

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

Etude de la qualité des eaux de la vallée du Haut Cheliff.

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 8-0001-15

APA Citation (APA توثيق):

**Touhari, Fadhila. (2015). Etude de la qualité des eaux de la vallée du Haut Cheliff
[Thèse de doctorat, ENSH].**

The digital repository of the Higher National School for Hydraulics "Digital Repository of ENSH" is a platform for valuing the scientific production of the school's teachers and researchers.

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...) and broadcasting it online.

Digital Repository of ENSH is built on the open DSpace software platform and is managed by the Library of the National Higher School for Hydraulics. <http://dspace.ensh.dz/jspui/>

المستودع الرقمي للمدرسة الوطنية العليا للري هو منصة خاصة بتقييم الإنتاج العلمي لأساتذة و باحثي المدرسة.

يهدف المستودع الرقمي للمدرسة إلى حصر الإنتاج العلمي سواء كان منشورا أو غير منشور (أطروحات، مطبوعات بيداغوجية، مقالات الدوريات، كتب....) و بثه على الخط.

المستودع الرقمي للمدرسة مبني على المنصة المفتوحة DSpace و يتم إدارته من طرف مديرية المكتبة للمدرسة العليا للري.

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.



ENSH-N° d'ordre :

**THÈSE DE DOCTORAT ES-SCIENCES
DE L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'HYDRAULIQUE**

Présentée par

Madame : **TOUHARI FADHILA**

**En vue de l'obtention de diplôme de
DOCTEUR DE L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'HYDRAULIQUE**

Sujet de la thèse :

Etude de la Qualité des Eaux de la vallée du Haut Cheliff

Thèse présentée et soutenue à Blida le 08 avril 2015 devant le jury composé de :

SALAH B.	Pr. ENSH Blida	Président
MIHOUBI M. K.	Pr. ENSH Blida	Examineur
SAIGHI O.	Pr. USTHB Alger	Examineur
GUENDOZ A.	Pr. Université de Blida	Examineur
RAZACK M.	Pr. Université de Poitiers, France	Co-directeur de thèse
MEDDI M.	Pr. ENSH Blida	Directeur de thèse

Remerciements

A l'État Algérien

Au Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique d'Algérie, pour le financement de ma bourse d'étude d'une année à l'université de Poitiers en France.

A mon directeur de thèse Professeur Meddi Mohamed:

Cher professeur, vous m'honorez en acceptant de diriger cette thèse malgré vos multiples préoccupations. Votre simplicité, votre sérieux, vos qualités humaines, votre amour pour l'enseignement font de vous un enseignant envié au sein de cette école. Je vous prie de trouver ici, l'expression de ma reconnaissance et mon profond respect. Ce travail est l'aboutissement d'énormes sacrifices consentis par vous.

A mon co-directeur de thèse Professeur Razack Moumtaz:

Cher professeur, C'est un insigne honneur que vous me fait en acceptant à co-dirigé ce travail et a bien voulu m'accueillir pour un séjour scientifique au sein de votre laboratoire de recherche HYDRASA, Malgré ses nombreuses sollicitations, il m'a accordé toute l'attention nécessaire en m'initiant à l'hydrogéochimie. Ses nombreux conseils ont permis d'orienter et de valoriser le travail. Je vous prie de trouver ici professeur, l'expression de ma reconnaissance et mon profond respect.

À tous les membres du jury président et examinateurs : je tiens à présenter mes remerciements pour leurs minutieuses relectures de ce document, pour leurs critiques constructives qui ne feront qu'améliorer la qualité de ce travail.

Au personnel de l'Agence Nationale des Ressources Hydraulique (ANRH), surtout Mme Messelmi Hayet et Mr Abada Abdellah. Pour votre contribution précieuse à ce travail, votre sympathie et votre solidarité à mon égard. En témoignage des moments passés ensemble ; je n'oublierai jamais votre constante disponibilité.

Au personnel de Laboratoire Génie de l'Eau et de l'environnement à l'ENSH, Blida, surtout la directrice Mme Meddi Hind pour votre encouragement sans réserve.

Au personnel de Laboratoire HYDRASA à l'université de Poitiers, France et à tous les stagiaires qui y sont passés au cours de mon séjour : Que Dieu préserve l'entente et la compréhension qui ont toujours existé entre nous.

L'élaboration de cette thèse de doctorat est le fruit de sept ans de recherches, alternés avec mes activités pédagogiques d'enseignement à l'université de Khemis Miliana. Son achèvement n'aurait pu voir le jour sans la collaboration de nombreuses personnes qu'il m'est agréable de remercier.

Je témoigne mon amitié à tous mes collègues et mes amis enseignants, mes étudiants et en particulier le doyen de la faculté Pr : MOKABLI Aissa et tous ceux que je n'ai pas cité.

J'ai l'agréable tâche de témoigner ma grande reconnaissance qui va également à l'endroit de Mr Mebaiguene Madjid pour son assistance constante dans la manipulation des nombreux outils informatiques (SIG, SGBD, etc...). Votre soutien sans réserve et vos encouragements m'ont permis d'affronter beaucoup d'épreuves.

A mon père, vous avez fait d'énormes sacrifices pour vos enfants, et vous n'avez cessé de nous prodiguer des conseils pour le droit chemin. Que votre simplicité et votre respect pour les autres me servent d'exemples !

A ma mère, vous avez guidé mes pas, veillé sur moi et vous m'avez toujours entouré de cette tendresse que seules les mères sont capables d'offrir. Je vous demande pardon et votre bénédiction nuits et jours. Je ne trouverai pas le mot ici pour vous exprimer mes sentiments.

À ma petite famille: mon mari et mes deux enfants Yoncef Essadik et Afnane, j'ai pris de votre temps pour finaliser ce travail, un grand merci car sans vos sacrifices ce travail ne peut pas vu le jour.

A mes frères et sœurs.

Khemis Miliana, le 23 Novembre 2014

Fadhila TOUHARI

Table des Matières

Résumé.....	11
Introduction Générale.....	15
1. PROBLÉMATIQUE.....	15
2. OBJECTIFS, MÉTHODES ET MOYENS.....	15
3. STRUCTURE DE LA THÈSE.....	16

Chapitre I

Aperçu Bibliographique

I.1. INTRODUCTION.....	18
I.2. PARAMÈTRES DE QUALITÉ DES EAUX.....	18
I.2.1. PARAMÈTRES PHYSIQUES ET ORGANOLEPTIQUES.....	18
I.2.2. PARAMÈTRES CHIMIQUES.....	20
I.2.3. PARAMÈTRES BIOLOGIQUES.....	24
I.3. DISTINCTION ENTRE LA QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINE ET DE SURFACE.....	24
I.4. POLLUTION DES RESSOURCES EN EAU.....	26
I.4.1. PRINCIPAUX POLLUANTS DES EAUX.....	26
I.4.2. ORIGINE DE LA POLLUTION.....	27
I.4.2.1. ORIGINE DOMESTIQUE.....	27
I.4.2.2. ORIGINE INDUSTRIELLE.....	27
I.4.2.3. ORIGINE AGRICOLE.....	27
I.4.2.4. ORIGINE URBAINE ET ROUTIÈRE.....	28
I.4.3. PRINCIPAUX TYPES DE POLLUTION.....	28
I.4.3.1. POLLUTION TEMPORAIRE ET CHRONIQUE.....	28
I.4.3.2. POLLUTION PONCTUELLE ET DIFFUSE.....	28
I.4.3.3. POLLUTION LINÉAIRE.....	28
I.4.3.4. POLLUTIONS HISTORIQUES.....	28
I.5. EFFETS DE LA POLLUTION SUR LA SANTÉ HUMAINE.....	29

Chapitre II

Présentation de la Région d'Étude

II.1. INTRODUCTION.....	31
II.2. CARACTÉRISTIQUES MORPHOMÉTRIQUES DE LA RÉGION D'ÉTUDE.....	31
II.2.1. SITUATION GÉOGRAPHIQUE.....	31
II.2.2. MORPHOLOGIE DU BASSIN DU HAUT CHELIFF.....	32
II.2.3. RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE.....	34
II.3. CLIMAT DU BASSIN DU HAUT CHELIFF.....	36
II.3.1. PLUVIOMÉTRIE.....	36
II.3.1.1. RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE DES PRÉCIPITATIONS.....	37
II.3.1.2. VARIATIONS SAISONNIÈRES DES PRÉCIPITATIONS.....	37
II.3.2. TEMPÉRATURE.....	38
II.3.2.1. VARIABILITÉ DES TEMPÉRATURES MENSUELLES.....	38
II.3.3. ÉVAPOTRANSPIRATION.....	38
II.3.3.1. BILAN HYDROLOGIQUE SELON LA MÉTHODE DE THORNTHWAITE.....	38
II.4. ÉCOULEMENTS SUPERFICIELS ET APPORTS.....	41
II.4.1. RÉSEAU HYDROMÉTRIQUE.....	41
II.4.2. VARIATIONS SPATIALES DE L'ÉCOULEMENT MOYEN ANNUEL.....	41
II.4.3. VARIABILITÉ DES DÉBITS MOYENS ANNUELS.....	42
II.4.4. VARIATIONS SAISONNIÈRES DE DÉBITS.....	43
II.5. POPULATION ET DÉMOGRAPHIE.....	44
II.5.1. POPULATION TOTALE.....	44
II.6. LES BESOINS EN EAU.....	44
II.6.1. BESOINS EN EAU POTABLE DE LA POPULATION.....	44
II.6.2. LES BESOINS EN EAU EN INDUSTRIES AUTONOMES (AEI).....	45
II.6.3. DEMANDE EN EAU AGRICOLE.....	46
II.7. RESSOURCES EN EAU.....	49
II.7.1. EAUX SUPERFICIELLES.....	49
II.7.2. EAUX SOUTERRAINES.....	51
II.8. EAUX NON CONVENTIONNELLES.....	51
II.9. CONCLUSION.....	53

Chapitre III

Géologie et Hydrogéologie de la Région du Haut Cheliff

III.1. INTRODUCTION	55
III.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE GÉNÉRAL	55
III.2.1. NAPPES DE CHARRIAGES	56
III.2.2. ÉTUDE LITHOSTRATIGRAPHIQUE	58
III.2.2.1 SUBSTRATUM ANTÉ-NÉOGÈNE	58
III.2.2.2. LES FORMATIONS POST-NAPPE DU NÉOGÈNE	58
III.3. APERÇU TECTONIQUE	61
III.4. CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DES PRINCIPAUX RÉSERVOIRS	63
III.4.1. PROSPECTION GÉOPHYSIQUE	63
III.4.1.1. L'ÉCHELLE DES RÉSISTIVITÉS	63
III.4.1.2. INTERPRÉTATION DES COUPES GÉOÉLECTRIQUES	63
III.4.2. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE ET IDENTIFICATION DES UNITÉS AQUIFÈRES	67
III.4.2.1. LES FORMATIONS AQUIFÈRES	67
III.4.2.2. PARAMÈTRES HYDRODYNAMIQUES DE LA NAPPE	68
III.4.3. PIÉZOMÉTRIE	71
III.4.3.1. INVENTAIRE DES POINTS D'EAU	71
III.4.3.2. ÉVOLUTION DE LA PIÉZOMÉTRIE	72
III.4.3.2.1. CARTE PIÉZOMÉTRIQUE 2002	72
III.4.3.2.2. CARTE PIÉZOMÉTRIQUE 2008	73
III.4.3.3. ÉVOLUTION SPATIALE ET TEMPORELLE DU NIVEAU PIÉZOMÉTRIQUE DE 2002 À 2008	76
III.5. CONCLUSION	78

Chapitre IV

Qualité des Eaux Superficielles

IV.1. INTRODUCTION	80
IV.2. MATÉRIELS ET MÉTHODES	81
IV.2.1. ÉCHANTILLONNAGE	81
IV.2.2. PRÉLÈVEMENT DES EAUX ET MESURE DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES	81
IV.2.3. REPRÉSENTATION DE LA QUALITÉ DES EAUX DE BARRAGES	82
IV.3. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS	83
IV.3.1. BARRAGE GHRIB	83
IV.3.1.1. ÉVOLUTION ANNUELLE DE LA QUALITÉ DES EAUX (1999-2008)	83
IV.3.1.2. SOURCES DE POLLUTION	88
IV.3.2. BARRAGE DEURDEUR	90
IV.3.2.1. ÉVOLUTION ANNUELLE DE LA QUALITÉ DES EAUX (1999-2008)	91
IV.3.2.2. SOURCES DE POLLUTION	96
IV.3.3. BARRAGE HARREZA	97
IV.3.3.1. L'ÉVOLUTION ANNUELLE DE LA QUALITÉ DES EAUX (1999-2008)	98
IV.3.3.2. SOURCES POLLUTION	102
IV.3.4. BARRAGE OULED MELLOUK	103
IV.3.4.1. L'ÉVOLUTION ANNUELLE DE LA QUALITÉ DES EAUX (2004-2008)	103
IV.3.4.2. SOURCES DE POLLUTION	108
IV.3.5. RELATION ÉVOLUTION DES PARAMÈTRES DE QUALITÉ - REMPLISSAGE DES BARRAGES	110
IV.4. QUALITÉ DES COURS D'EAUX	116
IV.5. CONCLUSION	117

Chapitre V

Caractérisation Hydrogéochimique des Eaux Souterraines

V.1. INTRODUCTION	119
V.2. APPROCHE ET MÉTHODOLOGIE	120
V.3. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS	121
V.3.1. L'ERREUR SUR LA BALANCE IONIQUE	121
V.3.2. ANALYSE STATISTIQUE DES DONNÉES CHIMIQUES	122
V.3.2.1. ANALYSE STATISTIQUE	122
V.3.2.2. MATRICE DE CORRÉLATION	123
V.3.3. DISTRIBUTION SPATIALE DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS ET DU RÉSIDU SEC	125
V.3.4. ÉVOLUTION TEMPORELLE DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS ET DU RÉSIDU SEC DURANT LA PÉRIODE 2002 À 2008	130
V.3.5. ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (ACP)	134
V.3.5.1. L'ACP GLOBALE	134

V.3.5.2. ANALYSE DE L'ESPACE DES VARIABLES ET DES INDIVIDUS	134
V.3.6. DÉTERMINATION DES PRINCIPAUX FACIÈS HYDROCHIMIQUES	137
V.3.6.1. PIPER	137
V.3.6.2. MÉTHODE DE STABLER	140
V.3.7. DIAGRAMMES BINAIRES ET PROCESSUS DE MINÉRALISATION	143
V.3.7.1. DIAGRAMMES BINAIRES	143
V.3.7.2. LES ÉCHANGE D'IONS.....	146
V.3.7.3. INDICES DE SATURATION DES MINÉRAUX	147
V.3.7.4. RÔLE DE L'ÉVAPORATION	150
V.4. UTILISATION DES EAUX SOUTERRAINES POUR L'A.E.P.....	151
V.5. APTITUDE DES EAUX A L'IRRIGATION	152
V.5.1. CARACTÉRISATION DES EAUX POUR L'IRRIGATION	153
V.5.2. CLASSIFICATION DES EAUX PAR LA MÉTHODE DE RICHARDS	153
V.6. CONCLUSION	155

Chapitre VI

Sources de Pollution desEaux Souterraines

VI.1. INTRODUCTION.....	157
VI.2. LES PRINCIPALES SOURCES DE POLLUTION.....	157
VI.2.1. UNITÉS INDUSTRIELLES.....	157
VI.2.2. STATIONS DE SERVICES ET STATIONS DE LAVAGE ET GRAISSAGE	159
VI.2.3. REJETS DOMESTIQUES	160
VI.2.4. DÉCHARGES PUBLIQUES.....	161
VI.2.5. ABATTOIRS ET TUERIES.....	162
VI.2.6. DÉCHARGES HOSPITALIÈRES	163
VI.2.7. HUILERIES	163
VI.3. ACTIVITÉ AGRICOLE.....	163
VI.3.1. ÉLEVAGE	164
VI.3.3. LES ENGRAIS AZOTÉS	165
VI.4. IMPACT DES SOURCES DE POLLUTION SUR LA NAPPE DU HAUT CHELIFF.....	166
VI.5. CONCLUSION	167

<i>Conclusion Générale</i>	169
----------------------------------	-----

<i>Recommandations</i>	171
------------------------------	-----

<i>Références bibliographiques</i>	174
--	-----

<i>Annexes</i>	180
----------------------	-----

Liste des tableaux

Tableau 1 : Relation entre la minéralisation et la conductivité électrique	19
Tableau 2 : Qualité de l'eau en fonction de la conductivité électrique	19
Tableau 3 : Classification des eaux selon leurs DHT	23
Tableau 4 : Caractéristiques comparées des eaux de surfaces et eaux souterraines.....	25
Tableau 5 : Caractéristiques morphométriques des bassins versants de la région d'étude.	34
Tableau 6 : Densité de drainage par sous bassin versant.	34
Tableau 7 : Distribution saisonnière des précipitations.	37
Tableau 8 : Températures moyennes mensuelles et annuelles (°C)	38
Tableau 9 : Bilan hydrique selon la méthode Thornthwaite de la plaine du Haut cheliff.	39
Tableau 10 : Caractéristiques du réseau hydrométrique.....	41
Tableau 11 : Variations d'Amont en Aval des modules absolus et spécifiques dans l'Oued Cheliff.	42
Tableau 12 : Débits et apports moyens des bassins contrôlés par les stations hydrométriques.	42
Tableau 13 : Les besoins en eau potable de la population totale	45
Tableau 14 : Les volumes mobilisés par type d'ouvrage de mobilisation	47
Tableau 15 : Superficies du GPI.	48
Tableau 16 : Besoins en eau pour le grand périmètre à travers les différents horizons.	49
Tableau 17 : État des réserves des barrages en exploitation	50
Tableau 18 : Envasement des barrages en exploitation	50
Tableau 19 : Situation des barrages en exploitation.	50
Tableau 20 : Stations d'épuration dans le Haut Cheliff.	52
Tableau 21 : Échelles des résistivités.	63
Tableau 22 : Les différentes caractéristiques des formations aquifères.	68
Tableau 23 : Caractéristiques des forages testés par essais de pompage.	68
Tableau 24 : Résultat des paramètres hydrodynamiques.	70
Tableau 25 : Grille de qualité des eaux de barrages adoptée par l'ANRH.	82
Tableau 26 : Caractéristiques du barrage Ghrib.	83
Tableau 27 : Charge polluante en Eqh des rejets domestiques	88
Tableau 28 : Charge polluante en Eqh des rejets industriels	88
Tableau 29 : Charge polluante en Eqh des élevages.....	89
Tableau 30 : Quantité des déchets déposés dans les décharges publiques	90
Tableau 31 : Caractéristiques du barrage Deurdeur.....	90
Tableau 32 : Charge polluante en Eqh des rejets domestiques.	96
Tableau 33 : Caractéristiques du barrage Harreza.	97
Tableau 34 : Charge polluante en Eqh des rejets industriels.	102
Tableau 35 : Caractéristiques du barrage Ouled Mellouk.....	103
Tableau 36 : Charge polluante en Eqh des rejets domestiques.	108
Tableau 37 : Charge polluante en Eqh des rejets industriels.....	108
Tableau 38 : Charge polluante en Eqh des élevages.....	109
Tableau 39 : Quantité des déchets déposés dans les décharges publiques.	109
Tableau 40 : Variation des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines en 2002.	122
Tableau 41 : Variation des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines en 2008.	122
Tableau 42 : Matrice de corrélation entre les variables en 2002.	123
Tableau 43 : Matrice de corrélation entre les variables en 2008.	123
Tableau 44 : Représentativité des axes factoriels.	135
Tableau 45 : Corrélations entre les variables et les facteurs après rotation Varimax.	135
Tableau 46 : Faciès chimiques des eaux souterraines de l'aquifère du Haut Cheliff en 2002.	141
Tableau 47 : Faciès chimiques des eaux souterraines de l'aquifère du Haut Cheliff en 2008.	141
Tableau 48 : Pourcentage des échantillons ayant des concentrations inférieures aux normes OMS.	151
Tableau 49 : Classification des eaux selon leurs DHT.	152
Tableau 50 : Répartition des puits de la plaine du Haut Cheliff (en % des Nbr de puits) selon le diagramme de Richards.....	154
Tableau 51 : Charge polluante des communes implantées dans la nappe.	166

Liste des figures

Figure 1: Les minéraux de sulfate.	21
Figure 2: Carte de localisation du Bassin versant du Haut Cheliff.	31
Figure 3: Carte topographique de la région d'étude.	33
Figure 4 : Courbe hypsométrique et diagramme des fréquences altimétriques du bassin Haut Cheliff.	33
Figure 5 : Réseau Hydrographique du Haut Cheliff.	35
Figure 6 : Profils en long de l'Oued Cheliff et de ses principaux affluents.	36
Figure 7: Carte des étages bioclimatique du bassin Cheliff.	36
Figure 8 : Pluviométrie moyenne inter-annuelle (période 1968-2001)	37
Figure 9 : Représentation graphique du bilan de Thornthwaite pour la période (1968 à 2001).	40
Figure 10: Variations annuelles des modules du bassin Haut Cheliff à la station Arib (011801) de 1968 à 2001.	43
Figure 11: Courbes des C.M.D du cours d'eau principale dans le bassin du Haut Cheliff.	44
Figure 12 : Évolution de la population totale.	44
Figure 13: Besoins en eaux industrielles.	45
Figure 14: Surface agricole dans la vallée du Haut Cheliff.	46
Figure 15: Alimentation en eau de la PMH.	47
Figure 16 : Besoins en eau de la PMH.	47
Figure 17 : Localisation du GPI Haut Cheliff.	48
Figure 18 : Besoins en eau du GPI.	49
Figure 19: Localisation de la nappe du Haut Cheliff.	51
Figure 20: Carte géologique simplifiée d'après le 1/50.000 de Miliana.	56
Figure 21: Coupe géologique interprétative transversale de la plaine du Haut Cheliff.	56
Figure 22: Carte structurale du tell Centro-Occidental.	57
Figure 23: Colonne litho stratigraphique synthétique et comportement hydrogéologiques des différentes formations d'après le log stratigraphique établi par Perrodon, 1957.	62
Figure 24: carte de positionnement des coupes Géoélectriques (CA, CL et CP).	65
Figure 25: Coupe Géoélectrique (CA)	65
Figure 26: Coupe Géoélectrique (CL).	66
Figure 27: Coupe Géoélectrique (CP)	66
Figure 28: Carte de localisation des essais de pompages réalisés dans la zone d'étude entre 1970 et 2003.	69
Figure 29: Piézomètre dans la nappe du Haut Cheliff.	71
Figure 30 : Carte du réseau piézométrique dans la plaine du Haut Cheliff.	71
Figure 31: Carte des profondeurs dans la nappe du Haut Cheliff, avril 2008.	72
Figure 32: Carte piézométrique en période de hautes eaux et basses eaux 2002.	74
Figure 33: Carte piézométrique en période de hautes eaux et basses eaux 2008.	74
Figure 34: Évolution du niveau piézométrique durant les périodes de basses et hautes eaux en 2002.	75
Figure 35: Évolution du niveau piézométrique durant les périodes de basses et hautes eaux en 2008.	75
Figure 36: Évolution temporelle et spatiale du niveau piézométrique durant la période de hautes eaux.	77
Figure 37: Évolution temporelle et spatiale du niveau piézométrique durant la période de basses eaux.	77
Figure 38: Répartition des barrages dans le bassin du Haut Cheliff.	81
Figure 39 : Lac du barrage Ghrib.	83
Figure 40 : Fiche de Qualité moyenne annuelle des eaux du barrage Ghrib (1999-2008)	84
Figure 41 : Évolution de la qualité des paramètres du R.sec, DCO, DBO ₅ , NH ₄ ⁺ , NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ et PO ₄ ³⁻ dans le barrage du Ghrib.	87
Figure 42 : Implantation des agglomérations et unités industrielles dans le bassin versant du barrage Ghrib.	89
Figure 43 : Lac du barrage Deurdeur.	91
Figure 44 : Fiche de Qualité moyenne annuelle des eaux de barrage Deurdeur (1999-2008)	92
Figure 45 : Évolution de la qualité des paramètres du R.sec, DCO, DBO ₅ , NH ₄ ⁺ , NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ et PO ₄ ³⁻ dans le barrage Deurdeur.	95
Figure 46 : Bassin versant du barrage Deurdeur.	97
Figure 47 : Lac du barrage Harreza.	97
Figure 48 : Fiche de Qualité moyenne annuelle des eaux du barrage Harreza (1999-2008)	98
Figure 49 : Évolution de la qualité des paramètres du R.sec, DCO, DBO ₅ , NH ₄ ⁺ , NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ et PO ₄ ³⁻ dans le barrage Harreza.	101
Figure 50 : Bassin versant du barrage Harreza.	102
Figure 51 : Lac du barrage O. Mellouk.	103
Figure 52 : Fiche de Qualité moyenne annuelle des eaux du barrage O. Mellouk (2004-2008)	104
Figure 53 : Évolution de la qualité des paramètres du R.sec, DCO, DBO ₅ , NH ₄ ⁺ , NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ et PO ₄ ³⁻ dans le barrage O. Mellouk.	107
Figure 54 : Charge polluante dans le bassin versant du barrage Ouled Mellouk.	110
Figure 55 : Évolution des résidus secs et du volume d'eau dans les barrages.	111
Figure 56 : Évolution des DCO et du volume d'eau dans les barrages.	113
Figure 57 : Évolution des NO ₃ ⁻ et du volume d'eau dans les barrages.	114

Figure 58 : Évolution des PO_4^{-3} et du volume d'eau dans les barrages.	116
Figure 59 : Qualités des eaux des oueds du Haut Cheliff.	116
Figure 60 : Inventaire des points d'eaux de la plaine du Haut Cheliff.	120
Figure 61 : Corrélation entre la somme des anions et des cations.	121
Figure 62 : Corrélation entre la somme des ions et le Résidu sec.	121
Figure 63 : Évolution des cations et des anions en fonction du résidu sec en 2002.	124
Figure 64 : Évolution des cations et des anions en fonction du résidu sec en 2008.	124
Figure 65 : Carte de chlorures, périodes de hautes et de basses eaux 2002 et 2008 (mg/l).	125
Figure 66 : Carte de sulfates, périodes de hautes et de basses eaux 2002 et 2008 (mg/l).	126
Figure 67 : Carte du calcium, périodes de hautes et de basses eaux 2002 et 2008 (mg/l).	127
Figure 68 : Carte de sodium, périodes de hautes et de basses eaux 2008 (mg/l)	127
Figure 69 : Carte de bicarbonates, périodes de hautes et de basses eaux 2002 et 2008 (mg/l).	128
Figure 70 : Carte de nitrates, périodes de hautes et de basses eaux 2002 et 2008 (mg/l).	129
Figure 71 : Carte du Résidu sec, périodes de hautes et de basses eaux 2002 et 2008 (mg/l)	129
Figure 72 : Évolution du Calcium durant la période 2002 à 2008.	131
Figure 73 : Évolution du Magnésium durant la période 2002 à 2008.	131
Figure 74 : Évolution du Sodium durant la période 2002 à 2008.	131
Figure 75 : Évolution des Chlorures durant la période 2002 à 2008.	131
Figure 76 : Évolution des Sulfates durant la période 2002 à 2008.	132
Figure 77 : Évolution des résidus secs durant la période 2002 à 2008.	132
Figure 78 : Évolution des Bicarbonates durant la période 2002 à 2008.	132
Figure 79 : Évolution des Nitrates durant la période 2002 à 2008.	133
Figure 80 : Projection des variables sur le plan factoriel (F1-F2) en 2002 et 2008.	135
Figure 81 : La projection des individus sur le plan factoriel (F1-F2) en 2002.	136
Figure 82 : La projection des individus sur le plan factoriel (F1-F2) en 2008.	136
Figure 83 : Diagramme de Piper, campagne avril 2002.	138
Figure 84 : Diagramme de Piper, campagne avril 2008.	138
Figure 85 : Diagramme de Piper, campagne Septembre 2002.	139
Figure 86 : Diagramme de Piper, campagne octobre 2008.	139
Figure 87 : Distribution des faciès chimiques en 2002.	142
Figure 88 : Distribution des faciès chimiques en 2008.	142
Figure 89 : Relations entre les principaux éléments majeurs 2002.	144
Figure 90 : Relations entre les principaux éléments majeurs 2008.	145
Figure 91 : Relation entre $(Ca^{2+} + Mg^{2+})$ et $(HCO_3^- + SO_4^{2-})$ en 2002 (A) et 2008(B).	146
Figure 92 : Carte de l'évolution des valeurs de l'I.C.A en 2002 et 2008.	147
Figure 93 : Variation de l'indice de saturation des minéraux, avril et septembre 2002.	148
Figure 94 : Variation de l'indice de saturation des minéraux, avril et octobre 2008.	149
Figure 95 : Variation de l'indice de saturation des minéraux, avril et Septembre 2002.	149
Figure 96 : Variation de l'indice de saturation des minéraux, avril et Octobre 2008.	150
Figure 97 : Relation entre le rapport (Na^+/Cl^-) et le Résidu sec en 2002.	150
Figure 98 : Relation entre le rapport (Na^+/Cl^-) et le Résidu sec en 2008.	151
Figure 99 : Représentation sur le diagramme de RICHARDS (Riverside) des eaux de la nappe de Haut Cheliff pour les années 2002 et 2008.	154
Figure 100 : Charge de pollution industrielle dans l'aire de l'étude.	158
Figure 101 : Carte des stations de services.	159
Figure 102 : Localisation des points des rejets domestiques de la région d'étude.	160
Figure 103 : Localisation de la ville de Khemis Miliana dans la vallée du Haut Cheliff.	160
Figure 104 : Quantité des déchets ménagers par commune.	162
Figure 105 : Charge polluante de l'élevage par commune.	164
Figure 106 : Charge polluante dans la nappe du Haut Cheliff.	166

Liste des Abréviations

ABH : Agence du Bassin hydrographique Cheliff-Zahrez.
ACP : Analyse en Composantes Principales
AEI : Alimentation en Eau des Industries
AEP : Alimentation en Eau Potable
ANBT : Agence Nationale des Barrages et des Transferts
ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
C.E.T : Centre D'enfouissement Technique
CGG : Compagnie Générale de Géophysique
CMD : Coefficient mensuel du débit
D.H.T : Degré Hydrotimétrique Total
DAOM : Déchets à Risque Assimilables aux Ordures Ménagères
DASRI : Déchets D'activités de Soins à Risque Infectieux
DBO5 : Demande Biochimique en Oxygène
DCO : Demande chimique en Oxygène
Ddp : Densité de drainage permanente
Ddt : Densité de drainage temporaire
DHW : Direction D'hydraulique de Wilaya
DRTC : Déchets à Risque Toxique ou Chimique
DSA : Direction des Services Agricoles
Eqh : Équivalent habitant
FNRDA : Fonds National pour la Régulation du Développement Agricole
GPI : Grand Périmètre Hydraulique
ICA : Indice Chloro-Alcalin
IEB : indice d'échange de base
INRA : Institut National des Recherches Agronomiques
IS : Indice de saturation
MO : Matière Organique
O.M.S : Organisation Mondiale de la Santé
O.N.A : Office National d'Assainissement
ONID : Office National D'irrigation et de Drainage
ONS : Office National de Statistiques
PDARE : Plan Directeur D'aménagement des Ressources en Eau
PMH : Petite et Moyenne Hydraulique
PNDA : Programme National de Développement de l'Agriculture
PNE : Plan National de l'Eau
PNUD : Plan des Nations Unies pour le Développement
R .sec : Résidu Sec
S.A.U : Surface Agricole Utile
SAR : Sodium Absorption Ratio
STEP : Station d'Épuration

Résumé

La qualité des eaux de la région du Haut Cheliff, située au Nord- Ouest de l'Algérie, a connu ces dernières années une grave détérioration due aux rejets non contrôlés des eaux usées urbaines, l'utilisation intensive d'engrais chimiques dans l'agriculture ainsi que la surexploitation.

Cette étude vise à analyser le mode de fonctionnement de la nappe du Mio-Plio-Quaternaire, à déterminer ses caractéristiques actuelles et à comprendre les processus de minéralisation impliqués dans sa qualité chimique. L'étude concerne également l'évaluation de la qualité des eaux de barrages situés dans la région du Haut Cheliff, à travers la réalisation des fiches de qualité mensuelles et annuelles et leurs interprétations ainsi que leurs évolutions temporelles au cours d'un cycle d'étude de dix ans (1999 à 2008). Les questions d'ordre environnemental, à savoir la présence de polluants et leurs origines ont été abordées.

Nous avons pu étudier l'hydrogéochimie des eaux souterraines en se basant sur les campagnes d'analyse des éléments chimiques (cations, anions et résidu sec) en hautes et basses eaux qui se sont effectuées par l'ANRH, durant les deux années 2002 et 2008; ainsi que l'évolution temporelle de ces éléments sur une période allant de 2002 jusqu'à 2008.

Plusieurs études ont été effectuées ; à savoir : géologique, climatique, hydrogéologique et hydrochimique. Le traitement et l'interprétation des données hydrochimiques ont été faites en utilisant différentes méthodes et outils (piézométrique, statistique, diagramme de Piper, classification de Stabler, indices chloro-alkalin, diagrammes binaires, les indices de saturation et de la cartographie)

- Les eaux souterraines sont caractérisées par la présence de trois faciès hydrochimiques (chloruré calcique, chloruré sodique et bicarbonaté calcique) selon les diagrammes de Piper et Stabler.
- La qualité chimique de l'eau est médiocre, résultant d'une forte salinité influencée par la lithologie de la nappe, les facteurs climatiques (évaporation), ainsi que les facteurs anthropiques (activités agricoles et rejets urbains).
- Les fiches de qualité des eaux superficielles pour les 04 barrages situés dans la région du Haut Cheliff (Ghrib, Deurdeur, Harreza et Ouled Mellouk), montrent une dégradation au cours du temps de 1999 à 2008. Ceci est dû à une pollution organique, azotée et phosphatée exprimée en DCO, DBO₅, NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻ et PO₄³⁻, avec une salinité très élevée exprimée en Résidu sec.

Mots clés : Eaux souterraines, Hydrochimie, Minéralisation, Eaux superficielles, Haut Cheliff.

Abstract

Water quality of the Upper Cheliff region, located in North West Algeria, has in recent years undergone serious deterioration due to uncontrolled discharge of urban wastewaters, intensive use of chemical fertilizers in agriculture as well as to overexploitation.

This study aims at analyzing the flow pattern of the Mio-Plio-Quaternary aquifer, determining its current hydrochemical status, understanding the mineralization processes involved in its chemical quality and evaluating the dams water quality located in the region of Upper Cheliff, through the achievement of monthly and annual quality sheets and interpretations and their changes over time during a cycle ten-years study (1999-2008). Environmental issues namely the presence of pollutants and their origins, are also considered.

We studied hydrogeochemistry groundwater based on chemical elements analysis campaigns (cations, anions and TDS) in high and low waters that are performed by the ANRH during the two years 2002 and 2008; well as the temporal evolution of these elements over a period from 2002 to 2008.

Several studies have been performed; namely: geological, climatic, hydrogeological and hydrochemical. The processing and interpretation of hydrochemical data were made using various methods and tools (piezometric, statistics, Piper diagram, Stabler classification, chloro-alkaline indexes, bi-elements scatter diagrams, saturation indexes and mapping).

Groundwater is characterized by three hydrochemical facies according to Piper and Stabler diagrams, which are calcium chloride, sodium chloride and calcium bicarbonate. The chemical water quality is poor, resulting from the strong salinity influenced by the lithology of the aquifer, the climatic factors (evaporation) and anthropogenic factors (agricultural and urban wastes).

Quality sheets of surface water for 04 dams in the Upper Cheliff region (Ghrib, Deurdeur, Harreza and Ouled Mellouk) show a degradation over time from 1999 to 2008. This is due to organic pollution, nitrogen and phosphate expressed as COD, BOD₅, NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻ and PO₄³⁻, with a very high salinity expressed TDS.

Keywords: Groundwater, Hydrochemistry, Mineralization, water surface, Upper Cheliff.

نوعية المياه في السنوات الأخيرة تدهورا خطيرا
 مياه الصرف الصحي غير المراقبة ، الاستخدام المكثف للأسمدة الكيماوية في الزراعة والاستغلال المفرط.
 تهدف هذه الدراسة إلى تحليل آلية تشغيل المياه الجوفية - - لتحديد خصائصه
 الحالية وفهم الية ال- النوعية الكيماوية و تقييم نوعية مياه . البيئي
 المياه

قمنا بدراسة هيدروجيوكيمياء المياه الجوفية على أساس العناصر الكيماوية حملات التحليل (الكاتيونات، الأنيونات
 وبقايا الجافة) في المياه العالية والمنخفضة التي يتم إنجازها الوكالة الوطنية للموارد المائية خلال السنتين 2002
 2008؛ فضلا عن التطور الزمني لهذه العناصر على مدى الفترة من 2002 2008.
 هيدروكيمياء المياه الجوفية تغيرات الفيزيوكيماوية 2002
 2008.

وقد أجريت العديد من الدراسات .وهي :الجيولوجية والمناخية والهيدروجيولوجية والهيدروكيماوية .وقدمت معالجة وتفسير
 البيانات الكيماوي باستخدام (Stabler Piper التمثيلات البيانية الثنائية
 التبادل الأيوني التحليل الجيو-)

حيث أظهرت تحليل المعطيات يلي:

- تتميز المياه الجوفية ثلاثة نوعيات وفقا لمخططات Stabler Piper ، و هي كلوريد الكالسيوم وكلوريد الصوديوم وبيكربونات الكالسيوم.
- نوعية المياه رديئة ملوحتها جهة نوعية المناخية () .
 البشرية (الفلاحية المياه) .
- تظهر بطاقات نوعية المياه السطحية دهورا خلال فترة المراقبة الممتدة بين (1999- 2008)
 هي: غريب ، ردر، حريزة وهذا نتيجة تلوث المياه بالم العضوية، الأزوتية
 والفوسفاتية عبر عنها بالمؤشرات التالية: PO_4^{3-} NO_3^- NO_2^- NH_4^+ DBO_5 DCO عالية جدا
 عنها بمؤشر البقايا الجافة Résidu sec.

: المياه الجوفية، هيدروكيماوية ، ملوحة، المياه السطحية، الشلف الأعلى.

Introduction
Générale

Introduction générale

1. Problématique

L'eau est un élément indispensable à la vie et revêt de l'importance pour d'innombrables activités humaines. L'eau peut être rare à certains endroits, comme les zones arides et semi-arides, ou tout simplement d'une qualité médiocre à d'autres endroits. Il est certain que l'augmentation de la demande en eau pour les activités humaines accentuera les contraintes sur cette ressource. En outre, les facteurs naturels, tels que la sécheresse ou les contraintes géologiques, ont un effet sur l'approvisionnement en eau potable et sa distribution.

Il est donc essentiel de quantifier et d'analyser la quantité et la qualité des réserves en eau et de trouver le moyen de gérer cette ressource pour en assurer la durabilité.

Dans ce contexte, la présente étude s'ajoute à de plus anciens travaux de recherche, et ce pour donner un aperçu scientifique sur l'état actuel de la région du Haut Cheliff, du point de vue qualitatif et quantitatif. La qualité des eaux de cette région a subi ces dernières années une certaine détérioration, à cause de rejets urbains non contrôlés, de l'utilisation intensive d'engrais chimiques et de fertilisants dans l'agriculture ainsi que de son exploitation désordonnée. Ces éléments modifient le chimisme de l'eau et la rendent impropre aux usages souhaités.

La région d'étude a connu, durant ces dernières années, une certaine expansion économique et particulièrement agricole, et ce après l'application du Programme National de Développement de l'Agriculture (PNDA) en 2000 et celui du Fond National pour la Régulation du Développement Agricole (FNRDA) en 2001. Ceci a d'une part augmenté la demande en eau, et d'autre part, a exposé les ressources en eau à différentes pollutions résultant de l'activité agricole.

C'est dans ce cadre que cette étude a été menée, afin d'analyser la qualité des eaux au niveau de la dite région.

Cette thèse s'appuie sur les études antérieures concernant la plaine du Cheliff (mémoires d'ingénieur, de Magister et thèse de Doctorat : Maghraoui, 1986 ; Djeda, 1987 ; Bouzelboudjen, 1989 ; Achour, 1998 ; Messelmi, 2004 ; Ikhlef, 2006 ; Touhari, 2007 ; Bettahar, 2009, et vise à approfondir et à améliorer les résultats présentés dans ces travaux, ainsi que l'acquisition de nouvelles connaissances.

2. Objectifs, méthodes et moyens

L'objectif principal recherché dans ce contexte est l'étude de la qualité des eaux souterraines et superficielles dans la région du Haut Cheliff.

L'étude menée dans le présent manuscrit aura pour objet la compréhension de l'ensemble des mécanismes régissant le chimisme des eaux de la nappe alluviale du Haut Cheliff. Nous allons essayer de mieux comprendre l'impact des paramètres climatiques et lithologiques sur la qualité de la ressource souterraine et d'optimiser l'interprétation des analyses physico-chimiques en utilisant des moyens plus adéquats.

Cette étude vise aussi à évaluer le degré, la nature et l'origine de la pollution qui touche les eaux de surface à travers la détermination des caractéristiques physico-chimiques des eaux au niveau des barrages de la région d'étude.

Ce travail cherche des éléments de réponse aux questions auxquelles est confrontée cette nappe en déterminant les conséquences du changement climatique tant sur la qualité que sur la réserve en eau.

Pour atteindre ces objectifs, une méthodologie couplant des approches hydrogéologique et hydrogéochimique, a été développée pour concrétiser ce programme de travail : un suivi saisonnier (basses et hautes eaux) de la qualité physico-chimique et piézométrique des eaux souterraines a été réalisé. Ainsi, deux campagnes en 2002 et en 2008 ont été entreprises. Plusieurs outils (géologique, chimique, statistique et informatique) ont été utilisés afin de mieux interpréter les données acquises. Et enfin le risque de la plaine à la pollution naturelle, agricole et urbaine des eaux souterraines à été pris en compte, afin d'orienter les nouvelles investigations et protéger les ressources en eaux.

Les explications des phénomènes et le détail des résultats seront présentés dans les chapitres qui constituent cette thèse.

Pour ce qui est des ressources superficielles, nous examinerons la qualité des eaux de barrages (Ghrib, Deurdeur, Harreza et Ouled Mellouk). Pour chacun des 4 barrages surveillés par l'ANRH, une fiche de synthèse de la qualité des eaux résume le suivi mensuel pour l'année 1999 et 2008 et l'évolution annuelle de cette qualité pour les années 1999 - 2008.

3. Structure de la thèse

Le manuscrit de thèse s'articule autour de six chapitres précédés par une introduction qui décrit la problématique du sujet, les objectifs visés et les méthodes et moyens utilisés pour mener à bon port cette étude :

- ➔ Dans le premier chapitre, un aperçu sur les paramètres de qualité et la méthodologie d'étude des eaux souterraines et de surface est donné.
- ➔ La localisation et les caractéristiques de la région d'étude sont présentées dans le deuxième chapitre, ainsi que l'analyse des principales conditions climatiques et hydrologiques (précipitations, températures et écoulements).
- ➔ Le chapitre trois expose les caractéristiques des formations géologiques rencontrées dans la zone en s'appuyant principalement sur la synthèse des études géologiques et s'intéresse au fonctionnement hydrodynamique de la nappe en utilisant les données des campagnes piézométriques en périodes de hautes et basses eaux.
- ➔ La qualité des eaux de surface sera ensuite évaluée, dans le quatrième chapitre, à l'aide de fiches de qualité et leurs interprétations pour chaque barrage, ainsi que l'identification des sources de pollution en amont des barrages.
- ➔ Nous mettrons l'accent, dans le cinquième chapitre, sur l'évolution des paramètres chimiques dans le temps et dans l'espace en abordant les mécanismes de l'acquisition de la minéralisation des eaux souterraines. Nos efforts porteront également sur des dépendances et relations entre les divers paramètres physico-chimiques de l'eau ainsi que leurs origines. Dans ce chapitre, nous avons évalué la qualité des eaux souterraines utilisées en AEP et en irrigation dans la plaine du Haut Cheliff, sera évaluée.
- ➔ dans le sixième chapitre, nous identifions les principales sources de pollution et leurs impacts sur les eaux souterraines du Haut Cheliff.

Enfin, l'ensemble de ces différents résultats issus des différents chapitres constitue la synthèse qui fera l'objet de la conclusion générale à laquelle seront associés des recommandations.

Chapitre I

APERÇU

BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Introduction

L'eau, au contact des terrains qu'elle rencontre, se charge en divers éléments qui vont influencer sur sa qualité. Certains de ces éléments sont présents naturellement dans le sol, et vont définir la qualité « naturelle » de l'eau brute. Ainsi l'eau à l'état naturel peut contenir :

- des matières organiques,
- des matières dissoutes provenant des terrains traversés (calcium, magnésium, sodium, potassium, bicarbonates, sulfates, chlorures, métaux lourds, ...),
- des particules en suspension.

D'autres éléments sont d'origine anthropique.

En conséquence, la qualité des eaux continentales dépend de la concentration d'un certain nombre d'éléments qui y sont présent en solution ou en suspension.

I.2. Paramètres de qualité des eaux

I.2.1. Paramètres physiques et organoleptiques

Les eaux souterraines ont des propriétés étroitement liées à leur origine géologique, c'est-à-dire déterminées par la nature et la structure des terrains. À tout instant, l'eau est au contact avec le terrain dans lequel elle stagne ou circule : il s'établit un équilibre entre la composition du terrain et celle de l'eau (Guillemin et Roux, 1992).

I.2.1.1. Température

La température joue un rôle primordial dans la solubilité des sels et des gaz et par conséquent sur la conductibilité. Elle permet de différencier entre les eaux qui circulent en profondeur et celles qui circulent près de la surface, donc sur son origine.

La variation thermique des eaux souterraines peut être fonction de la profondeur de l'aquifère :

- Si l'aquifère est très profond, les eaux ne sont influencées que par le gradient géothermique, elles ne présentent pas donc une grande variation de température ;
- Si l'aquifère est peu ou pas profond comme dans notre cas, la température des eaux sera influencée essentiellement par les variations climatiques.

La source principale de nuisance thermique pour les eaux de surface est constituée par les centrales thermiques (70 à 80 %), le reste étant lié à la métallurgie, aux industries chimiques et alimentaires, etc ... (Merabet, 2010).

Par ailleurs, l'activité métabolique des organismes aquatiques est également accélérée lorsque la température de l'eau s'accroît. La valeur de ce paramètre est influencée par la température ambiante mais également par d'éventuels rejets d'eaux résiduaire chaudes (De Villers et al., 2005).

La température doit être mesurée in situ. Les appareils de mesure de la conductivité ou du pH possèdent généralement un thermomètre intégré.

I.2.1.2. Potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH de l'eau est défini selon sa concentration en ions H^+ contenus dans la solution. Il exprime l'alcalinité ou l'acidité du milieu et renseigne sur le caractère agressif ou incrustant de l'eau. Le pH doit être impérativement mesuré sur le terrain, à l'aide d'un pH-mètre ou par colorimétrie (bandelettes peu précis) (Rodier et al., 2009).

Le pH est acide dans les eaux des aquifères sableux ou granitique. Il est alcalin dans les calcaires.

Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés. Habituellement il varie entre 7,2 et 7,6 (Bremond et Vuichard, 1973). Cependant, dans certains cas, il peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Des pH faibles augmentent le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, toxique pour les poissons (De Villers et al., 2005).

Le pH est corrigé selon le cas par élimination du CO₂ dissous en excès ou par correction de la dureté carbonatée (Rodier et al, 2009).

I.2.1.3. Conductivité électrique

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface, séparées l'une de l'autre de 1 cm. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau.

La conductivité est également fonction de la température de l'eau, elle est plus importante lorsque la température augmente. Les résultats doivent donc être présentés pour une conductivité équivalente à 20 ou 25°C en µS / cm. Les appareils de mesure utilisés sur le terrain font généralement la conversion automatiquement. Ce paramètre doit impérativement être mesuré sur le terrain (Rodier, 1996 ; Debieche., 2002).

La conductivité est également un des moyens de valider les analyses physicochimiques de l'eau : la valeur mesurée sur le terrain doit être comparable à celle mesurée au laboratoire. La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500 µS/cm (tab. 1).

Tableau 1 : Relation entre la minéralisation et la conductivité électrique.

Conductivité électrique	Taux de minéralisation
CE < 100 µs /cm	Minéralisation très faible
100 < C.E < 200 µs /cm	Minéralisation faible
200 < C.E < 333 µs / cm	Minéralisation moyenne
333 < C.E < 666 µs / cm	Minéralisation moyenne accentuée
666 < C.E < 1000 µs/ cm	Minéralisation importante
C.E > 1000 µs/cm	Minéralisation élevée

(Rodier, 1996)

Du point de vue qualité de l'eau, on a le classement suivant : (tab. 2)

Tableau 2 : Qualité de l'eau en fonction de la conductivité électrique.

Conductivité électrique (exprimée en µs/cm)	Qualité de l'eau
50 à 400	excellente
400 à 750	bonne qualité
750 à 1500	médiocre mais eau utilisable
> à 1500	minéralisation excessive

(Kemmer, 1984)

I.2.1.4. Turbidité

Même occasionnelle, la turbidité est un caractère très important, car une eau susceptible d'être trouble peut être suspecte du point de vue bactériologique. Elle permet de préciser les informations visuelles de la couleur de l'eau. La turbidité est causée par les particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques...). Elle se mesure à l'aide d'un turbidimètre et peut être exprimée en : 1 NTU (Nephelometric Turbidity Unit) = 1 JTU (Jackson TU) = 1 FTU (Formazin TU) (Rodier et al, 2009).

La turbidité peut être importante dans les aquifères karstiques. Elle occasionne des désagréments dans l'aspect de l'eau et sa saveur (goût de terre). Les pics de turbidité suivent les fortes précipitations (Gouaidia, 2008).

I.2.1.5. Couleur

La couleur des eaux est en général, très transparente, sauf si elles sont chargées de sels de fer, néanmoins, sous une épaisseur suffisante au différences très facilement, les eaux des massifs de calcaires légèrement jaunes (fer et acide humique), des eaux calcaires qui possèdent une teinte verte très caractéristique (Gaujous, 1995).

I.2.1.6. Saveur

La saveur d'une eau dépend des sels 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 milligramme de chlorure de sodium n'affectent pas le goût (Gaujous, 1995).

I.2.1.7. Odeur

Les eaux sont, en générale, 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 (Gaujous, 1995).

I.2.2. paramètres chimiques

I.2.2.1. Calcium (Ca^{2+}) et Magnésium (Mg^{2+})

Le calcium Ca^{2+} et le magnésium Mg^{2+} sont présents dans les roches cristallines et les roches sédimentaires. Ils sont très solubles et sont donc largement représentés dans la plupart des eaux. L'altération des roches cristallines libère du calcium et du magnésium, mais en quantité moindre que certaines roches sédimentaires carbonatées, dont les principales sont la calcite (CaCO_3), la dolomie (CaMgCO_3), la magnésie (MgCO_3), le gypse (CaSO_4), l'apatite ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3$) ou la fluorine (CaF) (Merabet, 2010). Notons également les grès et roches détritiques au ciment carbonaté. L'ion calcium est sensible au phénomène d'échange de base.

I.2.2.2. Sodium (Na^+) et Potassium (K^+)

Le cation sodium (Na^+) est très abondant sur la terre. On le retrouve dans les roches cristallines et les roches sédimentaires (sables, argiles, évaporites). La roche Halite (évaporite NaCl) est le sel de cuisine. Il est très soluble dans l'eau. Le sodium est par contre généralement peu présent dans les roches carbonatées. Notons que les argiles peuvent être saturées en ion Na^{2+} , par le processus d'échange de base (Gouaidia, 2008).

Le potassium (K^+) est assez abondants sur terre, mais peut fréquent dans les eaux. En effet, il est facilement adsorbé et recombinaé dans les sols (sur les argiles notamment). Les sources principales de potassium sont les roches cristallines (mais dans des minéraux moins altérables que ceux qui contiennent du sodium), les évaporites (sylvinite KCl) et les argiles.

Le potassium résulte aussi de la dissolution des engrais chimiques (NPK) qui sont utilisés massivement par les agriculteurs. La présence de cet élément peut être également liée au déversement des eaux usées domestiques dans la nappe (Gouaidia, 2008).

I.2.2.3. Chlorure (Cl^-)

L'ion chlorure possède des caractéristiques différentes de celles des autres éléments, il n'est pas adsorbé par les formations géologiques, ne se combine pas facilement avec les éléments chimiques et reste très mobile. Il constitue un bon indicateur de la pollution (Gouaidia, 2008).

Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés (roches magmatiques contenant des minéraux de chlore).

Ces teneurs sont susceptibles de subir des variations provoquées :

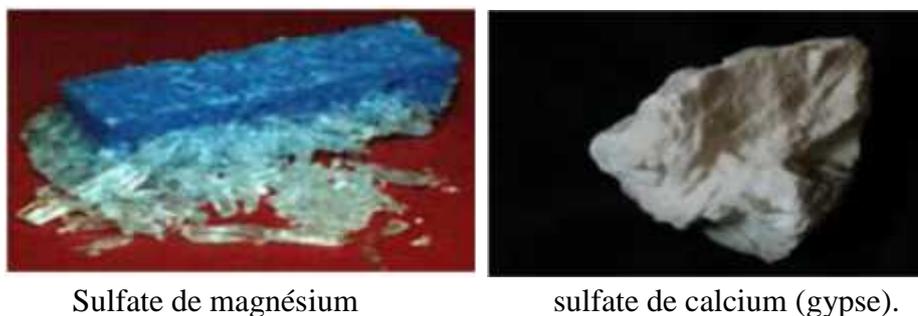
- Dans les zones arides par un lessivage superficiel en cas de fortes pluies.
- En zone côtière par des infiltrations d'eau de mer dans les nappes en particulier lors des pompages excessifs et d'origine atmosphérique (Gaujous, 1995).

