouest, par la route communale Sidi Laroussi-Sidi Slimane,
- Au nord, par Bocca de Meknassa,
- A l'est et au sud, par des terrains et biens domaniaux.

Une étude expérimentale a été menée au sein de la décharge dans la cadre de préparation de mémoire de Magister au niveau du département de Génie des Procédés par Tahraoui Douma (2006) dont le but est d'analyser le lixiviat produit par percolation dans les déchets de la décharge par détermination de ses caractéristiques physiques et chimiques. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau n° 43 de l'annexe 3.

La présence de l'azote, sous ses différentes formes polluantes ( $\text{NH}_4^+$  et  $\text{NO}_3^-$ ) a été mise en évidence dans le lixiviat. Leurs teneurs respectives moyennes sont 9,5 mg/l et 317,5 mg/l, sont des indices révélateurs de leur forte mobilité pour être entraînés vers les nappes, car elles dépassent de loin les concentrations maximales admissibles (CMA) de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) ou des directives du comité européen (CEE).



**Fig. n°21:** Carte géographique localisant le Centre d'Enfouissement Technique de Meknassa (Echelle: 1/75000) (Source : DHW de Chlef, 2005)

La présence de la forme ionisée de l'azote ( $\text{NH}_4^+$ ) se traduit habituellement par le processus de dégradation incomplète de la matière organique. En général, l'ammoniaque se transforme assez rapidement en nitrates par oxydation ; la mise en évidence de teneurs importantes en azote ammoniacal, dans le lixiviat, implique généralement une contamination récente par les matières organiques en décomposition.

Toute forme d'azote (azote organique, ammoniacque, nitrites, etc.) sont susceptibles d'être à l'origine des nitrates par un processus d'oxydation biologique.

Enfin, la valeur très élevée de  $\text{DBO}_5$  obtenue (2285 mg/l) reflète la quantité importante de matières organiques contenues dans les déchets solides. De même pour les éléments chimiques tels que le calcium, le magnésium, les sulfates et les bicarbonates caractérisés par de fortes concentrations.

Si nous considérons que les caractéristiques du lixiviat de cette décharge sont typiques à celles de toute autre décharge, nous pourrions, dès lors imaginer les effets négatifs de la décharge d'Ech chegga sur la qualité des eaux souterraines de la zone d'étude.

#### • Pollution Industrielle

Les zones industrielles les plus importantes dans la zone d'étude sont (Fig. n°22):

- La zone d'Ouled Mohamed dans la commune de Chlef ;
- La zone de Chettia au Nord de la commune de Chlef à 13 Km, sur la RN n°19;
- La zone d'Oued Sly à l'Ouest de la commune de Chlef à 7 Km sur la Rn°04.

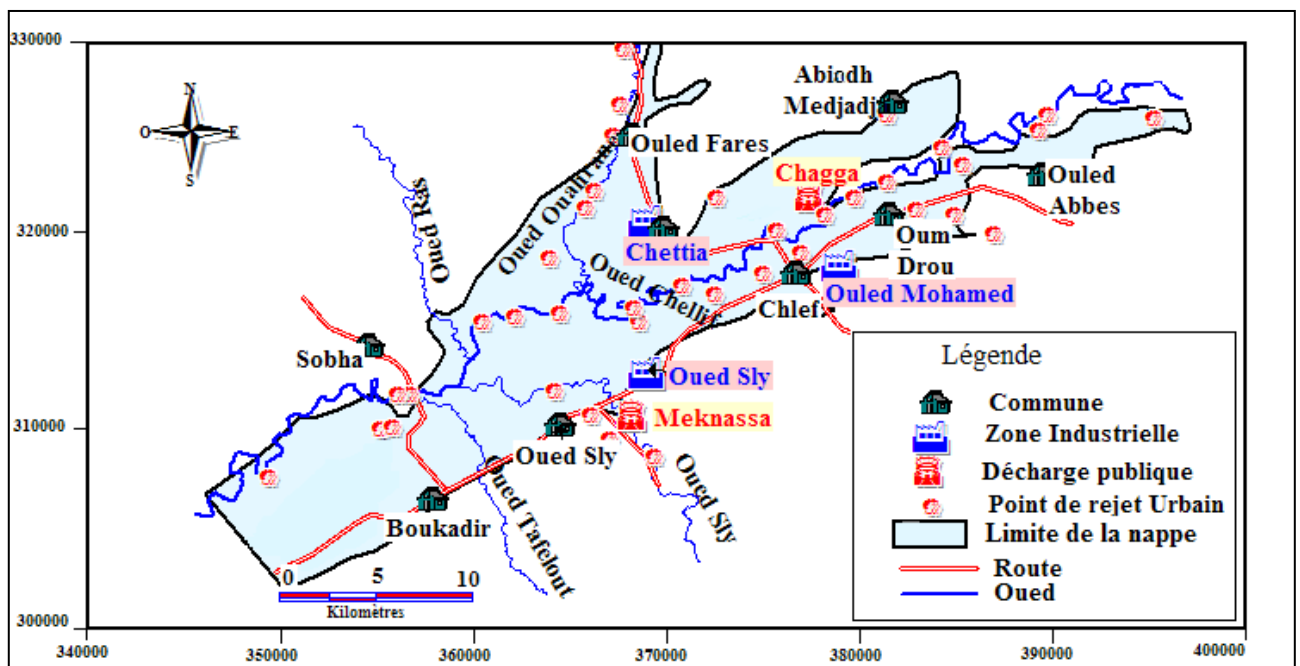


Fig. n°22: Carte des sources de pollution de la nappe alluviale du moyen Cheliff occidental

Ces zones qui regroupent différentes unités industrielles rejettent, en plus de la petite industrie (pompes à essence, stations de lavage et abattoirs) ses eaux usées directement dans les oueds suivants :

- Oued Sly pour les zones d'Oued Sly ;
- Oued Ouahran pour Chettia ;
- Oued Cheliff pour la zone d'Ouled Mohamed.

Les eaux industrielles usées sont très polluées et chargées par tartrifuges organiques, les sulfates, les métaux, les résidus de ciment, la matière plastique, l'huile brûlée, gaz .etc.). Ces polluants peuvent rejoindre la nappe par les oueds ou à travers les sols.

#### • Bilan d'azote global dans la zone d'étude

Les quantités totales d'azote produit par les épandages d'engrais minéraux, l'élevage et les eaux usées domestiques pendant les années étudiées sont récapitulées dans le tableau n°36. Seuls les résultats de l'année 2004 sont illustrés graphiquement par la figure n°23.

**Tabl. n°36:** Quantités globales d'azote produit dans la plaine du moyen Cheliff occidental

Zone	Quantités d'azote pour l'année 2002 (T/an)				Quantités d'azote pour l'année 2003 (T/an)				Quantités d'azote pour l'année 2004 (T/an)			
	Engrais	Cheptel	Urbain	Total zone	Engrais	Cheptel	Urbain	Total zone	Engrais	Cheptel	Urbain	Total zone
<b>Zone II</b>	521.08	127.17	29.06	677.31	521.08	127.36	18.27	666.71	521.08	135.85	12.06	668.99
<b>Zone III</b>	963.83	200.09	12.47	1176.39	963.83	244.43	9.64	1217.90	963.83	143.35	6.73	1213.91
<b>Zone IV</b>	651.73	74.38	11.43	737.54	651.73	87.05	11.45	750.23	651.73	75.16	6.25	733.14
<b>Total périmètre</b>	2136.64	401.64	52.96	2591.24	2136.64	458.84	39.36	2634.84	2136.64	354.36	25.04	2616.04

Les apports d'azote sur les sols du périmètre du moyen Cheliff occidental à partir d'engrais minéraux sont estimés en supposant un taux d'absorption par les plantes de l'ordre de 30% ( $2136.64 - 2136.64 \times 0.3 = 1495.64$  T/an). Ces apports prédominent pour toutes les années d'étude, ceux issus de l'élevage occupent une seconde position quelque soit l'année aussi. Au contraire, la quantité d'azote provenant des eaux usées domestiques semble très faible en comparaison. La grande part de ces apports touche la zone III en particulier, ce qui explique les teneuses élevées des nitrates observées dans les captages situés justement dans cette zone.

Ces apports d'azote seraient certainement majorés si on prenait en considération la part produite par les décharges et les industries.

Les quantités de nitrates issues de ces apports peuvent être estimées en multipliant les quantités d'azote par le facteur 4,43.

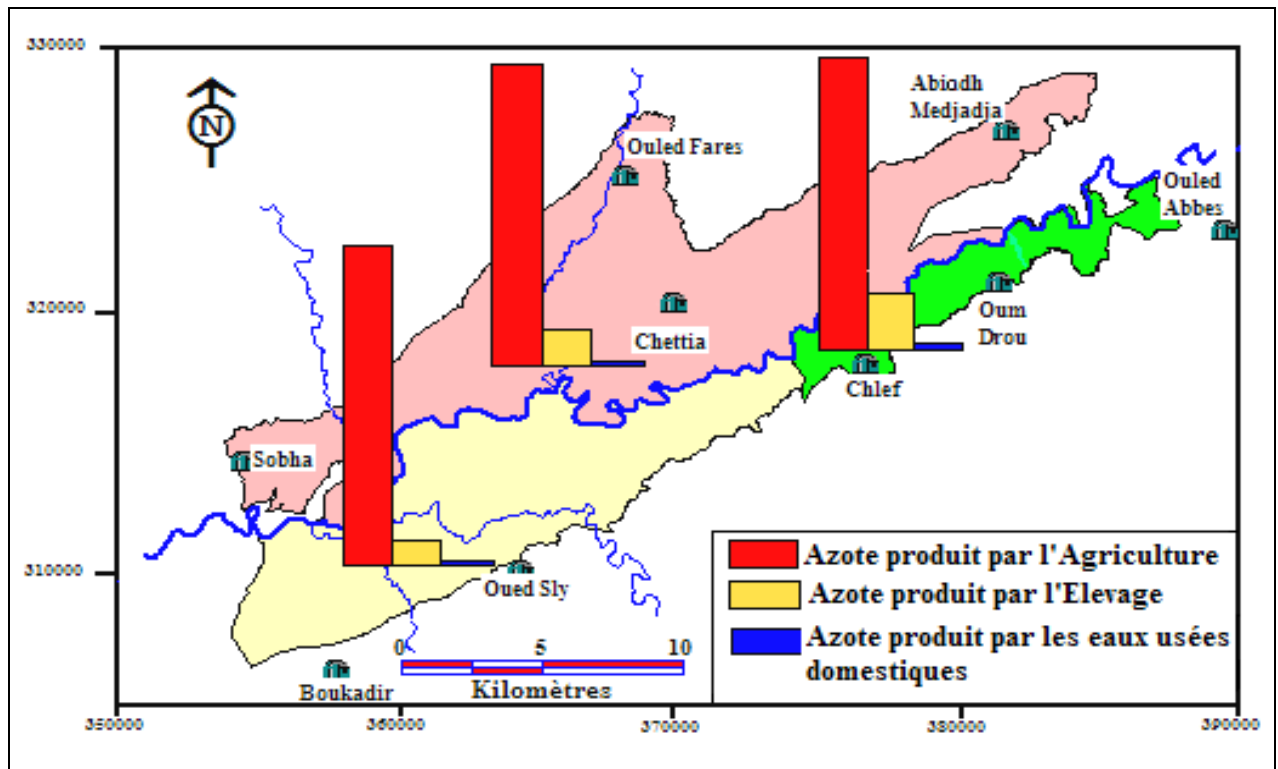


Fig. n°23: Répartition spatiale des apports d'azote sur les sols du périmètre du MCO (année 2004)

## Conclusion

La nappe alluviale du moyen Cheliff occidental se trouve exposée à diverses sources de pollution liées principalement à l'agriculture (la zone est à vocation agricole), à l'élevage et aux pratiques urbaines (rejets domestiques, rejets industriels et décharges d'ordures).

Les résultats issus de l'application des statistiques multidimensionnelles ont bien montré que seuls les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) constituaient la variable d'origine anthropique qui pourrait engendrer réellement la contamination des eaux de la nappe. C'est pourquoi nous avons porté un intérêt particulier quantitativement et spatialement à l'évaluation de la pollution nitratée dans la zone d'étude.

L'incrimination de l'agriculture dans la contamination de la nappe par les nitrates est désormais mise en évidence.

## *CHAPITRE V*

# *LES MOYENS DE GESTION QUALITATIVE DES EAUX DE LA NAPPE ALLUVIALE DU MOYEN CHELIFF OCCIDENTAL*



## V.1 – Introduction

L'eau douce est à considérer dans une optique globale, une exploitation durable des ressources en eau douce à l'échelle mondiale nécessite une gestion de l'ensemble de ces ressources et la reconnaissance de l'interdépendance des éléments qui la composent et leur influence sur la qualité de leurs eaux.

La gestion des eaux consiste à assurer la meilleure adéquation possible entre ressources disponibles et demandes en eau. Pour cela il faut mesurer, partager et contrôler.

La mesure (débit, consommation, qualité) doit être la première préoccupation du gestionnaire ;

Le partage doit être contractualisé entre gestionnaire et usagers ;

Le contrôle consiste à vérifier par la mesure que le partage contractuel est respecté.

## V.2. Classification qualitative des eaux souterraines de la nappe alluviale du MCO

Nous avons utilisé le système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines (SEQ) adopté par l'Agence de l'Eau en France (version 0.1, Août 2003). C'est un outil qui permet d'évaluer le plus simplement possible, mais de manière rigoureuse, ce concept complexe de qualité d'une eau.

La qualité de l'eau est définie par rapport à un certain nombre d'usages dont deux seulement intéressent directement la nappe étudiée ; il s'agit :

- de la production d'eau potable dont la qualité a été déjà cartographiée pour les deux périodes de l'année d'étude, basée sur les normes de CEE.

- de la production d'eau pour l'irrigation.

### V.2.1. Production d'eau pour l'irrigation

Les facteurs déterminants pour classer l'aptitude de l'eau à l'irrigation (SEQ-Eaux Souterraines) sont :

- La texture du sol ;

- La culture irriguée ;

- La fréquence et la durée de l'irrigation.

Aussi sont fixées quatre classes de qualité :

- Qualité 1 : eau permettant l'irrigation des plantes très sensibles ;

- Qualité 2 : eau permettant l'irrigation des plantes sensibles ;

- Qualité 3 : eau permettant l'irrigation des plantes très tolérantes ;

- Qualité 4 : eau inapte à l'irrigation.

Les normes caractérisant ces classes de qualité sont présentées dans tableau n° 46 de l'annexe 3 et l'affectation qualitative des points d'eau présentée dans le tableau n° 37 est basée principalement sur le SAR.

**Tabl. n° 37:** Classification des captages basée sur les valeurs du SAR

Campagne de hautes eaux				Campagne de basses eaux			
Point d'eau	R.S	CI	SAR	Point d'eau	R.S	CI	SAR
W 82-40	2	1	1	W82 - 13	2	3	1
W 82-82	2	3	1	W82 - 82	2	3	1
W 82-84	2	2	1	W82 - 84	2	2	1
W 105-8	3	2	1	W105 - 8	2	2	1
W 105-102	2	2	1	W105 - 102	2	2	1
W105-1186	3	/	1	W105 - 453	2	2	1
W106 -35	3	3	1	W82 - 4	3	2	1
W82-4	3	2	1	W82 - 10	3	3	1
W82-10	3	3	1	W82 - 52	3	/	1
W82-125	3	3	1	W82 - 27	3	/	1
W82-127	3	/	1	W105 - 65	3	/	1
W105-84	4	/	1	W105 - 84	3	/	1
W105-91	3	/	1	W105- 91	3	/	1
W105-368	3	3	1	W105- 233	4	/	1
W105-577	4	/	1	W105 - 368	3	3	1
W106-Mosquée	3	3	1	W105 - 1186	3	/	1
W106-2	3	3	1	W 81 - 49	4	/	1
W81/49	/	/	1	W105 - 136	/	/	1
W82-72	/	/	1	W105 - 574	4	/	1
W105 - 33	/	/	1	W105 - 580	4	/	1
W105-136	/	/	1	W105 - 1033	4	/	1
W105-317	/	/	2				
W105-365	/	/	1				
W105-574	/	/	1				
W105-580	/	/	1				

La classification des captages selon les groupes de qualité dans les deux cas d'usage permet de définir la bonne destination des eaux de ces captages (tableau n° 38) avec quelques observations.

**Tabl. n° 38:** L'usage des eaux des captages étudiés selon l'utilisation agricole

N° de point d'eau	Qualité
W 81 - 49	Qualité acceptable pour l'irrigation des plantes très tolérantes
W 82 - 04	Qualité acceptable à l'irrigation des plantes très tolérantes
W 82 -10	Qualité acceptable pour l'irrigation des plantes très tolérantes
W 82 - 13	Qualité acceptable pour l'irrigation des plantes très sensibles
W 82 - 40	Qualité bonne pour l'irrigation des plantes très sensibles
W 82 - 52	Qualité acceptable pour l'irrigation des plantes très tolérantes
W 82 -72	Qualité acceptable pour l'irrigation des plantes très tolérantes
W 82 - 82	Qualité acceptable pour l'irrigation des plantes très sensibles
W 82 - 84	Qualité acceptable pour l'irrigation des plantes très sensibles
W 82 - 125	Qualité acceptable pour l'irrigation des plantes très tolérantes
W 82 - 127	Qualité acceptable pour l'irrigation des plantes très tolérantes
W 105 - 08	Qualité acceptable pour l'irrigation des plantes sensibles
W 105 - 65	Qualité acceptable pour l'irrigation des plantes très tolérantes
W 105 - 84	Qualité acceptable pour l'irrigation des plantes très tolérantes
W 105 - 91	Qualité acceptable pour l'irrigation des plantes très tolérantes
W 105 -102	Qualité acceptable pour l'irrigation des plantes sensibles
W 105 - 136	Qualité acceptable pour l'irrigation des plantes très tolérantes
W 105 - 233	Qualité acceptable pour l'irrigation des plantes très tolérantes
W 105 - 317	Qualité peu acceptable pour l'irrigation des plantes très sensibles
W 105 - 365	Qualité acceptable pour l'irrigation des plantes très tolérantes
W 105 - 368	Qualité acceptable pour l'irrigation des plantes très tolérantes
W 105 - 453	Qualité acceptable pour l'irrigation des plantes très sensibles
W 105- 574	Qualité acceptable pour l'irrigation des plantes très tolérantes
W 105 -577	Qualité acceptable pour l'irrigation des plantes très tolérantes
W 105 -58	Qualité acceptable pour l'irrigation des plantes très tolérantes
W 105 -1033	Qualité acceptable pour l'irrigation des plantes très tolérantes
W 105 -186	Qualité acceptable pour l'irrigation des plantes très tolérantes
W 106 – Mosquée	Qualité acceptable pour l'irrigation des plantes très tolérantes
W 106 - 02	Qualité acceptable pour l'irrigation des plantes très tolérantes
W 106 - 35	Qualité acceptable pour l'irrigation des plantes très sensibles