I.2.2.4. Sulfate (SO_4^{2-})

Les origines des sulfates dans les eaux sont variées. Les origines naturelles sont l'eau de pluie (évaporation d'eau de mer : $1 < c < 20$ mg/l), et la mise en solution de roches sédimentaires évaporitiques, notamment le gypse ($CaSO_4$), mais également de la pyrite (FeS) et plus rarement de roches magmatiques (galène, blende, pyrite).

Les origines anthropiques sont la combustion de charbon et de pétrole qui entraîne une production importante de sulfures (qu'on retrouve dans les pluies), et l'utilisation d'engrais chimiques (El Wartiti et al, 2012).

Parmi les minéraux qui contiennent du sulfate on peut citer le sulfate de sodium, le sulfate de magnésium et le sulfate de calcium (gypse). (Fig.01)



Sulfate de magnésium

sulfate de calcium (gypse).

Figure 1: Les minéraux de sulfate.

Le gypse est un sulfate de calcium hydraté qui est faiblement soluble (7 g/l dans les conditions normales (250 mg/l valeur limite admissible). Il est obtenu selon la relation :



Les nappes captives en terrains calcaires sont moyennement à très sulfatées (30 à 200 mg/l, parfois supérieures à 250 mg/l) (El Wartiti et al, 2012).

I.2.2.5. Bicarbonates (HCO_3^-)

Les bicarbonates dans les eaux ont deux origines. Ils résultent de l'action combinée du CO_2 de l'atmosphère et des eaux météorites sur les minéraux silicatés et la dissolution des formations carbonatées qui bordent la nappe, selon la réaction suivante :



I.2.2.6. Nitrates

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 (Merabet, 2010).

Les eaux naturelles non polluées contiennent généralement peu de nitrates. Les nitrates présents dans l'eau peuvent provenir de sources indirectes ou directes (De Villers et al., 2005).

Lors du rejet d'azote organique (protéines, acides aminés, urée...), les molécules sont tout d'abord transformées en ammonium (NH_4^+) qui est ensuite oxydé en nitrites puis en nitrates sous l'action de bactéries nitrifiantes. Ces processus d'oxydation, également appelés «nitrification», sont très sensibles à la présence de matières toxiques (métaux, pesticides) et aux températures basses (De Villers et al., 2005).

I.2.2.7. Nitrites

Les nitrites constituent une étape importante dans la métabolisation des composés azotés ; ils s'insèrent dans le cycle de l'azote entre l'ammoniac et les nitrates. Leur présence est due, soit à l'oxydation bactérienne de l'ammoniac, soit à la réduction des nitrates. Ils ne représentent qu'un stade intermédiaire et sont facilement oxydés en nitrates (par voie chimique et bactérienne) (Merabet, 2010).

Des concentrations élevées en nitrites, témoignent souvent de la présence de matières toxiques. Les nitrites sont surtout nuisibles pour les jeunes poissons. On considère que la situation est très critique à partir d'une concentration de plus de 3 mg NO_2^- /l. En absence d'oxygène, des bactéries anaérobies transforment les nitrates et produisent de l'ammoniac (NH_3) ou de l'ammonium (NH_4^+) (De Villers et al., 2005).

I.2.2.8. Azote ammoniacal

L'azote ammoniacal est assez souvent rencontré dans les eaux superficielles. Il a pour origine la matière organique végétale et animale des cours d'eau. La nitrification des ions ammonium se fait en milieu aérobie faible. En général, l'ammonium se transforme assez rapidement en nitrites et nitrates par oxydation bactérienne (Bremond et Vuichard, 1973).

L'ammonium en lui-même n'est pas nuisible. Lorsque le pH augmente, on retrouve de l'ammoniac, un gaz soluble dans l'eau et toxique pour la vie aquatique. Des problèmes apparaissent à partir d'une concentration de 0,1 mg NH_3 /l (De Villers et al., 2005).

I.2.2.9. Phosphates

Les phosphates peuvent être d'origine naturelle (produit de décomposition de la matière vivante, lessivage de minéraux) mais, à l'heure actuelle, leurs présences dans les eaux sont plutôt d'origine artificielle (engrais, polyphosphates des formulations détergentes, eaux traités aux phosphates, industrie chimique...) (Bremond et Vuichard, 1973).

Le contenu en phosphore total comprend non seulement les orthophosphates mais également les polyphosphates et les phosphates organiques. L'eutrophisation peut se manifester à des concentrations relativement basses en phosphates (50 µg P/l) (De Villers et al., 2005).

I.2.2.10. Dureté

La dureté a un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés (Bernard, 1966). Elle correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins (Na^+ , K^+) et H^+ . Elle est souvent due aux ions Ca^{2+} et Mg^{2+} . La présence de ces deux cations dans l'eau tend souvent à réduire la toxicité des métaux (De Villers et al., 2005). On distingue la dureté carbonatée ou dureté temporaire qui provient des carbonates et bicarbonates et la dureté non carbonatée ou dureté permanente qui provient des sulfates et chlorures.

Une eau très dure présente des inconvénients d'utilisation, tels que la diminution des propriétés détergentes des lessives et savons et les dépôts de tartre sur les parois des canalisations d'eau.

Une eau trop douce est une eau corrosive. Elle attaque les parois des canalisations d'eau et contribue à la dégradation de la qualité de l'eau à la suite de la dissolution de métaux lourds tels que le plomb (Bremond et Vuichard, 1973 ; Dib, 2010).

Le Degré Hydrotimétrique Total (D.H.T) ou la dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en calcium et en magnésium :

$$DHT = rCa^{2+} + rMg^{2+} \quad (3)$$

Avec : Ca^{2+} , Mg^{2+} sont exprimés en (meq/l)

Un degré français (°F) correspond à la dureté d'une solution contenant 10 mg / l de CaCO_3
1 °F est équivalent à 4 mg de calcium par litre et 2,4 mg de magnésium par litre.

1 méq d'ions de calcium et de magnésium est égal à 5 °F.

La classification des eaux selon leurs DHT est donnée par le tableau 3.

Tableau 3 : Classification des eaux selon leurs DHT.

DHT (°F)	0 à 07	07 à 14	14 à 22	22 à 32	32 à 54	> 54
Dureté de l'eau	Très Douce	Douce	Modérément douce	Assez Dure	Dure	Très dure
Usage Domestique	Bonne Potabilité		Potabilité passable		Potabilité médiocre à mauvaise	

I.2.3. Paramètres biologiques

I.2.3.1. Oxygène dissous

Les concentrations en oxygène dissous, constituent avec les valeurs de pH, l'un des plus importants paramètres de qualité des eaux pour la vie aquatique.

L'oxygène dissous est un paramètre utilisé essentiellement pour les eaux de surface, provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques. La concentration en oxygène dissous varie de manière journalière et saisonnière car elle dépend de nombreux facteurs ; tels que la pression partielle en oxygène de l'atmosphère, la température de l'eau, la salinité, la pénétration de la lumière, l'agitation de l'eau et la disponibilité en nutriments. Cette concentration dépend également de la vitesse d'appauvrissement du milieu en oxygène par l'activité des organismes aquatiques et les processus d'oxydation et de décomposition de la matière organique présente dans l'eau (De Villers et al., 2005).

I.2.3.2. Demande biochimique en oxygène (DBO)

La demande biochimique en oxygène (DBO), représente la quantité d'oxygène utilisée par les bactéries, pour décomposer partiellement ou pour oxyder totalement les matières biochimiques oxydables présentes dans l'eau. L'indicateur utilisé est généralement la DBO₅ qui correspond à la quantité d'oxygène (exprimée en mg/l) nécessaire aux microorganismes décomposeurs pour dégrader et minéraliser en 5 jours la matière organique présente dans un litre d'eau polluée. Plus la DBO₅ est élevée, plus la quantité de matières organiques présentes dans l'échantillon est élevée (De Villers et al., 2005). L'analyse de la DBO₅ est surtout intéressante pour l'appréciation de la qualité des eaux brutes (Bremond et Vuichard, 1973).

I.2.3.3. Demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO (Demande Chimique en Oxygène) exprime la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique (biodégradable ou non) d'une eau à l'aide d'un oxydant : le bichromate de potassium. En fait, il est très difficile de doser quantitativement les matières organiques, leurs composés s'oxydent plus ou moins complètement. Il est toutefois, possible de se faire une idée de la quantité de matières organiques présente par utilisation de tests simples. Les oxydants les plus couramment utilisés sont le bichromate de potassium et le permanganate de potassium (Bremond et Vuichard, 1973).

I.3. Distinction entre la qualité des eaux souterraine et de surface

La qualité naturelle de l'eau souterraine diffère de celle des eaux de surface par les caractéristiques suivantes (tableau 4) :

- ✓ Pour toute source donnée, sa qualité sa température et ses paramètres sont moins variables dans le temps.
- ✓ Dans la nature, l'échelle de valeurs des paramètres de l'eau souterraine est beaucoup plus grande que pour les eaux de surface.
- ✓ En tout lieu donné, l'eau souterraine tend à être plus dure et plus saline que les eaux de surface, mais il ne s'agit nullement d'une règle universelle. Il arrive aussi généralement

que la salinité de l'eau souterraine augmente proportionnellement avec la profondeur ; cependant, il existe, encore une fois, de nombreuses exceptions.

✓ Puisque l'eau souterraine coule à travers un aquifère, elle est naturellement filtrée. Cette filtration, combinée à une longue période de séjour souterraine signifie que cette eau est ordinairement exempte de micro-organismes pathogènes. Une source de contamination proche d'un puits peut cependant vaincre ces défenses naturelles. La filtration naturelle signifie en outre que l'eau souterraine contient habituellement moins de matières en suspension et de matières non dissoutes que les eaux de surface.

Tableau 4 : Caractéristiques comparées des eaux de surfaces et eaux souterraines.

Caractéristiques	eaux de surface	Eaux souterraines
Température	variable (saisons)	plutôt constante
Turbidité / MES vraies ou colloïdales	variable (parfois élevée / crues, rejets de carrières, fortes pluies)	faible ou nulle sauf en pays karstique et en pays crayeux
Couleur	dépend essentiellement des mes, des acides humiques, tannins, etc. et des algues	dépend des acides humiques ou des précipitations Fe - Mn
Goûts et odeurs	fréquents	rare sauf H ₂ S
Minéralisation globale / Salinité	variable (précipitations rejets, nature des terrains traversés, etc.)	généralement plus élevée que celle mesurée dans les eaux de surface sur le même territoire
Fe et Mn divalent dissous	normalement absents sauf dystrophisation des eaux profondes	présents
CO ₂ agressif	généralement absent	présent souvent en quantité
O ₂ dissous	variable (proche de la saturation dans les eaux propres / absent dans les eaux polluées)	absent
H ₂ S	absent	présent
NH ₄ ⁺	seulement présent dans les eaux polluées	présence souvent sans rapport avec une pollution bactérienne
Nitrates	variable (normalement absent, parfois en quantité dans les zones d'excédent azoté)	teneur parfois élevée
Silice	teneur normalement modérée	teneur élevée
Micropolluants minéraux et organiques	surtout présents dans les eaux des régions industrialisées	absents sauf suite d'une pollution accidentelle
Solvants chlorés	normalement absents	présents en cas de pollution de la nappe
Éléments vivants	virus, bactéries, algues, protistes, etc... / présence d'organismes pathogènes toujours possible	bactéries sulfato-réductrices et ferrobactéries surtout
Eutrophie	possible, davantage si les eaux sont chaudes	jamais

(Source : Degrémont, 2005)

I.4. Pollution des ressources en eau

La pollution se définit comme la dégradation d'un milieu naturel par introduction d'un polluant. Cette notion de dégradation est très importante, puisqu'en l'absence de conséquences négatives pour le milieu, on ne peut pas parler de pollution. Concrètement, pour une même substance, son caractère polluant sera plus ou moins élevé en fonction des quantités déversées dans le milieu et de la capacité de ce milieu à l'éliminer naturellement. En ce qui concerne l'eau, les milieux potentiellement sujets à la pollution sont les cours d'eau, les nappes souterraines, les mers, les lacs, les retenues d'eau, etc.

Selon L'OMS (1993) : «un cours d'eau est considéré comme étant pollué quand la composition ou l'état de ses eaux, est directement ou indirectement modifiés, du fait de l'activité de l'homme.

I.4.1. Principaux polluants des eaux

a) Pesticides

Ce sont les produits de lutte contre les parasites des cultures et des animaux, leur accumulation dans le sol peut être entraînée dans les eaux par les précipitations.

La présence des pesticides en quantité importante dans l'eau provoque chez les animaux des anomalies histologiques au niveau de l'oe, s'accumulent dans des organes nobles. (Guillemin et Roux, 1992)

b) Détergents

On considère sous le nom de détergent, toute formulation spécialement étudiée pour concourir aux processus selon lesquels les souillures ou des salissures sont enlevées et mises en solution ou en dispersion. Ce sont donc des produits de nettoyage dégraissants et solvants. La pénétration des produits nocifs à travers les muqueuses constitue un danger bien qu'elle soit en faible quantité.

c) Hydrocarbures

La pollution des eaux souterraines par les hydrocarbures est un phénomène bien connu en raison de la fréquence des accidents qui se sont produits dans le monde.

Cette pollution se produit à partir de la diverse liquidité du pétrole : gazoline, benzine, huiles goudrons, essences, kérosène, pétrole.

Parmi les sources de cette pollution on peut citer : les eaux usées urbaines et industrielles, à la campagne des tracteurs et les machines agricoles motorisés. L'infiltration d'huiles minérales dans le sous- sol à des effets désastreux sur les eaux souterraines du fait de leur pouvoir de dilution très forte.

d) Engrais

Matières fertilisants dont la fonction principale est d'apporter aux végétaux des éléments qui sont directement utiles à savoir l'azote, le phosphore, et le potassium.

Les apports excessifs d'engrais et de phosphore contribuent à l'accumulation des phosphores et des nitrates dans le sol et qui sont entraînés par les eaux superficielles et contaminent ainsi les nappes phréatiques.

I.4.2. Origine de la pollution

Suivant l'origine des substances polluantes, on peut distinguer :

I.4.2.1. Origine domestique

Dans le cas d'un assainissement, collectif ou individuel, défectueux, des substances indésirables contenues dans les eaux vannes et les eaux ménagères peuvent être transférées à la nappe (matières organiques, détergentes, solvants, antibiotiques, micro-organismes...).

Le cas se produit avec les puits perdus, l'assainissement individuel avec infiltration dans le sol mal conçu ou mal dimensionné, les stations d'épurations urbaines surchargées... (Faurie et al., 2003).

Les ordures ménagères accumulées dans des décharges sauvages ou non mises à la norme libèrent également des lixiviats riches en polluants.

I.4.2.2. Origine industrielle

Elle constitue la deuxième source de pollution des eaux de surface et souterraines et peut avoir des causes variées. Les plus fréquentes sont les dépôts de déchets, les bassins d'eau de lavage ou de traitement de l'industrie minière, métallurgique ou chimique, qui ont été placés sans précautions, à même le sol, sur des terrains trop perméables. Les installations de stockage ou de transport des produits et déchets des complexes chimiques, raffineries, papeteries, industries alimentaires, peuvent aussi donner lieu à des pollutions chroniques ou accidentelles (Gaujous, 1995). Cette pollution est caractérisée par :

- des matières organiques et graisses (industries agro-alimentaires)
- des hydrocarbures (raffineries)
- des métaux (traitement de surface métallurgique)
- des acides, bases et produits chimiques divers (industries chimiques)
- de l'eau chaude (circuits de refroidissement des centrales thermiques)
- des matières radioactives (centrales nucléaires)

I.4.2.3. Origine agricole

La pollution est étendue dans l'espace et dans le temps ; elle est chronique et concerne de grandes surfaces. En effet, les pratiques actuelles des cultures et de l'élevage influencent fortement le régime et la qualité des eaux. L'utilisation massive des engrais et des produits chimiques de traitement des plantes détruit la vie dans les rivières et rend impropres à la consommation humaine, et parfois animale, les eaux superficielles et souterraines (Faurie et al., 2003), alors que les professionnels agricoles ont longtemps nié l'impact de leur activité sur la qualité de l'eau et refusé la moindre contrainte.

Le transfert des engrais et pesticides à la nappe se fait soit par infiltration sur l'ensemble de la surface cultivée, soit par rejet dans des puits perdus, des gouffres et bétoires. La pratique de l'irrigation accélère le transfert. Une pollution ponctuelle commune est fournie par les eaux de rinçages des récipients et appareils d'épandage. L'épandage des boues de stations d'épuration pose problème par leur charge possible en métaux lourds et germes, en plus de leur richesse en azote résiduelle après culture (Chekroud, 2007).

Les élevages intensifs de bovins et volailles produisent une grande quantité de déjections azotées qui doit être stockées en réservoirs étanches avant d'être utilisée comme engrais (ou comme aliments...) (Beaux, 2003).

L'usage des engrais peut augmenter la quantité des sels solubles, tels que les chlorures, les sulfates, les nitrates, le calcium, le magnésium, l'ammoniaque et le sodium dans des proportions variables.

I.4.2.4. Origine urbaine et routière

Les risques de pollution apparaissent à la construction des réseaux routiers puis à leur exploitation (salage en hiver, hydrocarbures, métaux lourds libérés par les véhicules, substances dangereuses échappées par accident...). En ville, on trouve, en plus des polluants de la voirie, la contamination possible des nappes par les eaux usées, dus au raccordement incomplet ou défectueux, au mauvais état des réseaux, au surcharge ou mauvais fonctionnement des stations d'épuration et en particulier par l'absence de traitement tertiaire (Chekroud, 2007).

L'imperméabilisation des surfaces (routes, rues, parkings, toits) produit une forte quantité d'eau de ruissellement chargée en produits polluants divers (hydrocarbures, déjections d'animaux...).

Ces eaux pluviales polluées ne doivent en aucun cas être transférées à la nappe.

I.4.3. Principaux types de pollution

I.4.3.1. Pollution temporaire et chronique

L'émission exceptionnelle de matière polluante à la suite d'un incident (mauvaise manoeuvre en usine, accident de la circulation...) 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.

Les pollutions chroniques sont plus insidieuses et dommageables ; moins spectaculaires, elles peuvent passer inaperçues (pollution agricole par les nitrates ; contaminations par les hydrocarbures à partir de sols pollués) (Kankou, 2004).

I.4.3.2. Pollution ponctuelle et diffuse

Le polluant émis sur une faible surface n'affectera qu'un secteur limité de la nappe, qui pourra s'étendre par diffusion. Seuls les captages à proximité de la zone polluée et en aval seront affectés (Chekroud, 2007).

Selon la densité et la solubilité du polluant, la zone polluée sera circonscrite ou diffuse, à la surface ou à l'intérieur de la nappe.

L'épandage de produits polluants sur une grande surface en revanche affecte l'ensemble de la nappe; elles sont de plus souvent chroniques et décline l'ensemble de la nappe pour la production d'eau potable, à moins de traitements adaptés (cas des pollutions agricoles par pesticides) (Kankou, 2004).

I.4.3.3. Pollution linéaire

Elle accompagne le trajet des routes et autoroutes, des canaux, des cours d'eau, des voies ferrées (Chekroud, 2007).

I.4.3.4. Pollutions historiques

De nombreuses zones polluées l'ont été à une époque où les préoccupations environnementales étaient inconnues ou sommaires : pollution par les terrils de mines, les décharges non contrôlées (Chekroud, 2007).

I.5. Effets de la pollution sur la santé humaine

Dans ce paragraphe on va exposer les différents risques que présentent quelques éléments sur la santé humaine (OMS) :

⇒ **Calcium et Magnésium**

La présence de ces éléments à des taux élevés est à la base de maladies néphrétique. Dépassant un certain seuil le magnésium provoque des troubles digestifs chez l'adulte. Néanmoins, ces deux éléments présentent des avantages pour la santé, le calcium consiste et fortifie les os et le magnésium favorise les réactions métaboliques (Chekroud, 2007).

⇒ **Sodium et potassium**

Le sodium peut causer des crises d'hypertension et de cardiopathies, quant il est présent en concentrations importantes. Le potassium a un effet laxatif, mais il donne un léger goût. Généralement il ne présente pas d'inconvénients.

⇒ **Les sulfates**

Les fortes concentrations d'ion sulfate provoquent des irritations gastro-intestinales.

⇒ **Les chlorures**

Les eaux riches en chlorures sont agressifs et de mauvais goût. Elles sont nocives pour les plantes.

⇒ **Les nitrates**

La concentration des eaux ayant des teneurs élevés de nitrate provoque l'irritation des muqueuses. L'ingestion de qualité plus élevée entraîne des nausées, des vomissements et des selles sanguinolentes (Kankou, 2004).

⇒ **L'ammonium**

Il s'agit d'un produit intermédiaire entre l'urée et les protéines. Son identification indique la pollution. Cet élément se transforme en ammonium toxique. L'ammonium dans certaines réactions, en présence d'hypochlorite donne la monochloramine qui est cancérigène (Kankou, 2004).

I.6. Conclusion

Les eaux souterraines acquiers de nombreux éléments chimiques au cours de leur trajets ce qui détermine leur caractéristiques et elles sont sujettes à des pollutions soit dans la nappe, soit à leur sortie, mais la décontamination étant très difficile, il faut agir en priorité sur la prévention contre la pollution de l'eau souterraine.

Une eau souterraine est considérée comme polluée si elle contient des substances autres que celles liées à la structure des terrains où elle a séjourné. Ces contaminants soient physiques, chimiques, organiques ou micro biologique sont le plus souvent issus des activités humaines (agricoles, industrielles, et domestiques).

Chapitre II

PRESENTATION DE LA REGION D'ÉTUDE

II.1. Introduction

La bonne connaissance des conditions climatiques de la zone d'étude joue un rôle majeur dans la compréhension de l'évolution des éléments chimiques, la protection et la résolution des problèmes de pollution au niveau de la nappe. Dans ce chapitre nous allons nous intéresser à la description du bassin du Haut Cheliff, à l'étude des facteurs hydro-climatologiques et à l'estimation des besoins et des ressources en eau.

Le comportement des nappes aquifères et la variation du niveau piézométrique dépendent étroitement des précipitations et des prélèvements, car le régime pluviométrique joue un rôle prépondérant dans l'hydrochimie par le lessivage des terrains. Plus la pluviométrie est forte, plus la dilution des sels restants passant en solution est grande. Il est important de signaler à cet effet que l'alimentation est régie par la fraction de pluie qui s'infiltre vers la zone saturée, constituant à moyen terme la véritable ressource mobilisable.

II.2. Caractéristiques morphométriques de la région d'étude

II.2.1. Situation géographique

La région d'étude correspond au bassin du Haut Cheliff, elle est située au Nord-Ouest de l'Algérie et fait partie du bassin hydrographique du Cheliff au Nord-Est de ce dernier (figure 02).

Elle est limitée naturellement :

- ✓ Au Nord par le bassin du Côtier Dahra.
- ✓ Au Sud par le bassin amont du Cheliff.
- ✓ A l'Est par le bassin hydrographique de l'Algérois.
- ✓ A l'Ouest par le bassin du Moyen Cheliff.

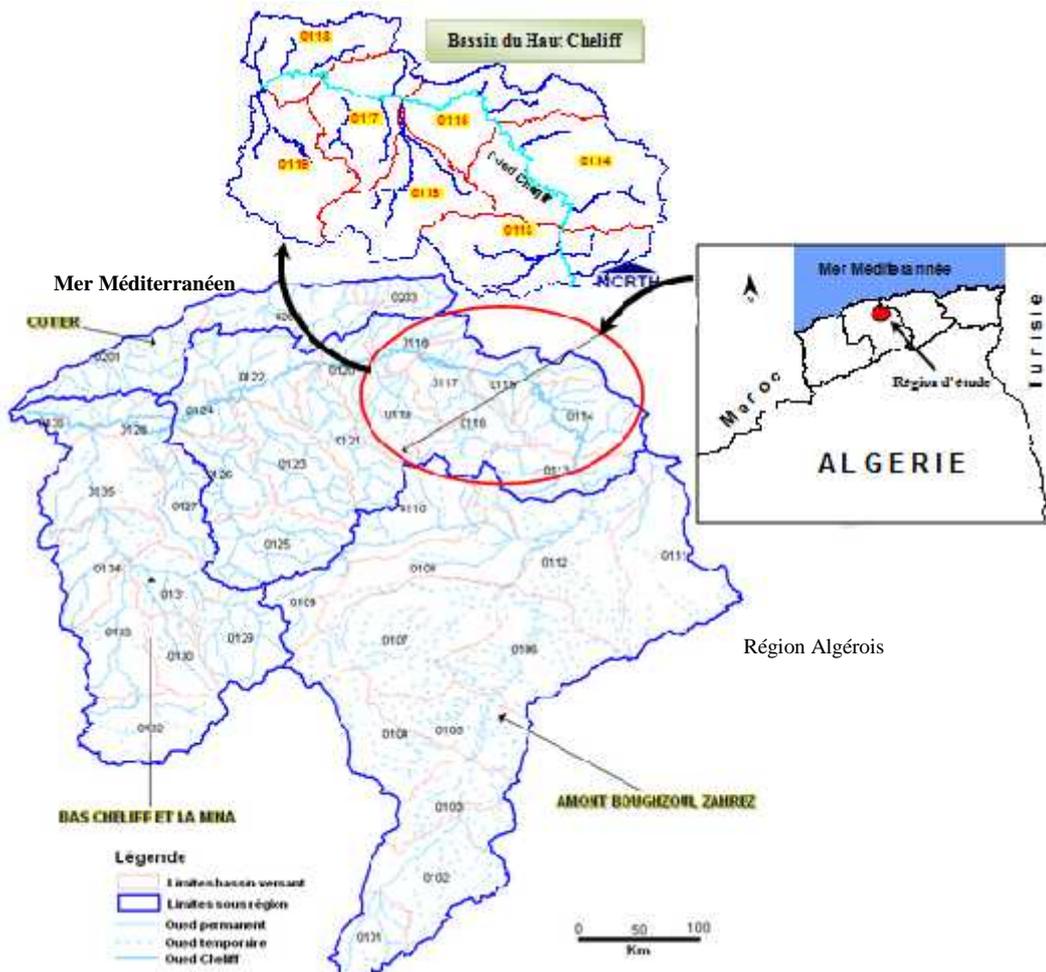


Figure 2: Carte de localisation du Bassin versant du Haut Cheliff.

L'aire de l'étude se compose selon les délimitations orohydrographiques, de 07 bassins versants : Oued Cheliff Djellil (0113) ; Oued Cheliff Ghrib (0114); Oued Cheliff Harbil (0115); Oued Deurdeur (0116); Oued Cheliff Harraza (0117); Oued Ebda (0118); Oued Rouina Zeddine (0119), dont les limites sont reportées sur la figure 02.

Leurs superficies respectives, mentionnées dans le tableau 8, varient de 690,55 km² (Oued Ebda), à 1383,69 km² (Oued Cheliff Ghrib)

II.2.2. Morphologie du bassin du Haut Cheliff

A l'opposition topographique par laquelle se caractérise le bassin, s'ajoute une opposition structurale qui se traduit par un substratum relativement simple au sud, formé de vastes étendues sédimentaires d'où émergent des massifs calcaires isolés, et un édifice beaucoup plus complexe au Nord, constitué de nombreuses séries hétérogènes empilées au cours de phases tectoniques successives (PNUD, 2009).

Ainsi on distingue de l'amont à l'aval du bassin : les massifs telliens, la vallée du Cheliff et les massifs Côtiers Dahra du Nord. (figure 03)

Cette organisation du relief ainsi que la latitude conditionnent étroitement les caractéristiques spécifiques à chaque bassin versant.

a) Relief

Le cadre physique de la zone d'étude est caractérisé par l'hétérogénéité des unités géomorphologiques.

b) Les reliefs littoraux

Les reliefs littoraux sont formés par de vastes collines. On y trouve les monts du Dahra qui forment une dorsale entre la dépression du Cheliff et la mer Méditerranée. A l'Ouest, le Dahra est formé de collines de 300 à 600 mètres d'altitude, les crêtes atteignent 800 m. A l'Est, la région devient plus montagneuse et boisée, avec des altitudes dépassant 1000 mètres et culminant au Djebel Bou-Maad (1415 m) et au Djebel Zaccar (1579 m).

c) Les plaines et les bassins intérieurs

Les bassins intérieurs sont éloignés de la mer de 20 à 70 Km. Isolés des influences maritimes par les chaînons montagneux qui s'allongent du massif des Traras à celui de l'Ouarsenis, ils s'élèvent entre 350 et 800 m d'altitudes. Aux pieds des plateaux Telliens d'Oranie, on trouve les plaines du Cheliff qui forment une véritable gouttière de 190 km de long. Bien plus qu'une vallée, c'est un chapelet de bassins légèrement étagés séparés par de modestes rétrécissements : bassins du Haut Cheliff entre 250 et 300 m d'altitude, bassin du Moyen Cheliff entre 150 et 200 m d'altitude et le bassin du Bas Cheliff entre 60 et 150 m d'altitude (PNUD, 2009).

L'altitude moyenne des sous bassins de la région du Haut Cheliff, calculée à partir de la courbe hypsométrique est de l'ordre de 739 m dans le sous bassin Oued Deurdeur (tableau 5).

La répartition par tranches d'altitude de la superficie des bassins, plus significative que l'altitude moyenne, ressort nettement des courbes hypsométriques ; elle est, par ailleurs, visualisée par le diagramme des fréquences altimétriques établi pour le bassin de la région d'étude. (fig. 04)

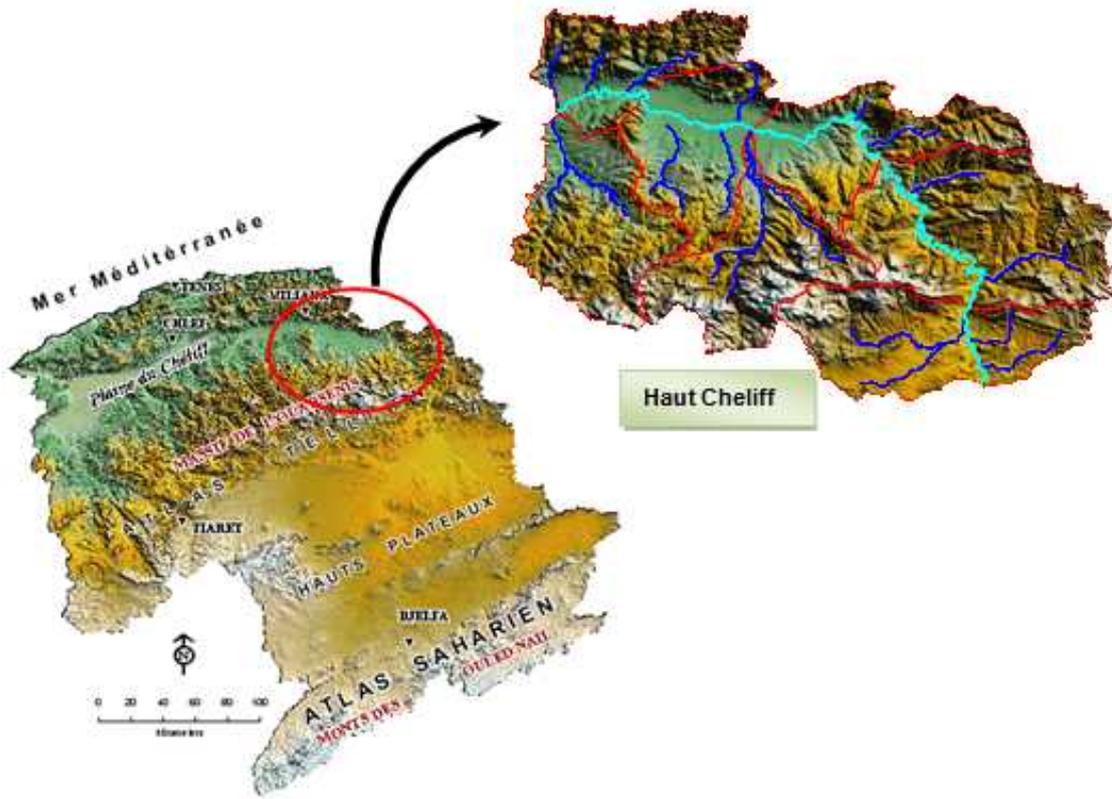


Figure 3: Carte topographique de la région d'étude.

Il s'avère que les secteurs, d'altitude supérieure à 1200 m, sont peu étendus dans le bassin du Haut Cheliff ; Elles correspondent à des massifs montagneux importants, seuls les sommets des monts de l'Ouarsenis et des monts de Zaccar dépassant les 1600 m d'altitude. Les zones d'altitude comprise entre 400 et 1000 m, couvrent 4425 km² dans le bassin du Haut Cheliff, soit environ 70% de la superficie total de ce bassin.

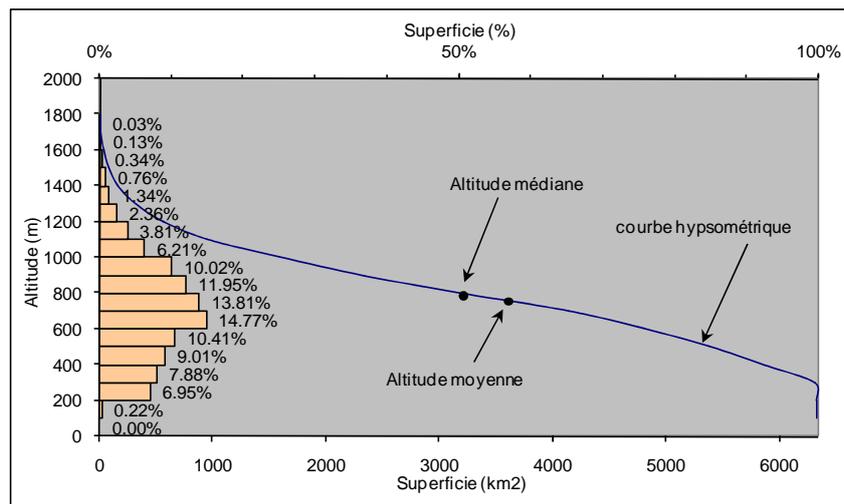


Figure 4 : Courbe hypsométrique et diagramme des fréquences altimétriques du bassin Haut Cheliff.

Les valeurs de l'indice de compacité (tableau 5) montrent que tous les bassins sont allongés dont l'indice de forme reste élevée (varie entre 1,33 à Cheliff Ghrib et 1,76 à Cheliff Harraza). Il n'en demeure pas moins que les bassins de la région d'étude (Haut Cheliff) présentent, dans l'ensemble, des formes assez allongées favorisant un écoulement lent des eaux de ruissellement. Mais l'influence du relief est plus déterminante.

On constate, par ailleurs, que les sous bassins qui caractérisent le bassin Haut Cheliff se rangent dans les classes du relief fort à très fort et cela en passant de la rive gauche et droite de l'oued Cheliff, montrent des caractères morphométriques assez particuliers, favorisant, à priori, le ruissellement de surface.

Tableau 5 : Caractéristiques morphométriques des bassins versants de la région d'étude.

Bassin	Sous bassin	Surface (A) (km ²)	Périmètre (P) (km)	Altitude moyenne (m)	Altitude minimale (m)	Altitude maximale (m)	indice de compacité (kc)	Indice de pente global (Ig) (m/km)	Dénivelée spécifique (Ds) (m)	Classe de relief
Haut Cheliff	0113	992,85	179,96	900	600	1800	1,60	16,91	532,84	Relief très fort
	0114	1383,69	176,81	870	500	1600	1,33	17,67	657,29	Relief très fort
	0115	767,29	168,95	600	300	1300	1,70	15,01	415,78	Relief fort
	0116	743,97	142,68	980	300	1800	1,46	19,41	568,42	Relief très fort
	0117	857,64	185,65	575	300	1600	1,76	23,87	651,09	Relief très fort
	0118	690,55	141,10	610	200	1500	1,51	23,73	619,08	Relief très fort
	0119	898,54	173,69	640	200	1700	1,62	21,38	640,87	Relief très fort
Sous total		6 334,53		739,3	200	1 800				

(Source Mehaiguene, 2013)

II.2.3. Réseau hydrographique

II.2.3.1. Description du réseau hydrographique

L'Oued Cheliff résultant de la jonction des deux grands cours d'eau Oued Touil et Nahr Ouassal, prend d'abord une direction Sud-Nord et franchit la chaîne de Médea (Bouhar). Ensuite, suivant une orientation SE-NW il traverse le massif de Gantas, et enfin il coule en oblique de l'Est à l'Ouest, traversant ainsi successivement (02) wilayas dans le Haut Cheliff : Medea et Ain Defla, jusqu'à son embouchure dans une large vallée vers la mer méditerranée. (figure 05)

Sur la majeure partie de son cours d'eau, il serpente au fond d'une vallée parallèle à la mer bordée au Sud par le massif des Ouarsenis et au Nord par la chaîne côtière des monts du Dahra et du Zaccar (Achour, 1998). De barrage Ghrib à la confluence de oued Rouina au Cheliff, la distance en ligne droite est d'environ 170 km et la dénivellation à peu près 300 m. Durant tout ce parcours, l'Oued Cheliff ne reçoit pas d'affluents importants sur sa rive droite sauf l'Oued Ebda, mais sur sa rive gauche, il collecte les eaux de l'Oued Deurdeur, Harreza, Rouina Zeddine dans la région du Haut Cheliff (Mehaiguene, 2013).

Les longueurs des Oueds permanents et temporaires par bassin dans la région du Haut Cheliff sont mentionnées dans le tableau 6.

Tableau 6 : Densité de drainage par sous bassin versant.

Sous région	Sous Bassin	Nom Sous Bassin Versant	Lp (km)	Lt (km)	L (km)	Superficie (Km ²)	Ddp	Ddt	Dd	Ddp/Dd (%)	Ddt/Dd (%)
Haut Cheliff	0113	Oued Cheliff Djellil	166,56	439,10	605,66	992,85	0,17	0,44	0,61	28	72
	0114	Oued Cheliff Ghrib	196,60	598,17	794,77	1383,69	0,14	0,43	0,57	25	75
	0115	Oued Cheliff Harbil	72,16	326,03	398,19	767,29	0,10	0,42	0,52	18	82
	0116	Oued Deurdeur	176,24	328,98	505,22	857,64	0,21	0,38	0,59	35	65
	0117	Oued Cheliff Harraza	107,45	251,62	359,07	743,97	0,14	0,34	0,48	30	70
	0118	Oued Ebda	74,60	392,84	467,43	680,55	0,11	0,58	0,69	16	84
	0119	Oued Rouina Zeddine	177,73	575,18	752,90	898,54	0,20	0,64	0,84	24	76
Sous Total			971,34	2911,92	3883,24	6324,53	0,15	0,46	0,61	25	75

(Source Mehaiguene, 2013)

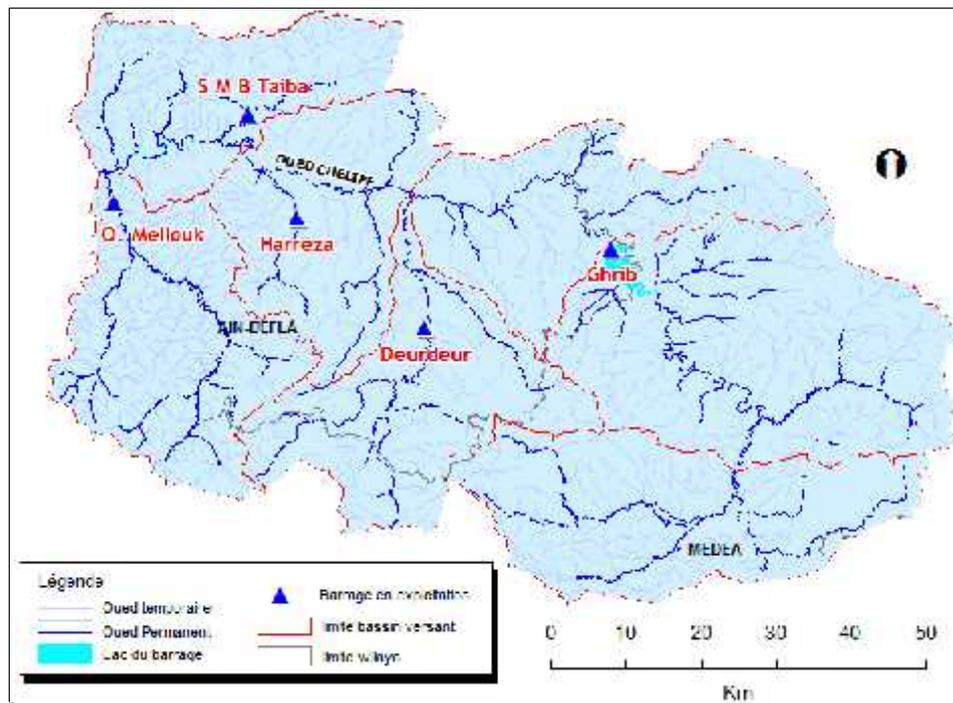


Figure 5 : Réseau Hydrographique du Haut Cheliff.

En effet, les valeurs de la densité de drainage permanentes (Ddp) varient considérablement d'un secteur à l'autre et sont étroitement dépendantes de deux facteurs principaux, la lithologie et l'abondance des précipitations. Elles sont faibles dans le sous bassin ; Oued Ebda (16%), en raison d'une part, d'une évapotranspiration élevée et d'autre part, de la perméabilité non négligeable des formations lithologiques.

Nettement opposées aux valeurs de la Ddp, les valeurs de la densité de drainage temporaire (Ddt) viennent également confirmer les nuances régionales soulignées en fonction des conditions pluviométriques et lithologiques propres aux bassins considérés. Ainsi, aux plus faibles valeurs de Ddp correspondent les valeurs de Ddt les plus fortes ; sous bassin Oued Cheliff Harbil (tableau 6).

II.2.3.2. Profil en long

Les profils en long relatifs au cours d'eau principal du Cheliff et à ses principaux affluents permettent d'apporter des éléments complémentaires à la densité de drainage, au vu du rôle déterminant des pentes des thalwegs sur le ruissellement superficiel et surtout sur les vitesses d'écoulement lors des crues. Les grands traits qui ressortent de ces profils consistent aux fortes pentes des affluents prenant naissance dans les massifs montagneux du Tell (Oued Harbil à la confluence de l'Oued Cheliff : 10,7%). (figure 06)

Les accentuations de pentes correspondantes peuvent également engendrer, surtout à l'échelle de petits bassins, un accroissement rapide des vitesses d'écoulement. Les resserrements relatifs à ce cours d'eau semblent, par ailleurs, favorables à des aménagements, intéressants pour le stockage de l'eau.

En somme, le bassin du Haut Cheliff, présente les conditions les plus favorables au déclenchement de crues rapides : concentration relativement poussée du chevelu hydrographique, densité de drainage permanent élevée, pentes des thalwegs les plus fortes.

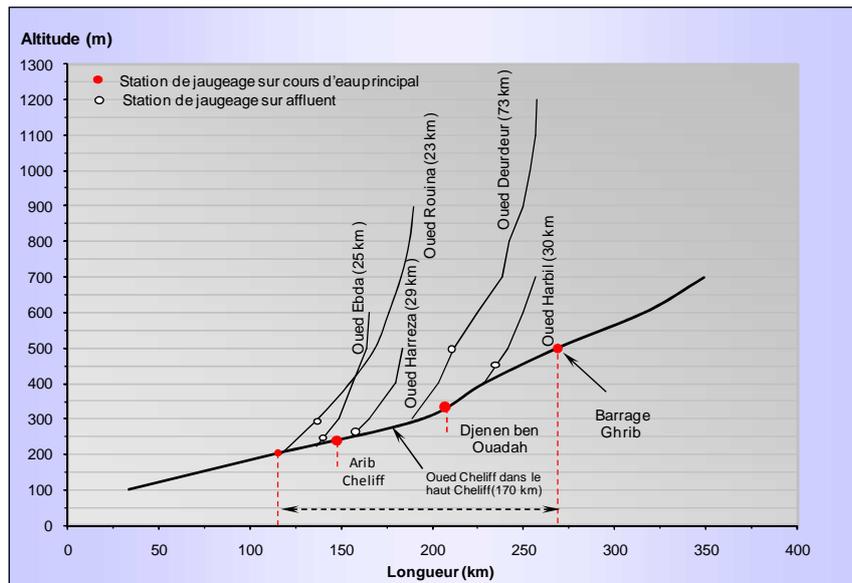


Figure 6 : Profils en long de l'Oued Cheliff et de ses principaux affluents.

II.3. Climat du bassin du Haut Cheliff

Le climat est un facteur déterminant de la disponibilité en eau. Ainsi, pour dégager l'individualité climatique de la région, l'approche la mieux indiquée est celle fondée sur l'étude des paramètres climatiques en rapport avec l'eau, en particulier la pluie, le bilan hydrique et l'évapotranspiration. (Achour, 1998)

La plaine du Haut Cheliff est caractérisée par un climat semi-aride avec des influences sahariennes en été et des influences méditerranéennes en hiver, caractérisée par deux saisons distinctes : un hiver froid et un été chaud. (figure 07)

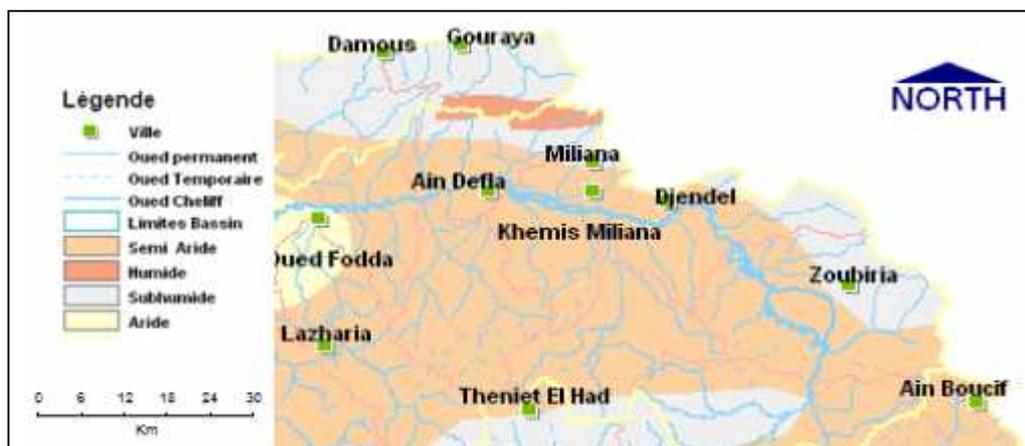


Figure 7: Carte des étages bioclimatique du bassin Cheliff. (Source PNUD, 2009)

II.3.1. Pluviométrie

Les données pluviométriques ont été recueillies auprès des secteurs de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, sous forme de tableaux des cumuls mensuels et annuels.

Le bassin est équipé d'un réseau pluviométrique de 32 postes pluviométriques dans le Haut Cheliff, soit une densité d'un poste pour 200 km². Comme on peut encore constater que la densité de couverture en informations pluviométriques est très inégale d'une zone de faibles altitudes (PNUD, 2009).

II.3.1.1. Répartition géographique des précipitations

Pour cerner la disposition des régions pluviométriques à travers le bassin et l'évaluation de la lame d'eau précipitée, il est nécessaire de passer de l'information ponctuelle, qui est l'observation des stations pluviométriques plus ou moins dispersées artificiellement dans le bassin, à une estimation valable de la tranche d'eau moyenne précipitée sur l'ensemble du bassin. (annexe 01)

La carte des isohyètes, établie à partir des séries chronologiques de longue durée pour la période 1968/1969-2001/2002 (figure 8), montre une concentration des précipitations sur les versants Sud des monts du Dahra et du Zaccar, avec une moyenne interannuelle de plus de 600 mm (stations 011803 Sidi Medjahed et 011806 El Anneb). Les précipitations se réduisent dans la plaine du Haut Cheliff où elles varient entre 300 et 400 mm, et dans le sud du bassin où elles atteindraient plus de 500 mm. La disposition longitudinale des isohyètes en bandes plus ou moins parallèles et les valeurs décroissantes du Nord au Sud, est toutefois, altérée au niveau de la chaîne de l'Ouarsenis où intervient le rôle important de l'altitude ainsi que la dissymétrie pluviométrique entre les versants du Nord-Ouest au vent et les versants Sud-Est sous le vent. Ainsi, on remarque bien une augmentation de l'Ouest vers l'Est marquée aussi par l'augmentation du gradient altimétrique du bassin.

II.3.1.2. Variations saisonnières des précipitations

Comme le montre le tableau 7, les pluies d'hiver- printemps dans le bassin du Haut Cheliff représentent 62% du total annuel, alors que moins de 10 % seulement sont reçues en été (juin - Août).

Tableau 7 : Distribution saisonnière des précipitations.

Bassin	Sept-nov (%)	Déc-Fevr (%)	Mars-Mai (%)	Juin-Aout (%)
Haut Cheliff	28,4	30,1	31,8	9,7

(Source PNUD, 2009)

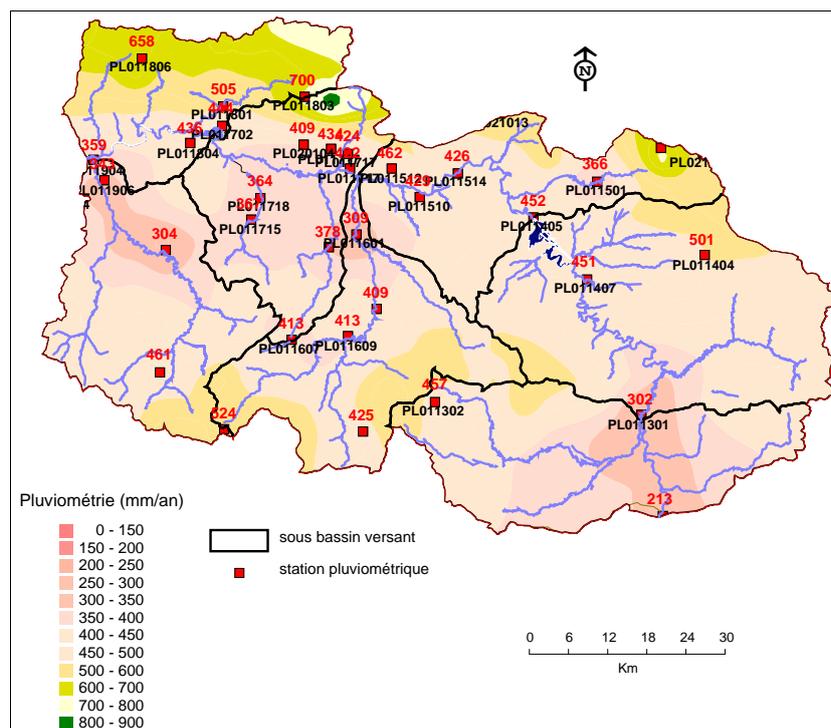


Figure 8 : Pluviométrie moyenne inter-annuelle (période 1968-2001) (source : PNUD, 2009)

II.3.2. Température

La température est un des éléments fondamentaux dans l'établissement du bilan hydrologique et dans la détermination du caractère climatique d'une région. Les données existantes sont celles des stations gérées par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH).

Les températures moyennes annuelles les plus élevées sont enregistrées dans la plaine du Haut Cheliff, elles varient entre 17 et 19°C à la station de Khemis Miniana ITGC et Ain Defla respectivement (tableau 11).

Les plus basses sont enregistrées dans les altitudes ; elles varient entre 13 et 15 degrés (station de Thniet El Had et Zoubiria Mongorno).

II.3.2.1. Variabilité des températures mensuelles

Les températures moyennes mensuelles sont, de novembre à avril, inférieures à la moyenne annuelle et sont supérieures à cette moyenne de mai à octobre, divisant ainsi l'année en deux saisons, l'une froide et l'autre chaude.

Au cours de la saison froide, on relève les moyennes les plus basses pendant les trois mois : décembre, janvier et février avec un minimum en janvier de 5 à 9°C. (tableau 8)

Au cours de la saison sèche, on relève les moyennes les plus élevées pendant les trois mois : juin, juillet et août avec un maximum en août de 24 à 30°C.

Tableau 8 : Températures moyennes mensuelles et annuelles (°C)

Station	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Annuelle
Ain Defla	8,9	9,8	12,6	16	20,5	26,0	30,6	30,3	25,9	20,4	13,7	9,9	18,7
Miliana	8,9	10,3	11,8	13,8	18,0	22,7	26,7	27,3	23,3	18,3	13,0	9,9	17,0
Ghrib bge	8,2	9,3	12,3	13,3	17,6	22,3	26,1	27,0	21,9	17,5	12,7	8,8	16,4
Theniet el had	4,7	5,8	8,5	11,3	15,2	20,3	23,8	24,1	19,6	14,8	8,9	6,0	13,5
Zoubiria mongorno	5,1	6,4	9,1	12,0	15,9	20,4	24,7	24,7	20,6	15,6	9,9	6,0	14,2
Khemis miliana ITGC	9,3	10,3	12,4	14,5	18,8	23,7	27,4	27,6	23,8	18,9	13,4	10,2	17,5

(source : ANRH, 2004)

II.3.3. Évapotranspiration

II.3.3.1. 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 (Debiech 2002 et Ikhlef, 2006).

L'estimation de ce paramètre a été faite à l'aide de la formule de Thornthwaite.

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 :

$$ETP_{(\text{mois, corrigé})} = 1,6 \cdot (10 T / I)^a \cdot K \quad (04)$$

où :

$$I = \sum i \quad \text{et} \quad i = (T / 5)^{1,514} \quad (05)$$

$$a = (1,6/100) I + 0,5 \quad (06)$$

avec:

ETP: Évapotranspiration potentielle (mm).

K : coefficient de correction mensuel qui dépend de la latitude du bassin et de la durée moyenne d'ensoleillement du jour.

I: Indice thermique annuelle.

i: Indice thermique mensuel.

T: Température moyenne mensuel en °C.