### V.3. Les grandes orientations pour le bassin du moyen Cheliff occidental

#### - **Préserver ou restaurer la qualité générale de l'ensemble de la nappe**

Le principe posé par la loi est de poursuivre un objectif général de préservation et de restauration dont la conséquence est la satisfaction des différents usages et, au premier chef, l'alimentation en eau potable qui est le plus contraignant. L'objectif général de qualité des nappes est de tendre vers la qualité requise par les normes sur les eaux destinées à la production d'eau potable. Dans la pratique, les problèmes qualitatifs rencontrés sur l'eau brute sont souvent atténués, au stade de l'eau distribuée, par mélange d'eaux de provenances et de qualités différentes. Cette démarche repose sur l'existence et la préservation de ressources d'excellente qualité permettant de "diluer" les problèmes et n'est tenable à long terme que si des secteurs importants sont préservés. Cette pratique de dilution ne peut en aucun cas constituer un objectif. De plus, si les techniques de traitement modernes sont à la portée des grandes unités de distribution urbaines, elles sont d'un coût prohibitif et d'un entretien délicat pour les communes rurales. Il est donc fondamental de préserver la qualité de l'ensemble de la ressource.

Enfin La mise en œuvre d'une politique ambitieuse de préservation et de restauration de la qualité, permettra seule de résoudre à long terme les problèmes actuels de quantité et de qualité de la ressource.

#### - **Améliorer la qualité**

L'objectif général est d'atteindre ou de maintenir une qualité de l'eau brute permettant d'assurer, sans traitement poussé, une distribution, en tout temps, d'une eau conforme à la réglementation.

Mais pour améliorer efficacement la qualité des eaux souterraines, il faut agir prioritairement sur certains éléments ou paramètres qui sont les causes principales de dégradation de la qualité des eaux souterraines : pollution diffuse et localisée.

#### - **Améliorer les connaissances pour mieux gérer la ressource en eau**

Une gestion optimale nécessite une bonne connaissance du milieu et des usages. Le constat de son état et de son évolution ainsi que la connaissance de son fonctionnement dans toutes ses composantes spatiales, temporelles et interdisciplinaires doivent être améliorés.

Les connaissances actuelles doivent être particulièrement entreprises dans deux domaines :

##### *1) – Le développement de la connaissance :*

- par la mise au point d'outils d'appréciation de la qualité globale des cours d'eau et des milieux aquatiques en général. Ils doivent notamment permettre de relier les effets observés ou pressentis aux causes probables afin de préparer l'action,
- sur la pollution localisée,
- sur les pollutions diffuses d'origine agricole.

## 2) – L'acquisition de données sur :

- l'ensemble des compartiments des écosystèmes aquatiques,
- la pollution,
- l'évolution qualitative et quantitative des eaux souterraines.

### - Mener à terme et conforter les procédures de protection des captages

Il est primordial d'assurer les périmètres de protection autour des captages pour faire face aux différents types de pollutions. Ils ont un effet plus limité sur les pollutions chimiques chroniques mais la constitution, sur la zone d'alimentation d'un captage, d'une superficie protégée dépourvue de source flagrante de pollution est cependant de nature à améliorer la qualité des eaux.

La délimitation de périmètres de protection bien raisonnés est fondée sur un inventaire complet des risques de pollution.

### - Prévenir les pollutions accidentelles

A l'exception des cas les plus spectaculaires, les pollutions accidentelles affectant les eaux souterraines ne sont généralement connues que lorsqu'un captage est atteint ou directement menacé. Il est rappelé que le non conformité des installations à la réglementation en vigueur est la cause la plus fréquente des pollutions accidentelles.

### - Préserver l'avenir

C'est aussi dans l'esprit du principe de prévention que, compte tenu de l'augmentation prévisible de la population et des consommations d'eau ainsi que d'une certaine dégradation des ressources actuellement utilisées, il est nécessaire de se préoccuper dès aujourd'hui de la satisfaction des besoins futurs. Pour cette raison, les collectivités sont invitées à évaluer, si ce n'est déjà fait, leurs besoins en eau à long terme, à les comparer aux ressources dont elles disposent actuellement et à définir éventuellement les zones nécessaires à l'implantation et à la protection des futurs captages.

Cette démarche est particulièrement indispensable pour les collectivités qui s'alimentent à partir de ressources situées en plaine alluviale, compte tenu de l'occupation des sols de plus en plus contraignante dans ces secteurs.

## V.4. Les moyens de gestion qualitative des eaux de la nappe alluviale du MCO

### V.4.1 Réduction des sources de pollution localisée

Identifier et localiser les zones sensibles aux pollutions dont les couches sont susceptible de retenir une nappe, aussi de déterminer leurs caractéristiques hydrogéologiques (porosité, perméabilité . . . etc.) et de délimiter l'aire d'extension du cône d'influence (zone d'action) pour chaque forage, pour définir les limites de protection et de prendre les mesures nécessaires, dont on note quelques unes:

## a) Contrôle de l'assainissement urbain

Il est important de sensibiliser les responsables des différentes localités de mettre fin aux rejets des eaux usées sans aucune épuration préalable, et heureusement au niveau du chef lieu de la wilaya, la direction de l'Hydraulique a lancé dernièrement un projet de construction d'une station d'épuration qui pourrait atténuer la pollution au niveau de l'Oued Cheliff et l'environnement en général.

## b) Contrôle du milieu industriel

Il est conseillé pour chaque unité industrielle de posséder une petite station d'épuration, en particulier celles reconnues comme plus polluantes: ECDE, ENPC, ENAJUC et NOVER. Par ailleurs, d'autres mesures doivent être prises :

- Les réservoirs de stockage, tuyauteries, drain revêtements de sols . . . etc. doivent être contrôlés au moins une fois par an pour éviter toute fuite de produits ou d'eau polluée,
- Le stockage des produits chimiques doit être fait conformément aux normes,
- La réalisation des bassins tampons où le volume sera au moins égal au volume résiduaire produit par jour, ces bassins serviront au stockage des eaux chargées en cas d'accident,
- Analyse quotidienne des rejets des unités, du moins des plus grandes et des plus polluantes.

**V.4.2 Réduction des sources de pollution diffuse**

Les sources de pollution diffuse sont en très grande majorité d'origine agricole. Pour parvenir à maîtriser les teneurs en nitrates des eaux souterraines, outre la suppression de quelques rejets d'origine urbaine ou industrielle, il est indispensable :

- \* de respecter, de façon générale, le code de bonnes pratiques agricoles adapté aux conditions locales et de mettre en œuvre des programmes d'action permettant de constituer l'essentiel de la prévention, voire de la restauration, de la qualité des eaux souterraines,
- \* d'assurer, en complément, une meilleure formation et un meilleur contrôle des utilisateurs, notamment des agriculteurs afin qu'ils pratiquent un usage raisonné des engrais et des produits phytosanitaires,
- \* Procéder à un drainage dans les zones agricoles riches en azote comme les plaines de Sobha, Boukadir et Oued Sly pour évacuer les eaux chargée en nitrates et les empêcher de s'infiltrer vers la nappe.

### V.5. Recommandations pour la vallée du moyen Cheliff occidental

➤ Etablir un Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux du bassin du moyen Cheliff occidental ; il constituera un outil fondamental et un document de type tableau de bord (orientation) assurant une préservation durable des milieux aquatiques et une protection contre les pollutions et les risques majeurs. Ce document doit être établi par l'Agence du Bassin Hydrographique Chlef-Zahrez autant que gestionnaire avec la participation d'autres établissements tels que :

- La Direction des Services Agricoles (DSA), pour la sensibilisation et l'orientation des agriculteurs quant à une utilisation rationnelle des engrais pour réduire la pollution nitrée au niveau des eaux de surface et des eaux souterraines,

- La Direction de l'Environnement, pour la sensibilisation des citoyens aux dangers de la pollution,

- La Direction de l'Hydraulique de la Wilaya (DHW), pour l'aménagement hydraulique au niveau du bassin et surtout au niveau de l'Oued Cheliff et l'implication des services de police des eaux pour l'application du code des eaux,

- L'Office National d'Assainissement (ONA), pour le contrôle et la gestion optimale des stations d'épuration et des réseaux d'assainissement.

➤ Etablir un plan d'intervention en cas de pollution accidentelle pouvant contaminer les eaux de surface et/ou les eaux souterraines à travers une étude préliminaire portant sur la détermination des points susceptibles de provoquer une pollution grave. Ce plan permet de dresser :

- Une liste des établissements industriels particulièrement dangereux, soit par leur fabrication ou par leurs produits stockés, utilisés dans le processus de fabrication,

- Une liste des zones sensibles, zones de captage, . . . etc.

- Les autorités locales doivent posséder des cartes à grande échelle où les zones sensibles à la pollution sont bien déterminées ainsi que les adresses et numéros téléphoniques du personnel de la sécurité des unités industrielles génératrices de pollution,

- Les autorités locales doivent disposer d'un document permettant de localiser rapidement l'origine de la pollution et de prévoir les conséquences,

➤ Etablir un Système d'Information Géographique (SIG) relatif à la qualité et à la pollution des eaux souterraines.

➤ Organiser des campagnes de sensibilisation à l'échelle des communes et des agglomérations de la zone d'étude quant à l'importance de la protection de la qualité des eaux.

# *CONCLUSION GENERALE*



## **CONCLUSION GENERALE**

Au terme de ce travail dont l'objectif principal était de tracer les grandes orientations pour préserver la qualité des eaux de la nappe alluviale du moyen Cheliff occidental à travers le traitement statistique des résultats d'analyse de six (06) campagnes effectuées pendant les périodes de hautes et basses eaux des années 2002, 2003 et 2004, nous pouvons conclure ce qui suit :

Le faciès chloruré sodique prédomine quelque soit la période de prélèvement et quelques soit le nombre d'échantillons. Cette domination des ions chlorure et sodium est supposée être due à la dissolution des formations évaporitiques du Dahra et trias anté-nappe de l'Ouarsenis.

La présence du faciès sulfaté de certains ouvrages aurait pour origine les formations gypsifères du miocène sous la plaine.

L'origine de la minéralisation déterminée par l'ACP des eaux de cette nappe est triple et comprend :

- Les roches (avec deux processus distincts : dissolution des évaporites e),
- Le sol (minéralisation de la microflore produisant les teneurs naturelles des nitrates et hydrolyse de l'illite),
- Les apports polluants transitant par l'intermédiaire des sols (à partir des engrais, des produits d'élevage, des eaux usées et des décharges publiques). Les éléments en cause sont, en prédominance les nitrates, et très faiblement le potassium et le sodium.

Les eaux de la nappe sont classées en trois (03) groupes de qualité dont la dégradation de potabilité est progressive du groupe 01 au groupe 03. Au contraire, les nitrates et les bicarbonates varient dans le sens contraire.

La cartographie multiparamétrique a permis de situer ces groupes dans la zone d'étude ; Ainsi, Le groupe 02 qui présente une qualité moyenne couvre presque toute la plaine. Les eaux du groupe 01 caractérisées par une bonne qualité sont localisées à l'Abiodh Medjadja au nord et à oued Sly, Boukadir et beaucoup plus en aval au sud ouest de la plaine. L'alimentation de la nappe alluviale par la nappe calcaire en ces endroits semble favoriser des phénomènes de dilution et donc l'atténuation de la minéralisation des eaux de la nappe étudiée.

Au contraire, les eaux du groupe 03 qualifiées de non potables se localisent au Nord et au Nord Ouest de la nappe dans les communes de Oueld Fares, de Sobha , et une partie de Chettia. Les apports d'eau venant des formations évaporitiques du Dahra pourraient être à l'origine de la forte minéralisation des eaux de ce groupe.

L'évaluation des apports d'azote sur les sols de la zone d'étude a montré l'influence directe des engrais chimiques utilisés dans la pollution de la nappe par les nitrates qui constituent la variable la plus importante d'origine anthropique.

Une classification synthétique des captages étudiés selon les deux usages retenus afin de définir la bonne destination de chacun d'eux:

- Alimentation en Eau Potable (AEP) à travers les groupes déduits de l'ACP et l'AFD
- Irrigation à travers l'application du système d'évaluation de la qualité (SEQ).

Les grandes orientations de gestion qualitative des eaux du bassin du moyen Cheliff occidental développées dans ce travail visent, entre autres, à atténuer l'effet de la pollution nitratée. Plusieurs recommandations sont aussi émises dont le but est de réduire les causes de pollution localisée et diffuse et des réflexions sont proposées pour la préservation de cette denrée rare qui est l'eau.

*REFERENCES*  
*BIBLIOGRAPHIQUES*

## 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.
- ACHOUR F. (1997)** – Conditions hydrologiques et disponibilité en eau en région semi-arides : Application de méthodologies nouvelles au bassin du Cheliff, Algérie. Thèse Doctorat de l'Université de Franche- Comte – France, 261 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.*
- PHILIPPEAU, G. (1986)** -- Comment interpréter les résultats d'une Analyse en Composantes Principales? – Collection STA-ITCF. 93p.
- RENARD, F. (2002)** - Cours d'hydrogéologie - Master Professional-DESS LTHE (Laboratoire d'étude des transferts en Hydrologie et Environnement), 54 p.
- PERRODON A. (1957)** – Etude géologique des bassins néogènes sublittoraux de l'Algérie occidentale , 328 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 Chéouf : 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 Chéouf Rap A1.1. Pub. Ministère de l'Hydraulique. pp 4- 28.

- SCET – ARGJ (3). (1985)** -- Rapport de synthèse, Etude du réaménagement et de l'extension du périmètre du moyen Chélif. 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.
- 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.
- VOLTZ M. (1986)** – Variabilité spatiale des propriétés physiques en milieu alluvial : essai de cartographie quantitative des paramètres hydrodynamiques. Thèse Doc. Ing ENSAM. 198p.

# *ANNEXES*

# *Annexe 1*



Tabl. n°39: Différents types de sols de la zone d'étude

	Zone	Localisation	Sup Ha	Caractéristiques
<b>PLAINE</b>	1 = Alluvions récentes profondes, non salées, de texture équilibrée.	Le long des principaux Oueds Zones d'épandage colluvio-alluviale de la plaine des Medjadjas.	4500	Texture limono argileuse à argilo limoneuse, plus grossière dans les zones d'épandage, éventuellement quelques traces d'hydromorphie ou salinité en profondeur, bonne perméabilité CE < 2 mmhos/cm en surface.
	2 = Alluvions récentes de texture fine, légèrement salées et/ou tirsifiées.	Zones représentées sur l'ensemble du périmètre, mais surtout dans la plaine de Chlef (à l'exclusion de la plaine des Medjadjas).	7800	CE < 4 mmhos/cm. Texture argilo limoneuse. En rive gauche de la plaine de Chlef, le caractère salin est net en profondeur, en rive droite s'y ajoute le caractère vertique. Ces sols présentent souvent des horizons drainant au-delà d'un mètre.
	3 = Alluvions récentes et anciennes fortement tirsifiées.	Disséminées dans tout le périmètre. Abondantes en rive droite de la plaine de Chlef (confluent Ouahrane-Cheliff), autour de la cuvette de boukadir, dans les zones de piémont et dans la partie orientale de la plaine des Medjadjas.	4150	Texture argilo limoneuse à argileuse, structure très grossière avec faces vertiques des 40-50 cm de profondeur, la conductivité électrique est inférieure à 4 mmhos/cm. Sur alluvions récentes (confluent Ouahrane-Cheliff), elle s'accroît avec la profondeur. Très faible porosité et très faible perméabilité quand le réseau de fente de retrait est fermé
	4 = Alluvions salées	Confluent des Oueds Sly et Cheliff. Piémont Nord-Ouest de la plaine de Chlef (Saoula).	480	4 < C.E. < 7 mmhos/cm dès la surface, croissant en profondeur, texture équilibrée, localement argileuse.
	5 = Alluvions fortement salées et tirsifiées	Exclusivement observées dans la plaine Boukadir	600	CE > 7 mmhos/cm. Texture argileuse à très argileuse. Nombreuses faces vertiques dès 40 cm, porosité très faible, perméabilité très faible dès que le réseau de fentes de retrait est fermé.
<b>PIEMONT</b>	6 = Alluvions anciennes et sols de piémont non tirsifiées	Périphérie des plaines de Chlef et Ouled Fares. Majorité des sols de la plaine des Medjadjas et des extensions Est et Ouest	7650	-Sols de texture argilo limoneuse à argileuse, bien structurés - Drainage externe facilité par la pente naturelle - Bonne perméabilité - Zones moins sensibles aux gelées
	7 = Sols sur croutes et encroûtements calcaires	Exclusivement sur les bordures du périmètre et dans la plaine des Medjadjas	2150	Sols de texture argilo limoneuse à argileuse, bien structurés présentant des accumulations calcaires vers 50 cm

**Tabl. n° 40:** Données piézométriques (hautes et basses eaux 2004)

N°BIRH	X (m)	Y (m)	Z (m)	Avril 2004		Septembre2004	
				N/S	N/P	N/S	N/D
W81-49	366868	321438	101.63	40.8	60.83	41.21	60.42
W082-4	381850	321950	112.49	18.6	93.87	15.51	96.98
W082-10	380925	323225	108.07	21.9	86.17	22.95	85.12
W082-52	376425	321150	101.48			20.25	81.23
W082-72	389525	324900	138.92	12.2	126.72	13.96	124.96
W082-84	386525	325800	150.32	23 .33	126.99	17.66	132.66
W082-87	379825	323050	117.88	15.7	102.18	15.81	102.07
W082-113	376900	323750	123.92	64.87	59.05	65.28	58.64
W082-125	381200	326900	167.70	14.1	153.60	11.01	156.69
W082-126	387850	323125	193.16	33	160.16	32.49	160.67
W0105-2	367150	312450	97.91			21.94	75.97
W0105-8	362100	310200	91.43			24.23	67.20
W0105-65	351675	304650	81.34			18.85	62.49
W0105-83	353525	305975	91.88	20	71.88	19.95	71.93
W0105-84	353900	307250	88.67	12.1	76.57	12.5	76.17
W0105-91	356000	308100	77.60	5.61	71.99	5.05	72.55
W0105-313	352475	308810	93.69	31.9	61.79	31.95	61.74
W0105-317	351275	309435	72.26			12.76	59.50
W0105-348	352600	312075	98.08			34.76	63.32
W0105- 453	355150	306650	92.99			19.29	73.70
W0105-549	354900	309700	79.25			8.66	70.59
W0105-572	343700	305900	65.91	19.5	46.41	16.26	49.65
W0105-574	354910	310550	75.12	10.8	64.32	11.28	63.84
W0105-577	362100	318680	88.59	15.2	73.39	15.78	72.81
W0105-589	359010	316650	84.35			22.02	62.33
W0105-675	355090	310085	74.78			9.2	65.58
W0105-1033	364990	320500	93.58			35.95	57.63
W0105-1025	363190	318578	88.15	29.2	58.95	30.54	57.61
W0106-8	374500	318025	104.66	24	80.66	24.9	79.76
W0106-33	380950	319450	148.82	38.5	110.32	40.25	108.57
W0106-35	379500	319500	138.67	7.41	131.26	7.79	130.88
W0106-mosqué	375990	319900	104.17	17.7	86.47	18.63	85.54