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

- si pour un mois $P > ETP$ on pose que $ETP = ETR$, la quantité d'eau qui reste ($P - ETR$) va alimenter la RFU jusqu'à son maximum (100 mm) 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 $P < ETP$, On évapore toute la pluie et on prend à la RFU (jusqu'à la vider) l'eau nécessaire pour satisfaire l'ETR soit : La valeur de $ETR = P + \min(RFU, ETP - P)$. 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, c'est à dire sensiblement la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux plantes pour qu'elles ne souffrent pas de la sécheresse.

les résultats de l'ETP obtenus par la formule de Thornthwaite sont représentés dans le tableau 9. les températures et les précipitations moyennes mensuelles sont calculées sur une période de 34 ans (1968 à 2001) de la station de Khemis Miliana ITGC.

Tableau 9 : Bilan hydrique selon la méthode Thornthwaite de la plaine du Haut cheliff.

Mois	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Moy. annuelle
T (°C)	8.6	9.8	12.1	13.6	17.8	22.5	26.4	27.2	22.6	17.9	12.9	9.4	16.7
K	0.87	0.85	1.03	1.1	1.21	1.22	1.24	1.16	1.03	0.97	0.86	0.84	
P (mm)	45.17	40.12	37.73	30.96	51.47	7.25	0.78	8.03	7.05	35.47	77.24	87.73	429
ETP (mm)	16.22	19.94	35.02	45.94	81.16	123.6	166.45	164.11	105.17	65.71	32.73	18.31	874.36
P-ETP (mm)	28.95	20.18	2.71	-14.98	-29.69	-116.35	-165.67	-156.08	-98.12	-30.24	44.51	69.42	
ETR (mm)	16.22	19.94	35.02	45.94	81.16	62.58	0.78	8.03	7.05	35.47	32.73	18.31	363.23
RFU (mm)	100	100	100	85.02	55.33	0	0	0	0	0	44.51	100	
Excès WS (mm)	42.88	63.06	65.77	0	0	0	0	0	0	0	0	13.93	185.64
Déficit agricole Da (mm)	0	0	0	0	0	61.02	165.67	156.08	98.12	30.24	0	0	511.13

Ainsi, l'évapotranspiration réelle annuelle est donc de 363 mm pour une pluie moyenne annuelle de 429 mm, elle correspond donc à 84% des précipitations, le reste constitue l'excédent (66 mm) qui représente la quantité d'eau qui s'infiltré et/ou s'écoule dans les oueds selon la formule suivante:

$$WS = R + I \quad (07)$$

où: WS: Excédent (mm).

R: Ruissellement (mm).

I: Infiltration moyenne annuelle (mm).

pour déterminer l'infiltration on calcul d'abord le ruissellement

✓ **Détermination du ruissellement (R)**

nous estimons le ruissellement selon la formule de Texeront- Berkaloff

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

Où (08)

R : Ruissellement (m).

P : Précipitations moyennes mensuelles (m).

ETP : Évapotranspiration potentielle (m).

Nous aboutissons à $R=34,42$ mm ainsi le ruissellement correspondant à 8% des précipitations.

✓ l'infiltration (I)

$$I = WS - R \quad (09)$$

L'infiltration serait donc de 31,58 mm environ 7% des précipitations.

Il est à noter que cette valeur ne représente pas réellement l'infiltration dans tout le bassin, car son estimation est basée sur les données d'une seule station pluviométrique, qui est celle de Khemis ITGC. Les mesures d'infiltration in situ, réparties sur toute la superficie de la plaine, pourrait nous donner une approche fiable de ce paramètre.

Afin d'éclairer les résultats obtenus, une représentation graphique des données a été faite en figure 9.

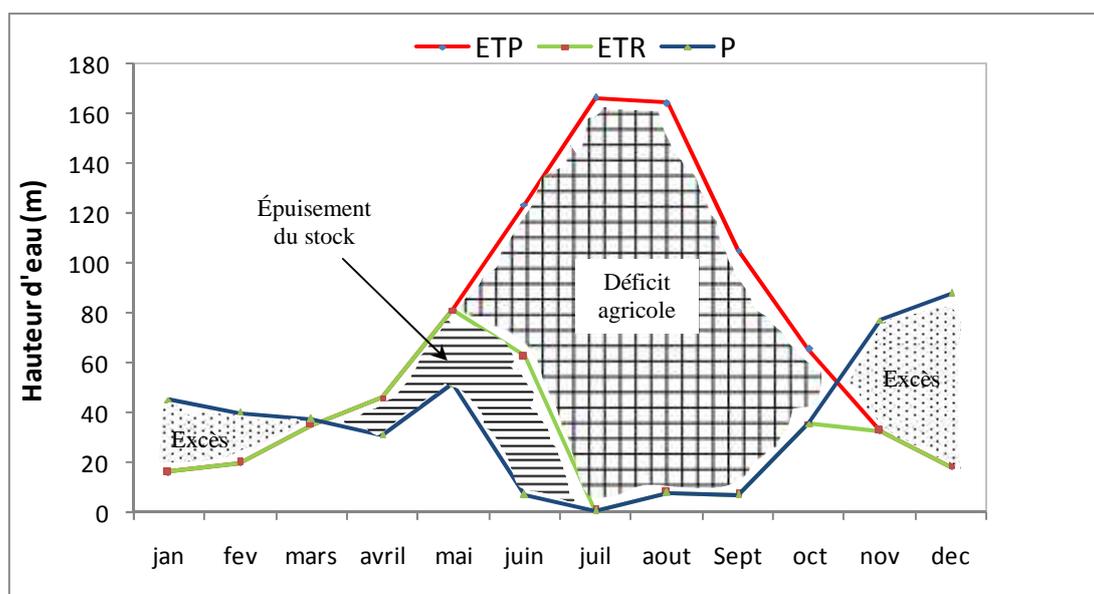


Figure 9 : Représentation graphique du bilan de Thornthwaite pour la période (1968 à 2001).

Par comparaison entre ces paramètres, on constate que la région d'étude présente deux périodes à savoir :

1. la période sèche : cette période débute du mois de mai et s'étale jusqu'au mois d'octobre dans laquelle se présente un déficit agricole, avec un maximum observé en juillet, d'ou l'ETP est supérieure par rapport aux valeurs des précipitations (fig. 09), ce déficit manifeste essentiellement en été. A cause de ce dernier tous les produits polluants rejetés par les sources de pollution qui existent dans le secteur d'étude vont être accumulés. Cette accumulation pose un grand risque sur l'environnement, car la concentration de ces déchets est très élevée, c'est pour cela qu'il faut penser à trouver des solutions pour la protéger.

2. la période humide : cette période répartie sur les mois qui restent de l'année hydrologique dans laquelle les précipitations sont élevées par rapport à l'ETP c'est à dire qu'on a un excédent pluviométrique. Dans cette période se présente le lessivage des terrains, ce phénomène pose aussi un grand risque de pollution pour l'environnement car les produits polluants vont être transportés d'une zone à l'autre par le ruissellement, et même ils vont migrés vers les profondeurs dans les zones qui favorisent l'infiltration, et dans ce cas la contamination des nappes souterraines.

II.4. Écoulements superficiels et apports

II.4.1. Réseau hydrométrique

Comme pour tous les bassins versants d'Algérie, la mise en place du premier réseau de jaugeage date des environs de 1967 dans le bassin du Haut Cheliff.

Certaines stations, réparties de l'amont à l'aval du bassin, ont fonctionné sur une période relativement longue. La station de Djendel, aurait fonctionné dès 1967 et dispose des données pour la période comprise entre 1967 et 2001, alors que d'autres stations ont une série d'observations qui ne dépasse guère 5 ans, (la station de Tamzguida dispose de données pour la période 1987 -1991).

Actuellement, sur les treize (13) stations de jaugeage existantes dans le bassin du Haut Cheliff, cinq (05) stations fonctionnent (tableau 10).

Tableau 10 : Caractéristiques du réseau hydrométrique.

Code Station	Nom de la Station	Oued	Cordonnées Lambert		Mise en service	Période d'obs.	Superficie (km ²)	Date d'Arrêt
			X (m)	Y (m)				
011402	Ghrib Aval	Cheliff	486659	319200	01/09/79	1979 à 1994	2213	1994
011407	Ghrib Amont	Cheliff	495450	308799	01/10/79	1976 à 1995	1898	1994
011501	Tamzguida	Harbil	497000	323899	01/09/70	1987 à 1991	157	1994
011503	Djendel	Cheliff	473700	324450	01/09/67	1967 à 1989	22580	1989
011514	Djenan B. Ouadah	Cheliff	475675	325200	01/12/90	1990 à 2001	22580	
011601	Marabout Blanc	Deurdeur	460750	215600	01/12/90	1990 à 2001	500	
011602	Sidi Mokarfi	Deurdeur	463000	302600	01/09/68	1968 à 1989	500	31/08/89
011701	Khemis Sp	Cheliff	459150	325950	01/09/69	1973 à 1981	1484	31/08/90
011702	Arib Cheliff	Cheliff	245200	230000	01/02/73	1968 à 2001	2452	
011715	El Ababsa	Harreza	443950	318050	01/09/72	1973 à 2001	102	
011801	Arib Ebda	Ebda	439600	335600	01/09/70	1983 à 1994	270	1994
011905	Bir Ouled Tahar	Zeddine	431000	313250	01/09/89	1990 à 2001	435	
011906	Rouina Mines	Riuinta	421500	324499	01/09/72	1972 à 1992	865	31/08/92

(Source Mehaiguenne, 2013)

II.4.2. Variations spatiales de l'écoulement moyen annuel

Les valeurs du débit annuel absolu (m³/s) correspondant à la période 1968/1969- 2000/2001 mettent en évidence l'augmentation de l'abondance du l'Oued Cheliff de l'amont à l'aval (tableau 11).

Cet accroissement progressif de l'écoulement de l'Est à l'Ouest concorde avec les données climatiques et physiographiques du bassin. Dans le bassin du Haut Cheliff, le module interannuel de l'Oued Cheliff s'accroît en raison du changement de domaine climatique ; l'abondance à la station de Djendel (011503) s'élève à 5.163 m³/s. La station de Arib Cheliff (011702) présente un débit moins que celui de Djendel 4.825 m³/s.

Tableau 11 : Variations d'Amont en Aval des modules absolus et spécifiques dans l'Oued Cheliff.
(Débits influencés par les prélèvements et les rejets)

Cours d'eau	Station de jaugeage	Superficie du B.V (km ²)	Module absolu Q (m ³ /s)	Module spécifique q (l/s/km ²)
Oued Cheliff	Ghrib Amont	21416	4,389	0,205
Oued Cheliff	Djenan Ben Ouadah	22580	4,364	0,193
Oued Cheliff	Djendel	22580	5,163	0,229
Oued Cheliff	Arib Chelif	24520	4,825	0,197

(Source Mehaiguene, 2013)

La disparité des valeurs des débits spécifiques dans le bassin du Haut Cheliff, met bien en valeur la disparité physique existant entre les différents secteurs du bassin.

Dans le Haut Cheliff le débit s'accroît nettement ; la valeur maximum est atteinte à la station de Djendel (0.229 l/s/km²) où la pluviométrie est élevée et les pentes sont fortes (secteurs montagneux) favorisant ainsi l'écoulement de surface. Ces facteurs l'emportent sur une évapotranspiration pourtant importante dans ce secteur du fait de la présence d'un couvert forestier relativement dense (Mehaiguene, 2013).

II.4.3. Variabilité des débits moyens annuels

Dans le bassin du Haut Cheliff, malgré une augmentation sensible de l'ETR traduite par les valeurs relativement fortes du déficit d'écoulement, la lame d'eau écoulée atteint des valeurs nettement plus élevées, plus particulièrement aux stations 011501(Djenen Ben Ouadah) et 011801 (Arib Ebda), dépassant en moyenne les 100 mm (tableau 12); le coefficient d'écoulement en moyenne est supérieur à 20%.

Tableau 12 : Débits et apports moyens des bassins contrôlés par les stations hydrométriques.

Cours d'eau	Station hydrométrique	Superficie S (km ²)	Lame d'eau précipitée P (mm)	Lame d'eau écoulée E (mm)	Coefficient d'écoulement C = E / P (%)
O. Cheliff	Ghrib Amont	17065	289.3	6.5	2.2
O. Cheliff	Djenen ben Ouadah	880	483.2	139.9	29.0
O. Deurdeur	Marabout Blanc	834	466.2	69.0	14.8
O. Harreza	El Ababsa	105	392.0	54.5	13.9
O. Cheliff	Arib Chellif	2845	458.2	69.0	15.1
O. Ebda	Arib Ebda	195	658.7	299.6	45.5
O. Rouina	Bir ouled tahar	421	456.5	37.9	8.3

(source Mehaiguene, 2013)

II.4.4. variabilité interannuelle des débits

L'irrégularité interannuelle de l'écoulement peut être mesurée par les variations de l'hydraulicité, c'est-à-dire le rapport du débit d'une année particulière Q_i au débit moyen d'une longue série d'observation (Q/Q_{moy}).

On se référera à la station de Arib Ebda qui permettra de cerner l'évolution des débits sur plus de 30 années d'observation successives (1968-2001). La figure 10 montre de fortes fluctuations de débits d'une année à une autre ainsi qu'une abondance de l'écoulement durant la période (1968 à 1986) et un déficit de 1987 à 2001. En témoignent les valeurs de l'hydraulicité qui, en plus de forte amplitude, sont en majorité inférieures à l'unité : 22 années hydrologiques sur 34 sont, en

effet, déficitaires et la plupart, 13 ans depuis 1987 à 2001 (annexe 1). Ce fait confirme l'hypothèse formulée quand à la tendance climatique « sèche » de ces deux dernières décennies. L'hydraulicité exceptionnelle de 1969 traduit par un coefficient de l'ordre de 3,73 peut être attribuée aux fortes crues de saison froide qu'avait connues l'Oued Ebda durant cette année ; elle s'oppose nettement au fort déficit de l'année 1989 (0,10).

Ainsi, on peut dire que l'écoulement annuel a subi de grandes variations durant la période considérée pour les différentes stations du bassin Haut Cheliff. (annexe 1)

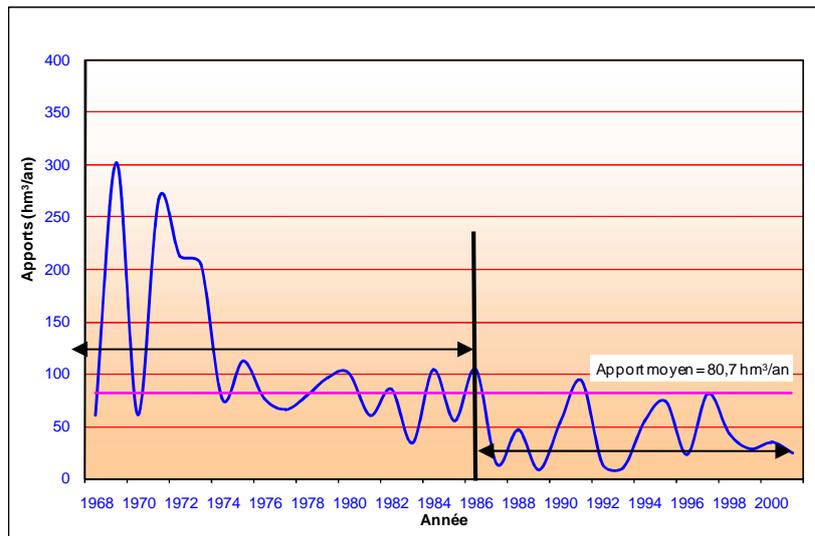


Figure 10: Variations annuelles des modules du bassin Haut Cheliff à la station Arib (011801) de 1968 à 2001.

II.4.4. Variations saisonnières de débits

Les coefficients mensuels de débits (CMD) ou rapports des débits moyens mensuels au module de la période considérée, pris pour unité, ont l'avantage de permettre la comparaison des variations saisonnières de régime de cours d'eau de débits très différents. Les C.M.D inférieurs à l'unité correspondent aux mois de basses eaux et les C.M.D supérieurs à l'unité représentent les mois de hautes eaux.

Sur le plan spatial, il existe des nuances sensibles entre les cours d'eau du Haut Cheliff et entre ses affluents du Sud au Nord et de l'Ouest à l'Est.

Dans le bassin du Haut Cheliff (figure 11) : la période de hautes eaux commence en mois d'Octobre pour l'oued Cheliff à la station de Ghrib amont et Djendel mais les C.M.D tombent rapidement au-dessous de l'unité pendant les deux mois qui suivent (novembre et décembre) avant de croître de nouveau en Janvier ; le maximum d'écoulement est atteint en Février.

Pour l'oued Cheliff à la station de Arib Cheliff et de Djenan Ben Ouadah, les hautes eaux n'apparaissent qu'en Janvier en raison vraisemblablement de l'énorme capacité d'infiltration qu'offre son bassin ; les pluies du début de l'année climatique n'interviennent donc pas efficacement au soutien de l'écoulement superficiel. La période de basses eaux commence dès le mois d'Avril et spécialement en Juin pour la station de Ghrib amont.

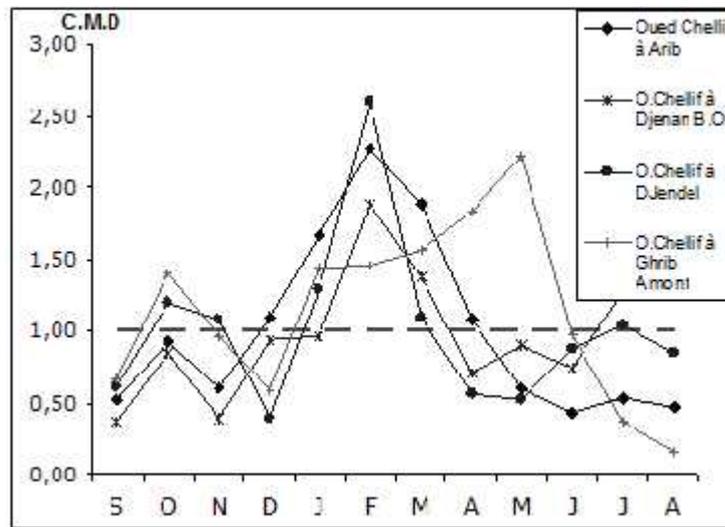


Figure 11: Courbes des C.M.D du cours d'eau principale dans le bassin du Haut Cheliff.

II.5. Population et démographie

II.5.1. Population totale

La population est le facteur déterminant pour la connaissance de l'état des lieux en matière de satisfaction des besoins en eau.

La région d'étude a connue une évolution de la population totale selon le dernier recensement de 1998. Elle comptait 943 863 habitants en 1998; elle est passée à 1 054 165 habitants en 2005. En 2010 et selon nos estimations, la population est passée à 1 153 975 habitants avec un taux d'accroissement moyen de 1,83 % (PNUD, 2009).

La figure 12 présente l'estimation de la population totale en 2005 et jusqu'à 2050 dans le bassin du Haut Cheliff.

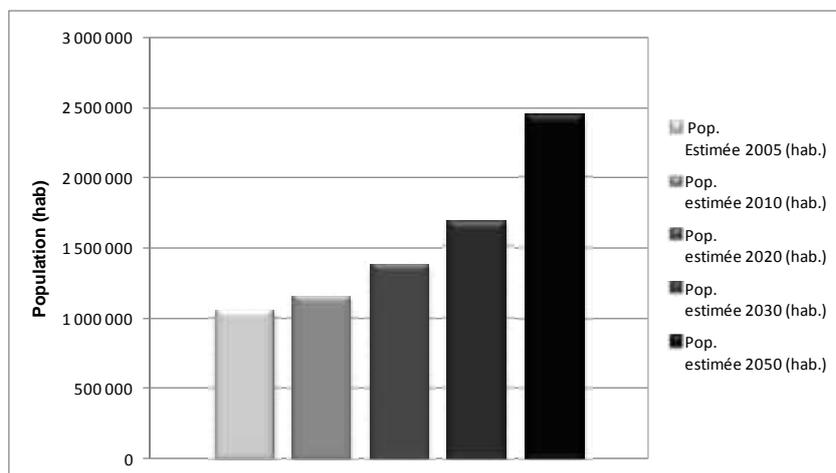


Figure 12 : Évolution de la population totale.

II.6. Les besoins en eau

II.6.1. Besoins en eau potable de la population

La connaissance de la population et son mode d'habitat est un préalable pour évaluer les besoins en eau potable qui sont de l'ordre de 49 Hm³ pour toute la région pour une population totale de près de 1 million d'habitants (tableau 13).

Les besoins en eau potable des populations ont été estimés, en 2010, à 55 Hm³ environ. On constate, par ailleurs, une forte demande en eau potable pour le bassin du Haut Cheliff, les besoins totaux de la région passeront à 126 Hm³ en 2050.

Tableau 13 : Les besoins en eau potable de la population totale

Bassin	Wilaya	Pop. Estimée 2005 (hab.)	Besoins Bruts Hm3/an	Pop. estimée 2010 (hab.)	Besoins bruts Hm3/an	Pop. estimée 2020 (hab.)	Besoins Bruts Hm3/an	Pop. estimée 2030 (hab.)	Besoins Bruts Hm3/an	Pop. estimée 2050 (hab.)	Besoins Bruts Hm3/an
Haut Cheliff	Ain Defla	682 175	34.49	748 746	39.11	901 470	48.75	1 082 833	58.84	1 564 717	88.88
	Médéa	204 511	8.90	226 225	9.86	274 051	11.90	332 550	14.59	481 256	21.33
	Tissemsilt	167 478	5.63	179 004	6.02	205 585	7.02	276 808	9.57	401 975	16.52
Total région d'étude		1 054 165	49.02	1 153 975	54.99	1 381 106	67.67	1 692 191	83.00	2 447 948	126.73

(source PNUD, 2009)

II.6.2. Les besoins en eau en industries autonomes (AEI)

Le bassin du Haut Cheliff n'est pas considéré comme étant une zone très industrialisée même si une certaine croissance future dans le secteur est prévisible, surtout pour l'industrie agro-alimentaire. Les besoins en eau des grandes unités industrielles sont connus individuellement, à partir des informations des cadastres hydrauliques.

La consommation en eau industrielle dépend surtout des paramètres suivants :

- 1) Type d'industrie et processus de production,
- 2) Développement industriel,
- 3) Réduction des pertes dans le système de distribution pour les industries raccordées au réseau d'A.E.P,
- 4) Mesures d'économie d'eau.

Du fait qu'il n'existe pas de grandes industries, les besoins en eau sont très faibles par rapport aux besoins en eau potable domestique. Ils sont estimés à 1.78 Hm³/an en 2005 et à 2.96 Hm³/an pour l'horizon 2050. (figure 13)

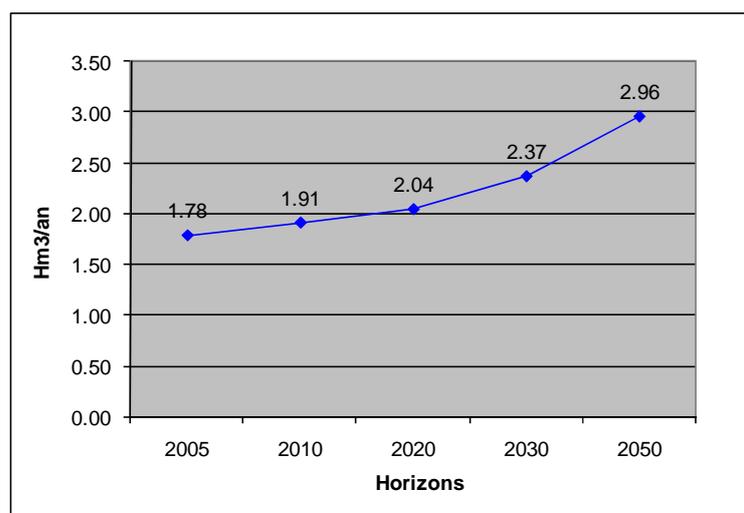


Figure 13: Besoins en eaux industrielles. (Source PNUD, 2009)

II.6.3. Demande en eau agricole

Le secteur agricole consomme la plus grande quantité d'eau dans la région. Le bassin du Haut Cheliff compte un grand périmètre irrigué (GPI) et de nombreux petits périmètres et moyenne hydraulique (PMH). (Figure 14)



Figure 14: Surface agricole dans la vallée du Haut Cheliff.

Les besoins en eau de l'agriculture irriguée sont de l'ordre de 140 Hm³ annuellement, ce qui représente trois fois des besoins totaux en eau potable. La situation des besoins en eau d'irrigation de la petite et moyenne hydraulique (PMH) et le grand périmètre d'irrigation (GPI) se présente comme suit :

II.6.3.1. PMH

On traitera dans cette partie les superficies agricoles utiles, irrigables et les superficies irriguées par type de culture ainsi que les superficies irriguées par type d'ouvrage de mobilisation et les volumes mobilisés pour la petite et la moyenne hydraulique.

Pour la PMH, les superficies irriguées sont considérées par commune. Le développement de la PMH est lié à la fois à la disponibilité des ressources en eau locales et aux mesures de soutien de la politique agricole. On prendra, comme approche, une augmentation globale jusqu'à l'horizon 2020, de 20% (à partir de 2005) des superficies actuellement irriguées en PMH, avec une demande moyenne en eau de 5000 m³/ha/an correspondant à un besoin net des cultures de 3000 m³/ha/an. (Source : DSA, ONID, DHW)

La surface agricole utile (S.A.U) de la région du Haut Cheliff est de 342 140 ha, et la superficie totale effectivement irriguée en 2005 était de 29 278 ha.

La PMH mobilise un volume d'eau annuel estimé, en 2005, par les DSA de wilayas, à 113 Hm³ pour irriguer seulement 8.3 % (tableau 14) de la superficie agricole utile à partir des points de prélèvement suivants :

- Les forages : 74.2 Hm³
- Les puits : 12.4 Hm³
- Les prises au fil de l'eau : 11.6 Hm³
- Les retenues collinaires : 0.3 Hm³
- Les sources : 1.5 Hm³

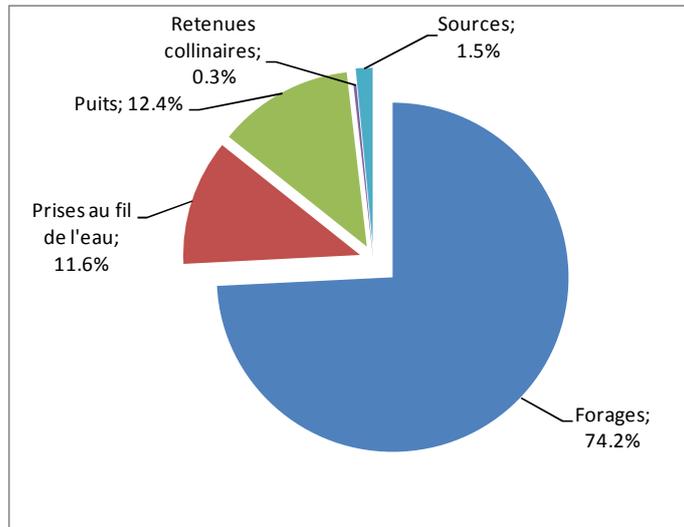


Figure 15: Alimentation en eau de la PMH. (source PDARE, 2009)

Ainsi, nous constatons que l'approvisionnement en eau de la PMH se fait essentiellement à partir des eaux souterraines (88 % forages, puits et sources) et le reste se fait à partir des eaux superficielles (12 % des retenues collinaires et prises au fils de l'eau). (figure 15)

Tableau 14 : Les volumes mobilisés par type d'ouvrage de mobilisation

Sous région	Ouvrage de mobilisation	Ressources Mobilisées (Hm3)	Superficies irriguées (ha)
Haut Cheliff	Épandage de crues	-	-
	Forages	83.979	25 747
	Prises au fil de l'eau	13.080	1 254
	Puits	14.088	1 373
	Retenues collinaires	0.300	73
	Sources	1.746	68
Somme Haut Cheliff		113.193	28 514

(Source PDARE, 2009)

Une augmentation globale, jusqu'à l'horizon 2050, de 40% (à partir de 2005) des superficies actuellement irriguées en PMH a été prise avec une dotation moyenne en eau de 5000 m³ /ha /an. Les besoins en eau de la PMH sont estimés à 113 Hm³ en 2005 et passeront à 161 Hm³ en 2050. La figure 16 illustre l'évolution des besoins en eau d'irrigation de la PMH pour les différents horizons.

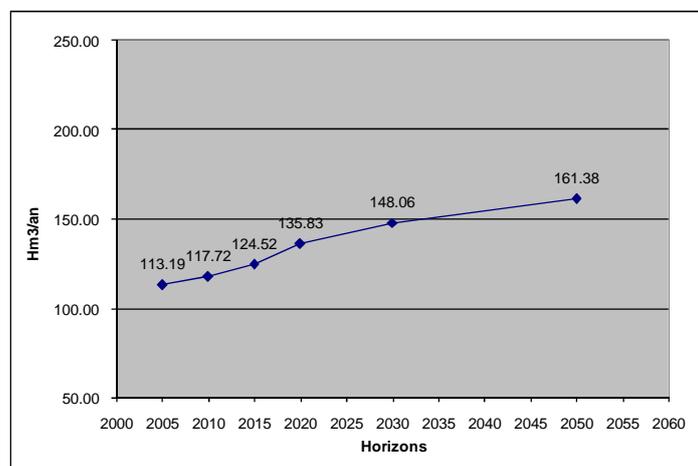


Figure 16 : Besoins en eau de la PMH. (Source PDARE, 2009)

II.6.3.2. GPI

La région compte un grand périmètre d'irrigation avec une superficie équipée de 20200 Ha. La superficie irrigable est de 16500 ha, soit 81% de la superficie équipée.

L'année de mise en service du périmètre irrigué de la vallée du Haut Cheliff est 1941 (figure 17). Le périmètre du Haut Cheliff est en voie de réaménagement et de rénovation pour une irrigation à aspersion. Le système d'irrigation est constitué de canaux préfabriqués vétustes et dégradés. La réhabilitation complète ou partielle de ces derniers est en cours ou programmée pour le court terme.

La superficie irrigable d'un périmètre est conditionnée, avant tout par la nature des sols. La classification des sols effectuée par l'ANRH sur cinq (05) catégories, montre que les sols du bassin Cheliff sont classés en trois catégories (I, II, et III). Cette classification justifie leur mise en valeur sous irrigation.

Le tableau 15 montre la répartition des surfaces équipées, irrigables et irriguées en 2002 pour chaque grand périmètre.

Tableau 15 : Superficies du GPI.

Périmètre	Superficies (ha)		
	Équipées	Irrigables	Irriguées (2002)
Haut Cheliff	21035	16000	3296,65

(Source PDARE, 2009)

L'écart important entre la superficie équipée (21 035 ha) et la superficie irrigable (16 000 ha) ainsi que les superficies réellement irriguées en 2002 est dû, dans certains cas, à l'état des réseaux très dégradés. La superficie irrigable est, elle aussi, beaucoup plus importante que la superficie irriguée (qui représente 21 %) en raison du manque d'eau d'irrigation disponible.

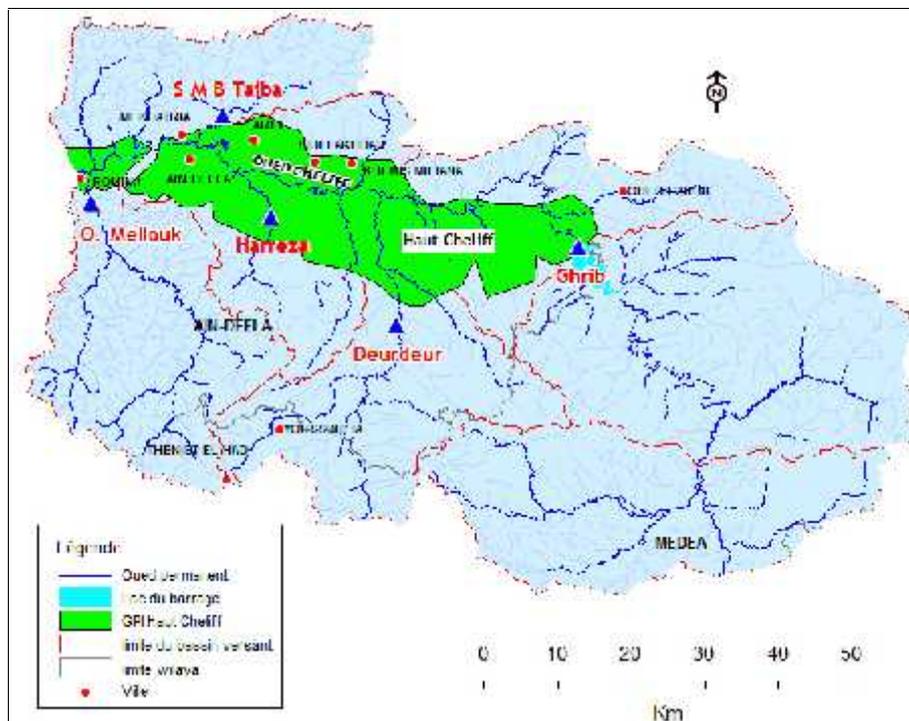


Figure 17 : Localisation du GPI Haut Cheliff.

Les modes d'irrigation pratiqués dans le périmètre du Haut Cheliff sont l'aspersion et en degré moindre le gravitaire. L'aspersion est obtenue par refoulement à partir de la station de pompage « Khemis II », placée sur le cours de l'oued Cheliff, à 4,5 km au Sud d'El Khemis. Le nombre

d'usagers est de 1100, avec une distribution de l'eau sur la parcelle par les systèmes d'irrigation en aspersion et en partie en gravitaire.

Au niveau des GPI, la projection de la demande en eau a été calculée pour le périmètre à partir des demandes en eau recueillies auprès des organismes concernés. Les besoins totaux en eau pour le grand périmètre d'irrigation sont estimés à 27.15 Hm³/an en 2005 et passeront à 111.99 Hm³ en 2015 et 2020. (tableau 16)

Tableau 16 : Besoins en eau pour le grand périmètre à travers les différents horizons.

Code GPI	Nom GPI	Besoins Hm ³ /an						
		2003	2005	2010	2015	2020	2030	2050
PI0103	Haut Cheliff	27.15	27.15	67.87	111.99	111.99	111.99	111.99

(Source PNUD, 2009)

L'évolution des besoins en eau pour le périmètre du Haut Cheliff à travers les différents horizons est illustrée dans la figure 18.

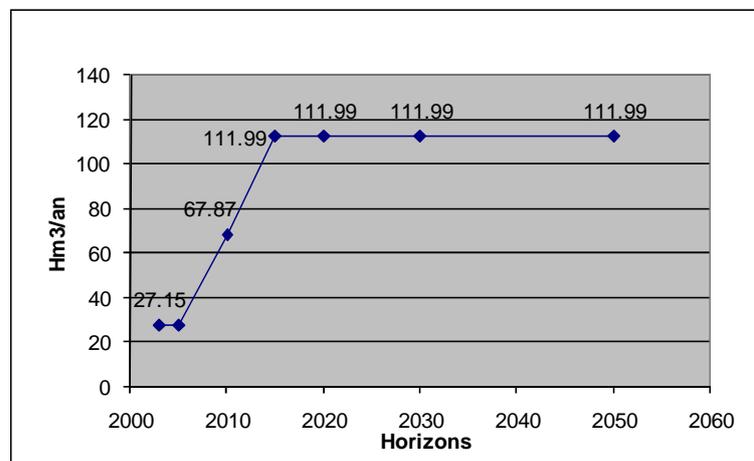


Figure 18 : Besoins en eau du GPI. (Source PDARE, 2009)

II.7. Ressources en eau

Les ressources en eau sont constituées par les eaux conventionnelles (superficielles et souterraines) et les eaux non conventionnelles (les eaux usées traitées et les eaux de dessalement).

II.7.1. Eaux superficielles

II.7.1.1. Les barrages

Les barrages dans le bassin du Haut Cheliff sont au nombre de 05 en exploitation (figure 05). Leurs noms et leurs caractéristiques sont énumérés, dans le tableau 17.

Les volumes régularisables ont été calculés par l'ABH à partir de séries d'apports (période moyenne de 1965 à 2002) et des courbes Hauteurs-Volumes-Surfaces, collectées respectivement auprès de l'ANRH et l'ANBT pour 05 barrages en exploitation à savoir : Ghrib, Deurdeur, Heraza, Sidi M'hamed Ben Taiba, Ouled Mellouk.

Les cinq barrages en exploitation totalisent une capacité de 667 Hm³, avec un volume régularisable variant entre 3 Hm³ et 80 Hm³ selon leurs utilisations. Le volume stocké au 03/09/2009 était de 212 Hm³, ce qui représente 32 % de leur capacité totale. (tableau 17)

Tableau 17 : État des réserves des barrages en exploitation

Nom Barrage	Oued	Date de mise en service	Capacité totale (hm ³)	Volume à la date 10/09/2008 (hm ³)	Volume à la date 03/09/2009 (hm ³)	Taux de remplissage (%)
Ghrib	Cheliff	1939	280.00	30.45	89.77	32.1%
Deurdeur	Deurdeur	1985	115.00	7.43	23.19	20.2%
Harreza	Oued Harreza	1984	70.00	2.52	10.19	14.6%
Ouled Mellouk	Rouina	2003	127	15.90	35.20	27.7%
S. M Bentaiba	Ebda	2006	75.00	51.21	54.29	72.4%
Total			667.00	107.51	212.64	31.9%

(Source PDARE, 2009)

II.7.1.2. La sédimentation dans les barrages

La plupart des barrages en exploitation dans la région sont envasés. L'état d'envasement varie entre 3 et 59%. Le tableau 18 donne la situation actuelle des taux d'envasement des barrages en exploitation.

Tableau 18 : Envasement des barrages en exploitation

Barrage	Année mise en service	capacité initiale Hm ³	capacité Hm ³		Volume vase Hm ³	Volume d'eau stocké au 03/09/2009 Hm ³	Envas. moyen annuel Hm ³ /an	Taux d'envasement (%)
			2000	2005				
Ghrib	1939	280	-	115.32	164.68	89.77	3.2	59
Herraza	1984	70	-	67.65	2.35	10.19	0.28	03
Deurdeur	1984	115	-	105.12	9.88	23.19	0.83	09

(Source PDARE, 2009)

II.7.1.3. Les potentialités

Globalement les ressources en eau mobilisées (volume régularisable total des barrages en exploitation au niveau de la région du Haut Cheliff) sont évaluées à près de 206.20 Hm³/an, (38.45 Hm³/an désigné à l'AEP et 167.75 Hm³/an pour l'irrigation) avec une capacité totale est de 667 Hm³. (Tableau 19)

Tableau 19 : Situation des barrages en exploitation.

Nom barrage	Année de mise en service	Cap. Initiale (Hm ³)	Vol_Rég (Hm ³)	Pourc AEP (%)	Vol_Rég AEP (Hm ³)	Vol_Rég IRR (Hm ³)	Destination
Ghrib	1939	280	80.25	25	13.5	66.75	AEP/IRR
Deurdeur	1984	115	38.20	20	6.2	32.00	AEP/IRR
Herraza	1984	70	3.00	0	0	3.00	IRR
Ouled Mellouk	2003	127	38.00	0	0	38.00	IRR
SMBT	2006	75	46.75	50	18.75	28.00	AEP/IRR
Total		667	206.2		38.45	167.75	

(Source PDARE, 2009)

II.7.1.4. Les retenues collinaires

En plus des grands ouvrages de mobilisation des eaux superficielles, il existe dans le bassin du Haut Cheliff plus de 30 retenues collinaires destinées à l'irrigation des terres agricoles, dont 06 retenues seulement sont en exploitation. Les ressources en eau superficielles disponibles par les

retenues collinaires sont de 1.29 Hm^3 . Il est à noter que 80% des retenues collinaires de la région sont envasées (PDARE, 2009).

II.7.2. Eaux souterraines

L'unité hydrogéologique dans la région du Haut Cheliff est celle de la plaine du Haut Cheliff, qui est séparée de la plaine du Moyen Cheliff par le seuil de Doui. Ce seuil constitue un barrage relativement étanche entre les deux bassins qui n'ont pour seule communication que le cours d'eau principal du Cheliff (figure 19). Les ressources en eaux souterraines de la plaine du Haut Cheliff ont été évaluées dans le cadre du Plan National de l'Eau. Cette évaluation est basée sur les études hydrogéologiques menées par l'ANRH et la méthode pluie/infiltration. Cette plaine est constituée d'alluvions grossières, occupe une superficie de 370 km^2 , dont les potentialités en eaux souterraines sont estimées à 16 Hm^3 .

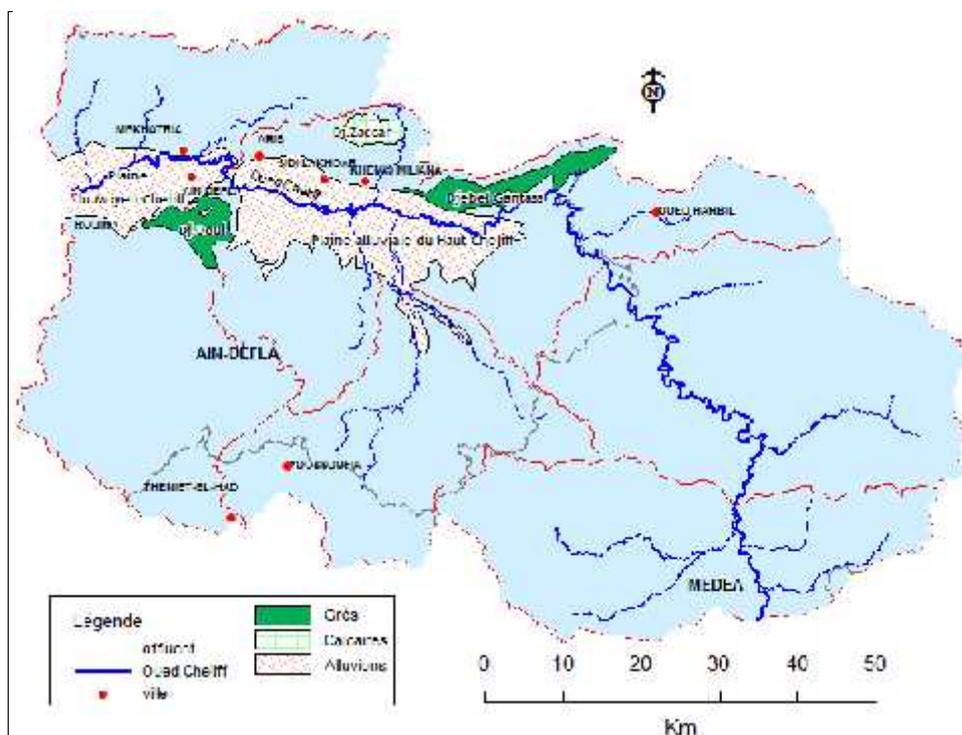


Figure 19: Localisation de la nappe du Haut Cheliff.

II.8. Eaux non conventionnelles

A la suite d'une sécheresse chronique vécue par l'Algérie depuis plus de deux décennies et la demande en eau croissante, les pouvoirs publics ont décidé de s'orienter vers une politique de mobilisation des ressources en eau non conventionnelles, à savoir : la réutilisation des eaux usées urbaines traitées et le dessalement d'eau de mer afin de pouvoir compenser le déficit en eau enregistré.

II.8.1. Les eaux usées urbaines traitées

Le recyclage des eaux usées traitées n'existe pas encore dans la région du Haut Cheliff, car, la collecte et la purification des eaux usées sont limitées à deux agglomérations seulement où deux stations d'épuration à savoir ; Ain Defla et Theniet El Had fonctionnent actuellement et quelques bassins de décantation. Le tableau 20 fournit les données des 02 STEP.

Il est à signaler que la ville de Khemis Milina qui compte une population qui dépasse 50 000 habitants n'est pas dotée d'une station de traitement des eaux usées jusqu'à ce jour.

Si toutes les eaux usées urbaines et industrielles étaient traitées actuellement, un gain de 6.73 Hm³/an serait possible d'ici 2020.

L'avantage supplémentaire du traitement des eaux usées est l'amélioration significative de la qualité des eaux dans les barrages, et contribue par conséquent, à la protection de l'environnement.

On estime qu'environ un tiers des eaux usées traitées peut être utilisé pour l'irrigation :

- La période annuelle d'irrigation n'atteint que cinq mois environ.
- Seule 80% des eaux usées traitées seront disponibles dans les périmètres irrigués.
- Actuellement le taux de réutilisation est encore à 0%.

D'autres utilisations peuvent être également envisagées (arrosage des jardins publics, nettoyage des rues par camion citerne, rechargement de la nappe...).

Tableau 20 : Stations d'épuration dans le Haut Cheliff.

Bassin	Nom	Capacité (Eq/hab)	Année Service	Situation	Débit Épuré (m ³ /j)	Agglomération raccordée
Haut Cheliff	Ain Defla	75000	2010	En Fonction	18200	Ain Defla
	Theniet El Had	32222	2010	En Fonction	5200	Theniet El Had

(Source PDARE, 2009)

II.9. Conclusion

La région du Haut Cheliff est caractérisée par un climat semi-aride, avec un hiver froid et pluvieux, et un été chaud et sec, influencé par des facteurs géographiques (éloignement de la mer, altitude et orientation des reliefs). La répartition des précipitations et des températures influe sur la chimie des eaux par dilution pendant la période pluvieuse, ou concentration lors de l'évaporation durant la période sèche.

L'étude de ce chapitre nous a permis de déterminer les caractéristiques climatologiques et hydrologiques suivantes :

La température moyenne interannuelle oscille entre 13 et 19°C.

Les précipitations moyennes annuelles, sur une période de 34 ans (1968-2001), sont estimées à 429 mm. L'évapotranspiration réelle est estimée à 363 mm, mobilisant 84 % des précipitations.

Le ruissellement ne représente que 8 % des précipitations, ce qui représente 34 mm.

L'alimentation de la nappe se fait à l'aide de l'infiltration qui est estimée à 31 mm soit 7% des précipitations.

Les eaux de surfaces présentent des débits d'écoulement très variables, dépendant de la hauteur des précipitations, de sa durée et de sa répartition spatiale au niveau du bassin versant.

Au niveau de la plaine, deux ressources potentielles en eaux (les eaux de surface dont les cinq barrages en exploitation totalisent une capacité de 667 Hm³, les potentialités en eaux souterraines sont estimées à 16 Hm³). Les besoins en eau potable des populations (1 153 975 habitants) ont été estimés, en 2010, à 54 Hm³ environ.

Chapitre III

GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE DE LA REGION DU HAUT CHELIFF

III.1. Introduction

La lithologie joue un rôle important sur le ruissellement, l'infiltration, l'érosion et le transport solide. Les matériaux géologiques se distinguent en formations meubles (sables, argiles, marnes) ou en formations consolidées (grés, calcaires, dolomies,...). La nature des affleurements a une influence sur l'hydrologie de surface et le type du dépôt alluvionnaire.

La connaissance de la géologie d'un bassin versant s'avère importante pour cerner l'influence des caractéristiques physiographiques. La géologie du substratum influe non seulement sur l'écoulement de l'eau souterraine mais également sur le ruissellement de surface. Dans ce dernier cas, les caractères géologiques principaux à considérer sont la lithologie (nature de la roche mère) et la structure tectonique du substratum (Musy, 2003).

Dans ce chapitre, nous allons présenter brièvement quelques caractères généraux sur la géologie et l'hydrogéologie de la région d'étude.

III.2. Contexte géologique général

Pour la caractérisation géologique et hydrogéologique, nous avons utilisé les travaux majeurs de Boulaine (1956), Perrodon (1957), Mattaeur (1958), Maghraoui et al (1986), Mania (1990) ainsi que les différentes cartes géologiques disponibles selon la position géographique des sous bassins.

Le bassin du Haut Cheliff fait partie intégrante du domaine tellien. Il est limité au Nord par le tell septentrional représenté par les monts du Dahra et du Boumaad et au Sud par la chaîne de l'Ouarsenis qui constitue le tell méridional. (Figure 20)

La plaine du Haut Cheliff correspond à une vaste zone déprimée d'orientation Est-Ouest à l'intérieur de laquelle une masse importante de sédiments post-nappe Mio-Plio-Quaternaire s'est accumulée. Les coupes lithologiques transversales effectuées dans la plaine du Haut Cheliff, font apparaître l'allure synclinale des différentes formations constituant le sous-sol (Figure 21). Ces dépôts se sont effectués à la faveur de transgressions successives. Les massifs environnants constituent les pointements autochtones jurassiques et primaires du Zaccar, du Doui et des Aribis et sont en général de nature épimétamorphique à schistosité anté-nappe (In Djeda, 1987).

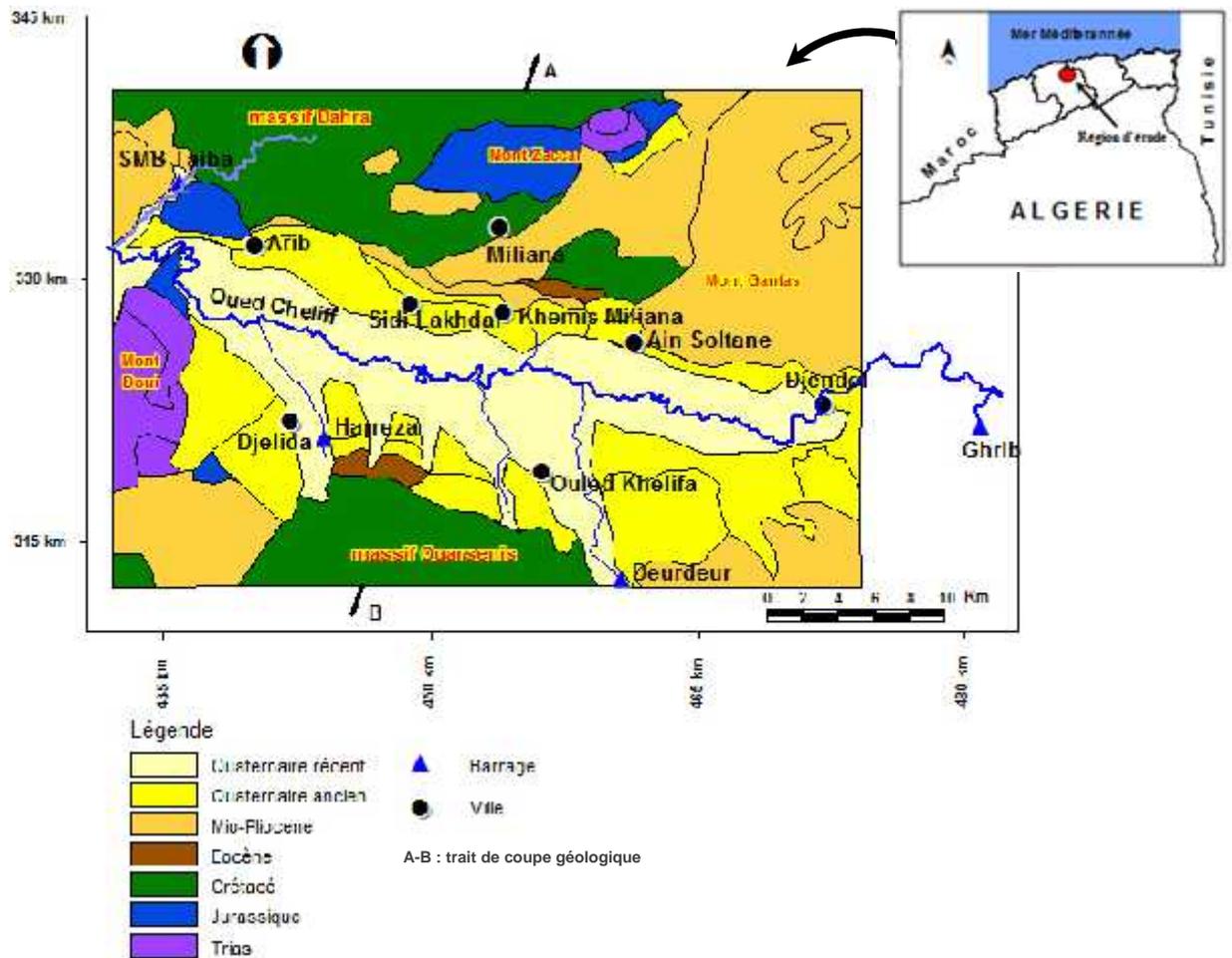


Figure 20: Carte géologique simplifiée d'après le 1/50.000 de Miliana.

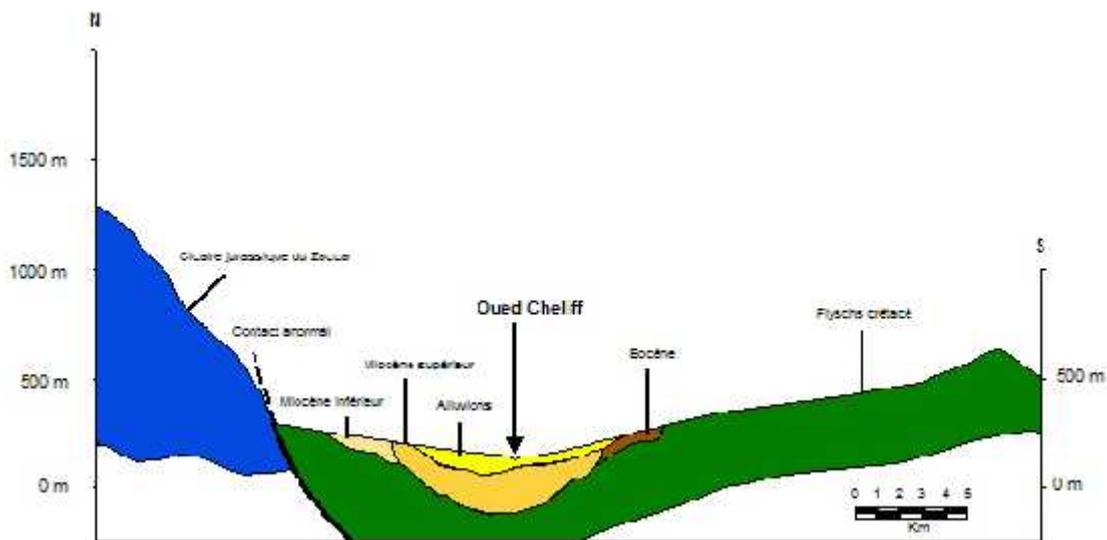


Figure 21: Coupe géologique interprétative transversale de la plaine du Haut Cheliff.