## *Annexe 2*

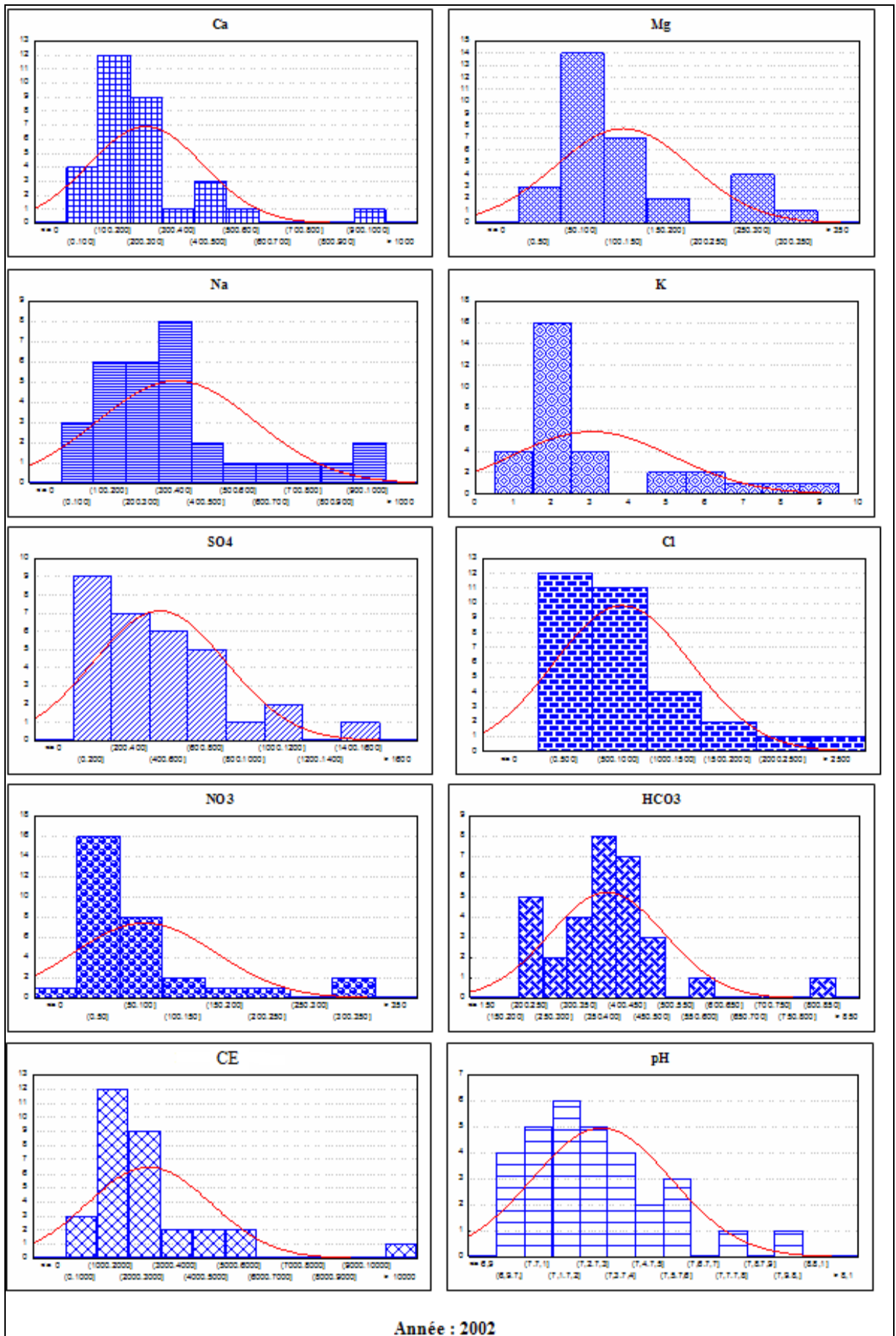


Fig. n° 24: Histogrammes de fréquence pour l'année 2002

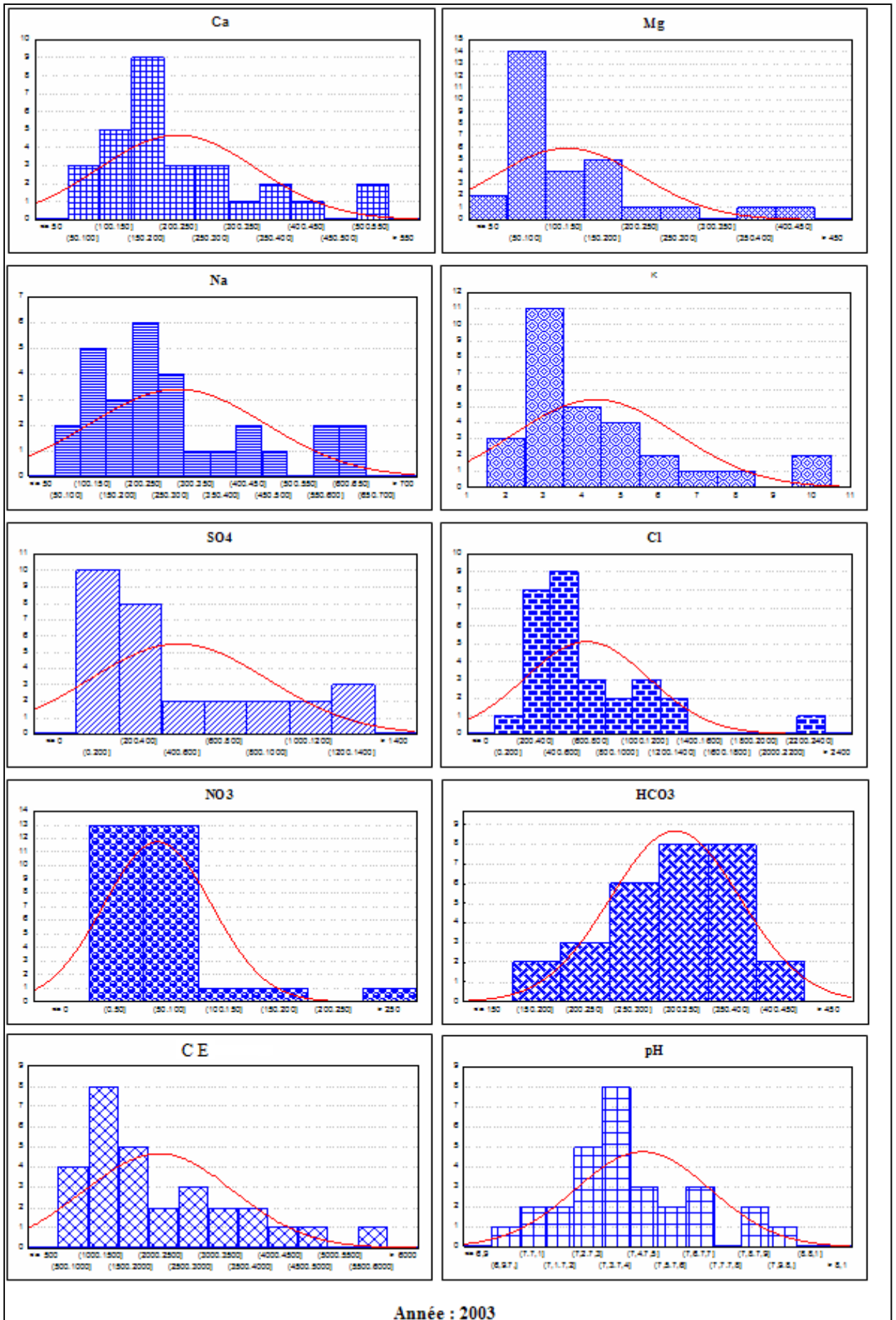


Fig.n° 25: Histogrammes de fréquence pour l'année 2003