III.2.1. Nappes de charriages

Sur l'autochtone jurassico-primaire se sont surimposées des nappes de charriage venant du Nord et dont les déplacements ont atteint 50 à 100 km (fig. 22). Les zones allochtones ont été subdivisées en trois grands types par Mattauer (1958) :

- **Complexe A**

La nappe A correspond à la partie inférieure de l'allochtone et englobe les assises du Crétacé. On la retrouve autour du massif de Miliana constituée par les schistes Crétacés. On peut également l'observer au Sud, au niveau des bassins versants des oueds Deurdeur, Massine et Harreza. Il faut signaler la présence d'écailles de Trias qui viennent s'insérer dans les schistes Crétacés (In Djeda, 1987). (figure 22)

- **Nappe B**

La nappe B s'est déplacée sur environ 45 km et englobe les terrains marneux du Crétacé supérieur (Sénonien) et des terrains tertiaires (Éocène, Oligocène et Miocène). Elle repose souvent en discordance sur les terrains autochtones et sur le complexe para-autochtone A. Au Sud les terrains anté-miocène de la nappe B recouvrent le Miocène autochtone. On peut également l'observer au niveau du pont du Caïd (In Djeda, 1987).

- **Nappe C**

Elle correspond à la nappe la mieux caractérisée du Tell. Issue du Nord son déplacement a atteint 100 km. Elle s'observe partout à l'extrême Sud du bassin et aux alentours de Theniet El Had (In Djeda, 1987).

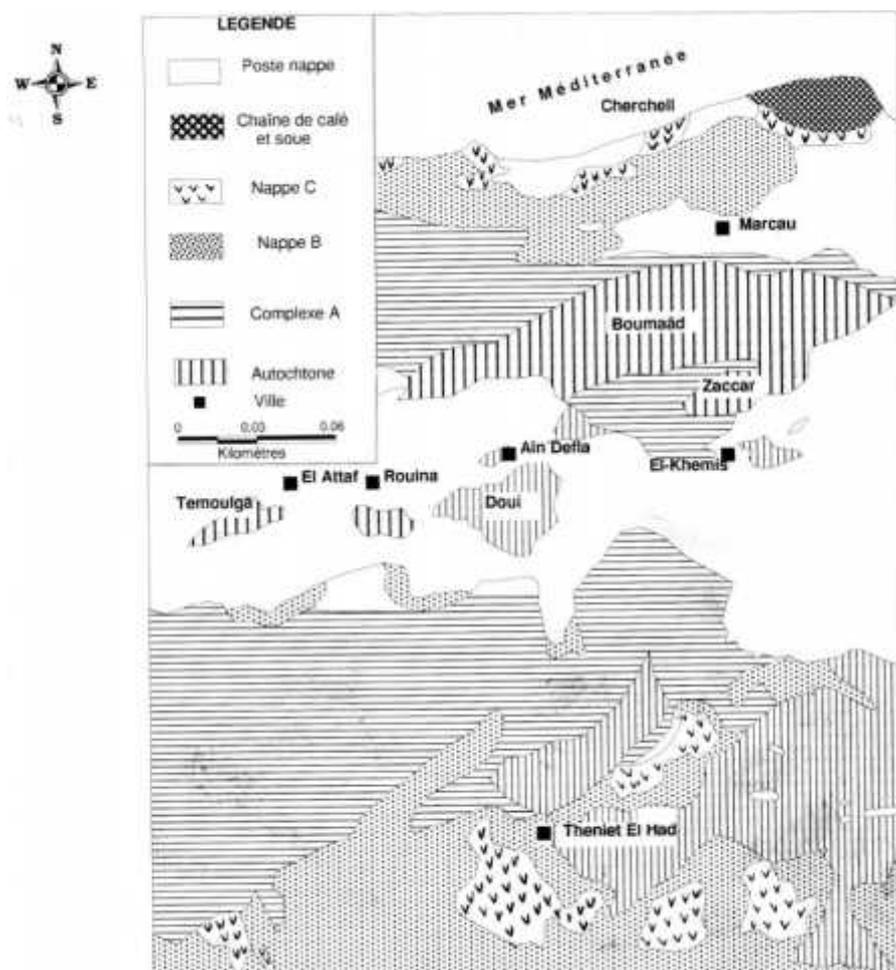


Figure 22: Carte structurale du tell Centro-Occidental. (Source Mattauer- Perrodon 1958)

III.2.2. Étude lithostratigraphique

III.2.2.1 Substratum anté-néogène

Nous distinguons dans la série lithologique les schistes argileux siluro-dévonien, les poudingues quartzites et les schistes permo-triasiques. Le trias qui forme un complexe gypso-salin classique en Berbérie comprend également des cargneules et brèches dolomitiques. Les parties les plus rigides du Trias sont surtout représentées par des calcaires dolomitiques. Cette série s'observe principalement au Sud dans les bassins des oueds Deurdeur et Massine où ils affleurent en contact anormal le long des schistes Crétacés. Le gypse riche en NaCl dépose des efflorescences blanches que l'on a pu observer en amont au fond de l'oued Massine. Par ailleurs les analyses chimiques d'eau réalisées pour cet oued ont révélé une eau fortement sulfatée.

Au Sud, dans la région du pont du Caïd s'observe un gisement de barytine dans les cargneules et dolomies triasiques. Les eaux bicarbonatées alcalines et chlorurées circulant le long des failles sont à l'origine de ce gisement. Ce dernier peut atteindre quelques 6 mètres d'épaisseur sur 10 mètres de long et jalonne la nappe A d'âge Crétacé (In Djeda, 1987).

- **Le Jurassique autochtone**

Les terrains du jurassique affleurent principalement au nord et constituent les pointements autochtones du Zaccar, d'Aribs et du Doui (figure 21). Le jurassique est essentiellement formé de calcaires souvent dolomitiques et ferrugineux (In Djeda, 1987).

- **Le Crétacé allochtone**

À la base, on distingue le Néocomien représenté par des argiles schisteuses. Les flychs albiens qui affleurent sur de vastes étendues au Nord et surtout au Sud du bassin sont formés de schistes alternant avec des petits bancs de grès quartzeux. Ce faciès est extrêmement plissé et raviné. Enfin, au sommet de la série crétacée on observe des calcaires noirs et marno-calcaires du Cénomaniens et les marnes bleuâtres du Sénonien. Le Crétacé a été prospecté par sondages électriques et constitue le substratum imperméable des terrains du Néogène (In Djeda, 1987).

- **La série du Nummulitique allochtone**

Elle est formée de bancs épais de grès quartzites blancs ou roses et de schistes bariolés. Elle affleure au Nord de la ville de Khemis Miliana et surtout au Sud-Ouest. Les assises de l'Éocène et de l'Oligocène sont d'extension réduite et n'ont aucun intérêt sur le plan de la ressource en eau (In Djeda, 1987).

III.2.2.2. Les formations post-nappe du Néogène

- ❖ **Le Miocène** : le Miocène peut atteindre 300 m d'épaisseur, il est constitué de la base au sommet par : (figure 23)

- **Le Miocène inférieur :(Burdigalien)**

Le Miocène inférieur reposant en discordance sur les terrains anté-néogènes est issu d'une vaste transgression marine. Il débute par une série conglomératique de base (Burdigalien) que l'on peut observer au Nord dans le massif du Zaccar. Les poudingues atteignent près de 1000 m d'épaisseur au niveau du synclinal des Ben Allal et constituent donc un aquifère important jalonné par de nombreuses sources. Au sommet de la série, les assises du Carténien sont

essentiellement formées de marnes qui apparaissent au Nord d'El Khemis et dont l'épaisseur est de l'ordre de 100m (In Djeda, 1987).

- **Le Miocène Supérieur : (Vindobonien)**

Est une série qui est représentée de la base au sommet par : des niveaux conglomératiques épais de 1 à 2 m, à ciment sablo- marneux, surmontés par un niveau marneux de couleur bleu, d'une épaisseur d'environ 50 m ; des marnes blanches alternant avec quelques bancs siliceux couronnés par un dépôt de grés et de sable, d'une épaisseur de 100 m environ.

Une formation marneuse de couleur bleue, présentant un faciès argileux, parfois gypseux d'environ 90 m d'épaisseur (Messelmi, 2004).

- ❖ **Le Mio-Pliocène** : le Mio-Pliocène est constituée par des galets quartzeux, des conglomérats, des grés et des argiles détritiques, ainsi que les travertins anciens déposés au niveau des sources du Zaccar.

- **Le Pliocène** : on distingue un Pliocène continental et un Pliocène marin :

- **Le Pliocène inférieur (Pliocène marin)** : est représenté par une série marneuse qui débute par des niveaux détritiques gréseux ou sableux et parfois conglomératiques, ensuite on a un passage progressif dans la partie supérieure à des marnes sableuses et sables argileux, formant tous les termes de passage aux grés astiens. Les grés, avec une épaisseur d'une centaine de mètres, constituent une bande continue depuis l'Ouest d'El Abadia vers le versant sud du Dahra.

- **L'Astien** : est représenté par une série marine finement sableuse ou gréseuse de couleur jaune fauve. Les grés sont souvent à ciment calcaire et passent localement à des calcaires gréseux.

- **Le Pliocène supérieur (Villafranchien)** : le Pliocène continental est formé de conglomérats à éléments gréseux à grésocalcaires et des sables, non consolidés.

Les dépôts sableux rouges à stratifications entre croisées qui succèdent aux conglomérats précédents appartiennent au Villafranchien. Ces dépôts reposent le plus souvent sur des limons grés. Parfois les conglomérats du Pliocène supérieur n'existent pas, et les formations rouges du Villafranchien se trouvent alors en contact avec des grés astiens ; d'ailleurs, au Sud du Cheliff sur la bordure de l'Ouarsenis, le Pliocène disparaît complètement. A ce niveau, le Quaternaire recouvre directement les grés du Miocène (Messelmi, 2004).

- ❖ **Le Quaternaire**

Au Quaternaire et en milieu strictement continental, une forte transgression marine entraîne l'accumulation d'une masse importante de sédiments issue des reliefs voisins.

On assiste alors à une alternance de périodes de creusement et de comblement qui aboutissent à l'installation des principales terrasses alluviales.

Les alluvions du Quaternaire ont la particularité d'être très hétérogènes avec de nombreux passages latéraux à granulométrie variées. Toutefois dans l'ensemble nous pouvons distinguer deux types d'alluvions : argileuses et grossières. Par ailleurs, les cônes de déjections situés au pied des massifs du Zaccar et du Doui sont issus d'une alternance de dépôts de sables, d'argiles et de limons. Ce matériel terrigène a été arraché aux versants et transporté par les eaux de pluie.

Il présente un intérêt non négligeable car en général une bonne partie des eaux issues des versants abrupts y transite avant d'atteindre l'aquifère (In Djeda, 1987).

a) les alluvions anciennes

Les alluvions anciennes (figure 23) de couleur rougeâtre affleurent au Nord et au Sud de la plaine en bordure des massifs montagneux. Elles sont de nature très hétérogènes et composées d'éléments grossiers à fins pouvant varier considérablement d'un endroit à l'autre. Les éléments grossiers prédominent largement et on note la présence de graviers et de caloux (In Djeda, 1987).

b) les alluvions récentes

sur les alluvions anciennes s'observe une formation grisâtre à gris-cendré qui recouvre toute la plaine de façon quasi-horizontale. Ces alluvions récentes ont été déposées en continuité stratigraphique avec le niveau sous-jacent. Durant tout le Quaternaire, le Cheliff a roulé et transporté une grande quantité de matériel détritique. Par ailleurs l'exhaussement de ses berges indique que l'alluvionnement se poursuit (In Djeda, 1987).

La terrasse récente est constituée d'éléments fins argilo-calcaires compacts. Ces limons argileux composés de lentilles de sable sont relativement homogènes sur tout le bassin. Même si l'excès de compacité oblige les agriculteurs à maints travaux d'amélioration du sol, les alluvions récentes constituent les meilleures terres de la région (excellentes terres à céréales).

c) la carapace calcaire.

Le passage entre les massifs montagneux et le bassin sédimentaire se fait par l'intermédiaire de niveaux quaternaires étagés appelés fréquemment glacis d'accumulation. Autour de la plaine du Haut Cheliff affleurent des niveaux alluvionnaires anciens à éléments grossiers. Ces formations anciennes qui dominent la terrasse récente sont souvent fossilisées par une couche sub-superficielle calcaire. Elle atteint communément 2 mètres d'épaisseur, en particulier au Sud du bassin, et se développe de manière continue sur de grandes étendues. Ces accumulations calcaires sont formées d'éléments sablo-calcaires et constituent la plupart du temps un obstacle à l'agriculture.

La carapace calcaire est composée d'un niveau dur de calcaire et d'un niveau sous-jacent tendre et graveleux très friable. Ceux-ci sont respectivement appelés Tifkert et Tafezza (Boulaine, 1957). Cet ensemble fut décrit en tant que "calcaire pulvérulent" (Durand, 1959) et plus récemment en tant que croûte tufeuse. Cette formation est caractérisée par sa couleur blanc plâtreux et son feuilletage sub-horizontale (In Djeda, 1987).

Au Sud de la plaine, en rive droite de l'oued Derdeur elle est recouverte d'un sol rougeâtre et de cailloux siliceux issus des bas de pente du bassin grès-calcaire. La croûte friable à la base durcit progressivement vers le haut. Contrairement à ce que l'on pourrait croire le durcissement n'est pas lié à la quantité de calcaire mais à sa distribution et à sa cristallinité.

Le mode de mise en place des croûtes tufeuses est sédimentaire et non pédologique. Les accumulations calcaires furent en effet apportées en phase liquide par le bicarbonate de calcium et en phase solide par les limons et les boues carbonatées (In Djeda, 1987).

En règle générale la croûte tufeuse est liée aux glacis et peut correspondre au dernier terme de la période d'alluvionnement. Il y a diminution des apports alluviaux puis dépôt de cuvette alimentée par des écoulements intermittents de faible épaisseur.

L'alternance de périodes humides et de périodes sèches a facilité la précipitation du calcaire et la calcification des trames organiques. La calcification s'est effectuée en milieu de type phréatique où ont circulé lentement les solutions carbonatées. En outre le tapis algaire a créé une discontinuité hypodermique avec les niveaux sous-jacents facilitant les écoulements de type laminaires et par suite la mobilisation du calcaire. Nous avons remarqué que l'épaisseur des croûtes augmentait d'amont en aval (In Djeda, 1987).

Les processus d'accumulation du calcaire sont donc physico-chimiques (évaporation, décantation, cristallisation) et enfin biochimiques (l'intervention de microorganismes) dans un milieu submergé de façon permanente ou temporaire.

D'un point de vue hydrogéologique, si la croûte tufeuse gêne les infiltrations, elle évite l'assèchement du sous-sol et constitue une protection contre l'évaporation et contre une éventuelle pollution locale. Par ailleurs comme nous le verrons elle influe de manière non négligeable sur les caractéristiques chimiques de l'eau et témoigne de l'importance des écoulements hypodermiques dans la région (In Djeda, 1987).

III.3. Aperçu tectonique

Les plis sont pour la plupart orientés d'Est en Ouest et affectent toutes les séries. Au Néogène les 2000 m de sédiments à prédominance marneuse ont facilité la formation des plis souples et réguliers dont l'intensité croît vers l'Est.

En revanche, les terrains rigides jurassico-primaires ont engendré une tectonique cassante marquée par l'apparition de failles importantes. En effet, parallèlement à la subsidence s'opérait un redressement des bordures du Zaccar et du Doui le long de failles sub-verticales. Ces mouvements verticaux assez remarquables, ont débuté au secondaire et ont permis la mise en place des amygdales intra-telliennes (Glangeaud, 1955 et Mattaeur, 1958) qui constituent les pointements autochtones jurassico-primaires.

Le sillon tellien ne s'individualisera qu'après la mise en place des nappes de charriages en phase alpine miocène inférieure. L'Eocène et l'Oligocène se caractérisent par une phase tectonique majeure qui s'exprime par la dislocation et le plissement des massifs rigides. La couverture albienne du Zaccar glisse vers le Sud formant des collapse-structures.

Au Miocène, les phénomènes successifs de transgression et de subsidence ont permis l'accumulation des sédiments sur le Crétacé parallèlement à la surrection des massifs bordiers. A la fin du Miocène supérieur, les transgressions marines cessent totalement et le bassin de Khemis Miliana tend à s'isoler des autres bassins du Cheliff. En effet, le seuil Aribis- Doui jurassico-primaire se redresse davantage et joue le rôle de barrage empêchant la mer pliocène venant de l'Ouest de pénétrer dans la plaine. Comme nous l'avant vu, c'est au Pliocène que les premiers dépôts continentaux issus de l'érosion des reliefs environnants apparaissent. (Maghraoui, 1982)

Durant le Miocène, une phase de plissement importante a donné naissance à l'anticlinorium du Zaccar, le synclinorium du Cheliff et le dôme de Doui. Au Pliocène, des plis d'orientation N110 (Maghraoui, 1982) ont affecté toute la région. Tandis que les noyaux autochtones continuent à se surélever, une partie de la plaine Cheliff s'affaisse. Les formations Miocènes glissent au Sud de Miliana vers El Khemis en donnant à nouveau des collapse-structures.

Epaisseur (m)	Log	Lithologie	Age		Comportement Hydrogéologique
100		Limons Alluvions	Quaternaire		Perméable
100		Argiles Grès et conglomérats	Eocene		Imperméable
100		Grès et poudingues			Perméable
200		Argiles Grès et poudingues	Miocène supérieur (Vindobonien)		Imperméable
?		Calcaires			Perméable
300		Marnes			Imperméable
1000		Grès et poudingues	Miocène inférieur (Burdigalien)		Perméable
20		Calcaires			
?		Grès quartzitiques Argiles et schistes	Eocene		Perméable
					Imperméable
?		Marnes et calcaires Marneux	Sénonien		Imperméable
50		Calcaires et marnes calcaire	Cénomanién		Imperméable
1000		Schistes et bancs de quartzites	Albien		
900		Argiles schisteuses	Neocomien		Imperméable
1000		Calcaires	Jurassique		Perméable
?		Dolomies et calcaires dolomitiques	Trias		perméable
300		Schistes et quartzites	Perm. - Trias		Imperméable

Figure 23: Colonne litho stratigraphique synthétique et comportement hydrogéologiques des différentes formations d'après le log stratigraphique établi par Perrodon, 1957.

III.4. Caractéristiques physiques des principaux réservoirs

III.4.1. prospection géophysique

L'étude géophysique a été réalisée en 1969 par la CGG, l'investigation en profondeur a été effectuée par sondages électriques et a couvert toute la plaine du Haut Cheliff. Cette étude devait permettre en premier lieu d'individualiser les différentes formations souterraines par des mesures ponctuelles de paramètres physiques telles que les résistivités et les résistances transversales ; en second lieu de dégager les niveaux susceptibles d'intérêt hydrogéologique. Les profils de sondages électriques ont été orientés Nord- Sud perpendiculairement à la structure géologique et réalisés tous les 2 km de Djendel à Aribis. Par ailleurs, le long de chaque profil les points de sondage ont été espacés de 1 km (In Djeda, 1987).

III.4.1.1. L'échelle des résistivités

L'échelle des résistivités adoptée dans le cadre de l'étude de la nappe alluviale par la (CGG, 1969) à partir de l'étalonnage à l'aide des forages et sondages est résumée dans le tableau 21.

Tableau 21 : Échelles des résistivités.

Étage	Nature Géologique	Résistivité (Ohm.m)
Quaternaire	Alluvions perméables	50 à 100
	Alluvions peu perméables	5 à 30
Pliocène	Calcaires gréseux	60 à 80
	Marnes	3 à 20
Miocène	Argiles quartzitiques	10 à 20
	Marnes	40 à 50

(Source CGG ,1969)

III.4.1.2. Interprétation des coupes géoélectriques

a) Coupe géoélectrique (CA)

La coupe géoélectrique (CA) d'orientation Nord- Sud (Figure 24 et 25), réalisée à l'Ouest de la localité de Djendel et passant par les sondages électriques (CA3, CA2, CA1) montre que :

- Dans la partie centrale au niveau du sondage électrique (CA2) les alluvions devenant plus épais, atteignent des résistivités de 120 Ohm.m.
- Au Nord et au Sud du sondage électrique (CA2) les alluvions diminuent d'épaisseur.
- Le substratum des formations alluviales représentées par des argiles affleurent au Nord et au Sud de la région de Djendel avec une résistivité de 10 Ohm. m.
- L'épaisseur des niveaux conducteurs augmente vers le Sud où elle atteint au niveau des sondages électriques (CA3) et (CA2) plus de 100 m.
- La coupe géoélectrique (CA) montre d'autre part un second niveau résistant (100 Ohm. m) d'une épaisseur moyenne de 100 m peuvent être attribuée aux grés – sableux du Djebel Gantas.

b) Coupe géoélectrique (CL)

Cette coupe située à l'Ouest d'El Khemis (Figure 24 et 26) et passant par les sondages électriques (CL7, CL6, CL5, CL4, CL3, CL2, et CL1) montre que :

- Dans la partie centrale, entre les sondages électriques (CL3, CL2), les argiles deviennent plus épais et atteignent une épaisseur d'environ 50m avec des résistivités de 15 Ohm m. Les alluvions ont presque la même épaisseur le long de la rive droite de Oued Cheliff

d'une résistivité maximale de 100 ohm m, sur la rive gauche de l'Oued Cheliff, on constate des alluvions caractérisées par une résistivité de 30 Ohm m.

- Le substratum des formations alluviales représenté par des argiles affleure au Sud (au niveau du sondage électrique CL6) et au Nord avec une résistivité de 10 Ohm.m. On remarque qu'entre les sondages électriques (CL1 et CL3), l'épaisseur du substratum est très importante et peut atteindre 150 m avec une résistivité de 12 Ohm m.
- La coupe géoélectrique CL montre d'autre part un second niveau résistant (150m) d'une épaisseur moyenne de 100m attribués aux grés du djebel Gantas.
- Sur la rive gauche de l'oued Cheliff, on remarque que l'épaisseur des formations alluviales diminue suite à la remontée du substratum crétacé de la formation schisto-quartzique.

c) Coupe géoélectrique (C et CP)

Au point de vue hydrogéologique les formations résistantes sur cette coupe (Figure 24 et 27) sont représentées par :

- Les alluvions du Quaternaire recoupées par les sondages électriques (C6, CP0, CP1, CP1-2, CP2) avec une résistivité de 100 Ohm.m dans la partie centrale. Les alluvions résistantes sont recouvertes par un horizon conducteur à 10 Ohm.m représentant les argiles sableuses quaternaires d'une épaisseur comprise entre 10 et 20 m. Les formations résistante d'âge quaternaire sont recoupées dans la partie Nord et Sud de la coupe par les sondages électriques (C1, C2, C3, C4, C5, CP6, CP7, CP8) ou la résistivité diminue, elle est comprise entre 30 et 50 Ohm.m.
- Les grés du Miocène qui ont été recoupés par les sondages électriques au Sud et au Nord de la coupe montrent une résistivité de 80 et 100 Ohm.m. au niveau de la partie sud la probabilité de la présence des formations gréseuses du Miocène est faible.

Ces deux horizons résistants sont intercalés par une couche conductrice d'une résistivité de 7 à 10 Ohm.m.

Les schistes du Crétacé forment le substratum dans cette partie de la zone prospectée.

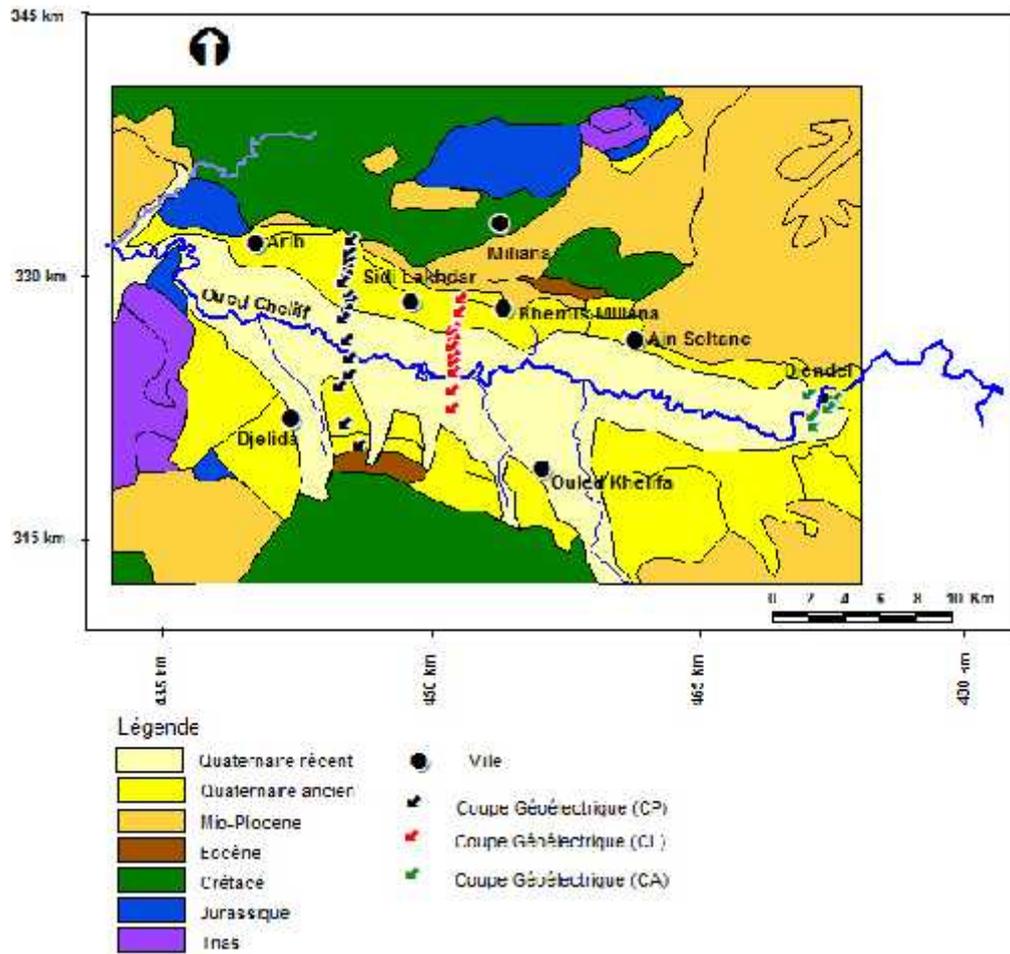


Figure 24: carte de positionnement des coupes Géoelectriques (CA, CL et CP).

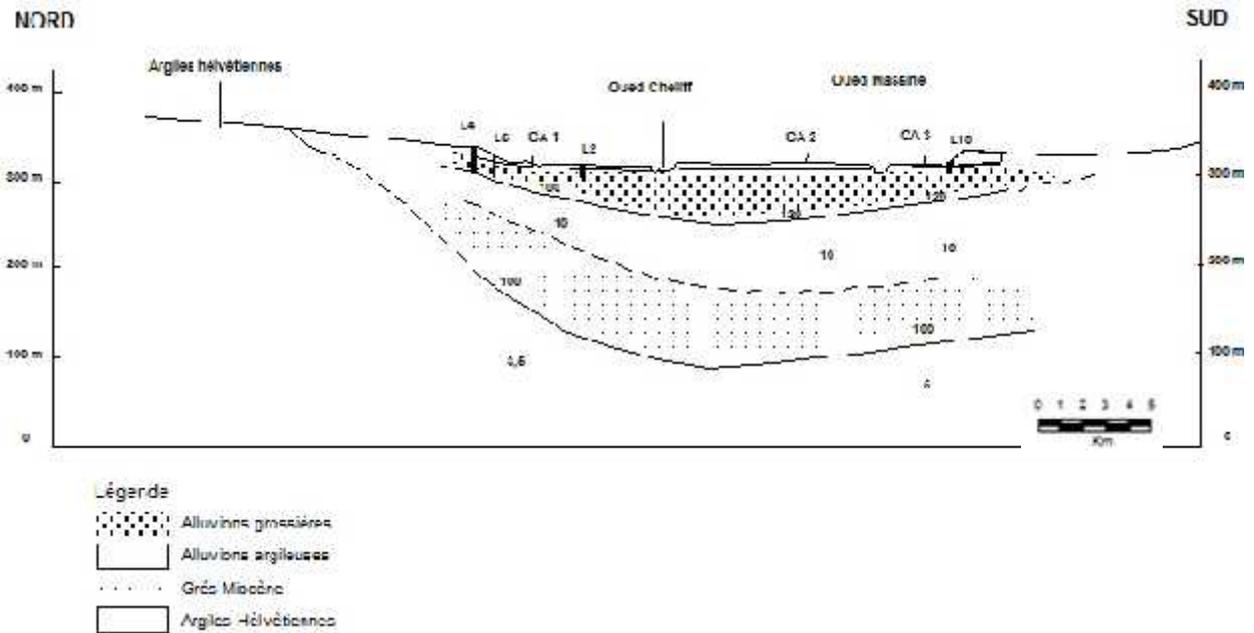


Figure 25: Coupe Géoelectrique (CA) (source CGG, 1969).

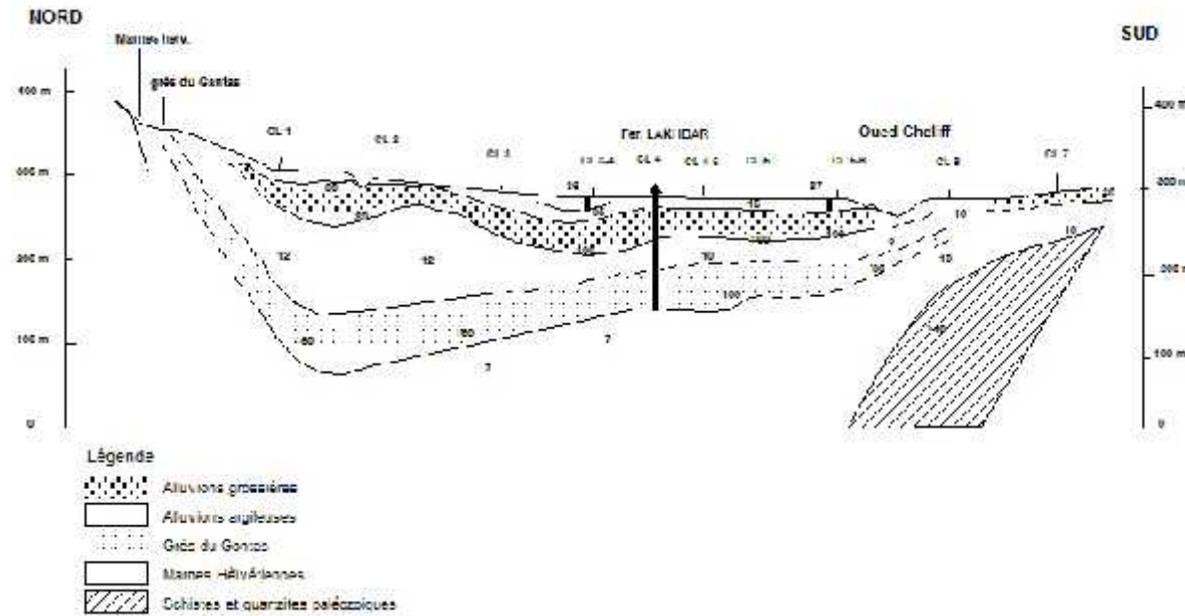


Figure 26: Coupe Géoelectrique (CL) (source CGG, 1969).

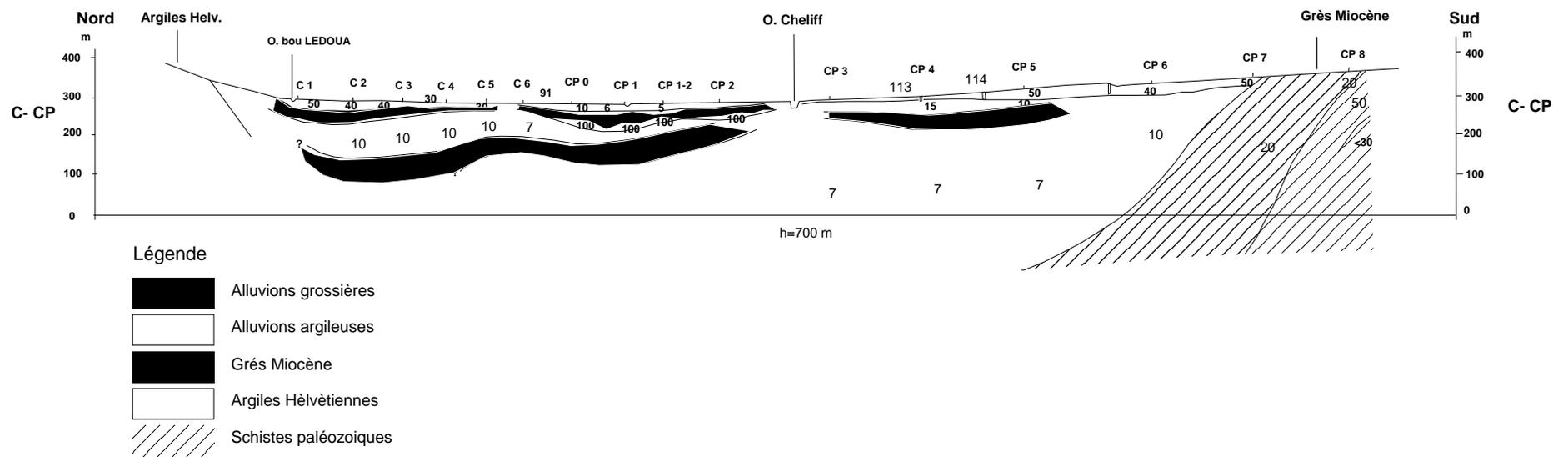


Figure 27: Coupe Géoelectrique (CP) (source CGG, 1969).

III.4.2. Contexte hydrogéologique et identification des unités aquifères

L'évolution paléogéographique de la région et le compartimentage structural qui en a résulté a donné naissance au bassin versant du Haut Cheliff et surtout à son organisation en unités hydrogéologiques bien individualisées. Les ensembles tectoniques Zaccar, Doui, Ouarsenis et Gantas constituent des barrières importantes qui ont favorisé les conditions aux limites des différents aquifères (In Djeda, 1987).

Cette étude va nous permettre de déterminer le comportement hydrogéologique des différents terrains, les caractéristiques hydrodynamiques des différents aquifères (perméabilité, transmissivité et coefficient d'emménagement) et les directions d'écoulement, de drainage et d'alimentation des eaux souterraines ainsi que les zones d'intercommunication entre les différents horizons hydrogéologiques (carte piézométrique).

III.4.2.1. Les formations aquifères

La plaine alluviale du Haut Cheliff est un remplissage alluvionnaire d'âge mio-plio-quadernaire, représenté par des dépôts alluvionnaires du Quadernaire et des grés et poudingues du Mio-Pliocène d'une épaisseur de 50 à 100 m au niveau de l'oued Cheliff. Les marnes constituent le substratum de cet aquifère. (Tableau 22)

L'alimentation de cette nappe est assurée par infiltration des :

- ❖ Précipitations tombant sur la plaine ;
- ❖ Eaux de ruissellement des oueds (Cheliff, Deurdeur, Harreza, etc ...) (Sogreah, 1984) ;
- ❖ Eaux d'irrigation excédentaires.

Les différentes formations à intérêt hydrogéologique sont représentées essentiellement par :

1. **Les calcaires jurassiques.** Les calcaires jurassiques constituent un important réservoir qui se particularise par la présence des fissures représentatives d'un milieu approprié pour le stockage de l'eau souterraine. Toutefois, la densité de répartition mal connue de ses fissures pose d'énormes problèmes pour l'implantation des puits. Au massif de Zaccar, les calcaires n'affleurent que dans les parties élevées, on les rencontre au dessous de la côte 750m (Mattauer, 1958).
2. **Les grés mio-pliocènes.** Ils sont observés à l'Est de la plaine sur Djebel Gantas, les grés pliocènes peuvent atteindre 200m d'épaisseur au Nord, en rive gauche ils sont inexistantes puisque les alluvions quaternaires sont discordantes sur le Miocène marneux (Mattauer, 1958).
3. **Les alluvions quaternaires.** la nappe alluvionnaire constitue le plus important aquifère ; elle est caractérisée essentiellement par des alluvions grossières et galets au centre de la vallée avec une épaisseur de 50 et 145m, une couche d'argile et de limon recouvre les alluvions grossières au Sud-Ouest avec une épaisseur de 7 et 20m. Cette nappe alluvionnaire est disposée sur un substratum d'argile parfois graveleux ou de marnes (Mattauer, 1958).

Nous signalons que les deux aquifères (alluvions quaternaires et gés miocènes) sont séparés par un niveau imperméable.

Tableau 22 : Les différentes caractéristiques des formations aquifères.

Formations	Age	Épaisseur maximale (m)	Types de nappes	Types de porosité	Intervalle de perméabilité (m /s)
Limons	Quaternaire	6 - 20	Semi captive	Interstices et Chenaux	-
Alluvions grossières	Quaternaire	150	Semi captive (parfois libre)	Interstices et Chenaux	(8 à 10).10 ⁻⁴
Grès et poudingues	Mio-Pliocène-Quaternaire	100-200	Captive	Interstices	(3 à 5).10 ⁻⁵
Calcaires fracturés et karstifiés	Jurassique	400 -700	Semi captive	Fractures	(10 à 12).10 ⁻⁴

(ANRH, 2004)

III.4.2.2. Paramètres hydrodynamiques de la nappe

Des essais de pompage effectués sur six (06) forages captant la nappe alluviale du Haut Cheliff ont été répertoriés dont le suivi a été assuré par la Direction d'Hydraulique de la Wilaya de Ain Defla (annexe 02). Celle-ci a mis à notre disposition les résultats d'essais de pompage de quatre forages seulement (tableau 23). Les pompages ont été réalisés dans la zone intéressant l'Est (Djendel), le Nord-Ouest (Arib) et le Nord (Sidi Lakhder 1 et Ain Soltane 1) de la zone, mais malheureusement étant donné l'absence de données complètes (piézomètres d'observation). L'ANRH de Blida a mis à notre disposition les résultats d'essais de pompage de deux forages pour lesquels on dispose d'un maximum de données (Sidi Lakhder 2 et Ain Soltane 2) (tab. 23).

Tableau 23 : Caractéristiques des forages testés par essais de pompage.

Nom Forage	Coordonnées Lambert			Profondeur (m)	Niveau Statique NS (m)	Débit Q (l/s)	Date de réalisation	Observation	Distance entre le piézomètre et le forage (m)
	X (m)	Y (m)	Z (m)						
Djendel	473800	323750	310	120	30,1	17	DHW (1988)	Absence de piézomètre	/
Ain Soltane (1)	460300	327040	296	100	12,60	25	DHW (1974)	Absence de piézomètre	/
Ain Soltane (2)	464300	325650	287	160	22	30	ANRH (2003)	Présence de piézomètre	147
Sidi Lakhdar (1)	451600	328600	120	200	9,6	30	DHW (1987)	Absence de piézomètre	/
Sidi Lakhdar (2)	449310	329080	/	180	24,6	40	ANRH (2003)	Présence de piézomètre	44
Arib	442100	331350	251	65	4,72	50	DHW (1982)	Absence de piézomètre	/

(Source ANRH, 2004)

La figure 28 présente la localisation des puits testés par un essai de pompage.

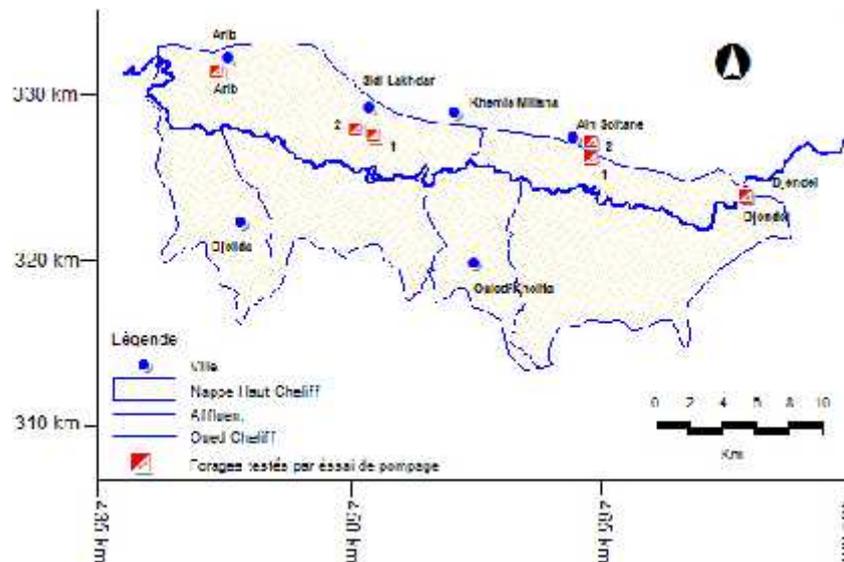


Figure 28: Carte de localisation des essais de pompages réalisés dans la zone d'étude entre 1970 et 2003 (DHW, 1970, 1982, 1988 et ANRH, 2003).

a) Transmissivité

La transmissivité T (L^2T^{-1}) est un paramètre qui est défini comme une quantité d'eau susceptible de s'écouler par unité de largeur de l'aquifère, sous l'effet d'un gradient potentiel unitaire, incluant l'épaisseur de l'aquifère. Elle correspond au produit de la conductivité hydraulique moyenne par l'épaisseur saturée de l'aquifère capté (Abderamane, 2012). Les valeurs de transmissivité d'un aquifère sont généralement calculées à partir d'essais de pompage.

Les essais de pompages ne sont pas représentatifs de l'ensemble de la zone tant en terme de distribution spatiale que de qualité (essais de pompage réalisés sans présence de piézomètre) (figure 28).

Les valeurs de transmissivité (tableau 24), on prend les résultats de la remontée, du fait que ceux-ci ne sont pas influencés par l'effet de pompage. Ces valeurs s'échelonnent entre un maximum de $6,1 \cdot 10^{-2}$ et $7,32 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ à Arib et Djendel respectivement et un minimum de $1,22 \cdot 10^{-2}$ et $2,94 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ à Sidi Lakhder et Ain Soltane.

b) Perméabilité

La perméabilité est l'aptitude d'un réservoir à se laisser traverser par l'eau sous l'effet d'un gradient hydraulique. Elle exprime la résistance du milieu à l'écoulement de l'eau qui le traverse (Castany, 1982).

Les informations relatives à la perméabilité de l'aquifère du Haut Cheliff ne reflètent pas la réalité, car les forages testés par essais de pompage sont mal repartis sur le domaine étudié (figure 28). Seules quelques informations issues des travaux de la DHW (1974, 1982 et 1987) et l'ANRH (2003) sont disponibles et les valeurs obtenues de la perméabilité varient entre $3,76 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ à Ain Soltane (1) et $8,4$ et $9,09 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ à Arib et Sidi Lakhder (1) (tableau 24).

Les valeurs de la perméabilité seront discutées ci-dessous par les charges mesurées lors des campagnes piézométriques.

c) Coefficient d'emménagement

Le coefficient d'emménagement est le rapport du volume d'eau libérée ou emmagasinée par unité de surface d'un aquifère à la variation de charge hydraulique correspondante, sans référence au temps. Dans un aquifère captif ce paramètre est lié à la compressibilité et à l'expansibilité de l'eau et du milieu aquifère (Castany, 1982). Il est obtenu par l'interprétation des essais de pompage expérimentaux.

Seuls deux valeurs du coefficient d'emménagement sont disponibles, estimées par essai de pompage (tableau 24), 0,017 (1,7%) et 0,22 (22%) à Ain Soltane et Sidi Lakhder respectivement.

On note que la différence des valeurs des paramètres hydrodynamiques peut s'expliquer par la nature des formations quaternaires qui sont représentées par des alluvions grossières à Sidi Lakhdar et des alluvions argileuses à Ain Soltane.

Les résultats des paramètres hydrodynamiques : transmissivité (T), perméabilité (K) et coefficient d'emménagement (S) des différents forages sont récapitulés dans le tableau 24.

Tableau 24 : Résultat des paramètres hydrodynamiques.

Paramètres Forage	Transmissivité T (m²/s)	Perméabilité K (m/s)	Coefficient d'emménagement (S)
Djendel	7.32 10 ⁻²	5 10 ⁻⁴	-
Sidi Lakhdar (1)	4.57 10 ⁻²	9.09 10 ⁻⁴	-
Sidi Lakhdar (2)	1.22 10 ⁻²	8.1 10 ⁻⁴	0.22
Ain Soltane (1)	2.94 10 ⁻²	3.76 10 ⁻⁴	-
Ain Soltane (2)	3.66 10 ⁻²	4.89 10 ⁻⁴	0.017
Arib	6.1 10 ⁻²	8.84 10 ⁻⁴	-

(source ANRH, 2004)

III.4.3. Piézométrie

Comme les eaux souterraines constituent le moyen de transport souterrain de substances minérales et organiques, la détermination de leur schéma d'écoulement peut fournir des informations sur leurs processus de minéralisation et l'origine de leur pollution (Debieche, 2002).

III.4.3.1. Inventaire des points d'eau

Dans la présente étude, nous avons utilisé les résultats des relevés piézométriques du réseau de surveillance de l'ANRH constitué de puits, de forages et de piézomètres (figure 29) captant la nappe du remplissage alluvial d'âge quaternaire. En 2008, 29 et 27 points d'eau ont été recensés pour les deux campagnes piézométriques des hautes et basses eaux respectivement (figure 30). Nous signalons, ici et selon l'ANRH, que le nombre de points se modifie et ne se répètent pas durant les deux campagnes de basses et hautes eaux à cause de la situation des ouvrages (puits ou piézomètres fermés, détériorés, à sec, remblayés, mesure impossible, etc ...). On note que certains puits sont abandonnés et pourraient constituer des sources de pollution de la nappe.



Figure 29: Piézomètre dans la nappe du Haut Cheliff.

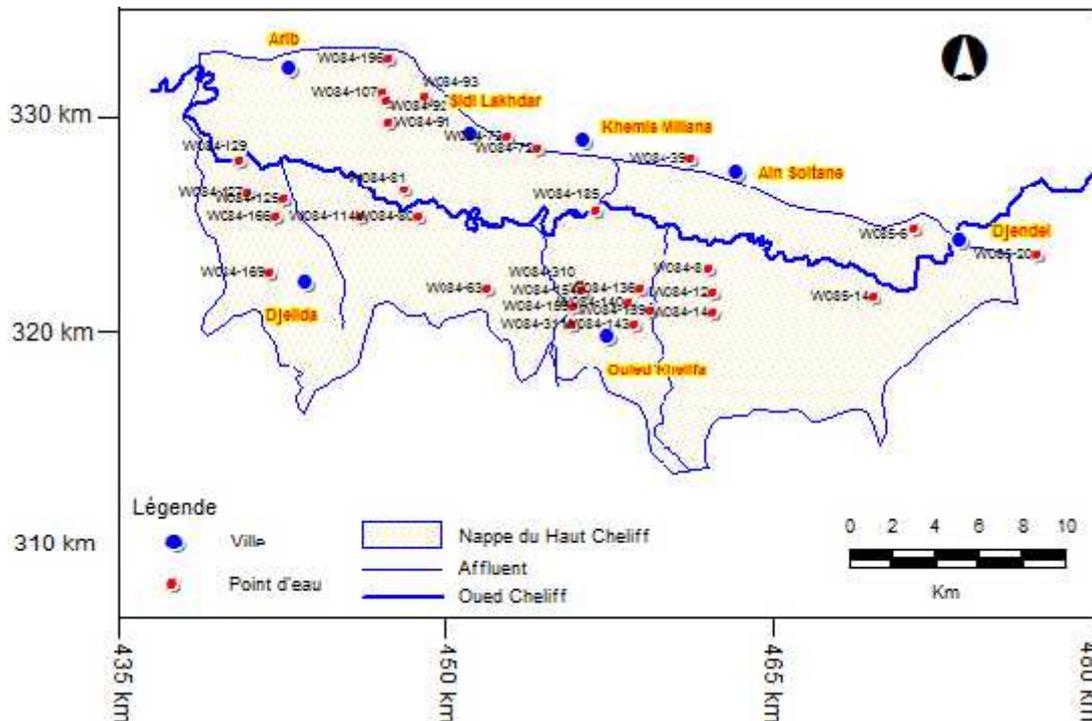


Figure 30 : Carte du réseau piézométrique dans la plaine du Haut Cheliff.

La profondeur de la nappe à partir de la surface du sol varie entre 2 m à l'Ouest et 30 m à l'Est. Dans la partie centrale, la profondeur moyenne est d'environ 10 m. ce qui confirme que la nappe captée par ces points d'eaux est celle des alluvions quaternaires. Étant donné le climat semi-aride, l'effet de l'évaporation est donc très sensible sur la qualité chimique des eaux souterraines (figure 31).

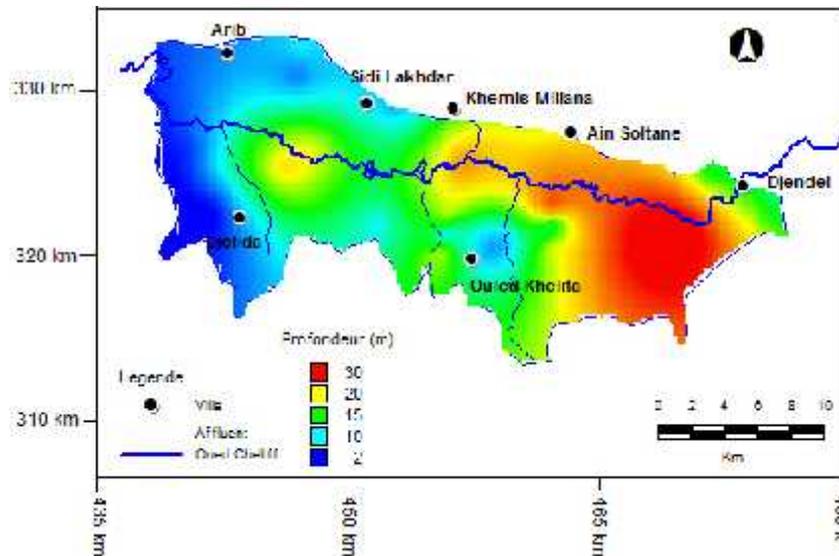


Figure 31: Carte des profondeurs dans la nappe du Haut Cheliff, avril 2008.

III.4.3.2. Évolution de la piézométrie

Le suivi de l'évolution piézométrique de la nappe dans le temps et dans l'espace permet de reconnaître d'une part, la direction de l'écoulement et d'autre part d'identifier le gradient hydraulique.

Comme les eaux souterraines représentent le moyen de transport des substances minérales et organiques, la détermination de leur itinéraire renseigne sur leur minéralisation et l'origine de leur pollution. La cartographie piézométrique a été réalisée à l'aide des relevés piézométriques (les mesures ont été faites par l'Agence Nationale des Ressource Hydraulique) de quatre campagnes hautes et basses eaux en 2002 et en 2008, par interpolation triangulaire, en utilisant le logiciel Surfer 9 (Golden software, 2009).

III.4.3.2.1. Carte piézométrique 2002

L'observation de la morphologie de la carte piézométrique de hautes eaux (avril 2002, figure 32) montre que la direction des écoulements converge vers l'oued Cheliff où la nappe alimente l'oued Cheliff, en particulier, sur la moitié aval de la plaine où l'oued est en contact direct avec les alluvions grossières. Aux bordures Nord-Ouest et Sud, les schistes du Crétacé imperméables constituent des limites étanches. L'axe de drainage principal est d'orientation Est-Ouest et coïncide sensiblement avec le parcours de l'Oued Cheliff. Cependant, les lignes de contour montrent une infiltration probable des affluents Harreza et Deurdeur. On distingue :

- Dans la partie amont de la nappe, le gradient hydraulique est fort de l'ordre de $1,81 \cdot 10^{-2}$ entre les courbes hydroisohypses 310m et 320m où les courbes piézométriques se resserrent sur les piémonts du massif de Gantas près de Djendel à l'Est. Cet état de fait est dû à la diminution de la perméabilité des terrains à cet endroit.

- Au centre de la nappe, les gradients hydrauliques sont faibles de $1,32.10^{-3}$ à $1,89.10^{-3}$ entre les courbes hydroisohypses 250- 260m et 260-270m (entre Ain Soltane et le seuil de Doui). Ces faibles valeurs sont liées à la formation de graviers et galets dominants dans cette région et indiquent une meilleure perméabilité de l'aquifère.
- Dans la partie aval de la nappe, entre les courbes hydroisohypses 290m et 300m le gradient hydraulique est de l'ordre de $1,88. 10^{-2}$ sur les piémonts du massif de Doui près de Djelida au Sud-Ouest (la rive gauche de l'oued), en raison de perméabilités réduites des formations. Ce gradient devient faible en rive droite de l'Oued Cheliff à cause de l'accroissement de la perméabilité des alluvions qui deviennent plus grossières.

La carte piézométrique relative à la période de basses eaux (septembre 2002, figure 32) a la même morphologie que la carte de hautes eaux.

Cependant, certaines dépressions sont observées au niveau de la plaine ; celles-ci sont dues probablement aux pompes intensifs d'eaux souterraines durant les deux périodes.

III.4.3.2.2. Carte piézométrique 2008

L'examen de la carte piézométrique de l'année 2008 ne révèle aucun changement de la morphologie piézométrique par rapport à l'année 2002, traduisant ainsi le même régime d'écoulement (figure 33). On note toutefois une légère augmentation du niveau piézométrique due à la recharge de la nappe suite à une forte pluviométrie annuelle 612 mm.

De même l'axe de drainage des eaux souterraines coïncide sensiblement avec le parcours de l'Oued Cheliff.