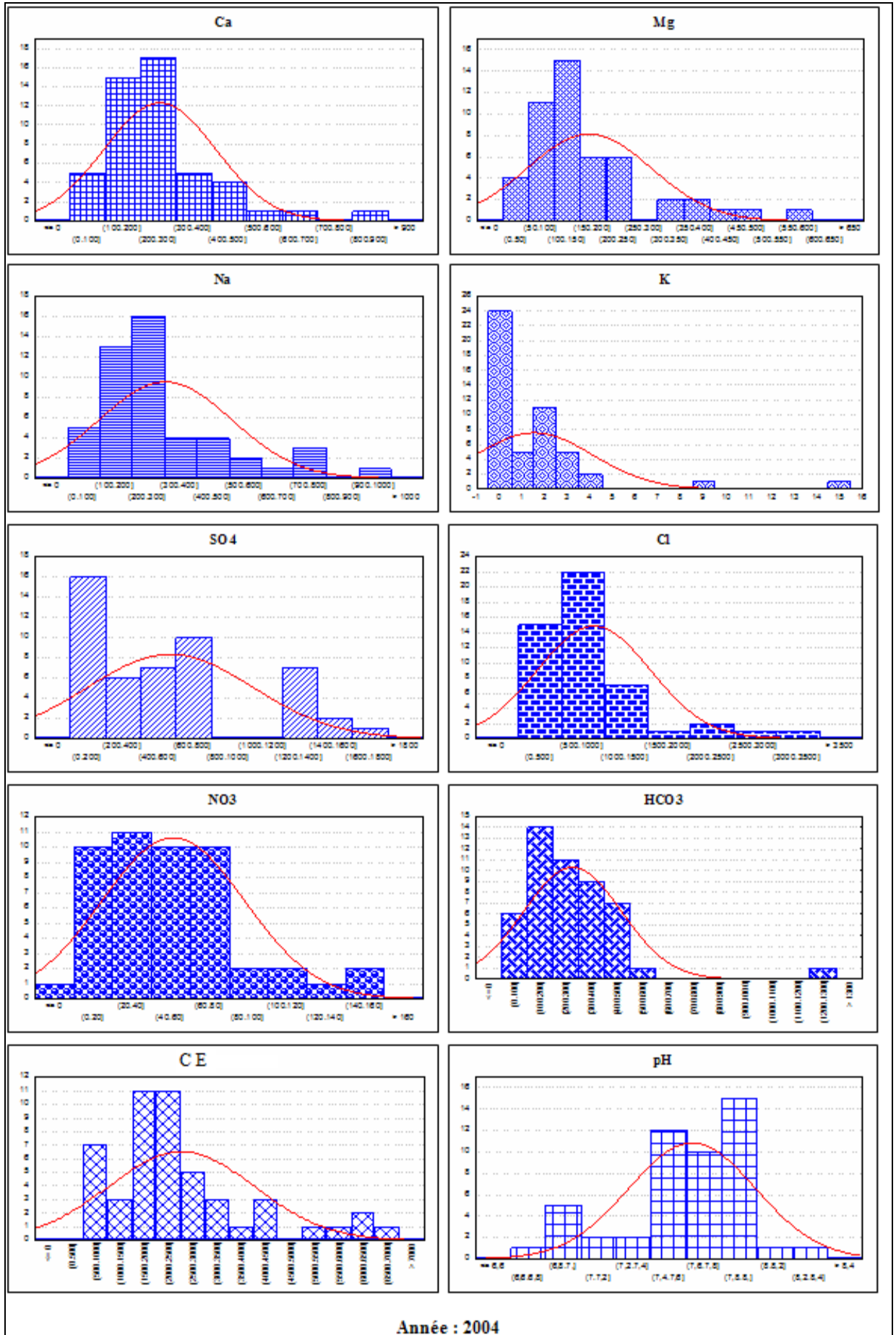


Fig. n° 26: Histogrammes de fréquence pour l'année 2004

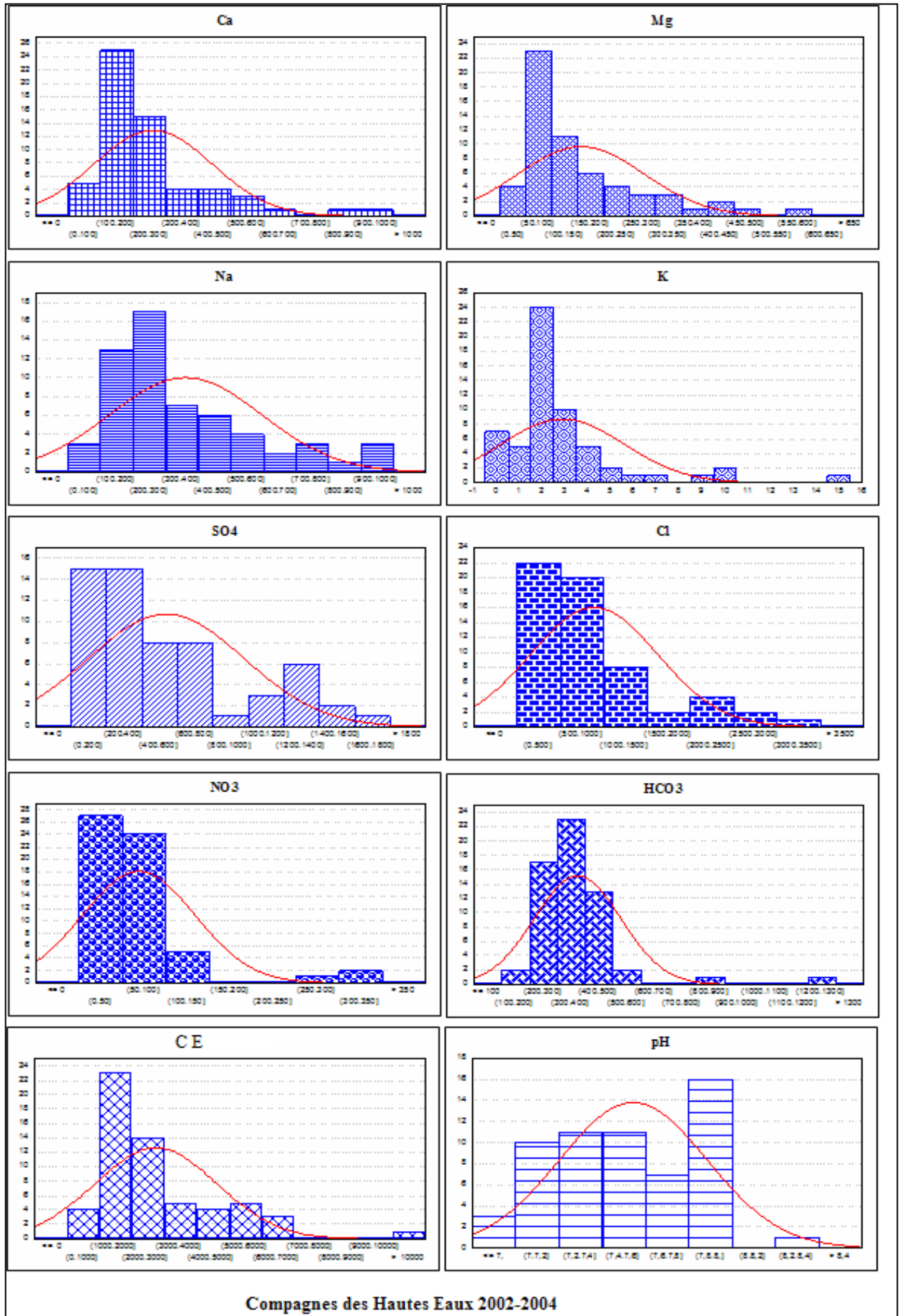


Fig. n° 27: Histogrammes de fréquence pour les campagnes des hautes eaux 2002,2003 et2004