Dans la zone Est (Djendel) et Sud-Ouest (Djelida) de la nappe, les courbes hydroisohypses sont resserrées, indiquant un gradient hydraulique fort, de l'ordre de $1,92.10^{-2}$ à $2,08. 10^{-2}$ entre les courbes hydroisohypses 310m et 320m. Dans la zone centrale, les courbes se trouvent espacées suite à un gradient hydraulique faible, de $1,35.10^{-3}$ à $1,8.10^{-3}$ entre les courbes hydroisohypses 280m - 270m et 270m -260m. Cette variation du gradient hydraulique est due, essentiellement, à l'hétérogénéité de la lithologie, donc de la perméabilité.

La carte piézométrique correspondant à la période de basses eaux (figure 33), possède la même morphologie piézométrique que celle de hautes eaux.

On observe durant l'année 2008 des zones de dépression, qui sont dues probablement à l'exploitation intensive de la nappe.

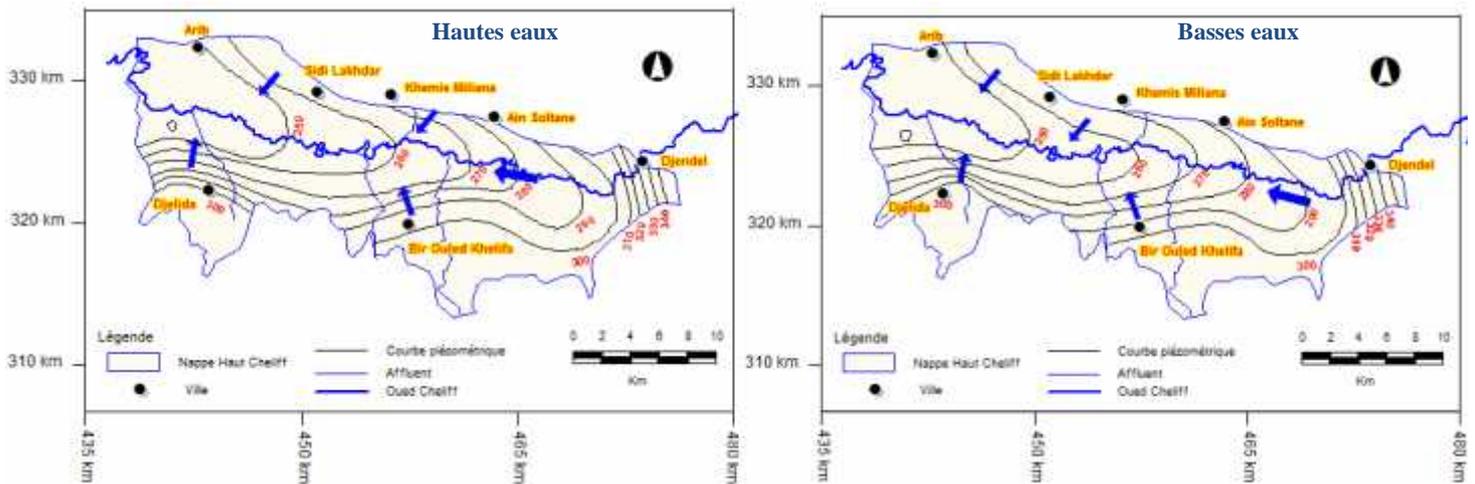


Figure 32: Carte piézométrique en période de hautes eaux et basses eaux 2002.

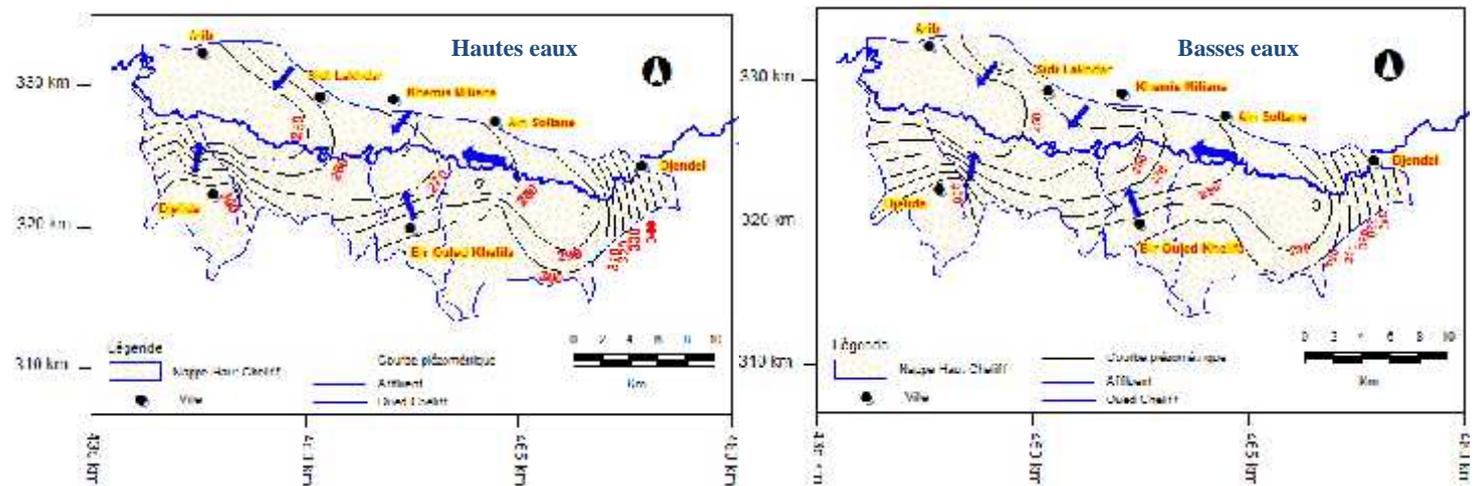


Figure 33: Carte piézométrique en période de hautes eaux et basses eaux 2008.

La comparaison de la piézométrie entre la période de basses eaux et celle de hautes eaux a permis de d'établir les graphes de variation du niveau piézométrique de la nappe pour les années 2002 et 2008 (figures 34 à 35). Cette opération a montré que les fluctuations les plus importantes se manifestent au sud et à l'Ouest de la nappe et peuvent atteindre 11.6 m en 2008 au point d'eau W84-12 (due à la forte pluviométrie annuelle 612mm à la station de Khemis Miliana) et 3.6m en 2002 au point d'eau W84-129. À l'Est et au Nord de la nappe, celles-ci varient entre 2m en 2002 au point W85-20 et 3.8 m en 2008 au point W84-196. On remarque une certaine perturbation locale au niveau de la zone Ouest (W84-125), au Nord (W84-72) et au Sud (W84-140), due à la surexploitation de la nappe pour assurer l'irrigation.

Il est à signaler que le niveau piézométrique a connu une augmentation au point d'eau (W 85-20 ; +2m et W84-129 ; +3,6) durant l'année 2002, cela est due probablement à la recharge artificielle à partir des lâchés d'eau du barrage Ghrib et Deurdeur dans l'oued principal du Cheliff pour l'irrigation du périmètre du Haut Cheliff (d'un volume moyen de l'ordre de 33 et 27Hm³/an respectivement).

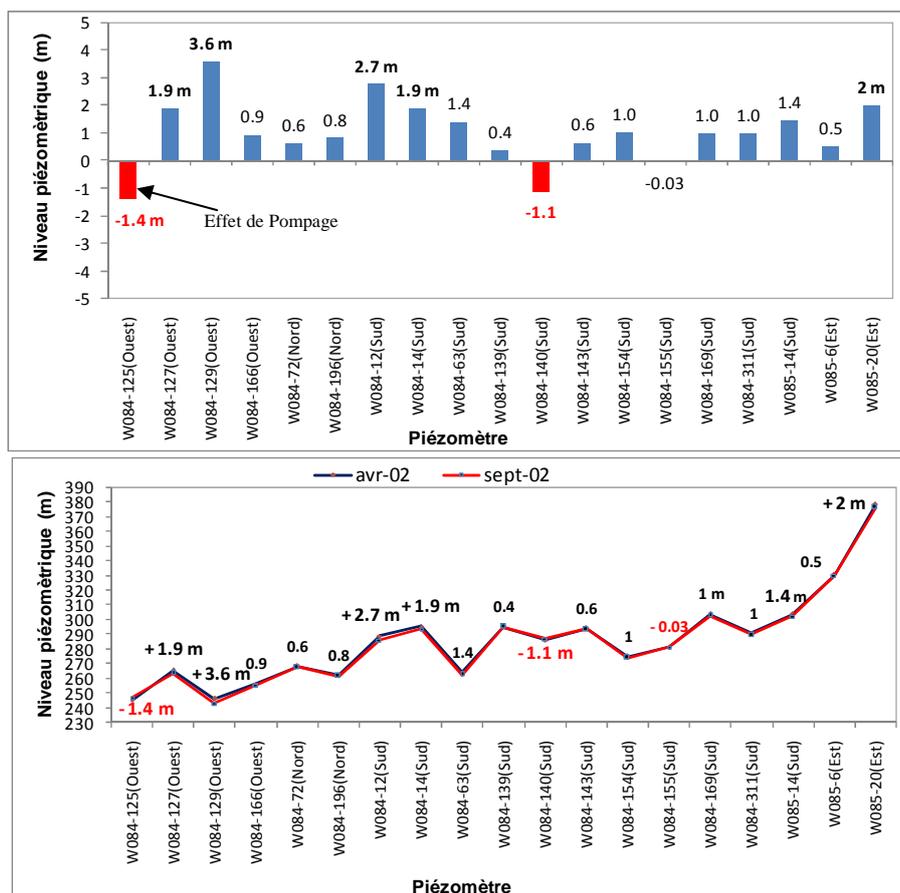


Figure 34: Évolution du niveau piézométrique durant les périodes de basses et hautes eaux en 2002.

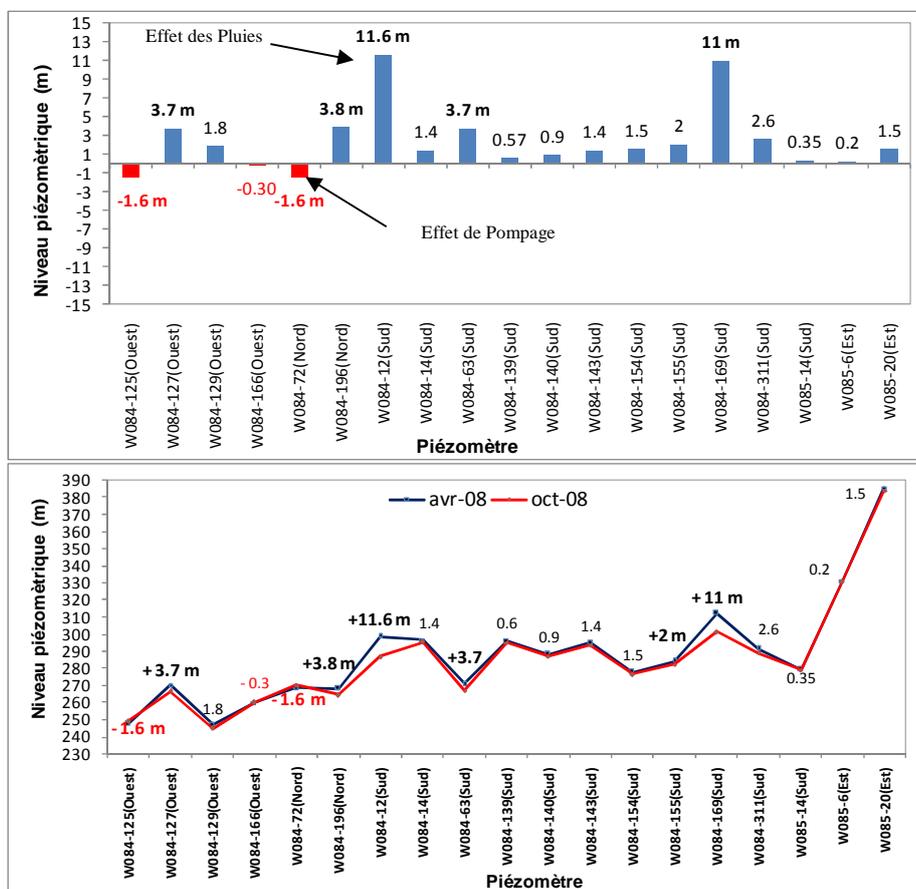


Figure 35: Évolution du niveau piézométrique durant les périodes de basses et hautes eaux en 2008.

III.4.3.3. Évolution spatiale et temporelle du niveau piézométrique de 2002 à 2008

Le niveau piézométrique de cette nappe évolue en fonction de plusieurs paramètres : les précipitations, les conditions d'exploitation et la nature du toit de la nappe. Deux cas d'évolution sont observés (figure 36 et 37) :

- Les variations piézométriques sont très influencées par les pluies (période hautes et basses eau) ;
- Une exploitation temporaire où le niveau piézométrique présente une diminution brutale due à l'effet du pompage durant la période de hautes eaux 2003 au point d'eau W84/185 (Centre) et 2007 aux points d'eau : W85/6 (Est), W84/169, W84/143,12 (Sud), W84/127 (Ouest) et 84/196 (Nord), le niveau revient à son état initial pendant l'année suivante. Bien que Pour la période de basses eaux ce cas se présente en année 2002 aux points d'eau 84/185 (Centre), W84/73 (Nord), W84/140 (Sud) et en 2003 au niveau du piézomètre W84/169 (Sud).

Concernant les puits W84/129 et 166 (Ouest), l'évolution est peu sensible, elle est due probablement à une perméabilité réduite des formations qui retarde l'infiltration.

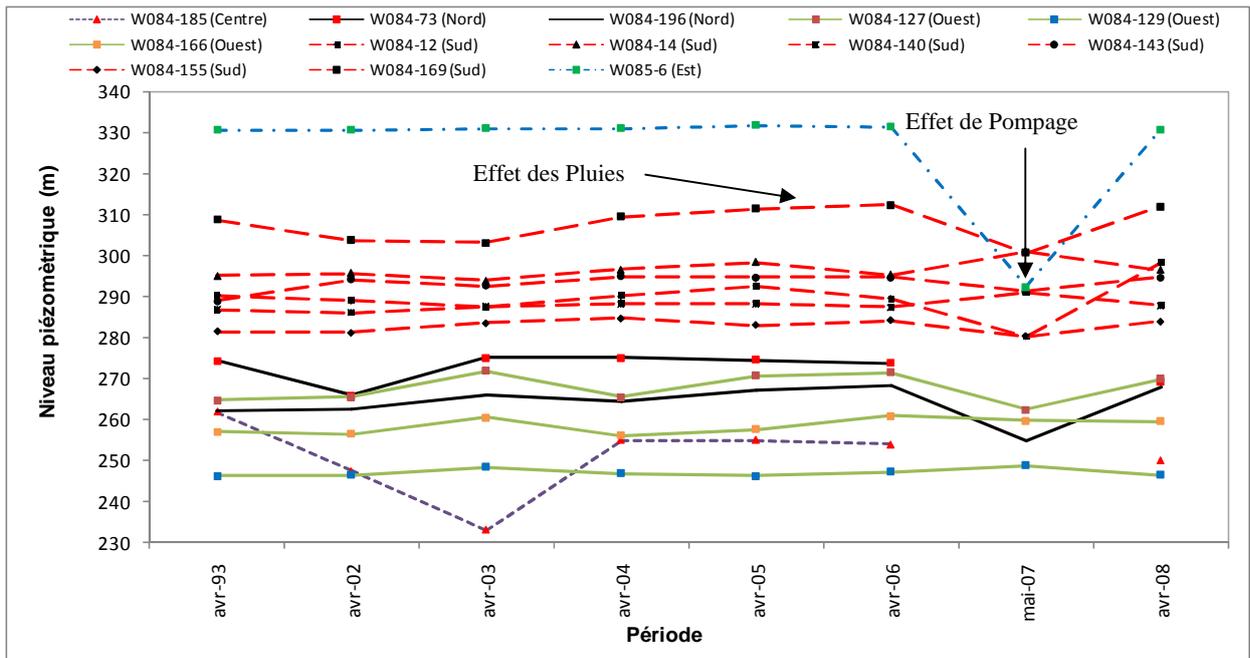


Figure 36: Évolution temporelle et spatiale du niveau piézométrique durant la période de hautes eaux.

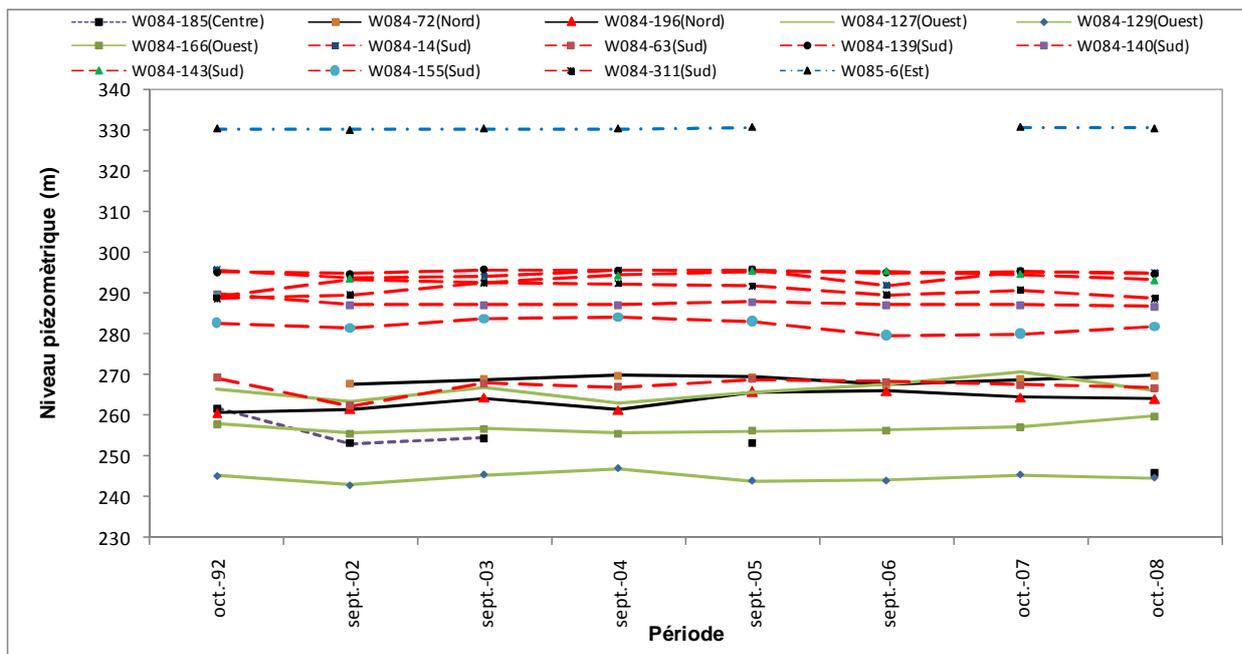


Figure 37: Évolution temporelle et spatiale du niveau piézométrique durant la période de basses eaux.

III.5. Conclusion

Dans la série stratigraphique de la plaine alluviale du Haut Cheliff, ce sont les formations d'âge Mio-Plio-Quaternaires qui forment le remplissage le plus important et constituent l'aquifère le plus sollicité.

La variation lithologique et le jeu des fractures font de ces formations un aquifère multicouches avec des intercalations argileuses plus ou moins épaisses. Le substratum est formé par les marnes bleues du Miocène supérieur et du Pliocène qui affleurent sur les bordures Nord et Sud de la plaine. Cette configuration est bien illustrée par les résultats de la prospection géophysique qui montre qu'au long du chenal résistant l'épaisseur des alluvions grossières est de 100 jusqu'à 140m au Nord, au Sud elle n'est que 20 m.

La nappe alluviale est séparée de la nappe des grés par une couche relativement épaisse d'alluvions argileuse. Cette couche est continue sauf à l'Ouest où le contact entre les deux formations existe.

Au Nord de la plaine les grés du Mio-Pliocène atteignent les 200 m d'épaisseur, à la rive gauche, ils sont totalement absents et les alluvions quaternaires sont discordantes sur le Miocène marneux. Ce dernier s'amincit dans la région de l'Oued Massine provoquant la remontée du substratum.

L'insuffisance des essais de pompages dans la plaine du Haut Cheliff n'a pas permis d'aboutir à un résultat plus réaliste des paramètres hydrodynamiques (transmissivité, perméabilité, coefficient emmagasinement, etc...) couvrant l'ensemble de cette zone.

Suite aux campagnes piézométriques effectuées en hautes et basses eaux de l'année 2002 et 2008, nous avons constaté que les cartes piézométriques présentent la même morphologie et la même allure des courbes piézométriques. 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 principal de l'oued Cheliff. Mais avec une certaine augmentation du niveau piézométrique due à la recharge de la nappe suite à une forte pluviométrie annuelle durant l'année 2008.

Néanmoins, on remarque une certaine perturbation locale au niveau de la zone centrale et Sud de la plaine en 2008, due à la surexploitation de la nappe pour assurer l'irrigation.

La surface piézométrique n'est pas assez profonde ce qui augmente l'effet de l'évaporation dans la zone septentrionale, où le gradient hydraulique diminue, donnant ainsi suffisamment de temps à l'interaction entre les eaux souterraines et la lithologie.

Chapitre IV

QUALITE DES EAUX SUPERFICIELLES



Barrage du Ghrif

IV.1. Introduction

L'eau douce renouvelable est une ressource indispensable à la vie. Elle mérite une attention toute particulière, vu qu'elle est très altérée et sérieusement menacée par les activités humaines. En effet, la croissance démographique accompagnée d'une urbanisation rapide qui cause de nombreuses perturbations pour les milieux naturels, l'industrialisation, l'utilisation non rationnelle des engrais et pesticides et le manque de sensibilisation de la population envers la protection de l'environnement, conduisent autant à un déséquilibre de l'écosystème et génèrent des éléments polluants qui peuvent affecter la qualité physico-chimique et biologique des milieux aquatiques récepteurs, mais aussi altérer les usages de l'eau (captage de l'eau, baignade, etc.) (Makhouk et al, 2011).

En Algérie, l'eau est une ressource de plus en plus précieuse. La concurrence que se livrent l'agriculture, l'industrie et l'A.E.P pour avoir accès à des disponibilités limitées en eau grève d'ores et déjà les efforts de développement de nombreux pays.

De nos jours, le problème des ressources en eau mobilisables ne se pose pas uniquement en termes de quantité disponible ; la qualité de ces eaux commence à poser de sérieux problèmes.

Le bassin du Haut Cheliff, représente l'essentiel des ressources en eau dans la région du bassin hydrographique du Cheliff. Il constitue un enjeu majeur pour le développement agricole. Cependant, la surexploitation des ressources naturelles et l'usage de produits phytosanitaires pour intensifier l'agriculture ont contribué à l'envasement des barrages et à la dégradation de la qualité de l'eau (Touhari, 2007).

Ce travail a pour objectif l'évaluation de la qualité des eaux des barrages sur la base du suivi des paramètres physico-chimiques par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) pour une période de dix années (1999-2008).

Nous donnons, l'état de la qualité des eaux du barrage lorsqu'il est doté d'un réseau de surveillance puis, l'origine et la quantité des pollutions que reçoit chaque bassin versant de barrage.

IV.2. Matériels et Méthodes

IV.2.1. Échantillonnage

La surveillance et l'évaluation de l'état qualitatif des eaux exigent un réseau de mesure de la qualité des eaux, des analyses régulières, une interprétation de ces analyses et la comparaison des résultats avec les normes de qualité admises.

L'étude de la qualité des eaux de barrage du Haut Cheliff portera sur les 5 barrages en exploitation Ghrib, Deurdeur, Harreza, Ouled Mellouk et Sidi M'hamed Ben Taiba. (Figure 38) Ces barrages font l'objet d'un suivi de la qualité des eaux par l'existence des stations de surveillance de l'ANRH. Nous signalons que le barrage SMBT, ne sera pas examiné dans la présente étude, car sa date de mise en eau n'est que de 2006.

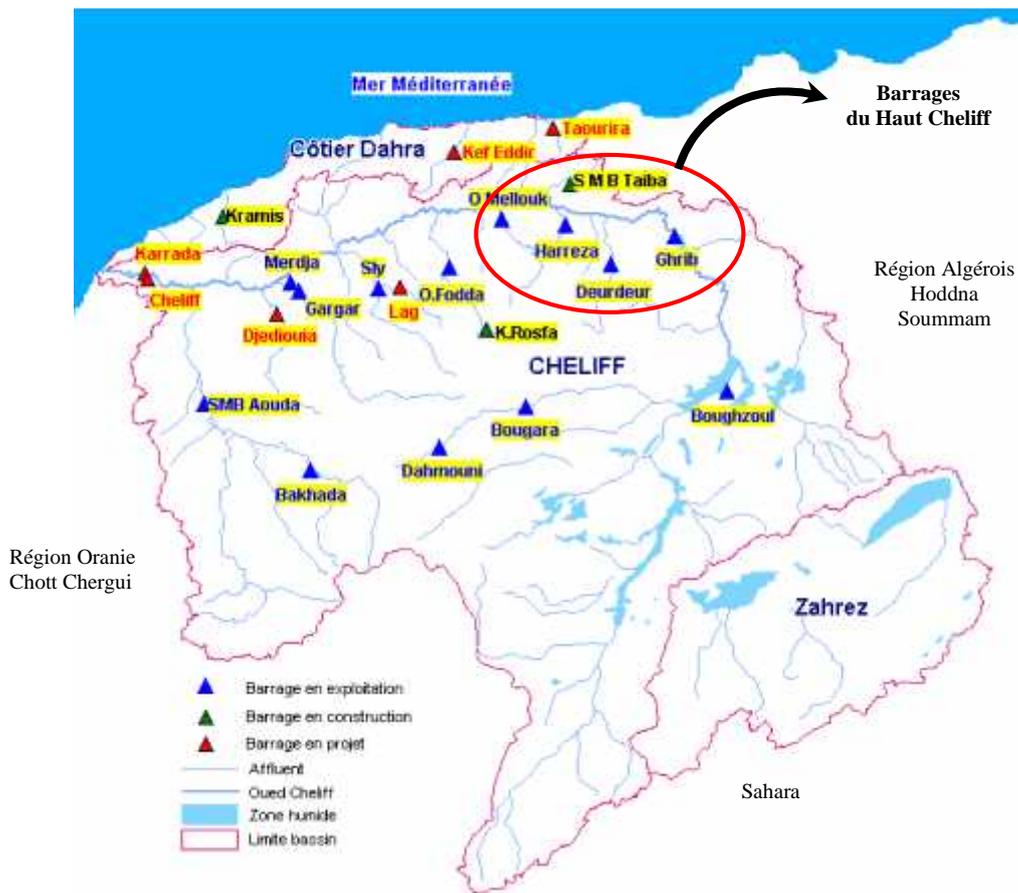


Figure 38: Répartition des barrages dans le bassin du Haut Cheliff.

IV.2.2. Prélèvement des eaux et mesure des paramètres physico-chimiques

L'échantillonnage de l'eau a été effectué mensuellement (avec une fréquence d'un prélèvement par mois) par l'ANRH au cours d'un cycle d'étude de dix ans (1999 à 2008). Les analyses sont effectuées sur les eaux brutes du barrage prélevées à différentes profondeurs.

L'étude a porté sur la mesure in situ du pH et de l'oxygène dissous et sur la détermination au laboratoire d'autres éléments (Résidu sec, MO, DBO₅, DCO, PO₄³⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ et NO₃⁻).

Les échantillons d'eau ont été prélevés à l'aide de bouteilles en plastique, préalablement rincées avec l'eau à analyser. Le transport des échantillons s'est effectué dans des glacières à 4 °C et les analyses ont été réalisées selon les méthodes homologuées par (Rodier et al, 2009).

IV.2.3. Représentation de la qualité des eaux de barrages

L'appréciation de la qualité des eaux repose sur la comparaison des teneurs en diverses éléments chimiques analysés (souvent appelées paramètres) à des normes ou seuils (tableau 25). L'ensemble des seuils pour les paramètres pris en compte constitue une grille de qualité, grâce à laquelle il est possible d'attribuer une classe de qualité des eaux de barrage (Touhari, 2007).

Pour une meilleure représentation des différents niveaux de pollution des eaux, nous avons attribué une couleur par classe qui définit une grille adoptée par l'ANRH :

- ✓ les eaux de **bonne** qualité sont représentées en **bleu**.
- ✓ les eaux de qualité **moyenne** sont représentées en **vert**.
- ✓ Les eaux de qualité **mauvaise** sont représentées en **jaune**.
- ✓ les eaux de qualité **très mauvaise** sont représentées en **rouge**.

Tableau 25: Grille de qualité des eaux de barrages adoptée par l'ANRH.

Paramètres	Unité	Échelle de Qualité			
		Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
pH		6.5 – 8.5	6.5-8.5	8.5-9	>9 et <6.5
O ₂ dissous	%	100-90	90-50	50-30	<30
NH ₄ ⁺	mg/l	0-0.01	0.01-0.1	0.1-3	>3
NO ₂ ⁻	mg/l	0-0.01	0.01-0.1	0.1-3	>3
NO ₃ ⁻	mg/l	<10	10-20	20-40	>40
DBO ₅	mg/l	<5	5-10	10-15	>15
DCO	mg/l	<20	20-40	40-50	>50
PO ₄ ³⁻	mg/l	0-0.01	0.01-0.1	0.1-3	>3
MO	mg/l	<5	5-10	10-15	>15
R.sec	mg/l	300-1000	1000-1200	1200-1600	>1600

La moyenne annuelle des paramètres de qualité est calculée suivant la moyenne arithmétique qui est caractérisée par la fonction suivante :

$$M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} X_i \quad (10)$$

Avec : X, la grandeur à mesurer, N nombre de mesures effectuées.

Nous présentons ci-après les résultats obtenus sur la qualité des eaux relatifs à chacun des 04 barrages étudiés.

IV.3. Résultats et discussions

IV.3.1. Barrage Ghrib

Le barrage Ghrib est implanté sur l'oued Cheliff. Il est situé dans la commune d'Oued Chorfa (wilaya de Ain Defla). Les caractéristiques du barrage Ghrib et celles de son bassin versant sont présentées dans le tableau 26.

Tableau 26 : Caractéristiques du barrage Ghrib.

Date de mise en service	1939
Superficie du bassin versant	2 800 Km ²
Apport moyen interannuel du bassin versant	148,50 Hm ³ (PNE) contre 138,40 Hm ³ estimé par l'ABH
La capacité initiale	280 Hm ³
La capacité estimée (2003)	145,20 Hm ³
Volume régularisé	105,00 Hm ³ /an
Apport réel du barrage	88,56 Hm ³ (période 1990 - 2001)
Taux d'envasement	48 %

(Source ABH, 2008)

Il est destiné à l'irrigation du périmètre du Haut Cheliff avec un volume affecté de 55 Hm³/an (figure 39). Durant la période 1987-2003, le barrage de Ghrib a fait des lâchés, pour l'irrigation du périmètre du Haut Cheliff, d'un volume moyen de l'ordre de 33 Hm³/an, soit une superficie irriguée moyenne de l'ordre de 2791 ha (Touhari, 2007).



Figure 39 : Lac du barrage Ghrib.

Il contribue également à l'alimentation en eau potable, via une adduction de 56 Km linéaire, de deux localités de la wilaya d'Ain Defla : Oued Chorfa et Birbouche (à l'arrêt depuis 2003) d'une population de 8722 habitants et huit (08) autres de la wilaya de Médéa dont quatre font partie du bassin Cheliff Zahrez. Il s'agit de : Hannacha, Bouaichoune, Oued Harbil, Si Mahdjoub et Ouled Deid d'une population totale de 10720 habitants (2003) et l'unité industrielle SAIDAL, avec un volume de 12 Hm³ environ pour la période 1997-2003.

Dans le cadre du grand projet de sécurisation de l'AEP d'Alger (SAA), une fraction de 55 Hm³/an devra être affectée vers le barrage Bouroumi depuis le barrage Ghrib pour l'alimentation en eau potable de la ville d'Alger. Mais ce transfert se fera progressivement pour atteindre le volume autorisé. Les débuts du transfert de ces eaux datent de la fin de 2002. En 2003, un volume de 2,94 Hm³ a été transféré et 3,81 Hm³ en 2004 (Touhari, 2007).

IV.3.1.1. Évolution annuelle de la qualité des eaux (1999-2008)

Les paramètres moyens annuels montrent que les eaux du barrage Ghrib présentent une très mauvaise minéralisation exprimée en Résidus secs durant toute la période d'observation, une dégradation continue de la DCO (figure 40 et 41), ce qui explique l'augmentation des teneurs moyennes en matières organiques d'une part, et la quantité d'oxygène nécessaire pour l'oxydation énergétique des matières organiques d'autre part. La qualité de l'eau du barrage Ghrib se dégrade. En effet, la qualité des eaux qui était moyenne pour l'année 1999, est devenue très mauvaise en 2006. L'origine de cette pollution est due aux apports des polluants provenant des rejets d'eaux usées urbains et au processus d'eutrophisation.

Les eaux du barrage présentent aussi une mauvaise qualité exprimée en ammonium, nitrite et phosphate (figure 40 et 41), les teneurs sont dues à l'oxydation de la matière organique azotée et à l'utilisation irrationnelle des engrais. L'évolution mensuelle de la qualité des paramètres : Résidu sec, DCO, DBO₅, NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻ et PO₄³⁻ de l'année 1999 à 2008 est présentée dans les graphes suivants (Figure 41).

Le barrage Ghrib nécessite une intervention immédiate, et un procédé de traitement très poussé car son eau est destinée aussi à l'AEP.

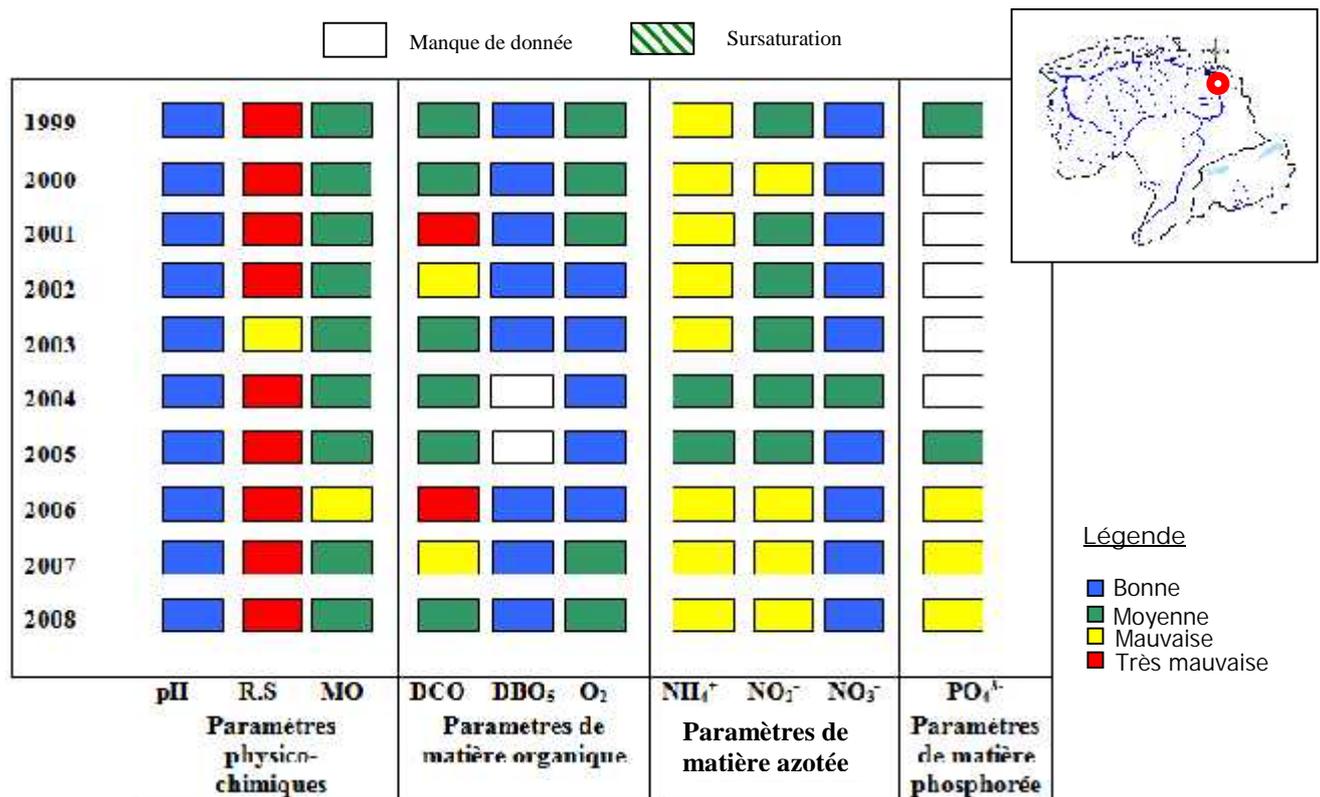
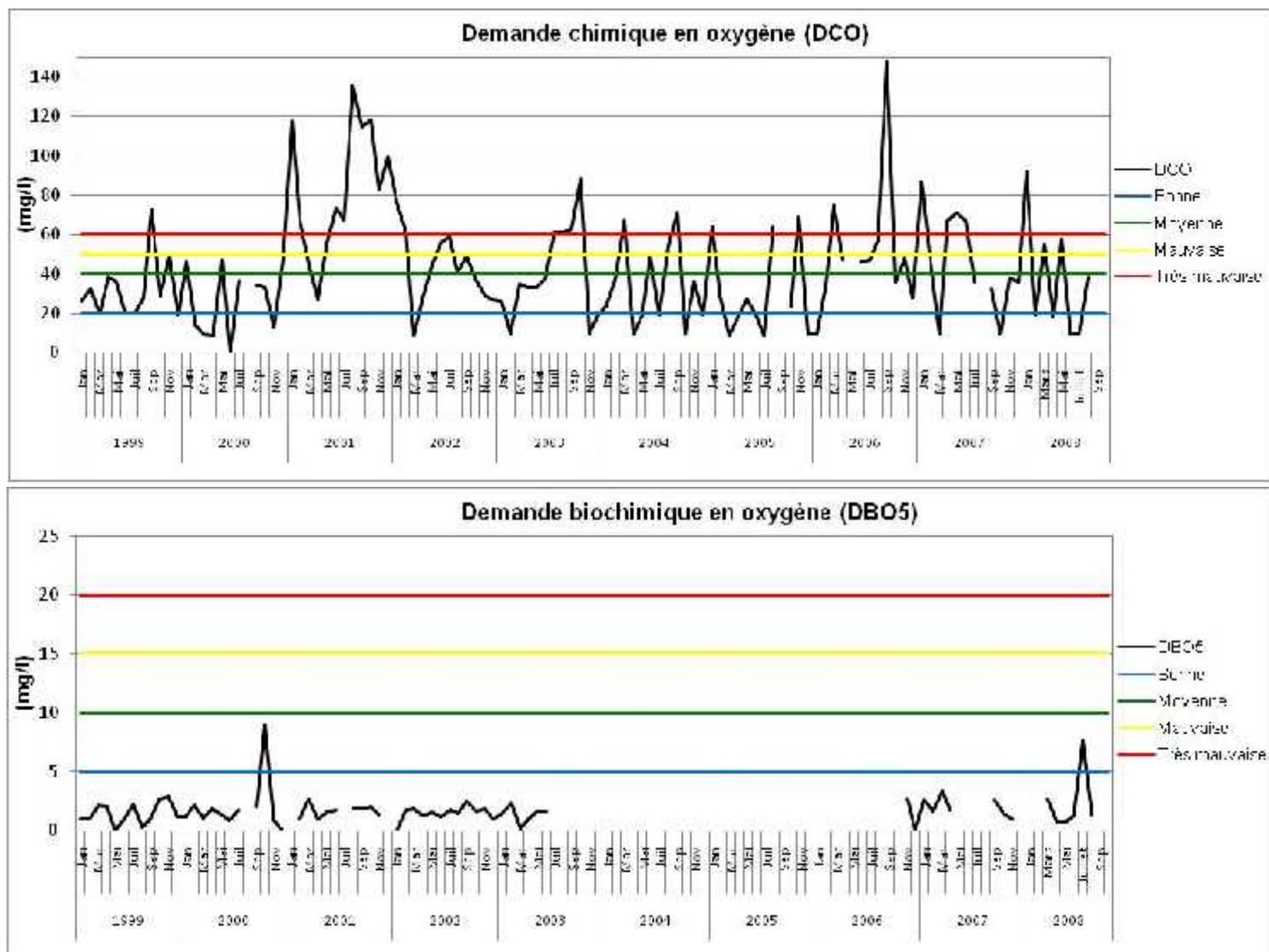
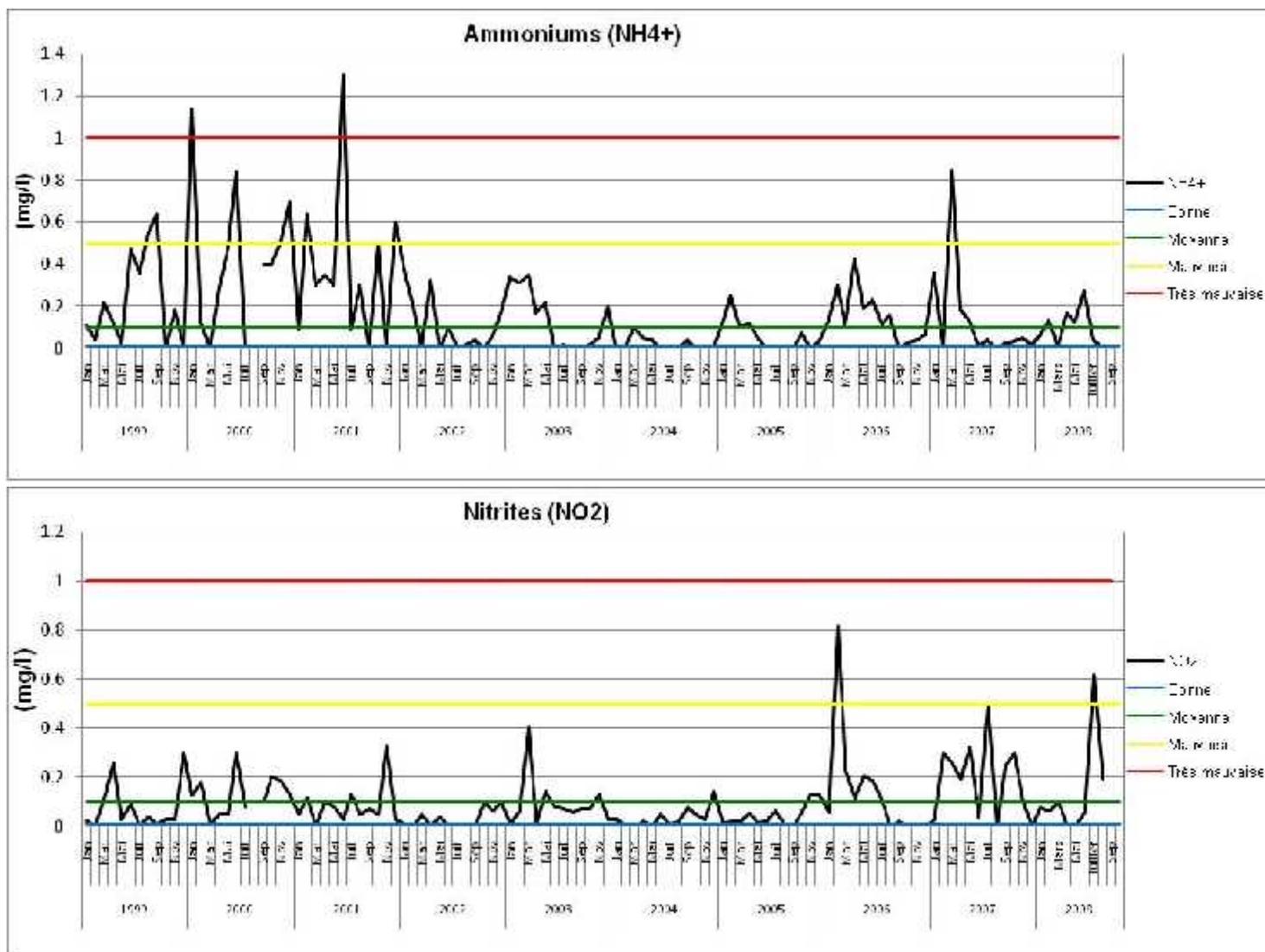


Figure 40 : Fiche de Qualité moyenne annuelle des eaux du barrage Ghrib (1999-2008)





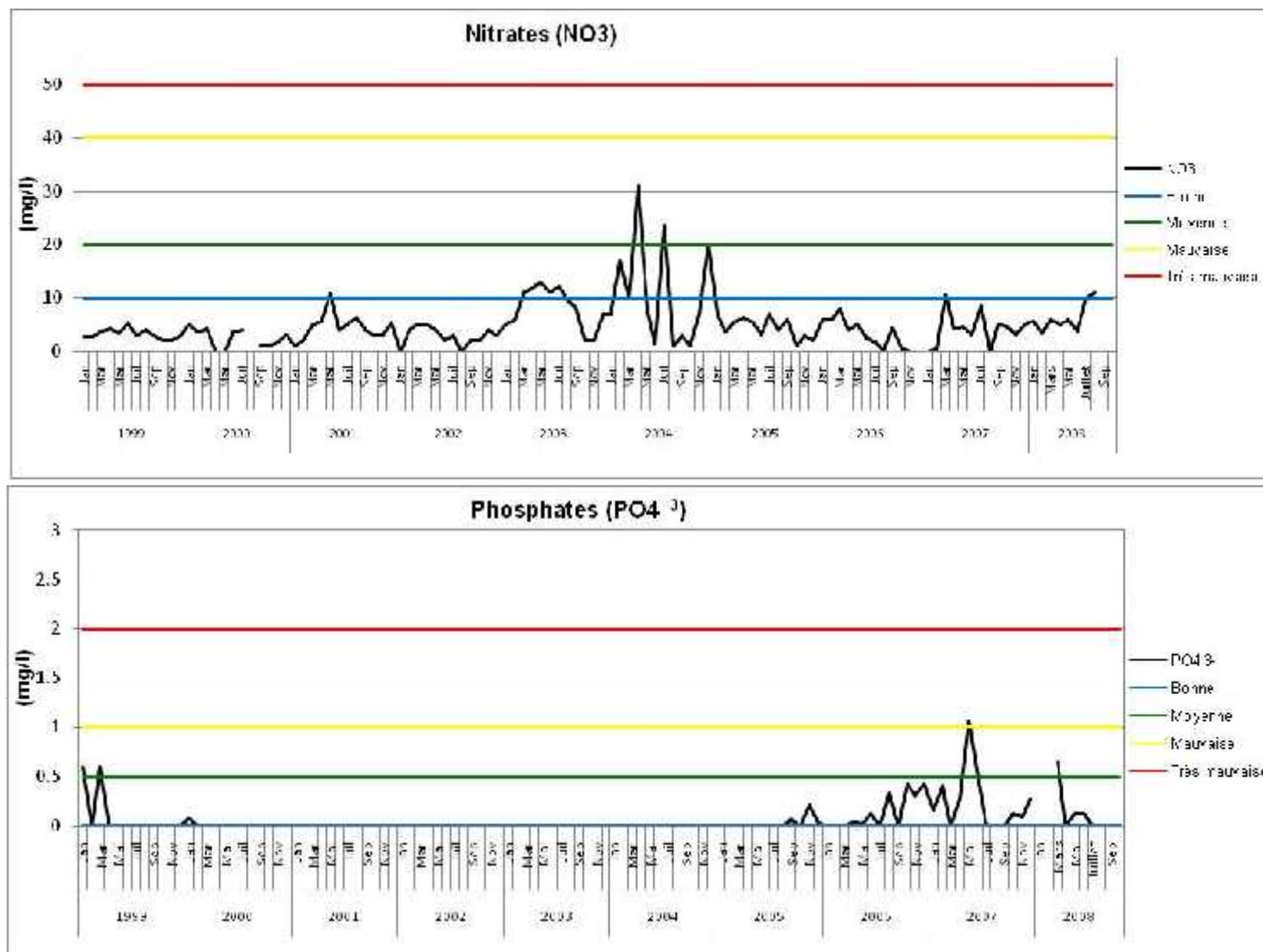


Figure 41 : Évolution de la qualité des paramètres du R.sec, DCO, DBO₅, NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻ et PO₄³⁻ dans le barrage du Ghrib.

IV.3.1.2. Sources de pollution

Le barrage de Ghrib est menacé par les différentes sources de pollution qui proviennent du bassin versant du même nom du barrage et de l'apport du bassin versant du barrage de Boughzoul.

IV.3.1.2.1. Pollution domestique

Le bassin versant du barrage de Ghrib s'étale sur les communes de Aziz, Bouaichoune, Boughar, Derrag, Ksar el Boukhari, M'fatha, Modjbeur, Ouled Antar, Ouled Bouachra, Ouled Deid, Oum Djellil, Saneg, Seghouane, Si Mahdjoub, Télet Eddouar, Zoubiria soit 19 agglomérations (fig. 42) qui génèrent une charge polluante estimée à 127777 Eqh en 2010 qui atteindra en 2020, 136809 Eqh (tab. 27). A cela s'ajoutent les pollutions en provenance du bassin versant du barrage de Boughzoul avec 629745 en 2010 et 712107 Eqh en 2020. (PDARE, 2009)

Tableau 27 : Charge polluante en Eqh des rejets domestiques

Commune	Agglomération	Charge polluante en 2010 (Eqh)	Charge polluante en 2020 (Eqh)
Bassin versant du Barrage de Boughzoul		629 745	712 107
Ouled Deid	Ouled Deid	4306	4610
Derrag	Derrag	4670	5001
	Kherbat Siouf	2490	2666
Bougar	Boughar	2411	2581
Ouled Bouazchra	Ouled Bouachra	1122	1201
Aziz	Aziz	3370	3609
	Sebt Aziz	1101	1178
Zoubiria	Zoubiria	8848	9473
	Gouéa (VSA)	1613	1726
Ksar El Boukhari	Ksar El Boukhari	68949	73828
Oum El Djellil	Oum El Djellil	2683	2872
Si Mahdjoub	Si Mahdjoub	3610	3865
Tletat	Tletat Edouair	7081	7581
Seghouane	Seghouane	4641	4970
Mfatha	Ain Tlata	736	787
Ouled Antar	Ain Dalia	1689	1808
Bouaichoune	Bouaichoune Louata	833	891
Moudjebeur	Moudjebeur	5386	5766
Saneg	Saneg	2238	2396
Total bassin versant du Barrage de Ghrib		127777	136809
Total		757522	848916

(Source PDARE, 2009)

IV.3.1.2.2. Pollution industrielle

Ce bassin versant reçoit une charge polluante de 4 850 Eqh générée par les 03 unités industrielles agroalimentaires implantées dans la commune Ksar El Boukhari, plus une charge polluante du bassin versant du barrage de Boughzoul. (Tab. 28)

Tableau 28: Charge polluante en Eqh des rejets industriels

Commune	Nom d'unité	Charge polluante (Eqh)
Bassin versant du Barrage de Boughzoul		2212
Ksar El Boukhari	ERIAD	2554
	Moulin de Ksar El-Boukhari	48
	GAC ORAC	36
Total		4850

(Source PDARE, 2009)



Figure 42 : Implantation des agglomérations et unités industrielles dans le bassin versant du barrage Ghibb.

IV.3.1.2.3. Pollution agricole

La charge polluante arrivant au bassin versant de Ghibb est estimée à 180200 Eqh est due à l'activité de l'élevage avec 285917 de tête de bétail et celle provenant du bassin versant du barrage de Boughzoul estimé à 906055 de tête de bétail. (Tab. 29)

Tableau 29 : Charge polluante en Eqh des élevages

Wilaya	Commune	Capacité (têtes ou sujets)	Charge polluante (Eqh)
Bassin versant du Barrage de Boughzoul		906055	136551,95
Médéa	Aziz	18637	2929
	Bouaichoune	16	128
	Boughar	8100	1215
	Ksar El Boukhari	35220	5283
	M'Fatha	3750	562,5
	Modjebeur	22100	3315
	Ouled Antar	2000	300
	Ouled Deid	8040	1520
	Oum El Djellil	15500	2325
	Saneg	9500	1425
	Seghouane	26200	3930
	Si Mahdjoub	6330	949,5
	Tleta Ed Doueir	127524	19317
Zoubiria	3000	450	
Total bassin versant de Ghibb		285917	43649
Total		1191972	180200,95

(Source PDARE, 2009)

IV.3.1.2.4. Pollution des décharges publiques

Les risques de pollution proviennent aussi des décharges publiques des communes du bassin versant du barrage, soit 16 décharges publiques non contrôlées avec une quantité déposée de 98,20 T/jour soit 35843 T/an. A cela s'ajoutent les décharges du bassin versant du barrage Boughzoul estimé à 215,47 T/jour. (Tab.30)

Tableau 30 : Quantité des déchets déposés dans les décharges publiques

Wilaya	Commune	Quantité déposée (T/j)
Bassin versant du Barrage Boughzoul		215,47
Médéa	Derrag	4,47
	Ksar el boukhari	43,46
	Mfatha	2,49
	Moudjebeur	3,24
	Ouled antar	1,18
	Ouled bouachra	0,85
	Ouled deide	2,24
	Oum el djalil	2,13
	Saneg	1,81
	Seghouane	4,51
	Si mahdjoub	4,41
	Tlatet ed douair	4,41
	Zoubiria	8,51
Total versant du Barrage Ghrib		98,20
Total		313,67

(Source PDARE, 2009)

IV.3.2. Barrage Deurdeur

Ce barrage se trouve sur l'oued Zemmour au sud de Khemis Miliana dans la Wilaya de Ain Defla (figure 43). Les caractéristiques du barrage de Deurdeur et celles de son bassin versant sont présentées dans le tableau 31.

Tableau 31 : Caractéristiques du barrage Deurdeur.

Date de mise en service	1984
Superficie du bassin versant	468 Km ²
Apport moyen interannuel du bassin versant	34,52 Hm ³ (PNE) contre 45 Hm ³ estimé par l'ABH
La capacité initiale	115 Hm ³
La capacité estimée (2003)	110.20 Hm ³
Volume régularisé	40,00 Hm ³ /an
Apport réel du barrage	18,20 Hm ³ (période 1990 - 2001)
Taux d'envasement	4 %

(Source ABH, 2008)



Figure 43 : Lac du barrage Deurdeur.