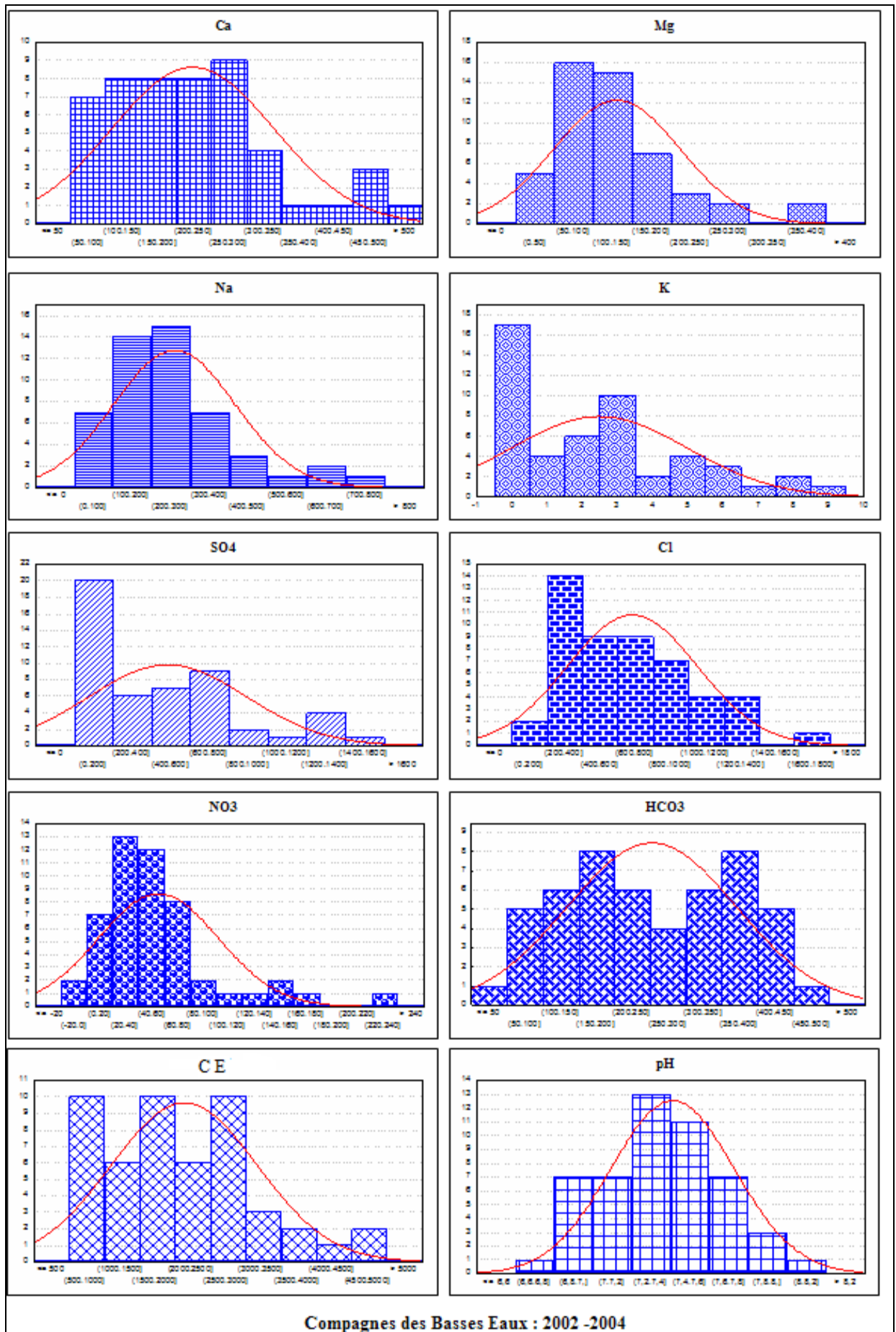


Fig .n° 28: Histogrammes de fréquence pour les campagnes des basses eaux 2002,2003 et 2004



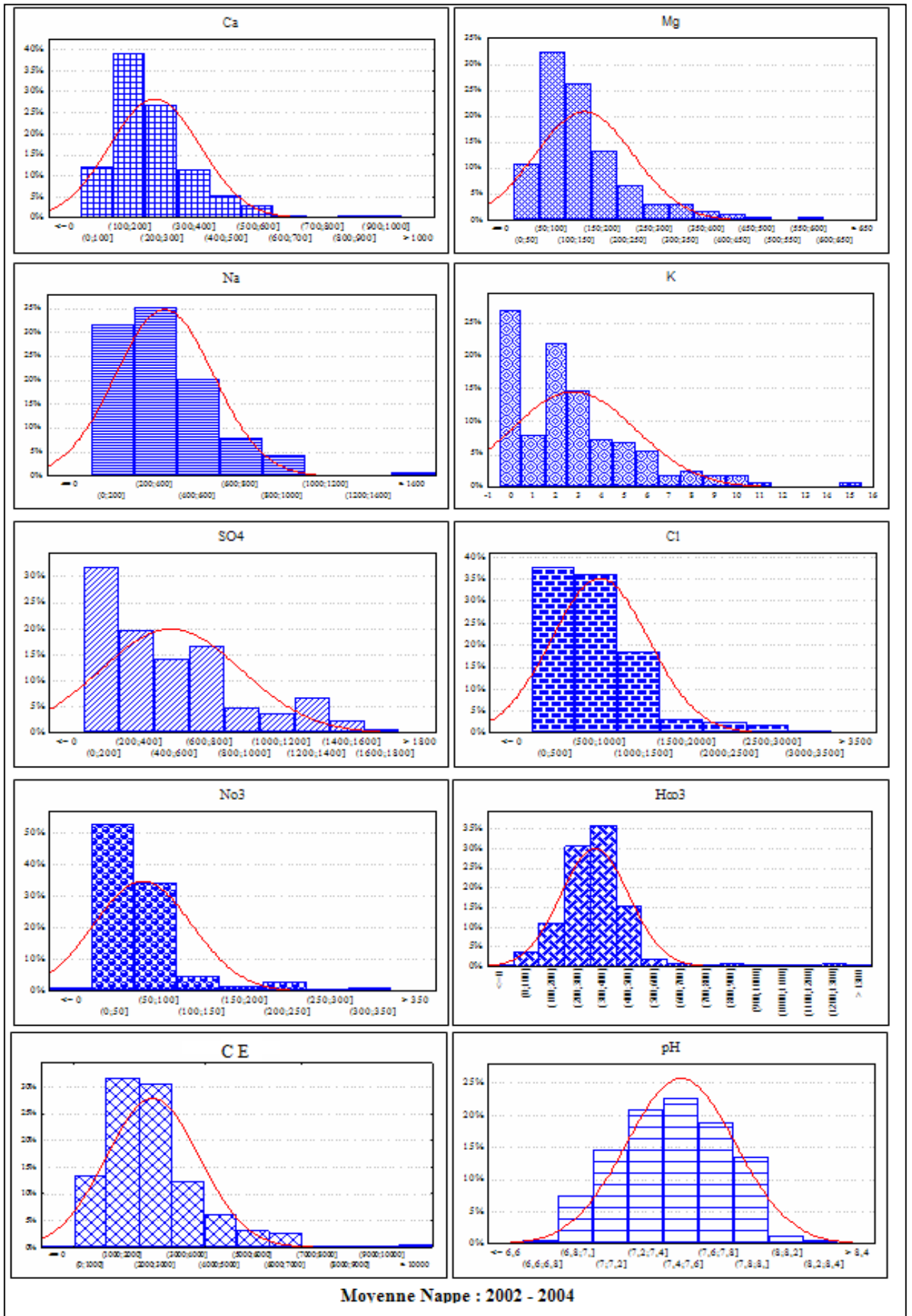


Fig .n° 29: Histogrammes de fréquence pour moyenne nappe 2002,2003 et 2004

## *Annexe 3*

**Tabl. n° 41 :** Paramètres indicateurs de pollution possibles (Sources : Guide Pratique d'échantillonnage des eaux souterraines publié par l'office fédéral de l'environnement. des forêts et du paysage OFEFP 2003)

Type de Pollution	Paramètres indicateurs possibles
Tous les types de pollutions	pH, température Conductivité électrique, oxygène dissous, alcalinité totale
<b>Agriculture</b>	
Zones agricoles	Cl, NO <sub>3</sub> , SO <sub>4</sub> , Ca, K, NH <sub>4</sub> , pesticide, bactéries
Pépinières	NO <sub>3</sub> , DOC, pesticide
Zones d'élevage	NH <sub>4</sub> , NO <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> , sulfures, Fe, DOC, DBO, bactéries
Pâturage	NO <sub>3</sub> , DCO, DBO, bactéries
<b>Trafic</b>	
Route	Cl, Ca, Mg, Na, NH <sub>4</sub> , B, Ba, Br, Cd, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, U, V, Zn, DOC, MTBE, pesticides
Aéroports (Piste)	NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> , DOC, Urée, diéthylène-glycol., propylène-glycol
Gares et Voies ferrées	Principaux hydrocarbures (C <sub>5</sub> -C <sub>10</sub> ). BTEX, hydrocarbures chlorés, SAK, pesticides
<b>Zones Urbaines</b>	
Activités urbaines en général	Cl, SO <sub>4</sub> , NH <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> , B, DOC, principaux hydrocarbures, hydrocarbures chlorés
Cimetières	NO <sub>3</sub> , K, Hg, DOC, DBO, pesticides, produits désinfectants
STEP	Cl, NO <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> , SO <sub>4</sub> , K, NH <sub>4</sub> , B, DOC, DBO, hydrocarbures chlorés
Eaux de surface polluées	Cl, B, DOC, hydrocarbures
Décharges	Cl, HCO <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>4</sub> , Ca, K, Mg, Na, NH <sub>4</sub> , B, Br, Fe, Mn, Cr, Cu, Ni, Rb, Zn, DOC, DCO, BTEX, HAP, AOX, HHV, Phenols, cyanures
<b>Activités militaires</b>	
Zones militaires	As, Cu, Pb, DOC, principaux hydrocarbures, hydrocarbures, chlorés, PAH
Stands de tir	Pb, Sb, As, Ba, Cu, Mn, Ni
<b>Exploitations Industrielles et artisanales</b>	
Centrales nucléaires	Activité totale, tritium
Anciennes usines à gaz	Principaux hydrocarbures, BTES, PAH, métaux lourds, DOC, AOX, phénols, cyanures
Raffineries et stations d'essence	BTEX, hydrocarbures, Cl, DOC, phénols, PAH, AOX, MTBE
Nettoyages chimiques	Hydrocarbures chlorés, B
Usine métallurgique	NO <sub>2</sub> , Al, As, Cd, Cd (III), Cr (IV), Cu, F, Fe, Ni, Pb, Zn, Hydrocarbures chlorés, cyanures
Usine d'incinération de bétail	DOC, DBO, hydrocarbures chlorés
Industries alimentaires	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laiteries</li> <li>• Boucheries</li> <li>• Sucriers</li> <li>• Production de graisses et d'huiles</li> <li>• Productions fourragères</li> </ul>	NO <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , NH <sub>4</sub> , DOC, DBO Cl, NO <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , NH <sub>4</sub> , DOC, DBO DOC, DBO, hydrocarbures chlorés DOC, hydrocarbures chlorés DOC, hydrocarbures chlorés
Industries	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• production de solvants. peinture. colorants organiques</li> <li>• production de cellulose et papier</li> <li>• production de bois aggloméré</li> <li>• production d'objets en céramique</li> <li>• production de matériaux synthétiques</li> <li>• production de détergents</li> <li>• produits pharmaceutiques</li> </ul>	Hydrocarbures chlorés, BETX, DOC, AOX, phénols, SAK 254  Cl, SO <sub>4</sub> , Hg, DOC, DBO, AOX, phenols NH <sub>4</sub> , DOC, DCO, ph2nols Cd, Pb, autres métaux lourds, DOC, DCO SAK 254 B, PO <sub>4</sub> , NTA, EDTA DOC, AOX, SAK 254

**Tabl. n° 42 : Unités industrielles des communes du moyen Cheliff occidental**  
(Source ABH C-Z et DPAT de Chlef)

Communes	Implantation	Nom de l'Unité	Branche Industrielle	Lieu de rejet
Chlef	R N° 4	E.N.A.J.U.C	Production de Jus Fruits	Oued Cheliff
	Tissu Urbain	E.P.E.R.W.E.L	Impression et reliure	Oued Cheliff
	Zone d'activité	Limonaderie Benali Aneur	Production des boissons gazeuses	Oued Cheliff
		Limonaderie Ali Hadji	Production des boissons gazeuses	Oued Cheliff
		Limonaderie Assala	Production des boissons gazeuses	Oued Cheliff
		Limonaderie El- Asnamia	Production des boissons gazeuses	Oued Cheliff
		Limonaderie Frères Hamidi	Production des boissons gazeuses	Oued Cheliff
Limonaderie SARL Genial	Production des boissons gazeuses	Oued Cheliff		
Ouled Fares	Tissu Urbain	Moulin de Tessebette	Production de semoule & farine	Oued Ouahrane
		Limonaderie El-Fersia	Production des boissons gazeuses	Oued Mellako
Oued Sly	Zone d'activité	Briqueterie Ouarsenis	Fabrication de brique rouge	Oued Sly
		Chlef Modern Céramiques	Fabrication de céramique	Oued Cheliff
		Chlef Modern Bricks	Fabrication de brique rouge	Oued Cheliff
		Fer	Fabrication de treille a soude	Oued Sly
		E.N.P.C (ULD)	Fabrication de lamifiée décoratifs	Oued Cheliff
		E.N.P.C (UPE)	Transformation des produits plastique	Oued Sly
		E.C.D.E	Cimenterie (ECDE)	Oued Cheliff
		Naftal CLP	Parc lubrifiant et Pneumatique	Oued Sly
		Naftal GPL	Enfûtage des bouteilles à gaz	Oued Cheliff
		NOVER	Elaboration de verre	Oued Cheliff
		T.P 3/ E.U.P.S	Production de film agricole	Oued Sly
		Techno-Beton	Production des agrégats et béton arme	Oued Sly
mousse Phénolique	Transformation Plastique	Oued Sly		
Abiadh Medjadja	Zone d'activité	Moulin d'Abiad Medjaja	Production de semoule & farine	Oued Cheliff
		Café Rania	Production du café	Oued Cheliff
Chettia	Zone d'activité	Limonaderie Chercher A.E.K	Production des boissons gazeuses	Oued Ouahrane
		Limonaderie Fermia	Production des boissons gazeuses	Oued Cheliff
		Limonaderie Hassane Saida	Production des boissons gazeuses	Oued Cheliff
		Moulin de Ladjerafe	Production de semoule & farine	Oued Cheliff

Tabl. n° 43: Résultats des analyses du lixiviât de la décharge de Meknassa (Tahraoui, 2006)

Paramètres organoleptiques				
		Date des prélèvements		Concentration maximale admissible (OMS)
Paramètres organoleptiques	Unité	07/04/2005	10/05/2005	
Couleur	Pt/Co	8965	7015	≤ 15 mg/l échelle Pt/Co
Odeur		Désagréable	Désagréable	L'OMS recommande que l'eau ne soit pas considérée comme inacceptable par 90% des consommateurs
Paramètres physico-chimiques				
		Dates des prélèvements		Concentration maximale admissible (OMS).
Paramètres physico-chimiques.	Unité	07/04/2005	10/05/2005	
Température	°C	19	25	≤ 25°C
pH		8,12	08,40	6,5 ≤ pH ≤ 9,5
Conductivité	µs /cm	27005	27820	≤ 2000 µs/cm à 23 °C
Turbidité	N.U.T	8265	9750	
O <sub>2</sub> dissous	mg/ l	0,82 / ,15%	0,28 / 3,4%	
Salinité	%	18,7	19,10	
Matières en	mg/l	2230	2480	
Résidus secs (105°C)	mg/l	2008,50	21901,50	≤ 1500 mg/l après dessiccation à 180°C
CO <sub>2</sub> libre dissous	°f	09	07,85	
Matières décantables		Faible décantation	Faible décantation	
Taux des sels	mg/ l	11080	12312,89	
Paramètres de pollution				
		Date des prélèvements		Concentration maximale admissible (OMS).
Paramètres de pollution	Unité	07/04/2005	10/05/2005	
Ammonium NH <sup>4+</sup>	mg/l	08	10,95	≤ 0,5 mg/l
Matière Organique.	mg/l	150,6	165,82	
Nitrates [NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]	mg/l	336,167	298,75	≤ 50 mg/l
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /l	2200	2370	
Minéralisation globale				
		Dates des prélèvements		Concentration maximale admissible (OMS).
Minéralisation globale.	Unité	07/04/2005	10/05/2005	
Ca <sup>+2</sup>	mg/l	6024	5786,4	≤ 200 mg/l
Mg <sup>2+</sup>	mg/l	19576	18836,5	≤ 150 mg/l
Chlorures (Cl <sup>-1</sup> )	mg/l	10650	11870	≤ 250 mg/l
Sulphates (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/l	2550	3215,90	≤ 250 mg/l
Bicarbonates	mg/l	1830	1940,16	
Carbonates (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	mg/l	Des traces	Des traces	
Dureté totale (TH)	mg/l	25600	24622,9	≤ 500 mg/l
Titre alcalimétrique	°f	Des traces	Des traces	
Titre alcalin complet	°f	150	118,80	
		Date des prélèvements		Concentration maximale admissible (OMS).
Paramètres toxiques.	Unité	07/04/2005	10/05/2005	
Fer (Fe <sup>2+</sup> )	mg/l	17,5	18,10	≤ 200 µg/l
Fe (Fer)	mg/l	25 ,63	32,10	≤ 200 µg/l
Cu (Cuivre)	mg/l	0,82	0,87	≤ 1 mg/l
Pb (Plomb)	mg/l	1,14	0,571	≤ 0,05 mg/l
Ni (Nickel)	mg/l	1,22	0,524	≤ 50 µg/l

**Tabl. n° 44:** Normes CORPEN pour l'estimation de l'azote produit sur l'exploitation

Source: CORPEN 1988, 1999 et 2001 (circulaire PMPOA n° 5010 du 15 mai 2003)

<b>Catégorie animale</b>	<b>Quantité d'azote produit (kg/tête/an)</b>
Vache laitière	85
Vache allaitante	67
Bovins viande de moins d'1 an	25
Bovins viande de plus de 2 ans	72
Génisse de moins d'1 an	25
Génisse de 1an à 2ans	42
Génisse de plus de 2 ans	53
Ovins et Caprins de moins d'1 an	3.3
Ovins et Caprins de plus d'1 an	9.6
Poules	0.450

**Tabl. n° 45:** Les valeurs du SAR des points d'eau (année 2004)

Campagne des hautes eaux 2004		Campagne des basses eaux 2004	
Point d'eau	SAR	Point d'eau	SAR
w81/49	4,09	w81/49	1,75
w82-4	4,40	w82/4	2,49
w82-10	4,07	w82/10	2,34
w82-40	1,79	w82/13	2,94
w82-72	5,45	w82/52	4,22
w82-82	1,80	w82/82	0,89
w82-84	1,97	w82/84	0,58
w82-125	3,27	w82/127	1,26
w82-127	2,29	w105/8	3,77
w105-8	4,99	w105/65	3,78
w105-83	6,00	w105/83	4,93
w105-84	6,75	w105/84	3,40
w105-91	4,15	w105/91	3,88
w105-102	2,55	w105/102	1,94
w105-136	4,95	w105/136	1,99
w105 -233	5,16	w105/233	3,16
w105-317	8,24	w105/368	1,81
w105-365	6,88	w105/453	2,15
w105-368	3,13	w105/574	2,57
w105-574	4,40	w105/580	3,46
w105-577	7,02	w105/1033	3,04
w105-580	5,82		
w105-1186	4,01		
106-Mosqué	3,46		
106-2	3,82		

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{0.5 * (Ca^{+2} + Mg^{+2})}}$$

NB : Les concentrations sont exprimées en meq/l. Le paramètre S.A.R rend compte du fait que la présence d'un excès de sodium dans l'eau d'irrigation, par rapport à la qualité de calcium ou de magnésium, peut altérer la structure du sol. En particulier l'argile peut tendre à se disperser lorsqu'elle est mouillée, ce qui a pour effet de réduire la perméabilité du sol.

**Tabl. n° 46:** Valeurs seuils pour les différents paramètres et pour l'aptitude d'usage en irrigation (Source : Système d'Evaluation de la Qualité des Eaux Souterraines SEQ-Eaux Souterraines – Version 0.1)

Paramètres	Unités	Qualité 1	Qualité 2	Qualité 3	Qualité 4
Résidu sec <sup>(1)</sup>	mg/l	500	1500	2500	3500
Chlorures <sup>(1)</sup>	mg/l	180	360	700	
S.A.R	--	8	18	46	100

(1) au moins l'un des deux paramètres pris en compte