La destination initiale de ce barrage était de renforcer l'irrigation du périmètre du Haut Cheliff avec un volume affecté de 18 Hm³/an. Durant la période 1987-2003, le barrage Deurdeur a fait des lâchés pour l'irrigation du périmètre du Haut Cheliff avec un volume moyen de 27 Hm³, soit une superficie moyenne irriguée de l'ordre de 1464 ha (ABH, 2008).

En plus de l'irrigation, il dessert actuellement, en première phase, l'alimentation en eau potable des deux localités Theniet El Had et Youssoufia d'une population de 29854 habitants à travers une adduction de 29 Km de long et cela depuis avril 2002. Cette adduction a connu plusieurs péripéties et arrêts depuis sa mise en service en 1996. Le volume desservi, pour cette première phase, est de 9000 m³/j soit 3,28 Hm³/an.

Il desservira en deuxième phase, avec un volume supplémentaire égal à celui de la première tranche, les localités d'El Ayoune, Khemisti, M'guissba, Selmana et Ain Ferradja d'une population totale de 27689 habitants (2003), par le biais d'une adduction de 41 Km. Cette dernière est en période d'essai et fera l'objet d'une réhabilitation (Touhari, 2007).

En somme, le volume total pour l'AEP du couloir Deurdeur – Theniet El Had – Khemisti est de 18000 m³/j soit 6,56 Hm³/an.

IV.3.2.1. Évolution annuelle de la qualité des eaux (1999-2008)

D'après la fiche de qualité annuelle du barrage Deurdeur, on remarque une dégradation de la qualité des eaux au cours du temps, en raison de l'augmentation de la teneur en matières organiques, représentée par le paramètre DCO et une qualité moyenne pour l'oxygène (O₂) dissous, ce qui implique une pollution due aux apports des polluants provenant des rejets d'eaux usées et au processus biologique (eutrophisation) par accumulation des éléments dans les réservoirs. L'oxydation de la matière organique azotée provoque une augmentation des teneurs en NH₄⁺ et NO₂⁻. Le Résidu sec a donné une bonne qualité en 1999, mais une mauvaise qualité en 2002 (figure 44) et elle est redevenue moyenne en 2007, 2008. On remarque une concentration élevée en phosphate surtout dans les quatre dernières années, cela est le résultat de l'utilisation abusive d'engrais.

Les graphes de l'évolution mensuelle de la qualité des paramètres : Résidu sec, DCO, DBO₅, NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻ et PO₄³⁻ entre l'année 1999 à 2008 sont donnés en figure 45.

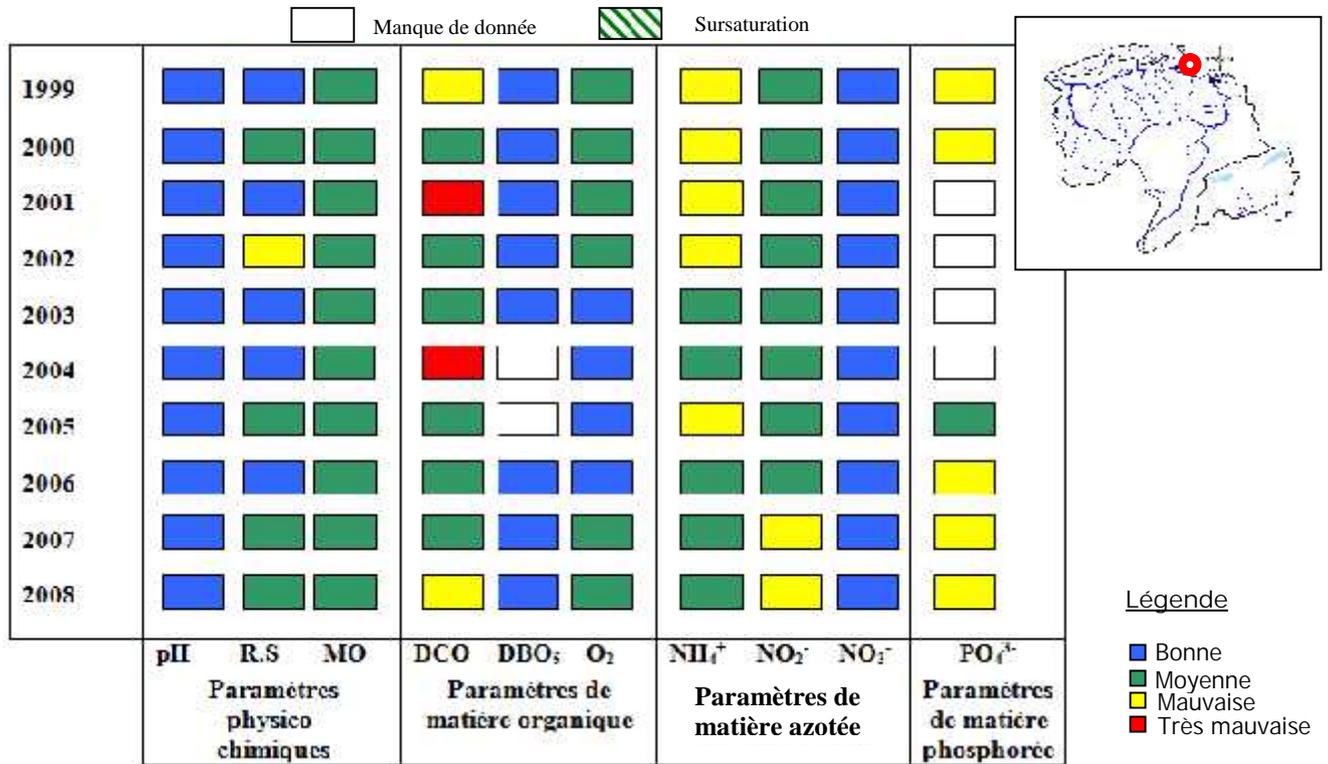
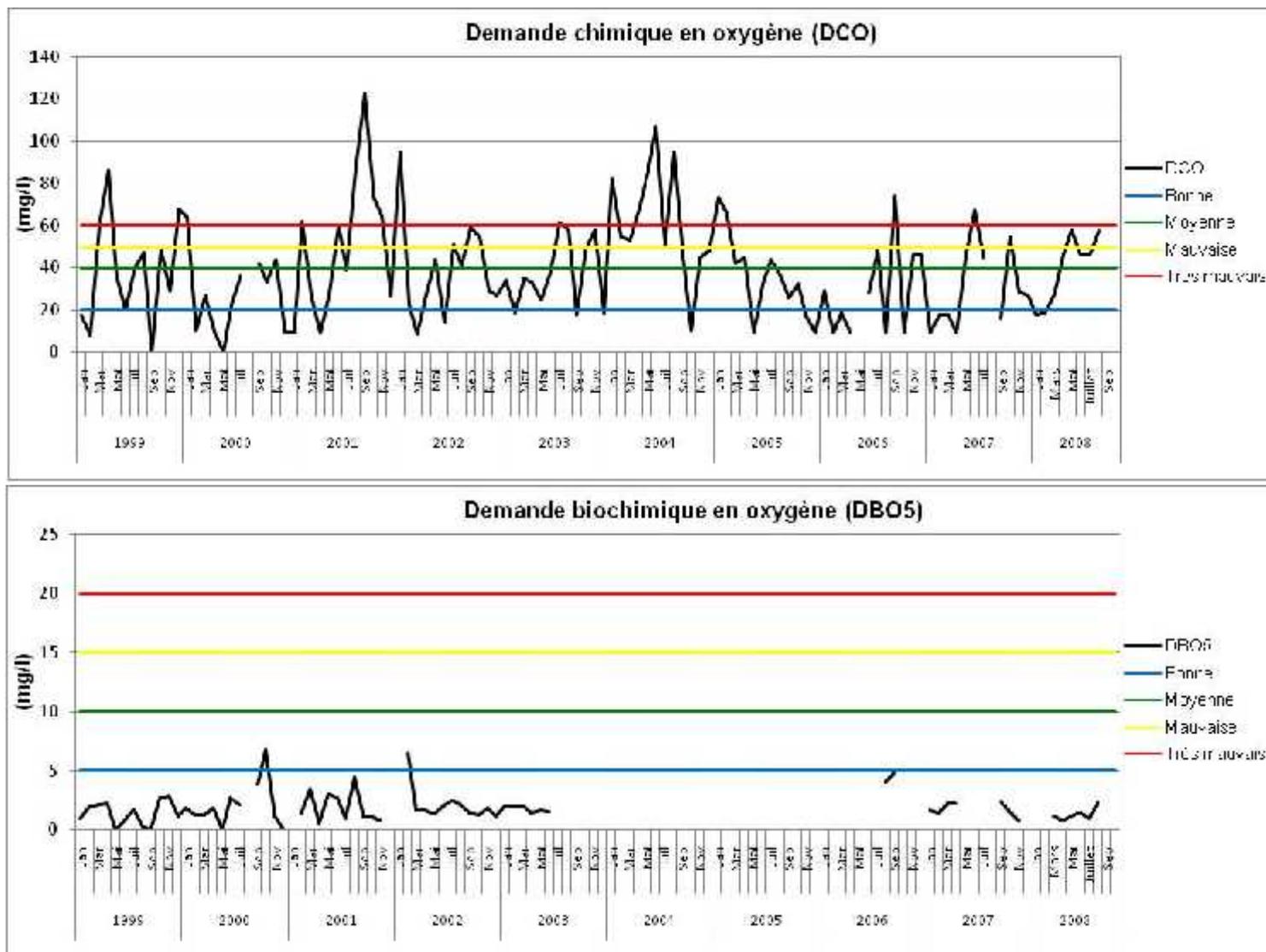
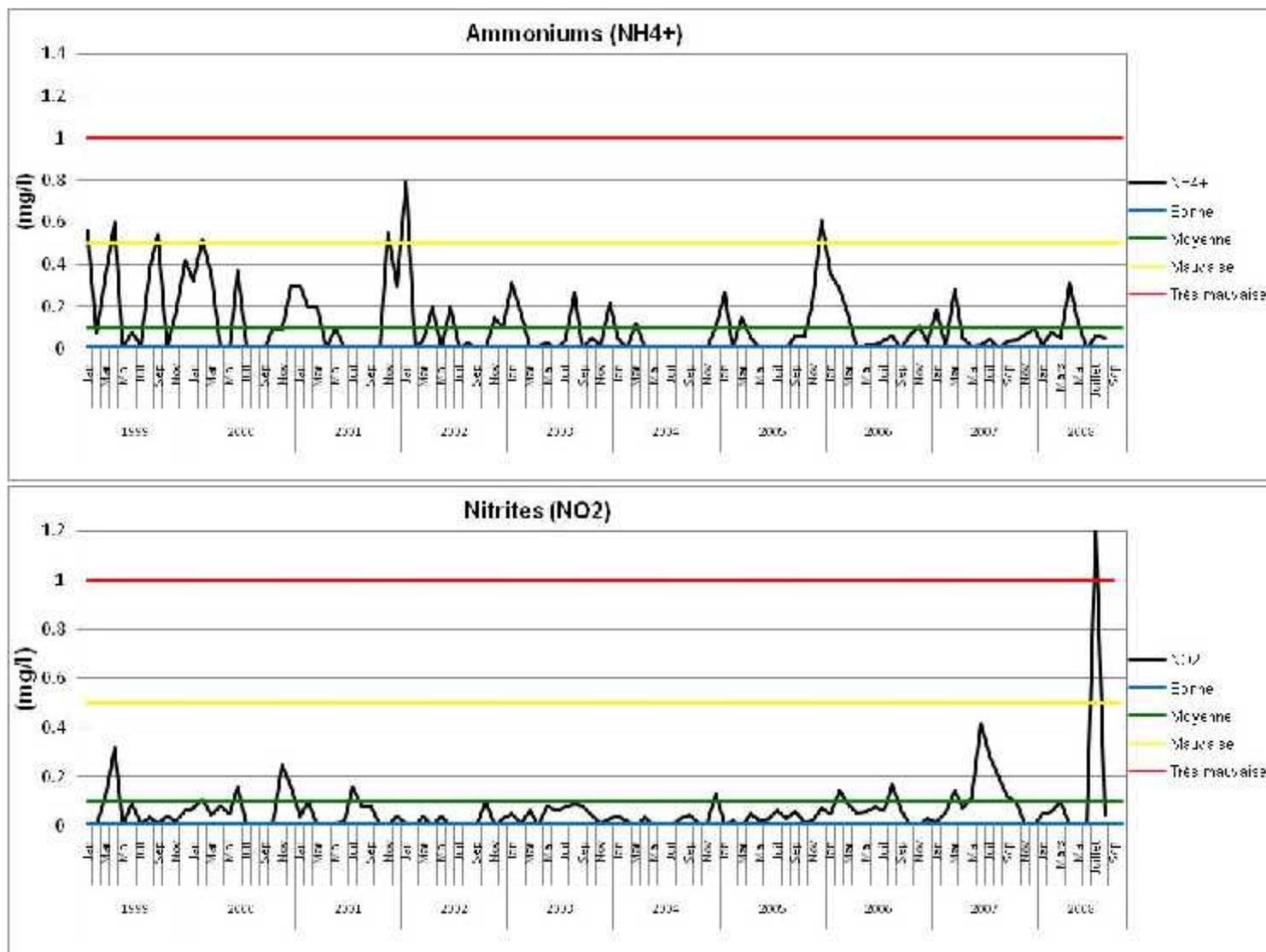


Figure 44 : Fiche de Qualité moyenne annuelle des eaux de barrage Deurdeur (1999-2008)





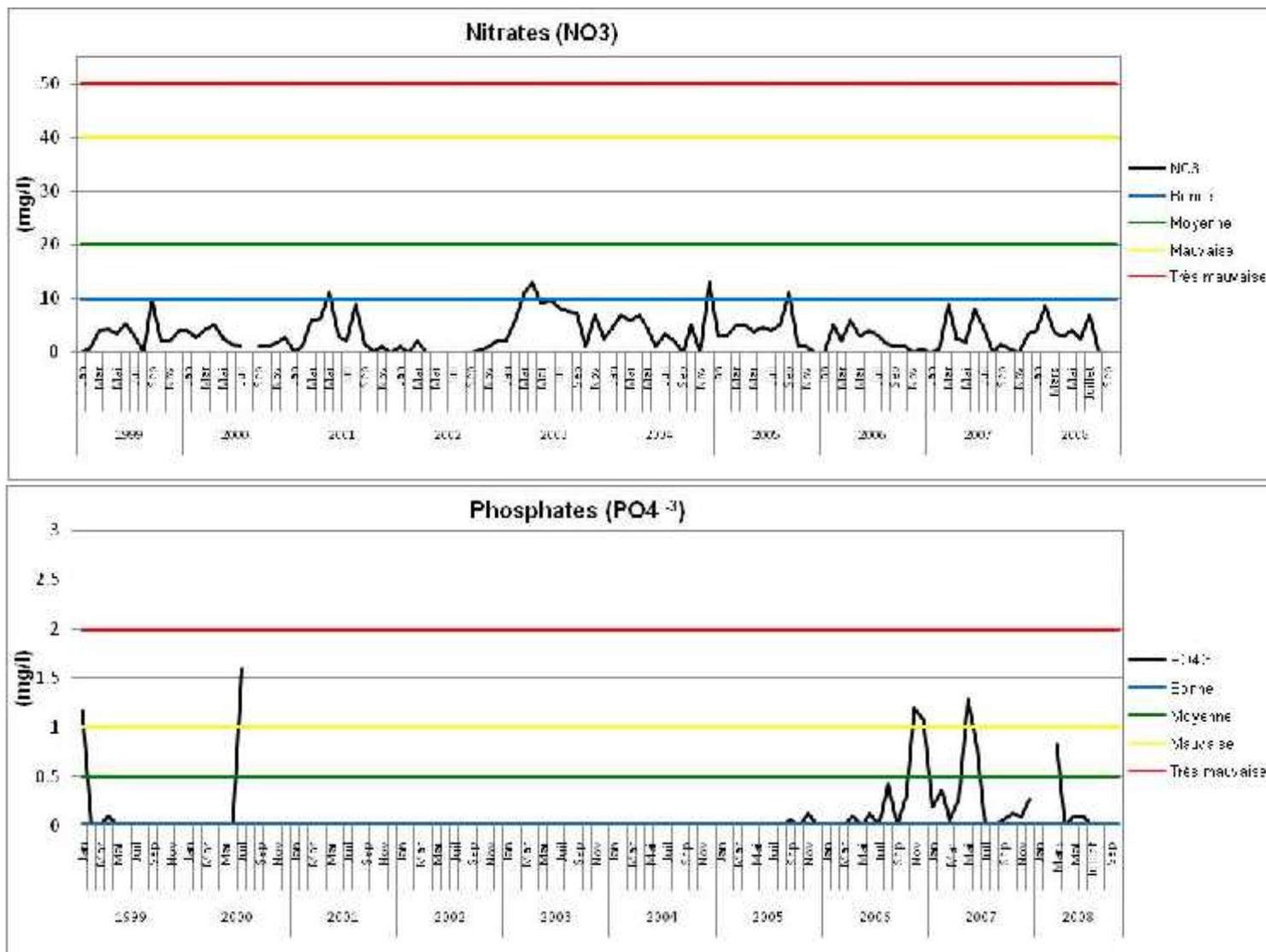


Figure 45 : Évolution de la qualité des paramètres du R.sec, DCO, DBO₅, NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻ et PO₄³⁻ dans le barrage Deurdeur.

IV.3.2.2. Sources de pollution

IV.3.2.2.1. Pollution domestique

Le bassin compte une population estimée en 2010 à 20945 hab. et qui arrivera en 2020 à 22 227 hab. et génère une charge polluante de 20945 Eqh en 2010 et de 22227 Eqh en 2020. (tab.32)

Tableau 32 : Charge polluante en Eqh des rejets domestiques.

Wilaya	Commune	Agglomération	Charge polluante en 2010 (Eqh)	Charge polluante en 2020 (Eqh)
Tissemsilt	Bordj-El-Amir-AEK	Bordj-El-Amir- AEK	6819	7177
		Sekaka(VAS)	1617	1702
	Youssoufia	Youssoufia	2453	2581
Ain Defla	Tarik Ibn Ziad	Tarik Ibn Ziad	10056	10767
Total			20 945	22 227

(Source PDARE, 2009)

IV.3.2.2.2. Pollution industrielle

Il n'existe aucune activité industrielle dans le bassin versant du barrage Deurdeur. (fig. 46)

IV.3.2.2.3. Pollution agricole

L'élevage est concentré dans la commune de Tarik Ibn Ziane avec une capacité de 59 170 têtes qui libèrent une charge polluante de 9 425 Eqh.

IV.3.2.2.4. Pollution des décharges publiques

Le risque de pollution provient des déchets déposés dans les décharges publiques situées dans les communes de :

- Tarik Ibn Ziad : une décharge sauvage avec une quantité déposée de 8 T/j
- Et une décharge sauvage dans la commune de Bordj Emir AEK avec 3 T/j.

IV.3.2.2.5. Pollution des déchets hospitaliers

Les déchets hospitaliers constituent une source négligeable. Une seule polyclinique dans la commune de Bordj Emir A.E.K avec 6 lits génère une charge polluante de 9 Eqh.

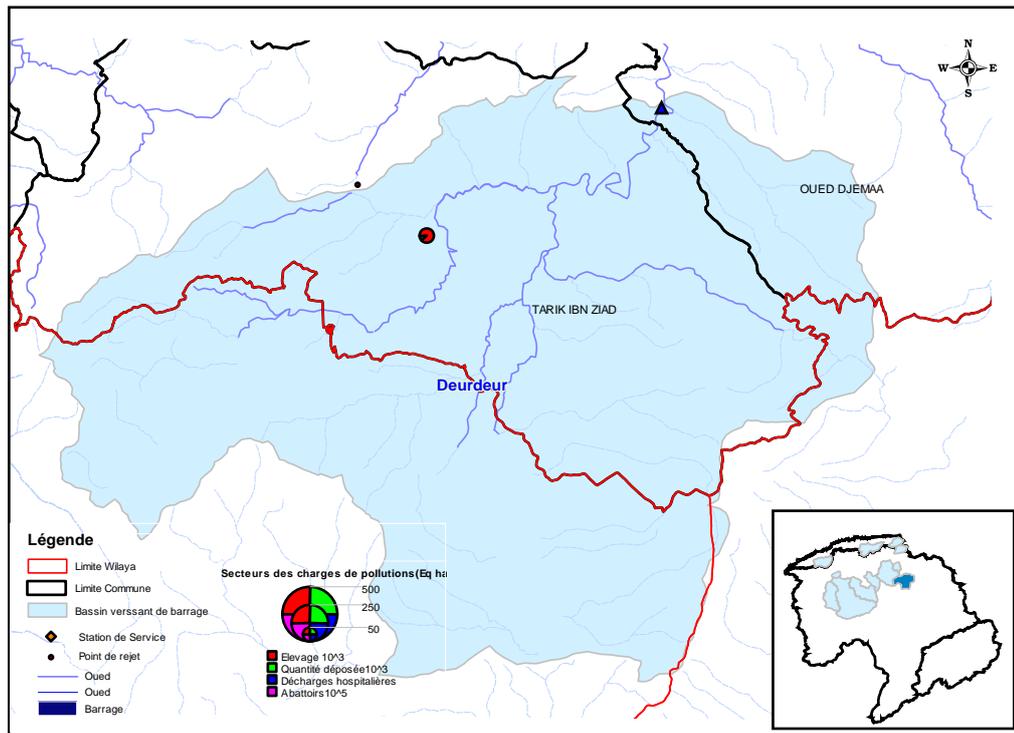


Figure 46 : Bassin versant du barrage Deurdeur (Source ABH-CZ, 2008).

IV.3.3. Barrage Harreza

Le barrage de Harreza est implanté sur l’oued Harreza à environ 14 Km au sud de la ville de Ain Defla (figure 47). Les caractéristiques du barrage de Harreza et celles de son bassin versant sont présentées dans le tableau 33.

Tableau 33 : Caractéristiques du barrage Harreza.

Date de mise en service	1984
Superficie du bassin versant	143 Km ²
Apport moyen interannuel du bassin versant	30,8 Hm ³ (PNE) contre 7,79 Hm ³ estimé par l'ABH
La capacité initiale du barrage	70 Hm ³
La capacité estimée (2003)	69,20 Hm ³
Volume régularisé	23,00 Hm ³ /an
Apport réel du barrage	3,64 Hm ³ (période 1990 - 2001)
Taux d'envasement	1 %

(Source ABH, 2008)



Figure 47 : Lac du barrage Harreza.

La destination de cet ouvrage en terre est, d'une part, une retenue de compensation qui permet de stocker, en plus de ses apports propres, les débits dérivés de la rive gauche de l'oued Cheliff, et d'autre part, il est destiné à renforcer l'irrigation du périmètre du Haut Cheliff avec un volume affecté annuellement de l'ordre de 23 Hm³, dont il est rempli en majeure partie par pompage hivernal des eaux du Cheliff à partir de la station de pompage Khemis II.

Mais actuellement cette solution est abandonnée à cause du coût très onéreux de l'énergie électrique. Pour remédier à cela, le bureau d'études Dar El Handassah a proposé la réalisation d'une station de pompage et un château d'eau à l'aval du barrage dans l'étude du projet Deurdeur 2003, afin de minimiser le coût de l'énergie électrique du fait que le remplissage de la retenue se fera en gravitaire, à partir du château d'eau (ABH, 2008).

Un volume moyen de 2 Hm³ environ (1997-2003) a été lâché à partir de ce barrage pour l'irrigation au fil de l'eau de la petite et moyenne hydraulique.

IV.3.3.1. L'évolution annuelle de la qualité des eaux (1999-2008)

Les eaux du barrage Harreza présentent une dégradation de la qualité physico-chimique exprimée en Résidu sec durant les deux années 2006 et 2007 (elle atteint 1,5 g/l au mois de mars 2007), cette qualité est devenue bonne en 2008 (figure 48).

Les eaux de ce barrage sont chargées en NH₄⁺, NO₂⁻ et PO₄³⁻ (figure 49). Cette augmentation est due à l'oxydation de la matière organique azotée et à l'utilisation abusive des engrais. L'amélioration de la qualité des eaux de ce barrage nécessite des traitements, afin de diminuer la teneur en NH₄⁺ et NO₂⁻ en premier lieu, ainsi que les phosphates.

Les graphes de l'évolution mensuelle de la qualité des paramètres : R.sec, DCO, DBO₅, NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻ et PO₄³⁻ entre l'année 1999 à 2008 sont donnés dans la figure 49.

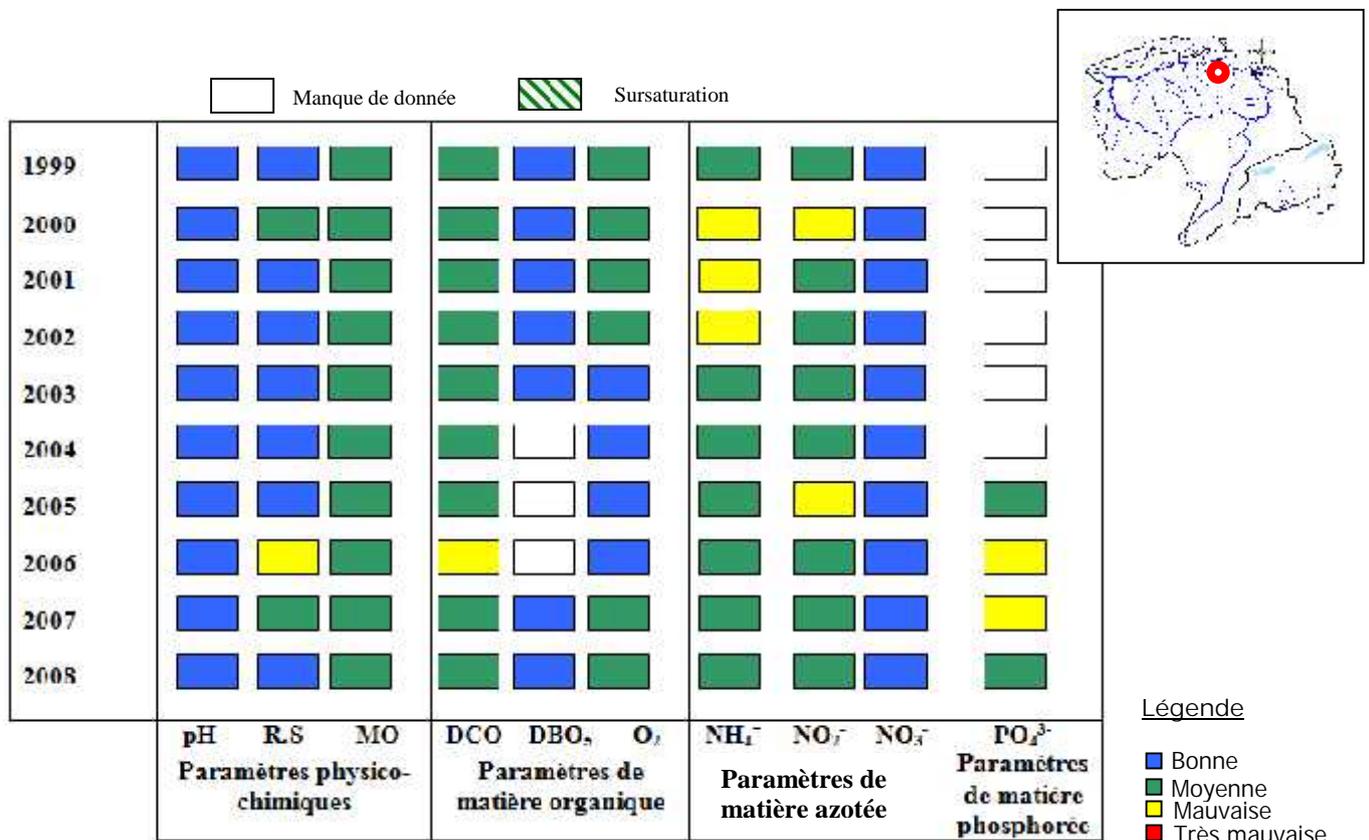
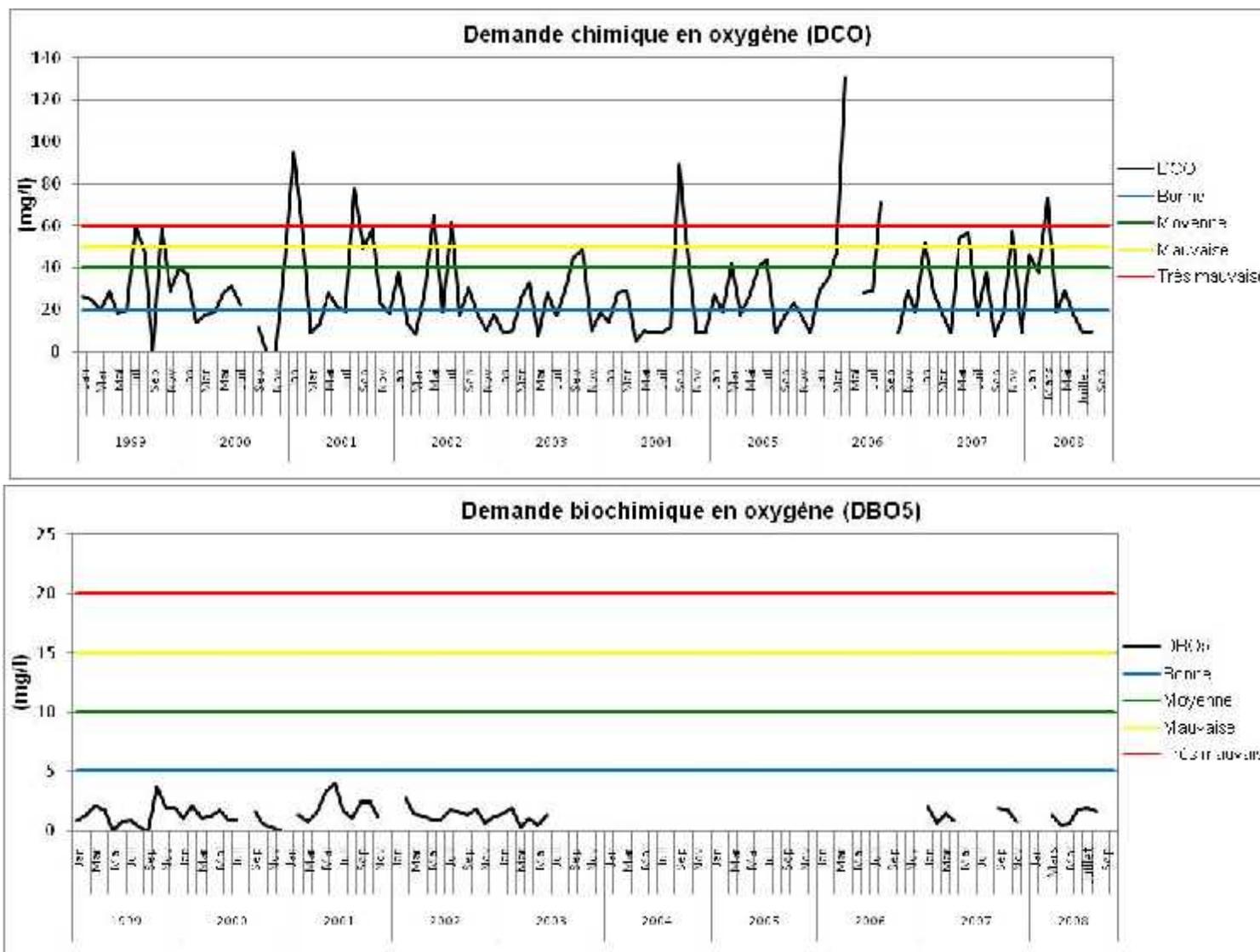
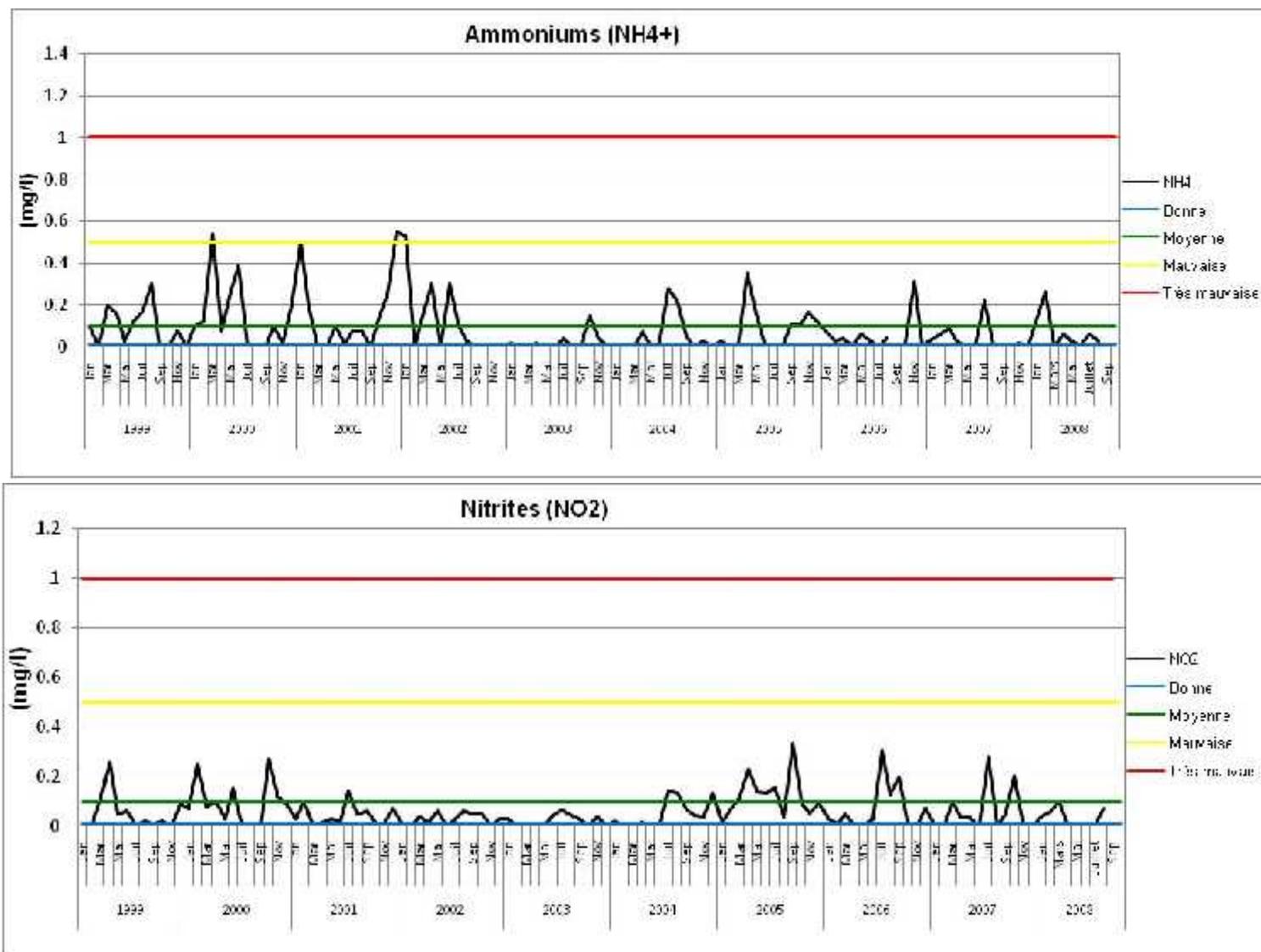


Figure 48 : Fiche de Qualité moyenne annuelle des eaux du barrage Harreza (1999-2008)





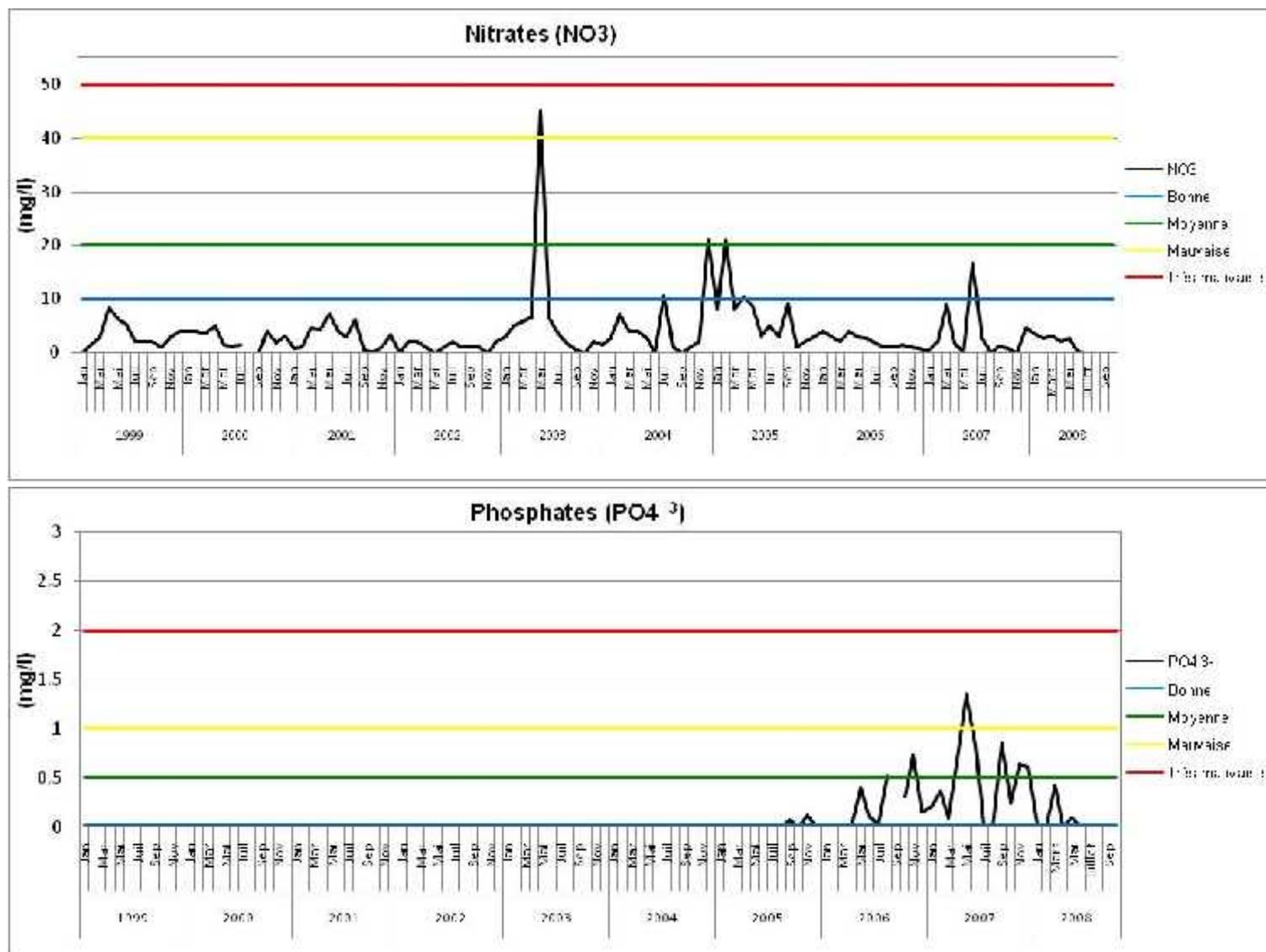


Figure 49 : Évolution de la qualité des paramètres du R.sec, DCO, DBO₅, NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻ et PO₄³⁻ dans le barrage Harreza.

IV.3.3.2. Sources de pollution

Le bassin versant de Harreza situé dans la commune de Djelida (figure 50) avec deux agglomérations de Baba Driss et Djelida.

IV.3.3.2.1. Pollution domestique

La population dans cette région est évaluée à 9 844 hab. en 2010 et passera à 11 312 hab. en 2020. Donc la charge de la pollution domestique est estimée à 9 844 Eqh en 2010 et à 11 312 Eqh en 2020 (Touhari, 2007).

IV.3.3.2.2. Pollution industrielle

Le bassin versant de Harreza reçoit une charge polluante industrielle arrivant des unités industrielles implantées dans la commune de Djelida. Elle est estimée à 15 780 Eqh. (Tab. 34)

Tableau 34 : Charge polluante en Eqh des rejets industriels.

Commune	Nom unité	Charge polluante (Eqh)
Djelida	AGGLO-BETON	7500
	Carrière EURL Sidi Abderrahmane	480
	EPLA	7500
	UPCMC(Boumedienne Karim)	300
Total		15780

(PDARE, 2009)

IV.3.3.2.3. Pollution agricole

La pollution d'origine agricole est générée par l'élevage avec une charge de 15 135.5 Eqh.

IV.3.3.2.4. Pollution des décharges publiques

Il existe une seule décharge dans le bassin au niveau de la commune de Djelida mais avec une quantité de déchets importante de 24 T/j (décharge non contrôlée).

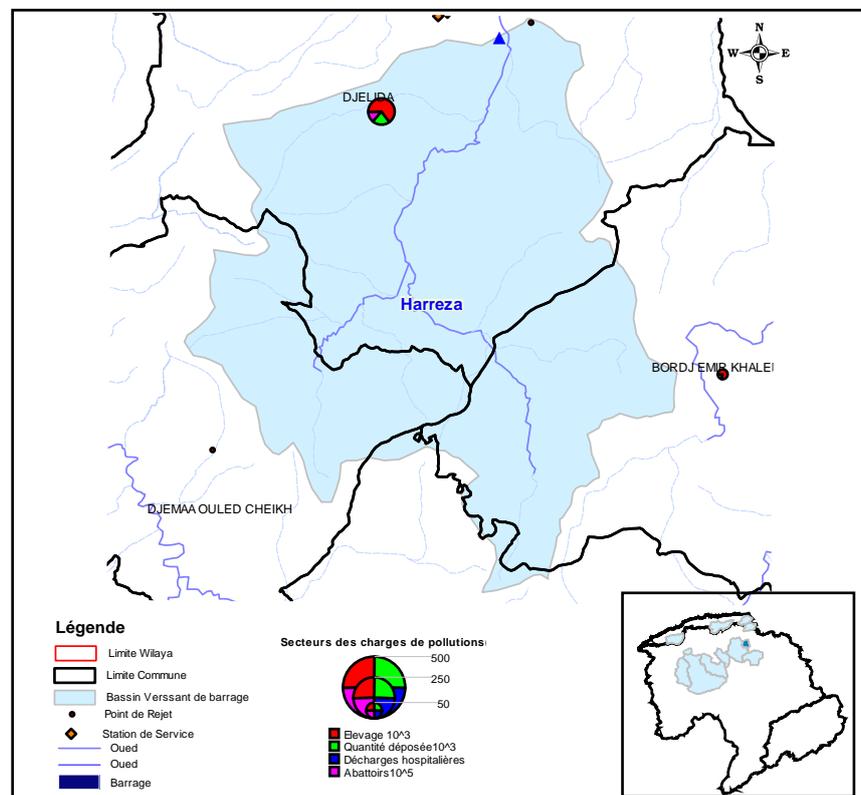


Figure 50 : Bassin versant du barrage Harreza. (Source ABH-CZ, 2008)

IV.3.4. Barrage Ouled Mellouk

Le bassin versant du barrage Ouled Mellouk occupe une superficie de 869 Km² et s'étend sur 08 communes de la wilaya de Ain Defla : Bourached, Rouina, Zaddine, El Mayene, El Hassania, Djemaa Ouled Cheikh, Djelida, Bathia et Belaas. (Figure 54)

Il est situé sur Oued Rouina, dans la commune de Rouina, wilaya de Ain Defla. La mise en eau du barrage d'Ouled Mellouk a été faite en 2003. (Figure 51)



Figure 51 : Lac du barrage O. Mellouk.

Les caractéristiques du barrage d'Ouled Mellouk et celles de son bassin versant sont présentées dans le tableau 35.

Tableau 35 : Caractéristiques du barrage Ouled Mellouk.

• Date de mise en service	2003
• Superficie du bassin versant	869 Km ²
• Apport moyen interannuel du bassin versant	47,50 Hm ³ (PNE) contre 40,38 Hm ³ estimé par l'ABH
• La capacité actuelle du barrage	127 Hm ³ (2003)
• Volume régularisé	38,00 Hm ³ /an
• Taux d'envasement	0 %

(Source ABH, 2008)

Selon le PDARE (2009), ce barrage contribue à l'irrigation d'une superficie équipée de 8500 ha du périmètre d'El Amra -Abbadia avec un volume affecté de 14,5 Hm³. De plus il est destiné à satisfaire les besoins en eau potable localisés dans la commune de Rouina et Bourached.

IV.3.4.1. L'évolution annuelle de la qualité des eaux (2004-2008)

Les eaux du barrage sont de qualité moyenne pour la majorité des paramètres (figure 52), sauf une forte teneur en phosphate (PO_4^{3-} =3.4mg/l) enregistrée en novembre 2007 (figure 53) ce qui confirme l'utilisation abusive d'engrais ainsi qu'aux apports des polluants provenant des rejets d'eaux usées urbains et au processus d'eutrophisation.

L'évolution mensuelle de la qualité des paramètres : Résidu sec, DCO, DBO₅, NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻ et PO₄³⁻ de l'année 2004 à 2008 est présentée dans la figure 53.

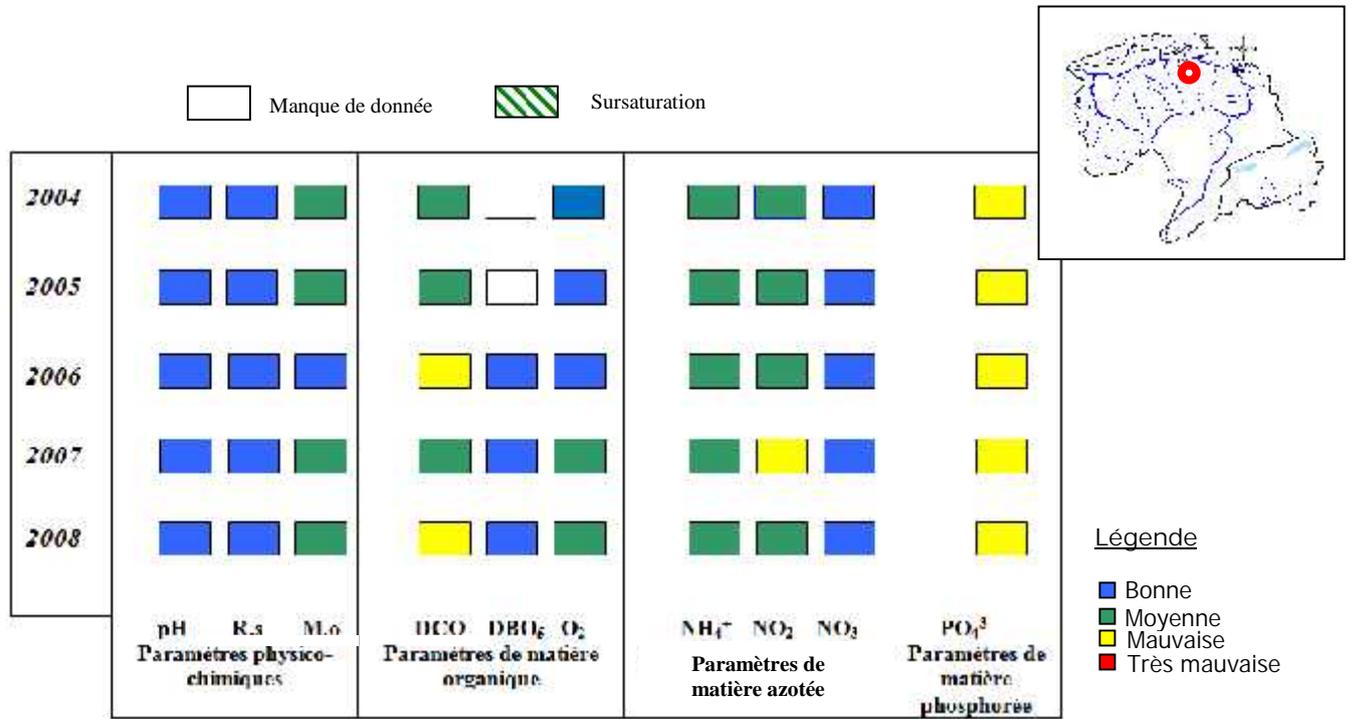
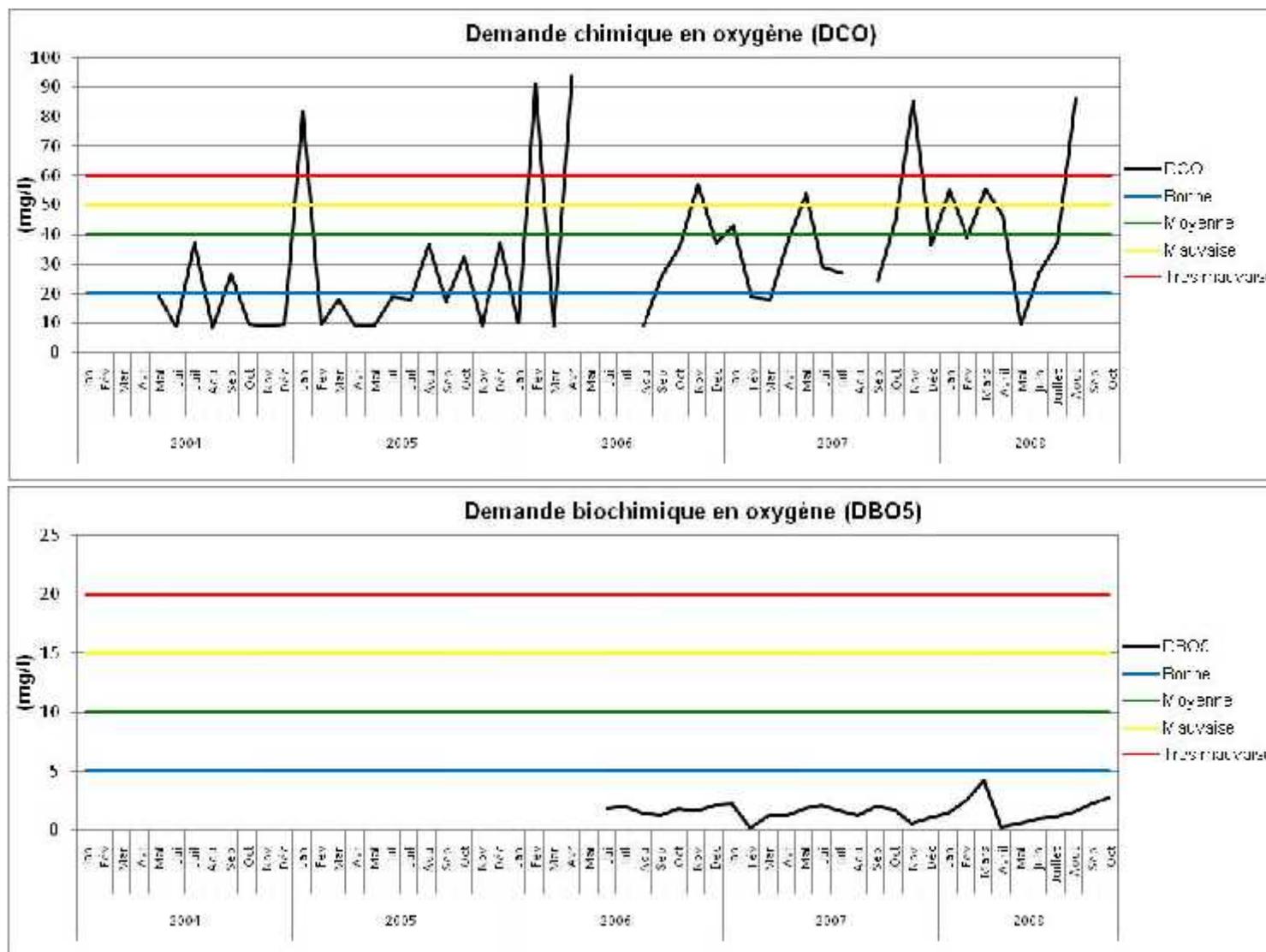
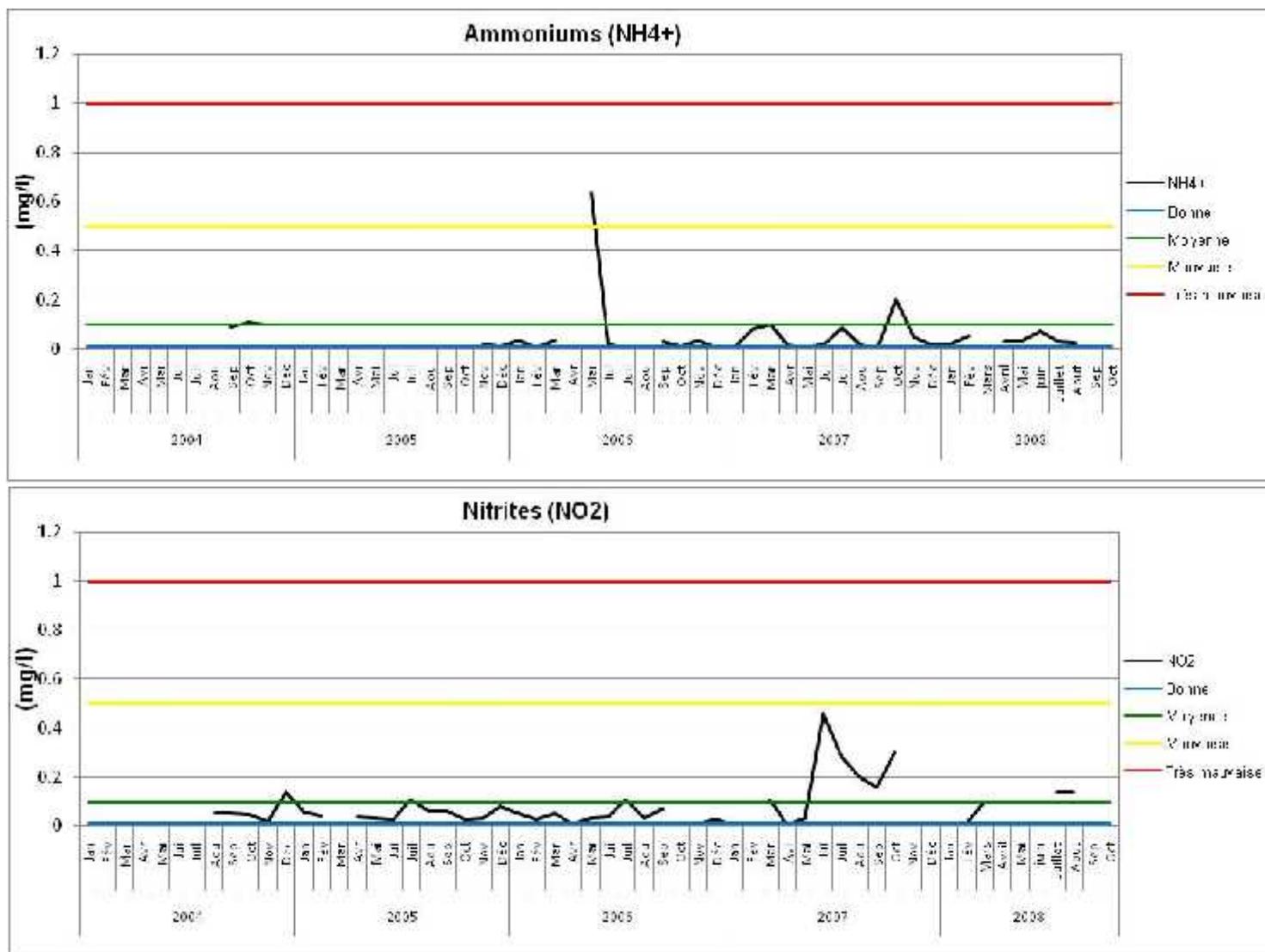


Figure 52 : Fiche de Qualité moyenne annuelle des eaux du barrage O. Mellouk (2004-2008)





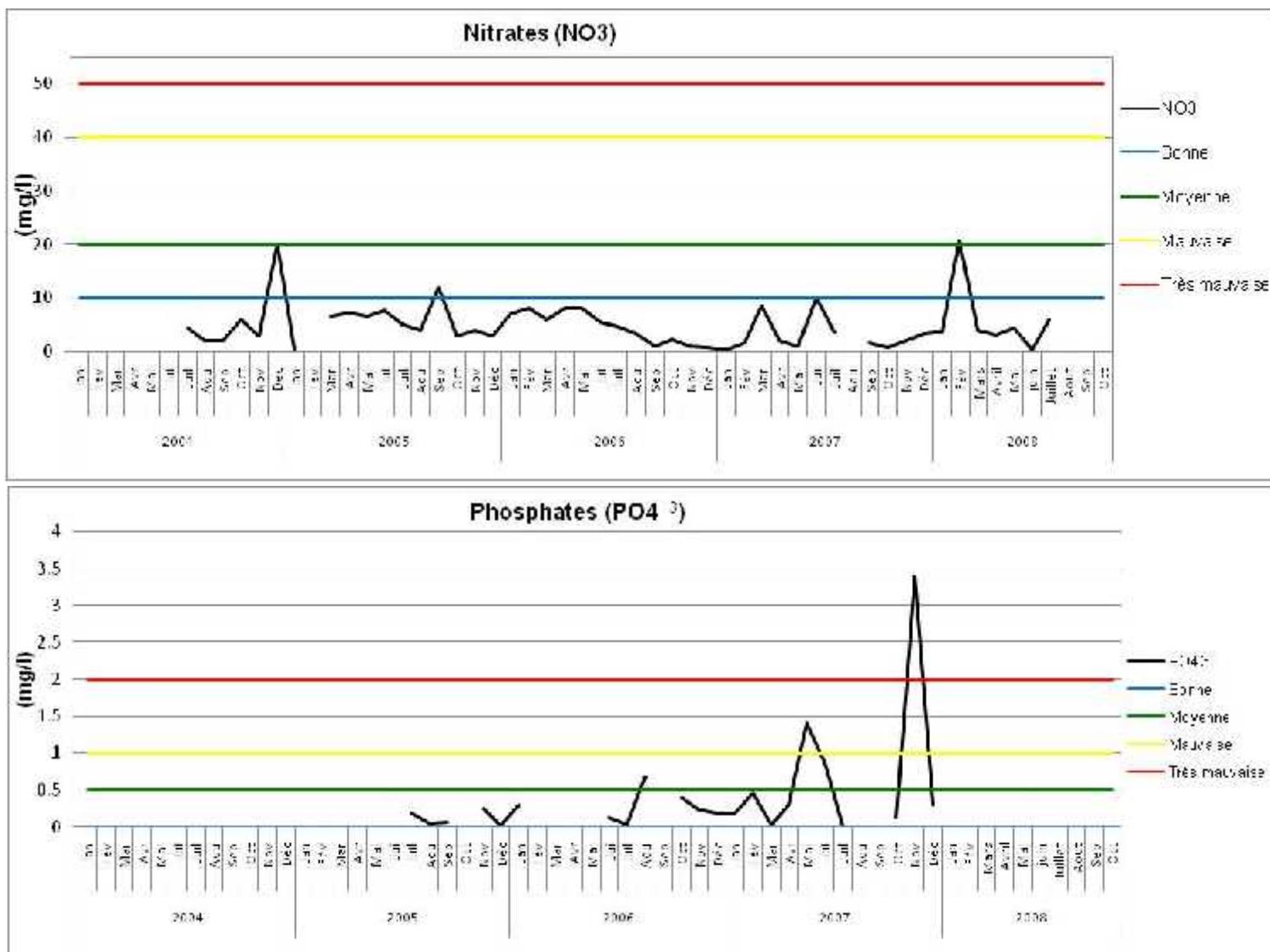


Figure 53 : Évolution de la qualité des paramètres du R.sec, DCO, DBO₅, NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻ et PO₄³⁻ dans le barrage O. Mellouk.

IV.3.4.2. Sources de pollution

La pollution du bassin versant du barrage Ouled Mellouk a plusieurs origines :

IV.3.4.2.1. Pollution domestique

La charge polluante des rejets domestiques arrivant dans le bassin du barrage Ouled Mellouk est estimée à 40751 Eqh en 2010 et à l'horizon 2020 la charge polluante sera de 46819 Eqh. (tab.36) Les rejets sont drainés par les réseaux d'assainissement qui sont déversés directement dans le milieu naturel, sans aucun traitement.

Tableau 36 : Charge polluante en Eqh des rejets domestiques.

Wilaya	commune	Agglomération	Charge polluante En 2010 (Eqh)	Charge polluante En 2020 (Eqh)
Ain Defla	Djelida	Baba Driss	2675	3073
	Bourached	Bourached	4518	5193
		Ouled Si Ahmed	5424	6233
		Houaouria	5337	6132
		Ouled Attou	1099	1262
	Rouina	Rouina Mines	1801	2069
	Zeddine	VSA Sidi Kaddour	2385	2740
		Zeddine	4380	5033
		Zaarta	499	572
	El Hassania	El Hassania	2802	3218
	Djemaa Ouled Cheikh	Djemaa Ouled Cheikh	1703	1957
	Bathia	Bathia	4328	4973
		Tafrent	1303	1496
Belaas	Belaas	2497	2868	
Total			40 751	46 819

(Source PDARE, 2009)

IV.3.4.2.2. Pollution industrielle

Les rejets industriels arrivant dans le bassin versant du barrage Ouled Mellouk sont estimés à 24 680 Eqh, Les unités industrielles les plus polluantes sont : AGGLO-BETON avec 7500 Eqh, EPLA avec 7500 Eqh et UECCMC avec 7500 Eqh. (tab. 37)

Tableau 37 : Charge polluante en Eqh des rejets industriels.

Wilaya	Commune	Nom unité	Charge polluante (Eqh)
Ain Defla	DJELIDA	AGGLO-BETON	7500
		Carrière EURL Sidi Abderrahmane	480
		EPLA	7500
		Labochim	
		UECCMC	7500
		UPCCMC (Boumedienne Karim)	300
	ROUINA	FERPHOS	1400
Total			24680

(Source PDARE, 2009)

IV.3.4.2.3. Pollution agricole**a) Élevage**

L'élevage produit une charge polluante de 7 081 Eqh dont 6 136 Eqh proviennent des établissements des gros bétails. (tab. 38)

Tableau 38 : Charge polluante en Eqh des élevages.

Wilaya	Commune	Type d'élevage	Charge polluante (Eqh)
Ain Defla	Belaas	Gros Betail	48
		Volailles	225
	Bourached	Gros Betail	5680
		Volailles	420
	Djemaa Ouled Cheikh	Gros Betail	408
	El Hassania	Volailles	300
Total			7 081

(Source PDARE, 2009)

IV.3.4.2.4. Pollution des décharges publiques

Le risque de pollution provient aussi des décharges publiques, avec une quantité déposée de 19 T/j. (tab. 39)

Tableau 39 : Quantité des déchets déposés dans les décharges publiques.

Wilaya	Commune	Quantité déposée (T/j)
Ain Defla	Belaas	5
	Djemaa Ouled Cheikh	1
	El Hassania	4
	Zeddine	9
Total		19

(Source PDARE, 2009)

IV.3.4.2.5. Pollution des déchets hospitaliers

Il n'existe aucune décharge hospitalière dans le bassin versant du barrage Ouled Mellouk.

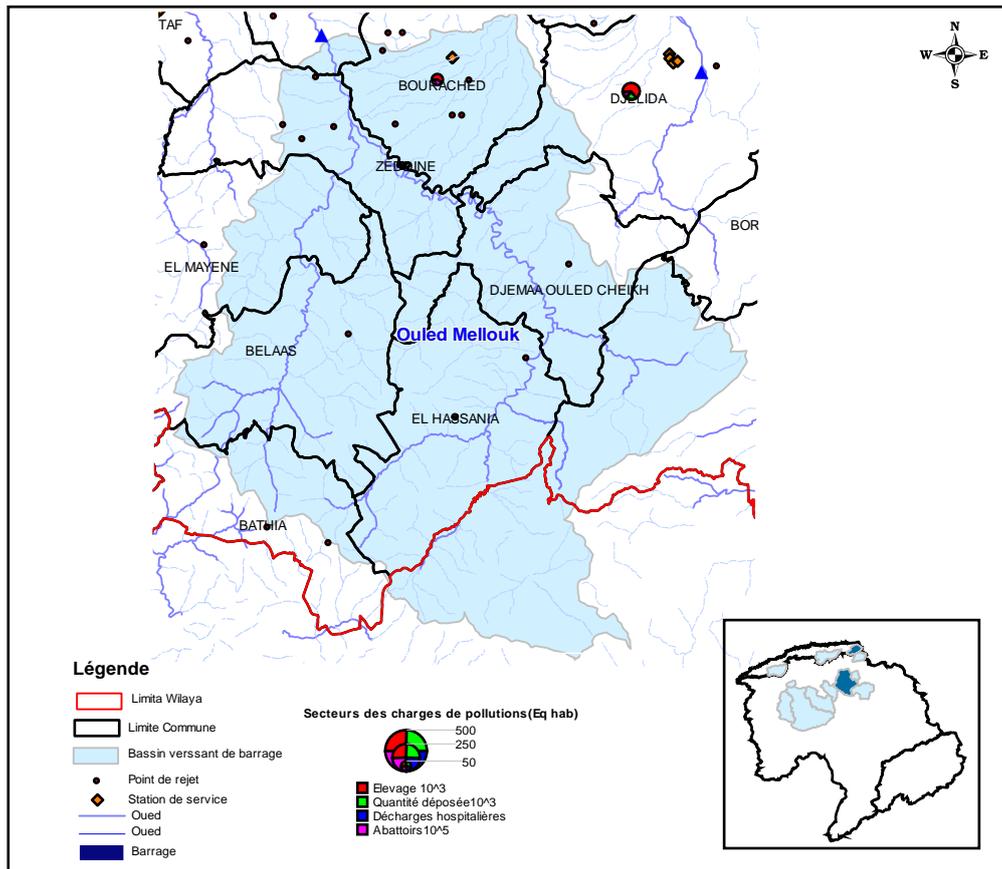


Figure 54 : Charge polluante dans le bassin versant du barrage Ouled Mellouk. (Source ABH-CZ, 2008)

IV.3.5. Relation évolution des paramètres de qualité - remplissage des barrages

Dans le but d'établir une relation entre l'évolution des différents paramètres physicochimiques et l'état du remplissage des barrages du Haut Cheliff, des graphes de comparaison ont été établis entre l'évolution de certains paramètres et l'évolution du volume d'eau stocké dans les barrages étudiés durant la période 1999 à 2008.

La mesure de Résidu sec constitue une bonne appréciation du degré de minéralisation d'une eau. Les valeurs moyennes rejtes mensuelles enregistrées, montrent des variations importantes (figure 55). On remarque que la salinité augmente avec la diminution du volume d'eau dans tous les barrages étudiés, notamment au barrage Ghrib où on a enregistré une teneur en Résidu sec égale à 2,8 g/l (norme =1.5 g/l) alors que le volume d'eau stocké était de 51 hm³ durant l'année 2000. De même il a été constaté que pour le mois d'avril 2006 la teneur en Résidu sec était de 1,9g/l pour un volume d'eau qui ne dépasse guère 20 Hm³. Cette minéralisation excessive est attribuée aux eaux usées des agglomérations situées en amont du barrage.

D'autre part nous avons constaté une diminution de la salinité en mars 2003 (R.sec=1.2 g/l) et en juillet 2004 (R.sec=1.3 g/l) suite à une amélioration de l'état de remplissage du barrage Ghrib, soit 129 hm³ et 154 hm³ respectivement. L'explication de cette diminution pendant la période pluvieuse réside dans la dilution des eaux par l'apport des eaux pluviales.

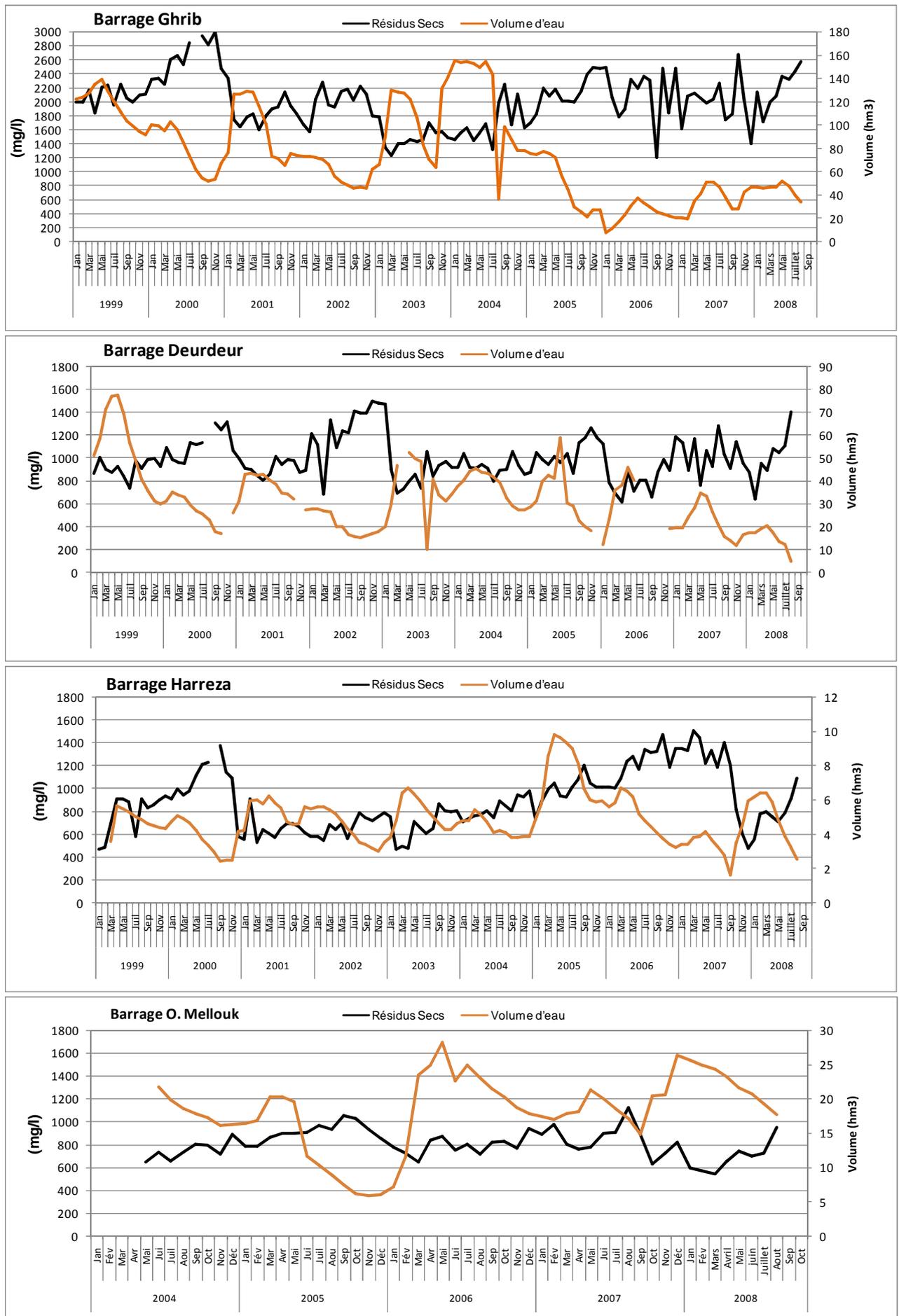
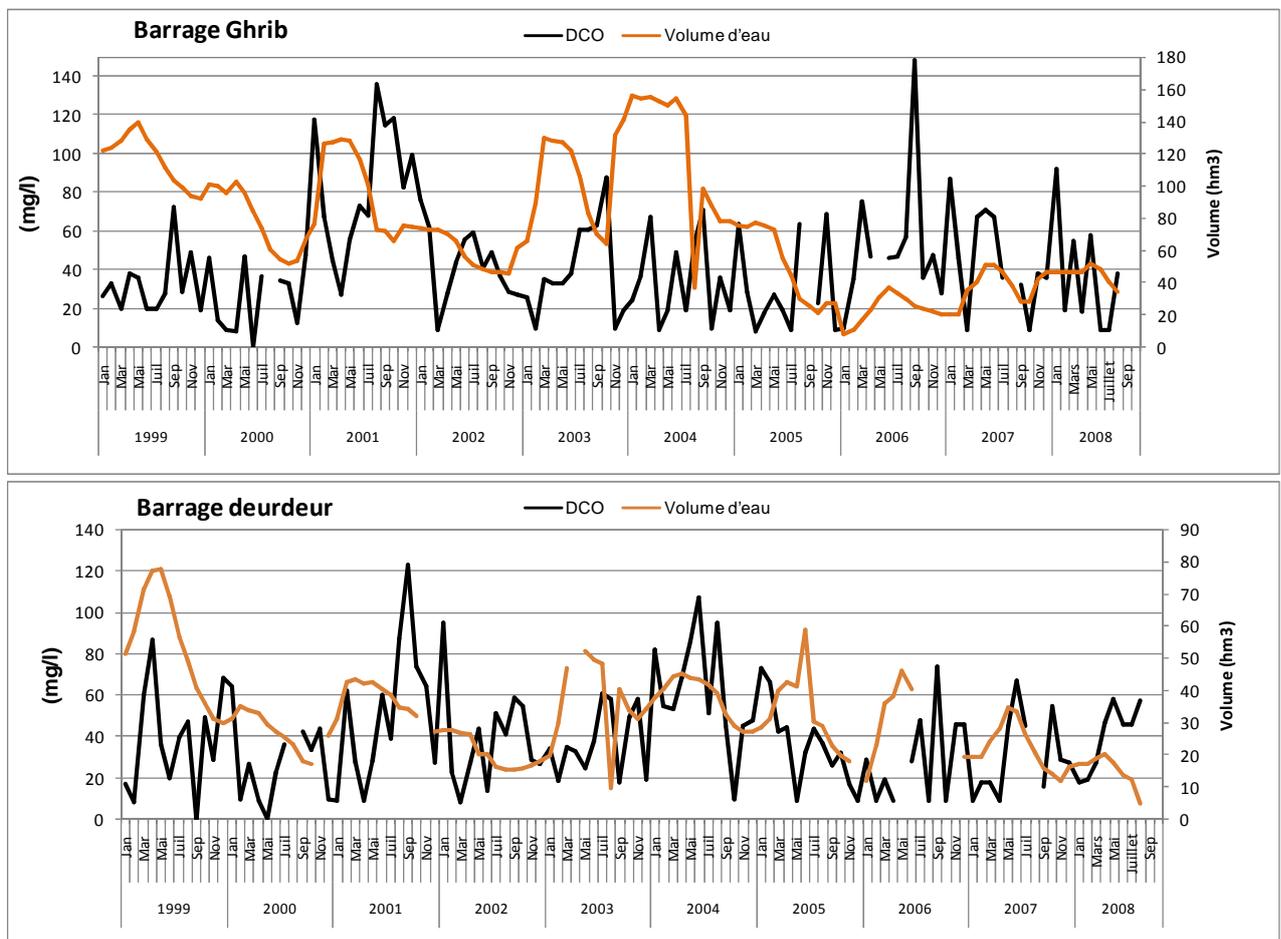


Figure 55 : Évolution des résidus secs et du volume d'eau dans les barrages.

La figure 56 montre une augmentation de la DCO des eaux des barrages notamment en période sèche. Les teneurs en DCO enregistrées au niveau des barrages Ghrib de l'ordre de 148 mg/l pour un volume d'eau stocké 25.6 hm³ en septembre 2006, Deurdeur ; DCO=123mg/l ; Volume d'eau= 34.4 hm³ en septembre 2001, Harreza : DCO=131 mg/l ; Volume= 6.5 hm³ en avril 2006 et Ouled Mellouk : DCO=91mg/l ; Volume= 11.5 hm³ en février 2006. En effet, la zone d'étude reçoit les eaux usées brutes riches en matières organiques et en substances nutritives provenant des agglomérations urbaines, ce qui provoque un accroissement considérable de la charge organique des eaux superficielles dans un espace restreint.

Cependant, en période humide les eaux de pluie contribuent à la dilution de la charge organique émanant des eaux usées des villes riveraines. Les concentrations observées sont nettement faibles à savoir 9 mg/l en avril 2004 pour un volume d'eau stocké de l'ordre de 152.7 hm³ enregistré au barrage Ghrib, au barrage deurdeur 9.1mg/l ; 41.17 hm³ en Mai 2005, harreza : 17.9mg/l ; 9.79hm³ en avril 2005 et au barrage de O.Mellouk : 9mg/l ; 20.2hm³ en Avril 2005.



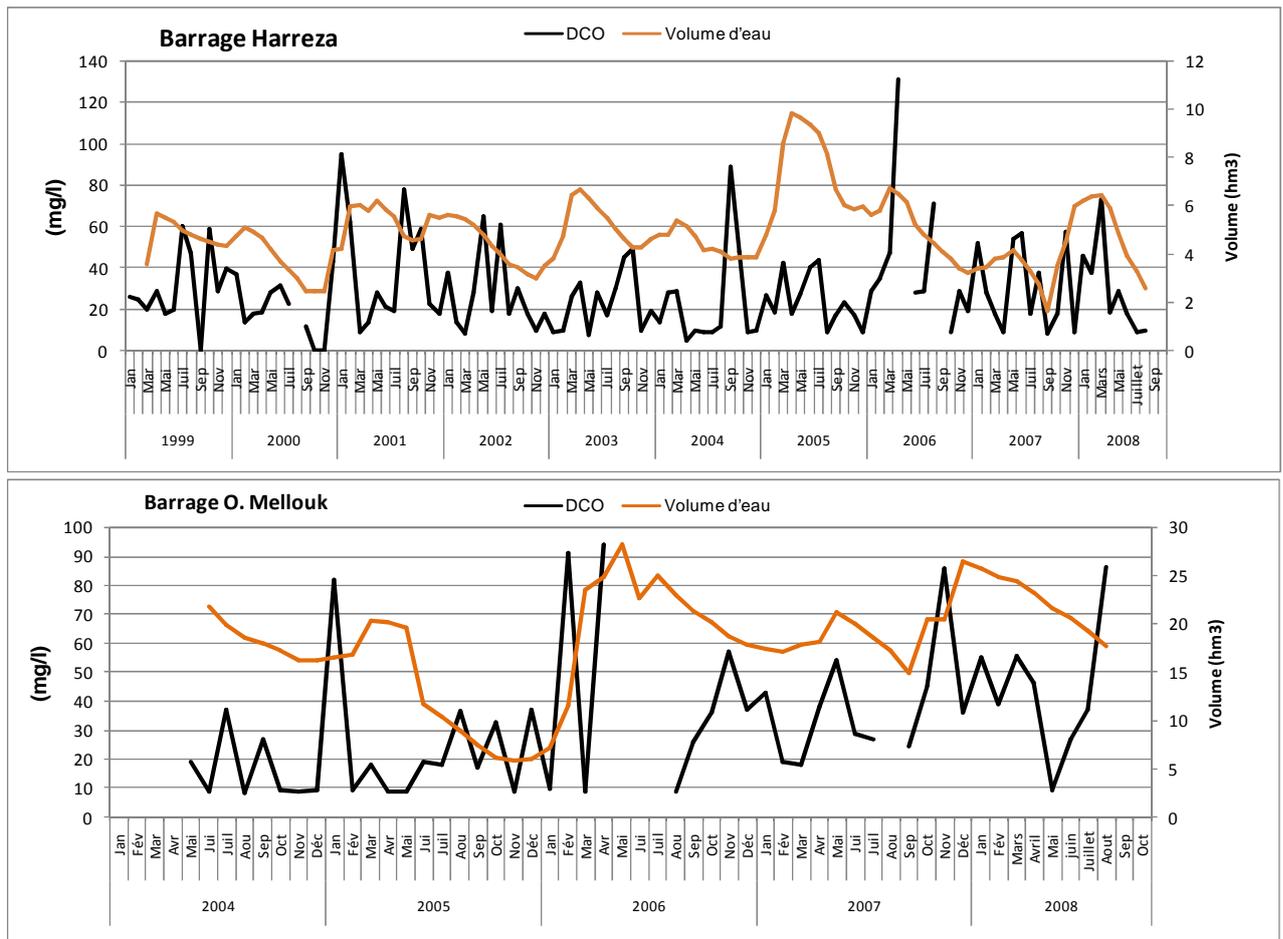
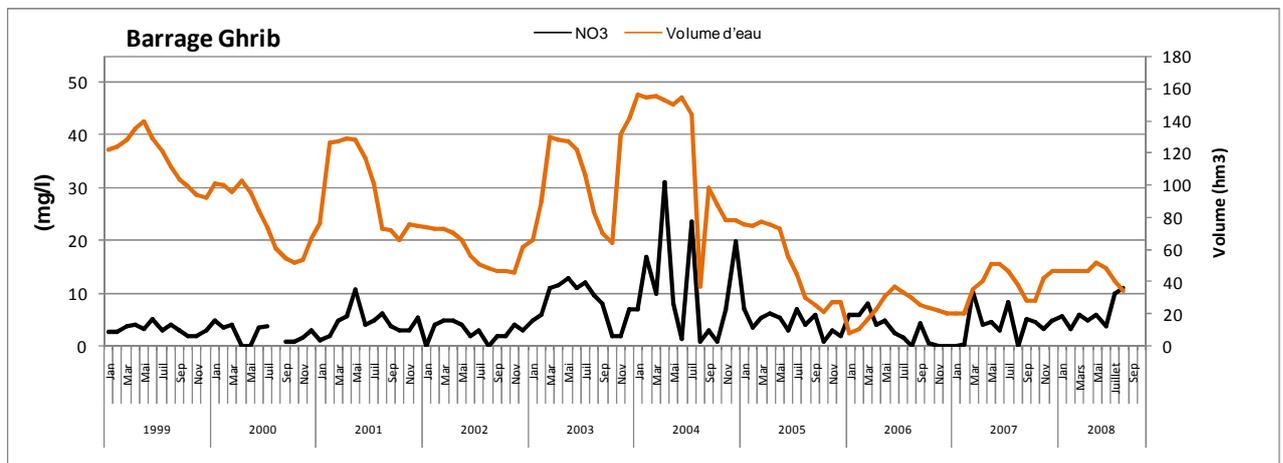
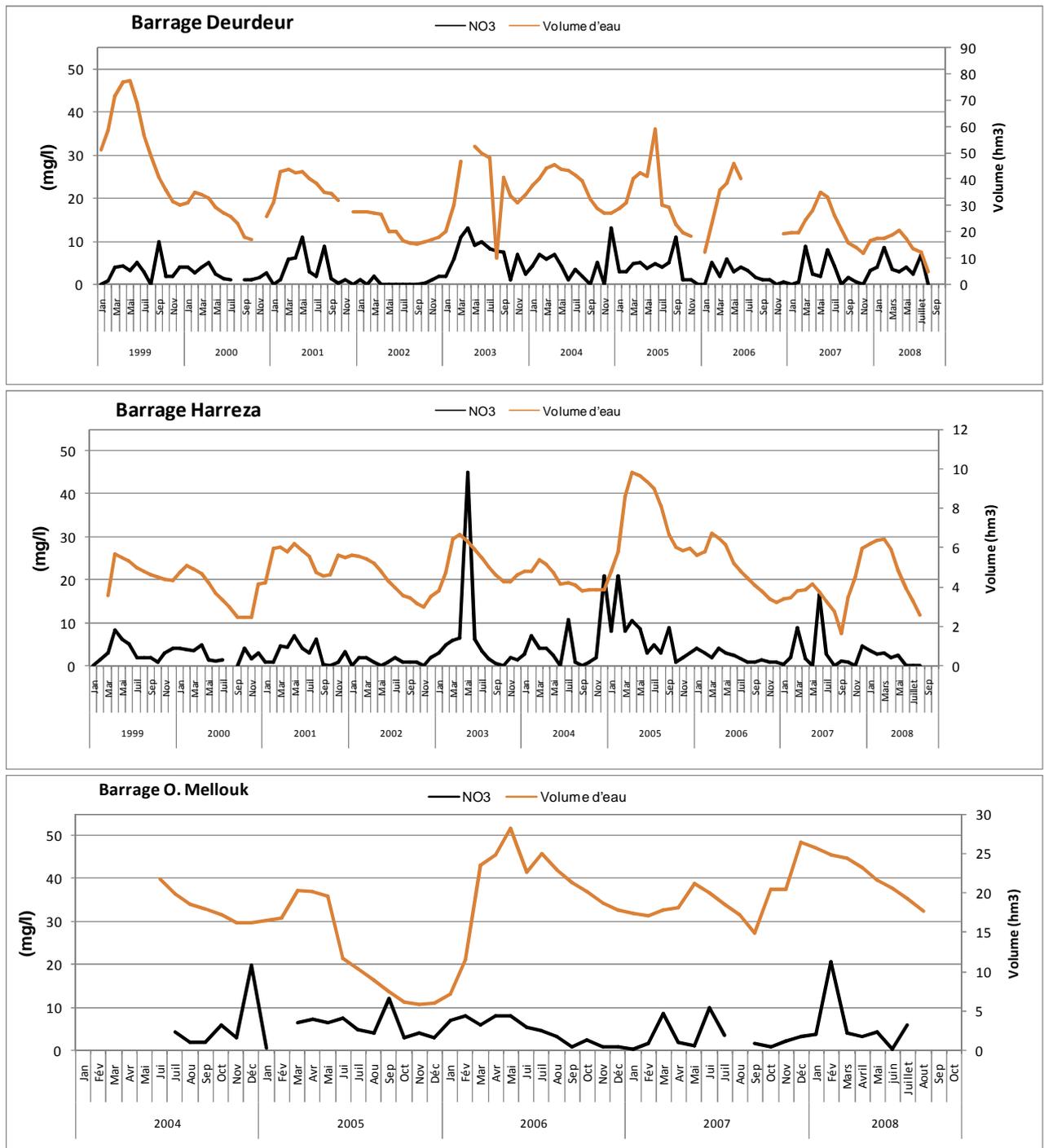


Figure 56 : Évolution des DCO et du volume d'eau dans les barrages.

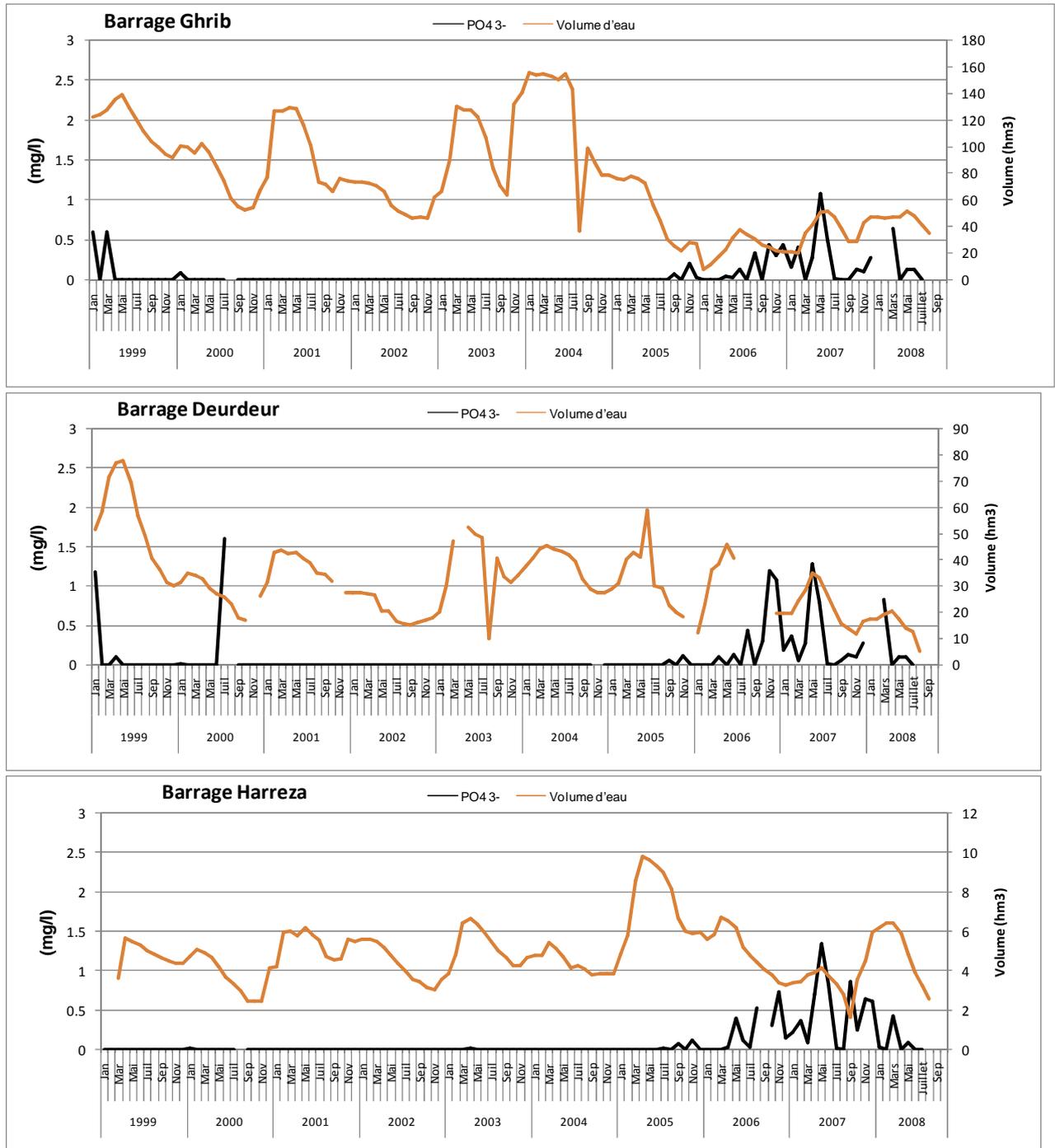
L'augmentation des teneurs en nitrates dans les eaux des quatre barrages étudiés (figure 57) pendant la période pluvieuse par rapport à la période sèche peut être due au lessivage des fertilisants utilisés dans les sols agricoles situés dans les bassins versants. Notamment le cas du barrage Ghrib où les teneurs en nitrates montrent une forte variation (31 mg/l en avril 2004) liée à l'amélioration du taux de remplissage du barrage 152.7 hm³. De même pour le barrage du Harreza où nous avons enregistré une valeur en nitrates égale à 45mg/l en mai 2003. Cependant les valeurs faibles relevées pendant la saison sèche pourraient être attribuées aux rejets d'eaux usées qui n'ont fait l'objet d'aucun traitement préalable.



Figure 57 : Évolution des NO₃⁻ et du volume d'eau dans les barrages.

Le phosphore, l'un des nutriments importants, peut se trouver sous différentes formes oxydées. Il participe à la distribution de l'énergie dans le corps humain (Makhouk et al., 2011), et représente un élément biogène indispensable à la croissance des algues. Les teneurs élevées de cet élément dans les eaux de surface peuvent entraîner leur eutrophisation. Cependant, ils ont un effet bénéfique en jouant un rôle régulateur : ils favorisent tous les phénomènes de fécondation, la mise à fruit et la maturité des organes végétatifs (Makhouk et al., 2011). L'analyse des résultats (figure 58) montre que la concentration en phosphore dans les eaux augmente avec l'amélioration du volume de remplissage des quatre barrages et diminue la baisse du niveau d'eau dans ces derniers.

On note qu'au mois de Mai 2007 et au niveau de tous les barrages nous avons enregistré une forte variation des concentrations en phosphore qui dépasse la norme admissible à savoir : 1.07mg/l avec un volume d'eau de l'ordre de 50.8 hm³ enregistré au niveau du barrage Ghrib, Deurdeur : 1.28 mg/l ; 34.9 hm³, Harreza : 1.34mg/l ; 4.15hm³ et O. Mellouk : 1.40mg/l ; 21.25hm³. Une valeur maximale à été relevée en Novembre 2007 au niveau de ce barrage de l'ordre de 3.39mg/l pour un volume d'eau de 20.52hm³.



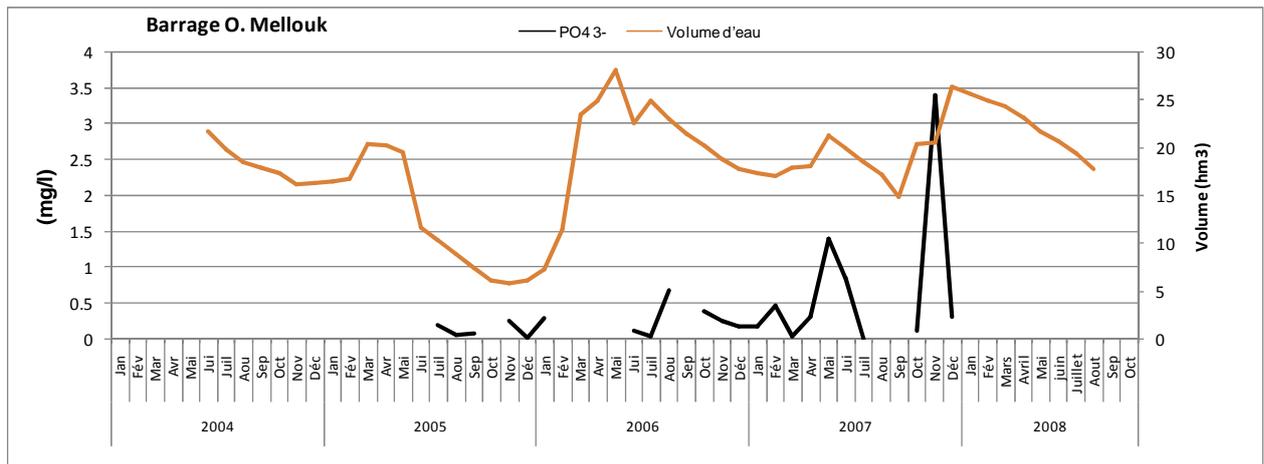


Figure 58 : Évolution des PO₄⁻³ et du volume d'eau dans les barrages.

IV.4. Qualité des cours d'eaux

En ce qui concerne la qualité des eaux des oueds au niveau du bassin du Haut Cheliff, l'ANRH a établie une carte de pollution des oueds du bassin du Cheliff pour l'année 2000 (Fig. 59). Pour une meilleure représentation des différents niveaux de pollution des eaux il a été attribué des couleurs pour chaque classe.

Il est clair que tous les rejets liquides industriels et urbains sont rejetés directement dans les oueds sans traitement physico-chimique ou biologique dans la région du Haut Cheliff. Cette ignorance est la cause directe de la pollution des oueds et en particulier l'oued principal du Cheliff depuis la station 011514 à Djendel jusqu'à la station 011702.

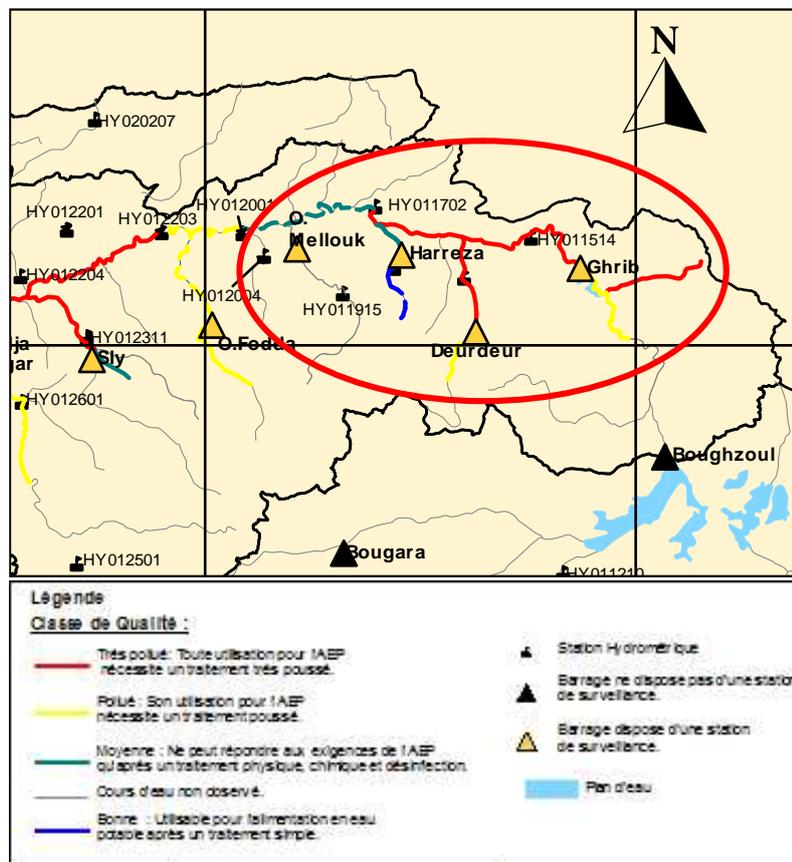


Figure 59 : Qualités des eaux des oueds du Haut Cheliff (source ANRH 2000).

IV.5. Conclusion

Dans la région du Haut Cheliff la quantité d'eaux utilisées s'accroît en raison du développement de la population et de l'amélioration des modes de vie. En conséquence, le pourcentage d'eau prélevée s'élève aussi. A cela s'ajoute l'évolution des paramètres de la qualité au cours du temps. Ainsi, l'eau nécessaire à toutes nos utilisations se raréfie et nous nous acheminons vers une crise de l'eau. Les ressources en eau douce sont en outre réduites par la pollution. L'importance et la gravité de cette pollution est confirmée par les résultats constatés dans l'étude de la qualité des eaux superficielles dans la région du Haut Cheliff, à savoir :

- Les fiches de qualité des eaux montrent une dégradation de cette qualité pour l'ensemble des barrages (une pollution organique exprimée en DCO en MO) au cours du temps. En effet, la quantité de la DCO enregistrée dépasse souvent 50 mg/l, et celle de la MO aussi dépasse les 15 mg/l. Cette pollution est due aux rejets des eaux usées et au processus d'eutrophisation.
- Et parfois on note une salinité très élevée (résidu sec > 1600 mg/l), à titre d'exemple les analyses faites par ANRH ont montré une valeur de 2574 mg/l en 2008 pour les eaux du barrage Ghrib. La teneur des eaux en matières azotées (NH_4^+ , NO_2^-) est élevée en 2008 dans le barrage O. Mellouk. Cette pollution est due à l'oxydation de la matière organique azotée.
- D'autre part nous avons étudié la relation entre l'évolution des paramètres de qualité et le remplissage des barrages. Nous avons ainsi constaté une diminution de la salinité et de la DCO suite à une amélioration de l'état de remplissage des barrages, ceci réside dans la dilution des eaux par l'apport des eaux pluviales. Tandis que l'augmentation des teneurs en nitrates et en phosphore dans les eaux des quatre barrages étudiés pendant la période pluvieuse par rapport à la période sèche peut être due au lessivage des fertilisants utilisés dans les sols agricoles situés dans les bassins versants.
- La charge polluante arrivant aux bassins versants des barrages est caractérisée par la charge polluante des établissements d'élevage en premier lieu à cause de sa valeur élevée dans presque tous les bassins versants.

Pour mettre fin à de telles situations de pollution, nous recommandons ce qui suit :

- ✓ Installer des stations d'épuration dont le but est de préserver la qualité des eaux d'oued Cheliff.
- ✓ Faire des études d'impact sur les ressources en eaux superficielles avant toute implantation de décharges publiques.
- ✓ Sensibiliser les agriculteurs et la population riveraine sur les risques que présentent les eaux des cours d'eaux afin d'éviter leurs utilisations dans l'irrigation des vergers agricoles ou dans les baignades.
- ✓ Utilisation des quantités optimales et raisonnables d'engrais et de produits phytosanitaires dans le traitement des cultures agricoles pour éviter toutes sortes d'infiltration des nitrates et phosphates aux eaux profondes.
- ✓ Compléter cette étude par des analyses exhaustives de tous les paramètres indicateurs de pollution.

Chapitre V

CARACTERISATION HYDROGEOCHIMIQUE DES EAUX SOUTERRAINES



V.1. Introduction

Le chimisme des eaux souterraines dépend, principalement, de la composition lithologique des couches traversées et du temps de séjour des eaux dans l'environnement souterrain. Cette interaction influe sur la teneur des éléments chimiques (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , etc.). Les concentrations de ces éléments naturels sont conditionnées par divers facteurs tels que les paramètres climatiques, l'activité anthropique, les échanges avec et les eaux de surface, les interactions avec l'encaissant.

Les activités anthropiques ont une influence non négligeable sur la qualité physicochimique des eaux souterraines. On observe principalement deux types d'influence :

- En agriculture : apports de K^+ , Ca^{2+} , NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ et PO_4^{3-} .
- Rejets des eaux usées : apports de Na^+ , K^+ , NO_3^- , Cl^- et quelques métaux lourds.

Le présent chapitre a pour objectif d'expliquer le comportement, l'origine et l'évolution des éléments chimiques pour expliquer le fonctionnement hydraulique du système aquifère.

L'étude se base principalement sur les informations de quatre campagnes de prélèvement à partir de 47 points d'eau en 2002 et 50 points d'eau en 2008, répartis sur le terrain. Comme la plaine du Haut Cheliff est à vocation agricole, un intérêt particulier sera accordé à cet effet.

V.2. Approche et méthodologie

Un réseau d'échantillonnage a été choisi pour permettre d'acquérir des données représentatives sur la variabilité spatiale et temporelle de la qualité des eaux souterraines de la nappe étudiée. Les échantillons des eaux sont prélevés par l'ANRH sur des puits situés dans la nappe alluviale du Haut Cheliff et qui forment le réseau d'observation. Quatre campagnes ont été effectuées en 2002 et 2008, durant le mois d'avril, qui correspond à la période de hautes eaux et les mois de septembre ou octobre, qui correspondent à la période de basses eaux. Ces puits couvrent la totalité de la plaine de l'Est vers l'Ouest. La figure 60 montre la répartition des points d'eau prélevés dans la plaine.

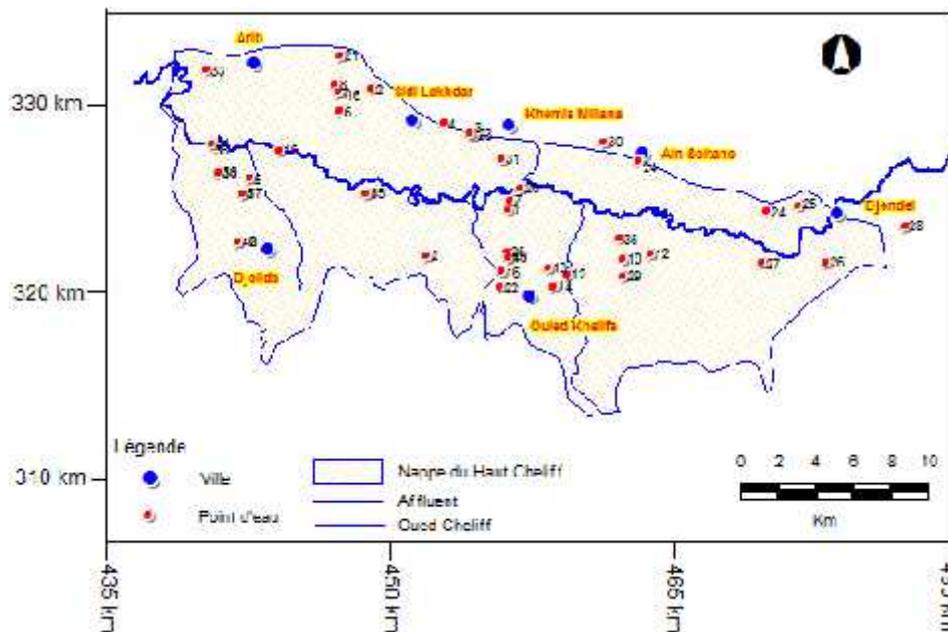


Figure 60 : Inventaire des points d'eaux de la plaine du Haut Cheliff.

Les échantillons d'eau souterraine ont été recueillis après le pompage des puits pour une durée minimale de 15 min dans des flacons en polyéthylène. Les échantillons ont ensuite été analysés dans le laboratoire de l'ANRH. Les analyses ont porté sur les ions les plus courants et les plus abondants dans les eaux souterraines. Il s'agit de quatre cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) et quatre anions (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^-), ainsi que du Résidu sec. La température et le pH ont été mesurés sur le terrain.

Les échantillons filtrés et acidifiés (1% v / v) HNO_3 ont été analysés pour les cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) par spectrophotométrie d'absorption atomique. Les méthodes utilisées pour les analyses des anions sont les suivantes : la méthode de mercure thiocyanate pour les chlorures (Cl^-), la méthode turbidimétrique pour les sulfates (SO_4^{2-}), la méthode colorimétrique pour les nitrates (NO_3^-). Ces méthodes sont conformes aux procédures approuvées par l'agence 'United States Environmental Protection Agency' ou (EPA, 1983). Les bicarbonates (HCO_3^-) ont été déterminés par la méthode potentiométrique (Rodier et al., 2009).

Quelle que soit la méthode utilisée, le laboratoire d'analyses d'eau donne des résultats bruts. Ainsi, les résultats de l'analyse comportent toujours, en dépit des précautions prises par l'opérateur, une certaine marge d'incertitude. Il convient donc de pouvoir détecter et les corriger, les erreurs grossières qui peuvent se produire : aussi bien au cours des manipulations, que lors des différents calculs.

S'il n'existe pas de recette absolue pour la vérification des résultats, la méthode la plus satisfaisante reste celle de la balance ionique qui peut être recoupée par les mesures de conductivité. Il convient cependant de préciser que les vérifications analytiques seront sans intérêt si l'échantillon n'a pas été prélevé ou stocké dans les conditions requises.

Le calcul de l'erreur de la balance ionique, en prenant le rapport entre la somme des cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) et la somme des anions (Cl^- , HCO_3^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) pour chaque échantillon d'eau, doit être dans la gamme d'acceptabilité ($\pm 5\%$) utilisée dans la plupart des laboratoires (Domenico et Schwartz, 1990). Les données hydrochimiques sont indiquées en annexe 3.

V.3. Résultats et discussions

V.3.1. L'erreur sur la balance ionique

Sachant qu'une analyse chimique des eaux n'est considérée comme représentative que lorsque la balance ionique est inférieure à 5%, les balances ioniques ont été systématiquement vérifiées pour l'ensemble des échantillons analysés. Il en ressort que 46 points d'eau en 2002 et 49 points d'eau en 2008, soit 98% des échantillons présentent un équilibre ionique durant les deux années. En effet, la corrélation des teneurs absolues en éléments majeurs donne un coefficient de corrélation ($R^2=0.98$ et $R^2=0.97$) en 2002 et 2008 respectivement (Fig. 61). De même, la corrélation linéaire entre la somme des ions et le résidu sec analysé (Fig. 62) est très bonne ($R^2=0,98$ et $R^2=0,94$) en 2002 et 2008 respectivement. On peut donc en conclure que les procédures analytiques sont très bonnes.

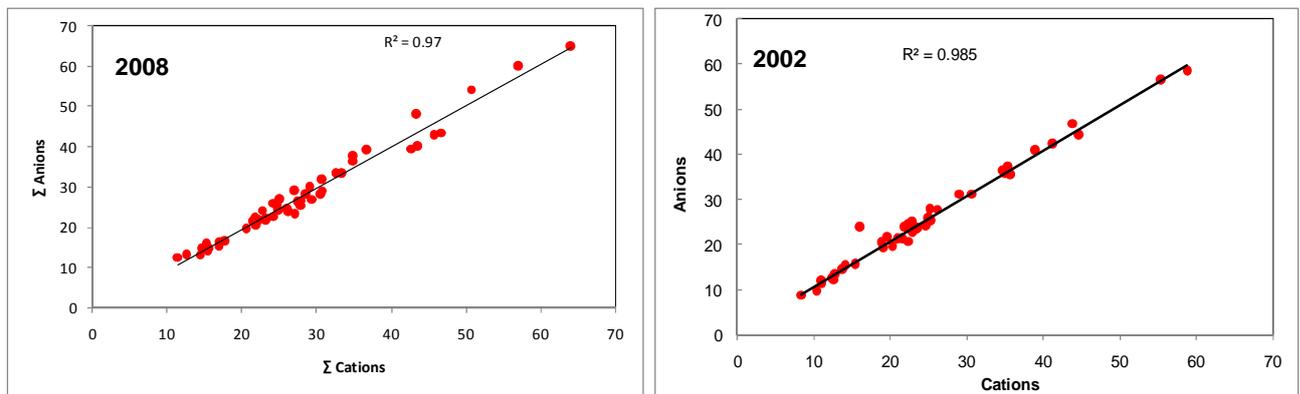


Figure 61 : Corrélation entre la somme des anions et des cations.

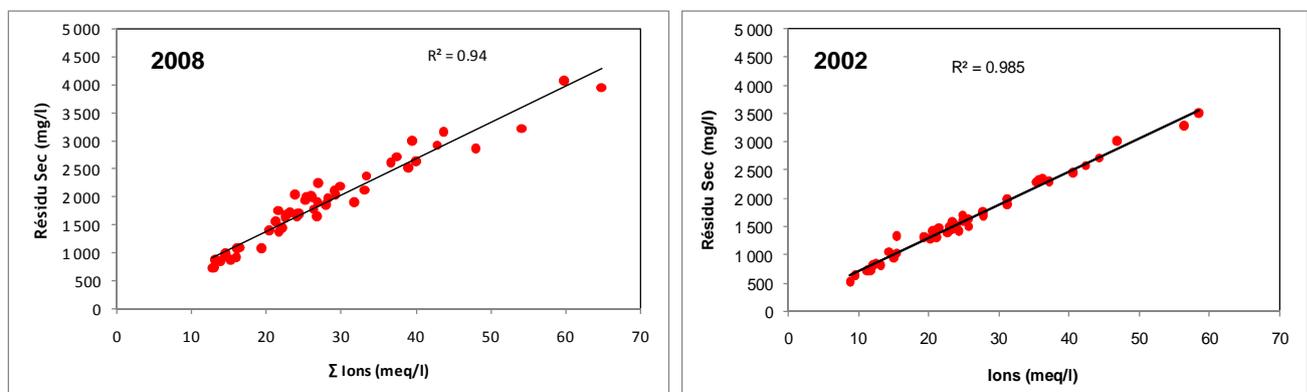


Figure 62 : Corrélation entre la somme des ions et le Résidu sec.

V.3.2. Analyse statistique des données chimiques

V.3.2.1. Analyse statistique

Les tableaux 40 et 41 montrent que les valeurs de l'écart type dans la plupart des cas sont inférieures à celles de la moyenne. L'écart type permet de mesurer la dispersion des valeurs autour de la moyenne. Dans notre cas les valeurs de l'écart type sont inférieures à celles de la moyenne ; ce qui indique que les valeurs des variables ne sont pas très dispersées. Elles mettent ainsi en exergue une certaine homogénéité hydrochimique des eaux échantillonnées dans la nappe de la zone d'étude. Cependant quelques points d'eau pour certains éléments présentent des valeurs maximales exceptionnelles soit le double de la moyenne comme en témoigne le coefficient de variation calculé en 2002 et 2008 pour les ions Mg (cv=52%,65%) ,Na (cv=91%,63%), Cl(cv=70%,65%) et NO₃(cv=70%, 73%).

Tableau 40 : Variation des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines en 2002.

Élément	Période de hautes eaux					Période de basses eaux				
	max	min	moy	écart type	CV	max	min	moy	écart type	CV
Ca ²⁺ (mg/l)	374.4	104.8	212.7	71.4	0.34	516.8	80.0	222.7	108.0	0.48
Mg ²⁺ (mg/l)	158.2	30.2	68.9	36.1	0.52	144.0	21.6	69.3	31.8	0.46
Na ⁺ (mg/l)	600.0	35.0	162.9	148.2	0.91	625.0	30.0	220.3	163.9	0.74
K ⁺ (mg/l)	3.0	0.0	1.7	0.9	0.52	4.0	1.0	2.1	1.0	0.50
Cl ⁻ (mg/l)	1575.0	95.0	460.0	321.7	0.70	1600.0	92.0	507.5	364.6	0.72
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	667.5	38.0	285.6	164.7	0.58	720.0	85.0	331.1	179.6	0.54
H CO ₃ ⁻ (mg/l)	381.3	123.2	249.9	56.6	0.23	504.8	222.7	291.3	67.3	0.23
NO ₃ ⁻ (mg/l)	185.0	0.0	67.3	47.3	0.70	135.0	0.0	46.4	41.8	0.90
R. Sec (mg/l)	3272.0	627.0	1521.4	661.1	0.43	3504.0	518.0	1701.7	723.5	0.43
pH	7.9	7.1	7.5	0.2	0.03	7.9	7.5	7.7	0.1	0.02

Tableau 41 : Variation des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines en 2008.

Élément	Période de hautes eaux					Période de basses eaux				
	max	min	moy	écart type	CV	max	min	moy	écart type	CV
Ca ²⁺ (mg/l)	437.4	53.2	222.5	83.9	0.38	403.0	98.0	222.5	74.0	0.33
Mg ²⁺ (mg/l)	222.2	19.2	79.9	52.0	0.65	193.0	34.0	89.9	39.0	0.43
Na ⁺ (mg/l)	582.0	66.0	244.6	153.7	0.63	495.0	85.0	219.2	117.6	0.54
K ⁺ (mg/l)	40.0	0.0	2.6	8.7	3.33	3.0	1.0	2.2	0.7	0.34
Cl ⁻ (mg/l)	1790.0	140.0	594.5	385.8	0.65	1365.0	140.0	569.9	299.0	0.52
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	567.5	73.0	276.8	160.2	0.58	562.5	61.0	262.5	137.6	0.52
H CO ₃ ⁻ (mg/l)	445.0	180.0	285.1	64.4	0.23	438.0	146.4	306.2	82.1	0.27
NO ₃ ⁻ (mg/l)	190.0	0.0	64.5	46.9	0.73	145.0	21.0	61.9	28.0	0.45
R. Sec (mg/l)	4064.0	723.0	1870.0	876.3	0.47	3230.0	740.0	1953.4	668.2	0.34
pH	8.0	7.1	7.4	0.2	0.03	8.6	7.7	8.2	0.2	0.03

V.3.2.2. Matrice de corrélation

La matrice de corrélation de Pearson a été utilisée pour trouver des relations entre deux ou plusieurs éléments. L'analyse de la matrice de corrélation (tableau 42 et 43) permet de retenir les éléments corrélés deux à deux avec un coefficient de corrélation (r) significatif. On remarque que le R.sec est bien corrélé au calcium ($R= 0,78$), au magnésium ($R= 0,75$), au sodium ($R= 0,85$), aux chlorures ($R= 0,94$) et aux sulfates ($R= 0,69$), en 2002. On note une légère augmentation de coefficients de corrélation en 2008 pour les ions calcium et magnésium. Ces relations (fig. 63 et 64) identifient clairement les principaux éléments qui contribuent à la salinité des eaux souterraines et leur tendance à suivre une évolution similaire (par exemple, en raison de la concentration par évaporation). Ces concentrations d'éléments ont tendance à augmenter à mesure que la salinité des eaux souterraines augmente.

La salinisation des eaux souterraines peut être le résultat de l'augmentation des concentrations ioniques ainsi que l'évaporation de la recharge de l'eau et les effets de l'interaction entre l'eau souterraine et les formations géologiques.

Tableau 42 : Matrice de corrélation entre les variables en 2002.

Variables	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	R.Sec
Ca ²⁺	1							
Mg ²⁺	0.79	1						
Na ⁺ +K ⁺	0.33	0.43	1					
Cl ⁻	0.77	0.76	0.80	1				
SO ₄ ⁻²	0.38	0.57	0.61	0.46	1			
HCO ₃ ⁻	0.17	0.10	0.24	0.13	0.14	1		
NO ₃ ⁻	0.04	-0.06	-0.32	-0.16	-0.40	-0.09	1	
R.Sec	0.75	0.78	0.85	0.94	0.69	0.26	-0.20	1

Tableau 43 : Matrice de corrélation entre les variables en 2008.

Variables	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	R.Sec
Ca ²⁺	1							
Mg ²⁺	0,76	1						
Na ⁺ +K ⁺	0,35	0,51	1					
Cl ⁻	0,72	0,81	0,82	1				
SO ₄ ⁻²	0,53	0,59	0,66	0,57	1			
HCO ₃ ⁻	0,10	0,13	0,18	0,05	0,23	1		
NO ₃ ⁻	-0,21	-0,23	-0,24	-0,22	-0,43	-0,34	1	
R.Sec	0,78	0,84	0,79	0,93	0,73	0,18	-0,24	1

Les plus fortes corrélations entre les éléments de signe opposé combinent Cl⁻ et Na⁺ ($r=0,80$ en 2002 ; $0,82$ en 2008), Cl⁻ et Mg²⁺ ($r=0,76$ en 2002 ; $0,81$ en 2008), et Cl⁻ et Ca²⁺ ($r=0,77$ en 2002 ; $0,72$ en 2008).

La relation Na⁺ - Cl⁻ suggère la dissolution de la halite dans l'eau, qui provoque la libération des concentrations égales de sodium et de chlorure dans la solution :



Les fortes relations Cl⁻ - Mg²⁺ et Cl⁻ - Ca²⁺ suggère que l'échange de cations peut également influencer considérablement sur la composition des eaux souterraines.

Les corrélations positives et significatives entre sulfate et calcium ($r= 0,53$ en 2008), le sulfate et sodium ($r= 0,61$ en 2002 ; $0,66$ en 2008), et de sulfate et magnésium ($r= 0,57$ en 2002 ; $0,59$ en

2008) indiquent les contributions des sels évaporitiques. Ceci laisse penser que ces éléments peuvent avoir une origine commune.

Le gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) est une évaporite important présente dans la plaine du Haut Cheliff. La réaction de dissolution de gypse et libère des ions sulfate et calcium :



D'autres corrélations moins significatives entre le Résidu sec et les bicarbonates ainsi que les nitrates permettent de dire que la salinité de l'eau est beaucoup plus due aux formations salifères telles que le gypse.

Toutefois, l'activité humaine liée à l'agriculture peut aussi contribuer à ces éléments. Dans la plaine étudiée, les agriculteurs utilisent largement des engrais à base de sulfate de potassium, sulfate d'ammonium et d'ammonium sulfo-phosphate (Debieche, 2002 ; Gouaidia et al., 2011).

D'autres associations entre les ions sont plus interprétées en termes de processus et de l'origine de la minéralisation des eaux souterraines et de son évolution.

Les nitrates sont à un degré moindre corrélés avec tous les éléments chimiques.

On constate également que le calcium est bien corrélé avec le magnésium ($r = 0,79$ en 2002 ; $0,76$ en 2008) ; ce qui témoigne probablement d'une même origine liée à la nature du réservoir et aux phénomènes d'échange de bases.

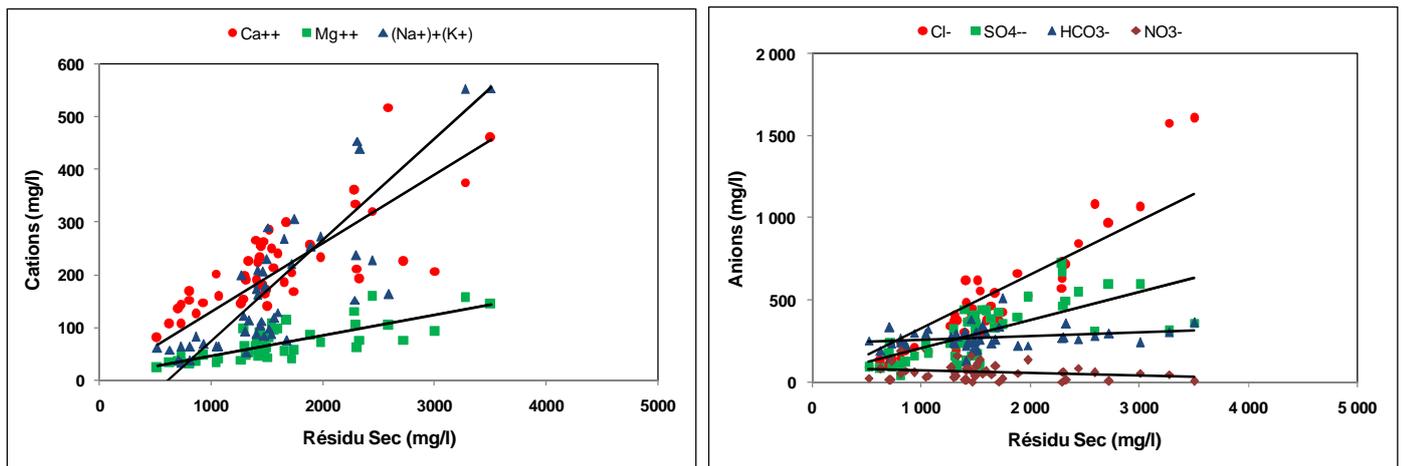


Figure 63 : Évolution des cations et des anions en fonction du résidu sec en 2002.

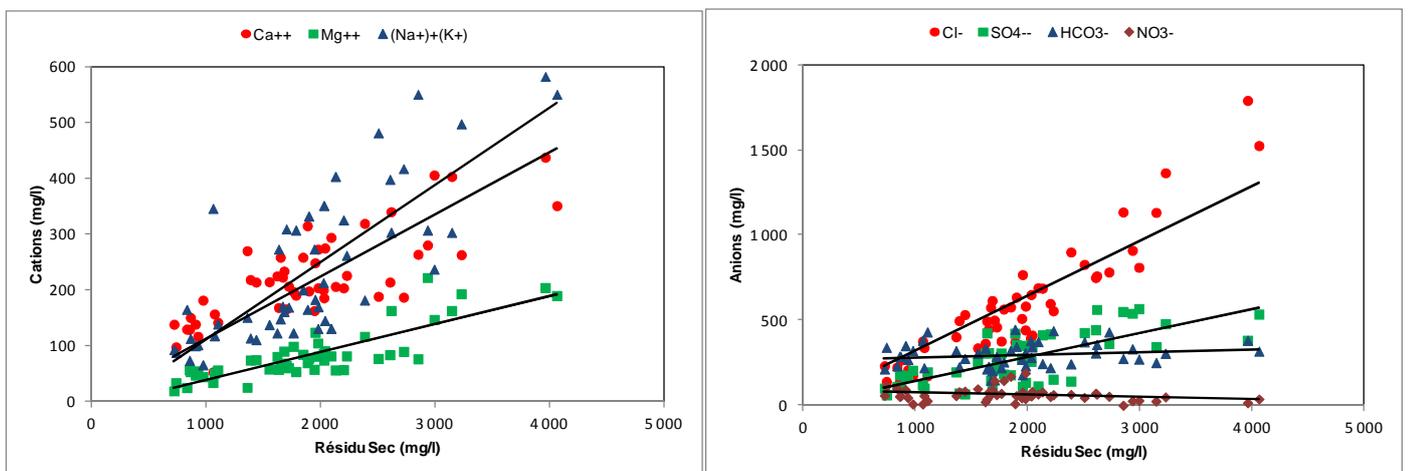


Figure 64 : Évolution des cations et des anions en fonction du résidu sec en 2008.

V.3.3. Distribution spatiale des principaux éléments et du Résidu sec

Afin de montrer la répartition spatiale des éléments chimiques, on a procédé à l'établissement des cartes des éléments chimiques. La répartition des concentrations dépend de plusieurs facteurs tels que la lithologie, l'état hydrodynamique de la nappe (les profondeurs de la surface piézométrique), les conditions climatiques (une température élevée provoque l'évaporation et les précipitations engendrent le lessivage et la dissolution des roches) et les sources de pollution urbains et/ou agricoles (Ghebouli et al, 2008).

Le travail de cartographie portera sur les éléments chimiques dominants caractérisant les faciès chimiques ainsi que les nitrates qui présentent une influence sur la qualité des eaux et qui montrent une évolution significative durant les deux années 2002 et 2008.

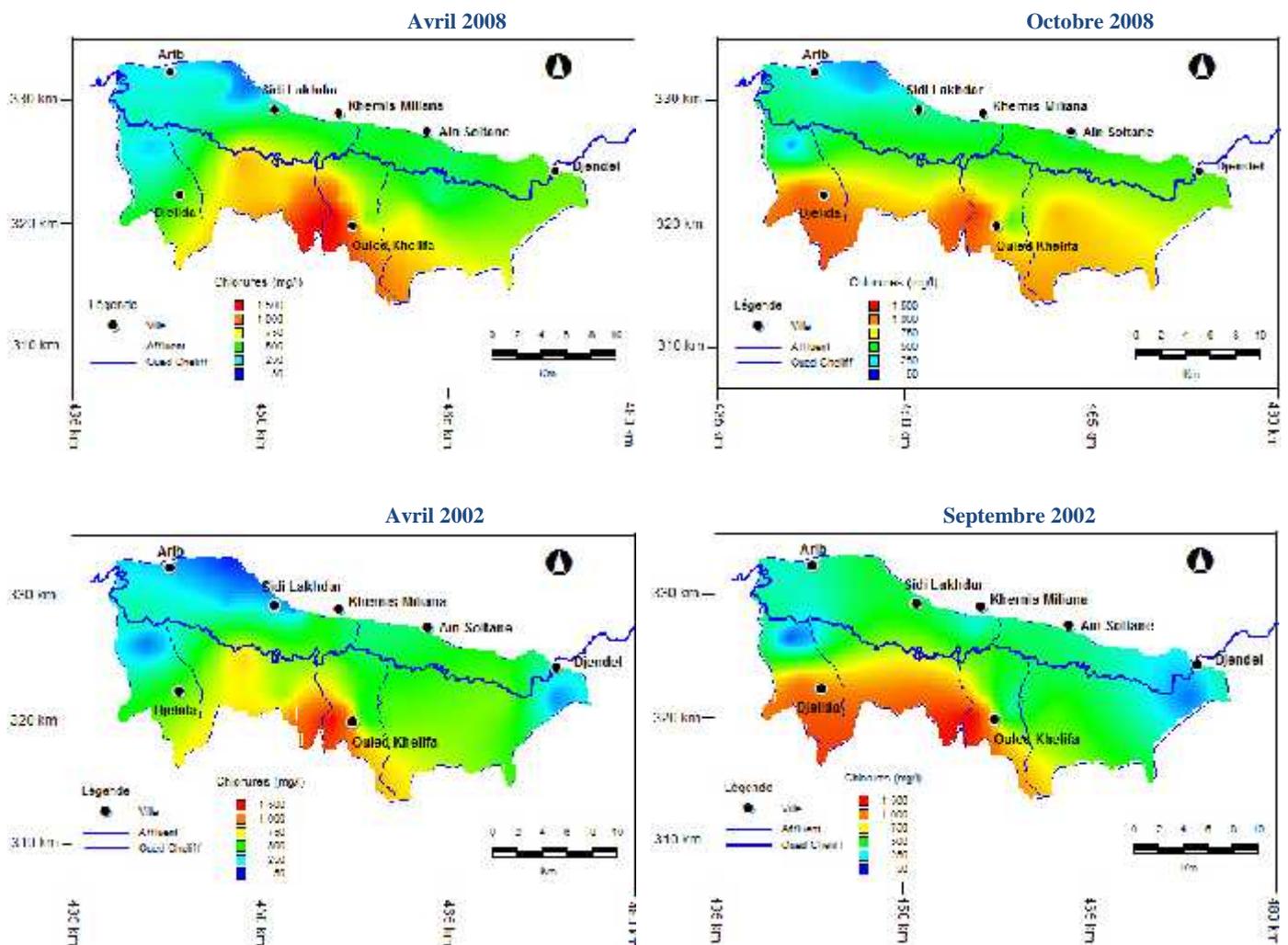


Figure 65 : Carte de chlorures, périodes de hautes et de basses eaux 2002 et 2008 (mg/l).

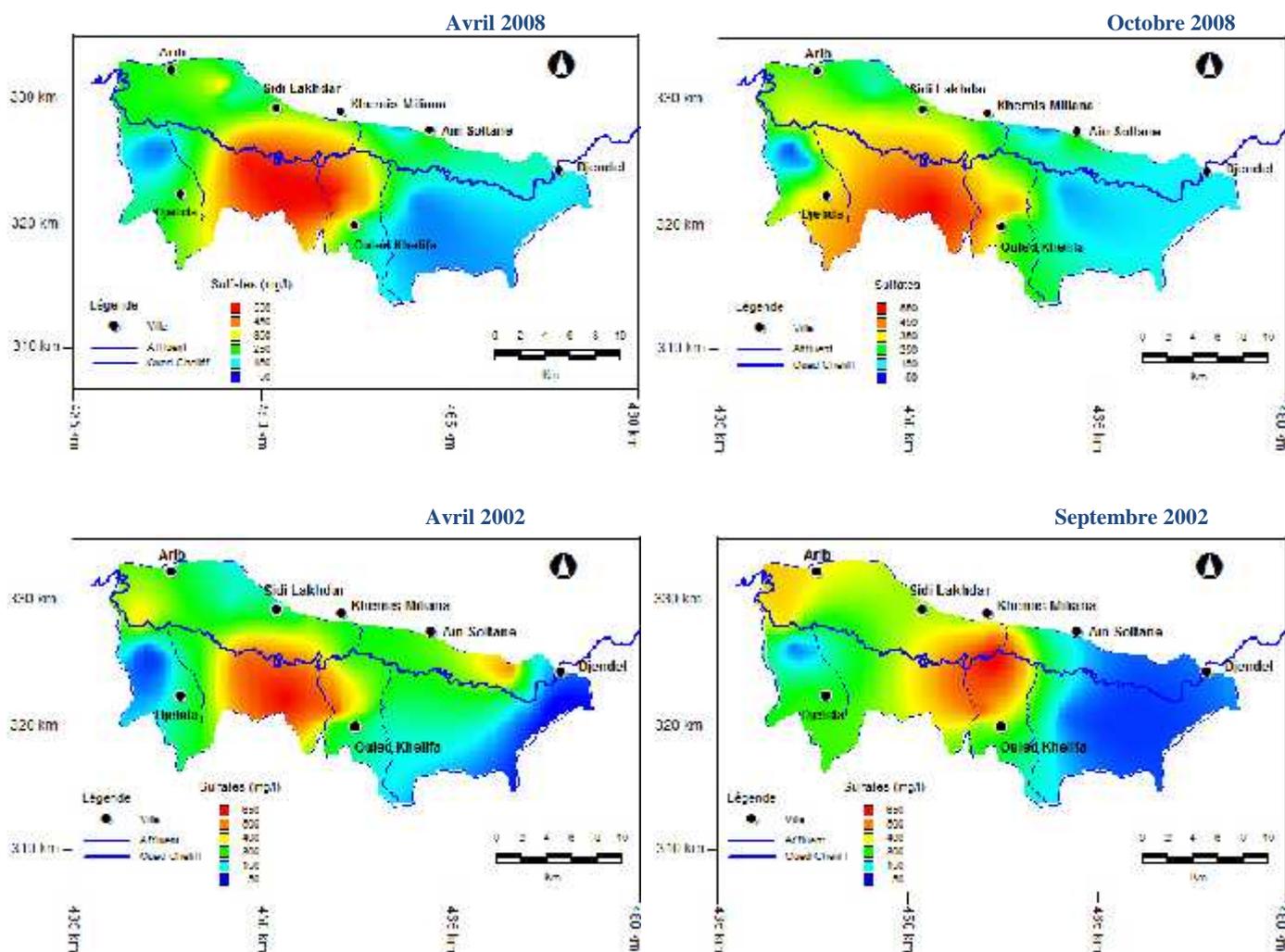
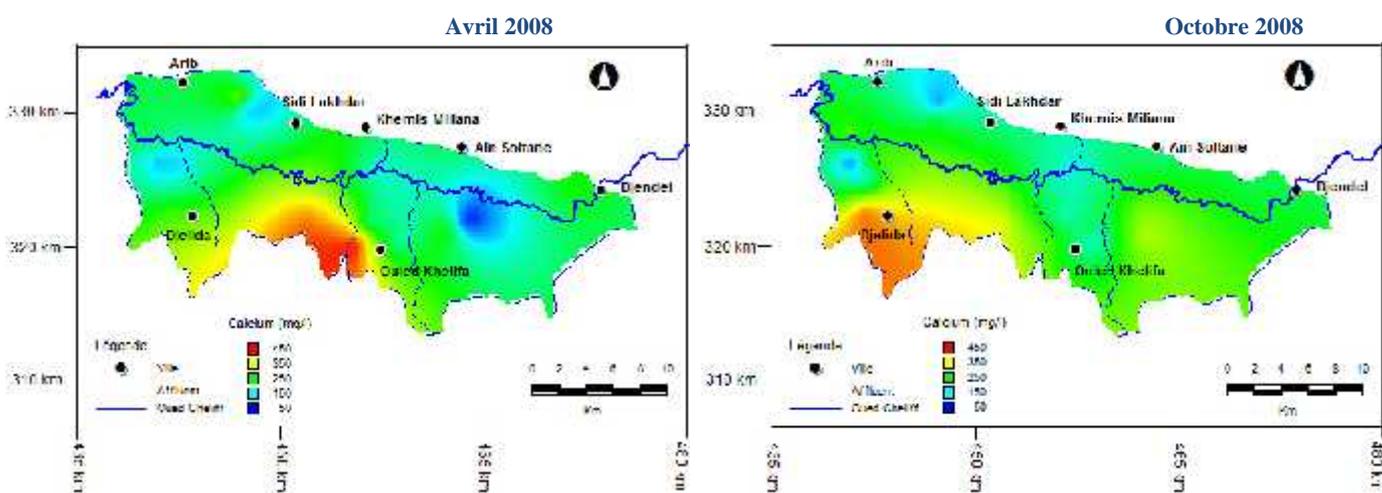


Figure 66 : Carte de sulfates, périodes de hautes et de basses eaux 2002 et 2008 (mg/l).



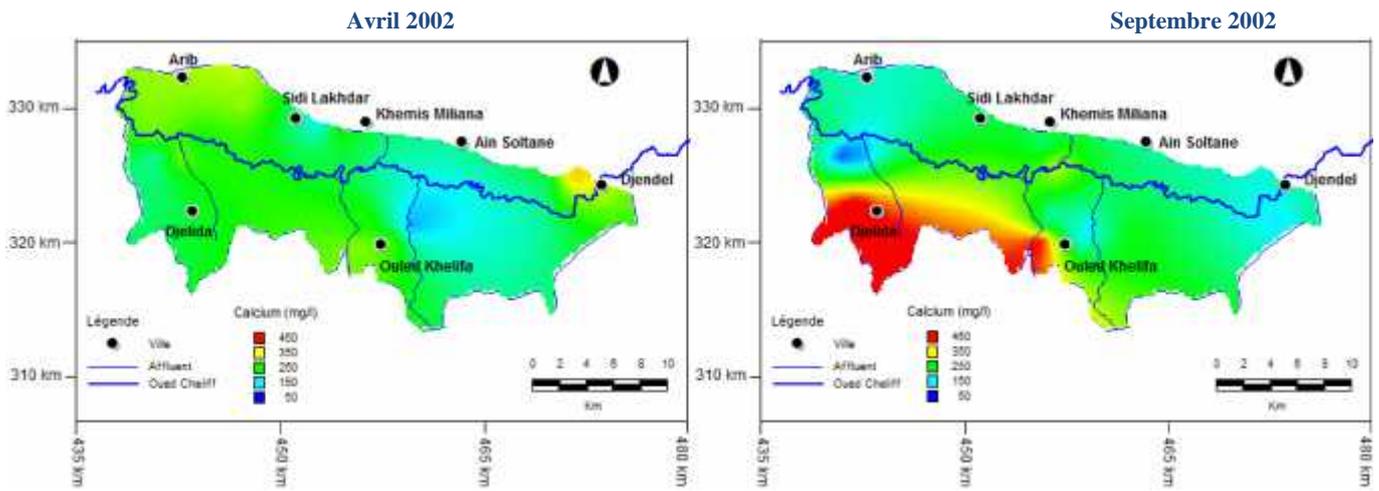


Figure 67 : Carte du calcium, périodes de hautes et de basses eaux 2002 et 2008 (mg/l).

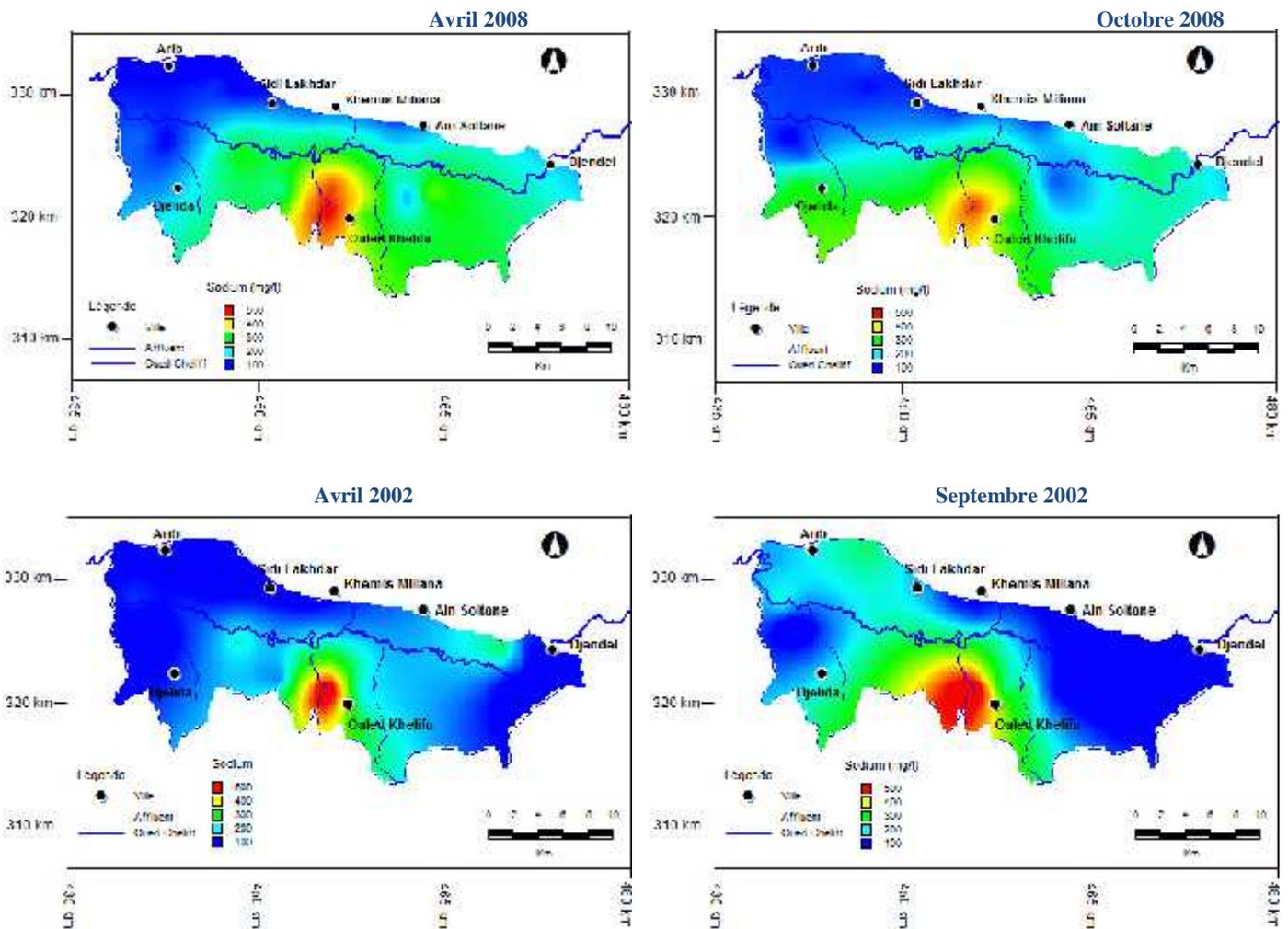


Figure 68 : Carte de sodium, périodes de hautes et de basses eaux 2008 (mg/l)

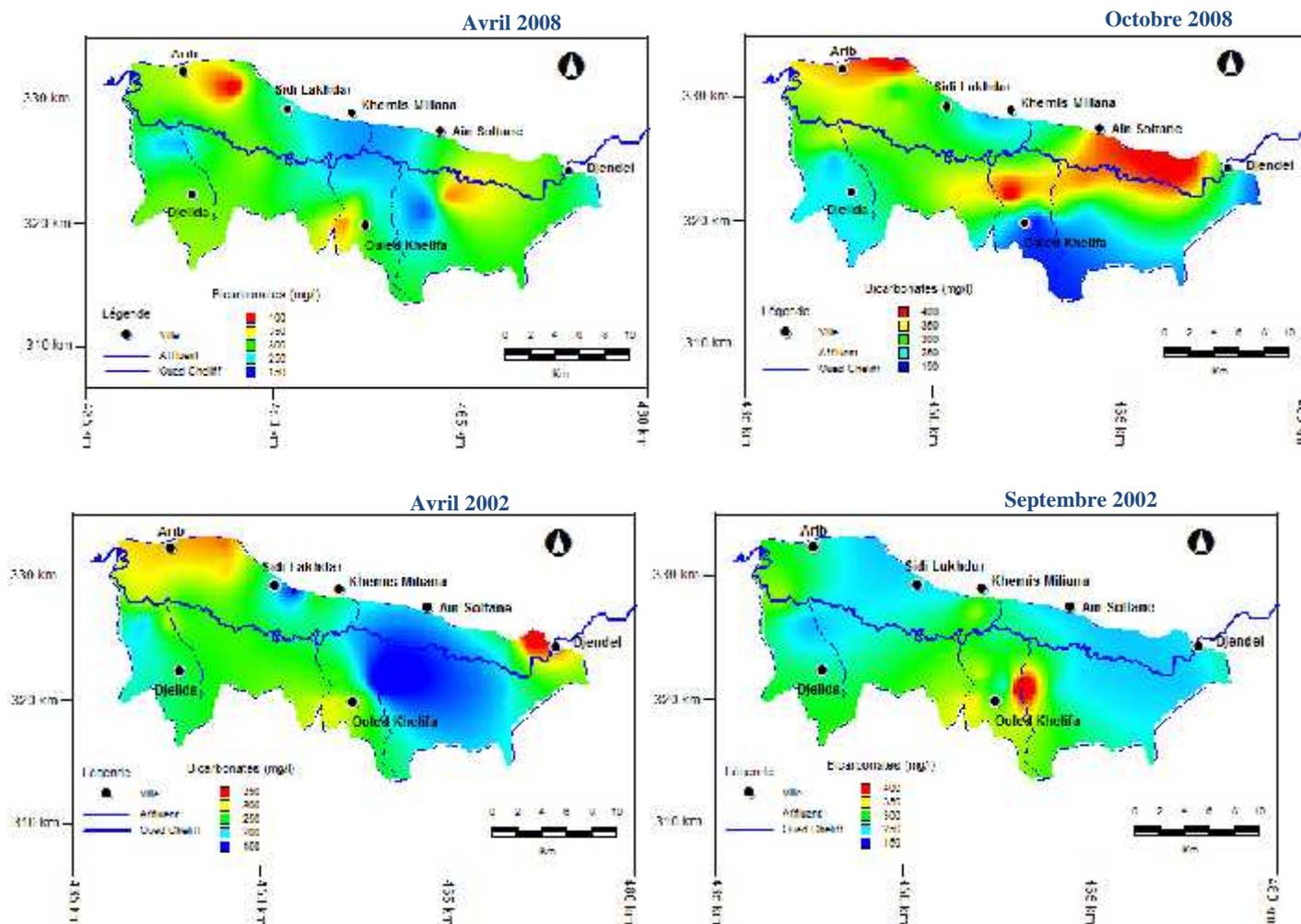
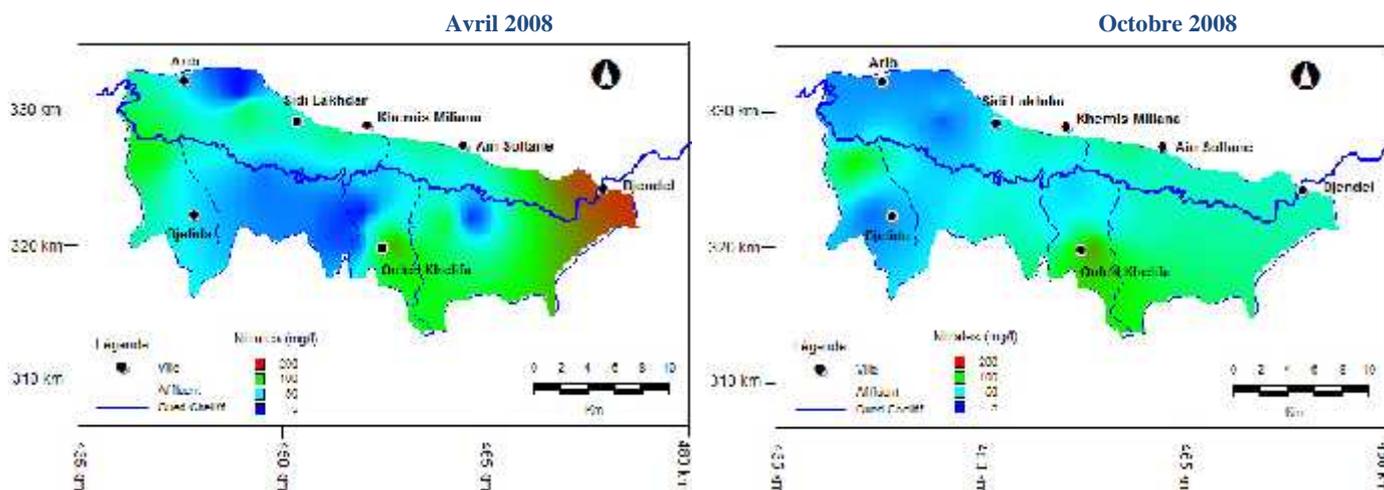


Figure 69 : Carte de bicarbonates, périodes de hautes et de basses eaux 2002 et 2008 (mg/l).



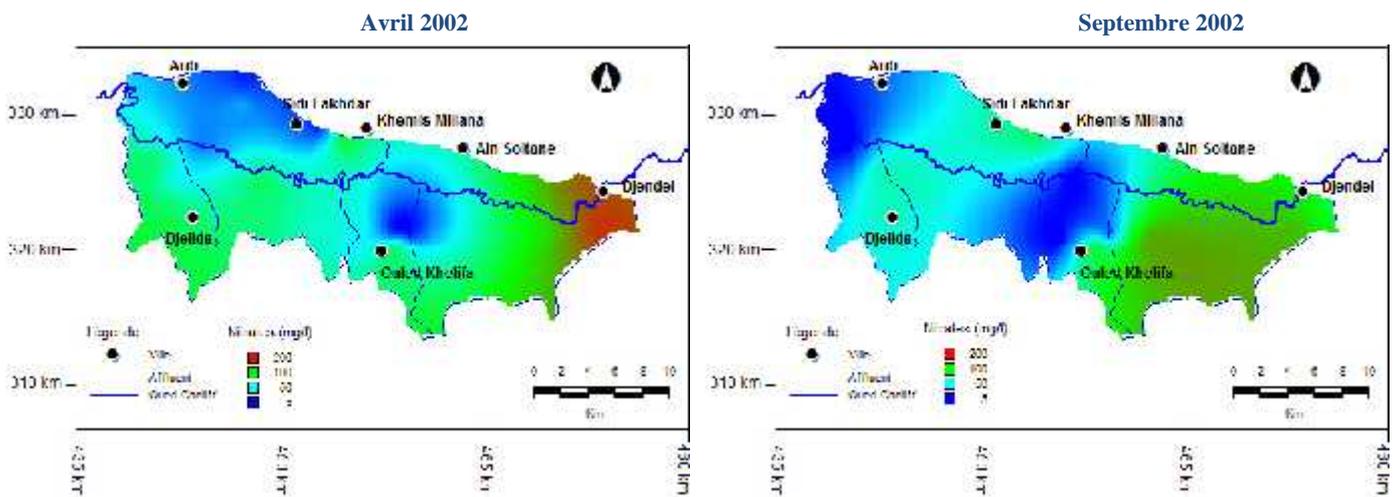


Figure 70 : Carte de nitrates, périodes de hautes et de basses eaux 2002 et 2008 (mg/l).

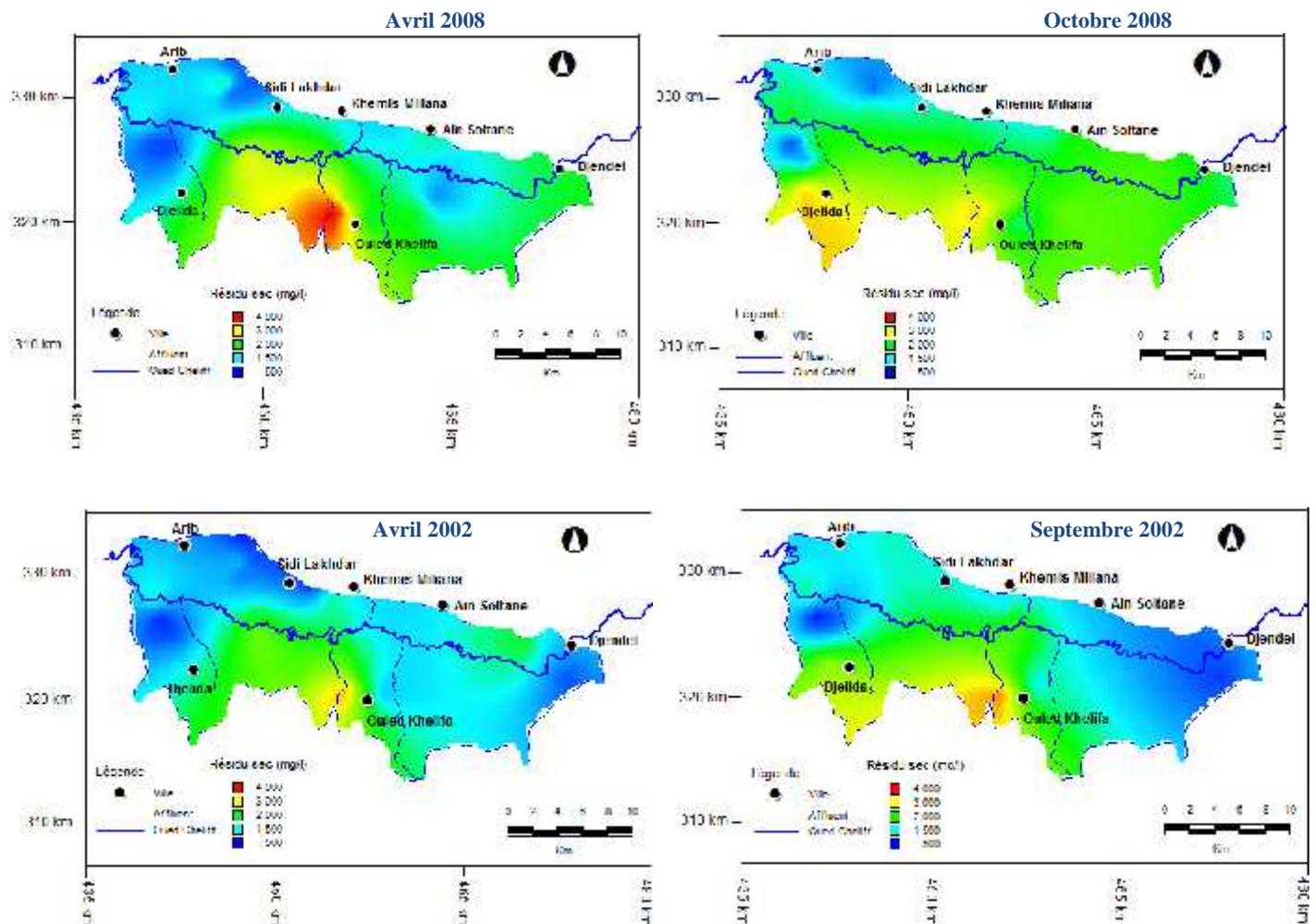


Figure 71 : Carte du Résidu sec, périodes de hautes et de basses eaux 2002 et 2008 (mg/l)

Les figures 65, 66, 67, et 68 montrent que les éléments Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} et Na^+ présentent relativement la même répartition spatiale. Les plus fortes concentrations de ces éléments sont observées au sud de la plaine, sur la rive gauche de l'oued Cheliff, près des villes de Djendel, Bir Ouled Khelifa et Djelida. En effet, le déversement d'eaux usées domestiques des agglomérations

qui se situent dans la plaine (17 points de rejets) et qui est estimé à 15 000 m³/j environ, sans qu'elles soient traitées préalablement, nuit à la qualité des eaux souterraines. La localisation de fortes concentrations peut être liée en quelque sorte à ces déversements. Ceci sera discuté en détails plus tard.

Les concentrations des bicarbonates oscillent entre 123 mg/l et 504 mg/l en 2002 et entre 146 mg/l et 438 mg/l en 2008. Les valeurs maximales sont rencontrées au niveau de Djendel et Ain Soltane au Nord-Est (Djebel Gantas) et dans la zone d'Arib au Nord-Ouest (piémont du massif de Doui) (figure 69). Quelques puits possèdent des concentrations remarquables durant la période de basses eaux, bien qu'ils se situent au centre de la plaine, ceci est probablement dû à l'influence des cailloutis calcaires qui se répartissent sur la plaine ou des calcaires travertins d'âge Quaternaire. Notons que les fortes concentrations sont enregistrées pendant la période de basses eaux par rapport à celles de la période de hautes eaux.

La distribution des nitrates est très différente (figure 70). Les plus fortes concentrations se trouvent à l'Est, près de Djendel, au Sud près de Bir Ouled Khelifa, au Nord à Sidi Lakhdar et à l'Ouest au niveau de djelida. Ces très fortes teneurs sont dues à l'activité des vergers occupant une grande partie de la superficie qui bénéficient de l'apport abusif d'engrais, pesticides et fumiers ainsi que les rejets de collectivités. (Bettaher et al., 2009)

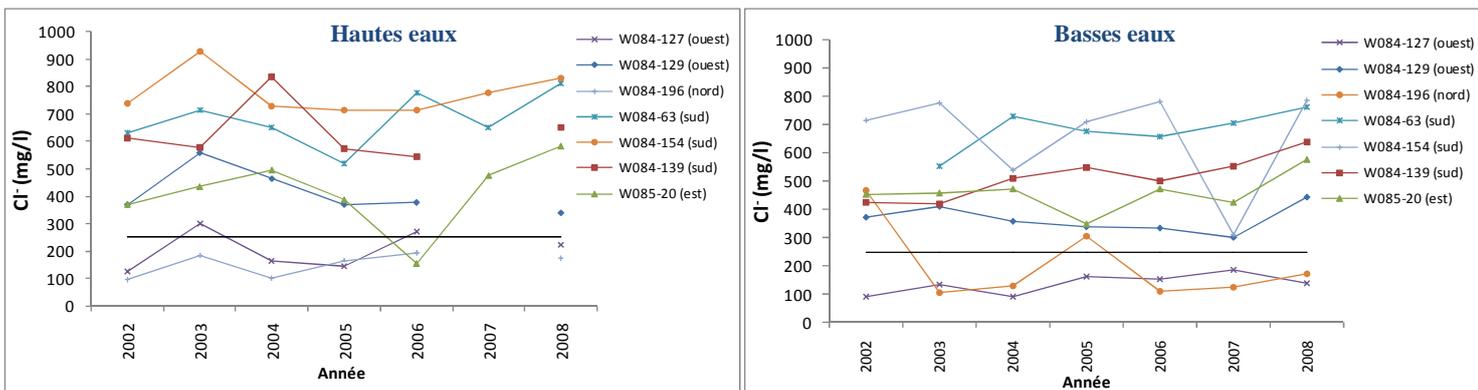
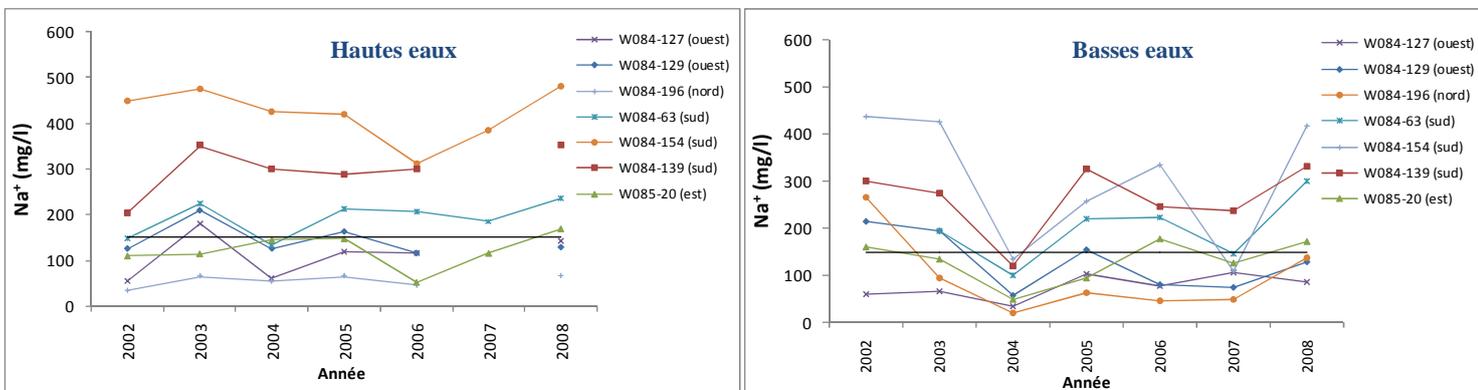
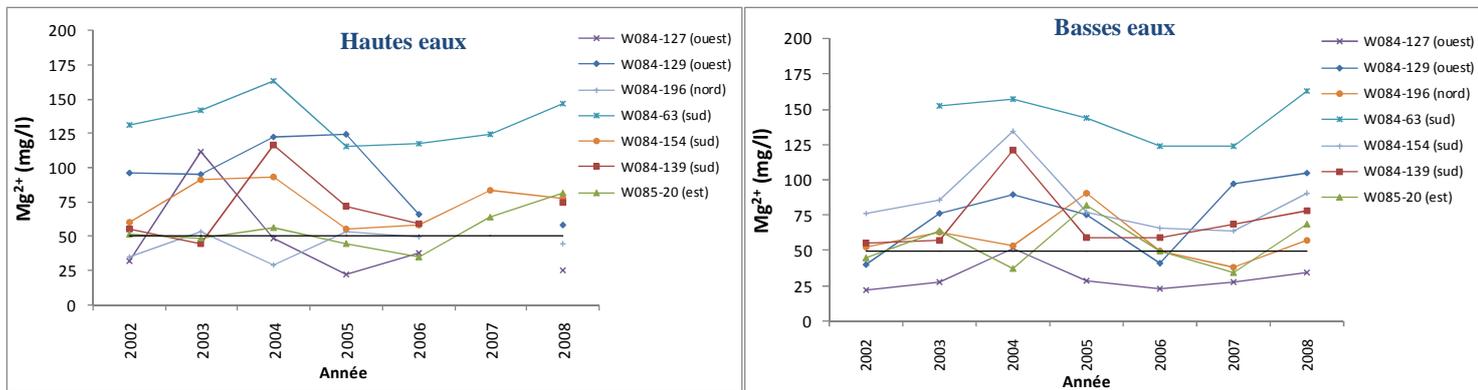
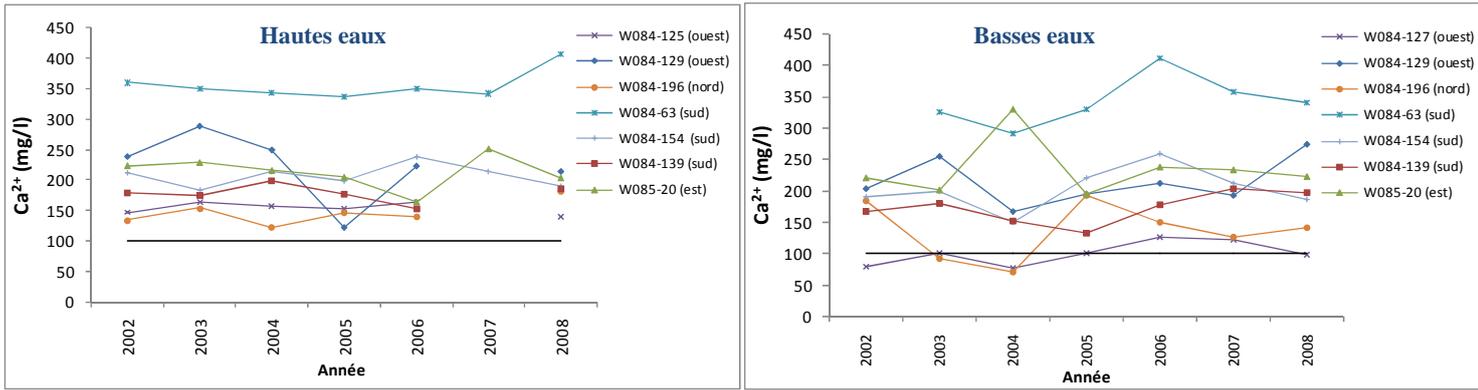
La répartition spatiale du Résidu sec durant les deux années d'étude est représentée dans la figure 71. Dans la plaine, le Résidu sec varie de 518 à 3500 mg/l en 2002 et de 723 à 4064 mg / l en 2008. Les valeurs élevées sont observées le long de l'oued Cheliff et au Sud avec un maximum enregistré à Bir Ouled Khelifa et Djelida. Les faibles valeurs sont situées dans la région du Nord-Ouest (Arib) en période de basses eaux. La répartition spatiale du Résidu sec est tout à fait similaire à celle du chlorure, sulfate, sodium et calcium. Cela confirme l'hypothèse que ces derniers sont les principaux éléments responsables de la salinité des eaux souterraines.

V.3.4. Évolution temporelle des principaux éléments et du résidu sec durant la période 2002 à 2008

Les figures 72, 73, 74, 75, 76, 77 et 78 montrent l'évolution temporelle des éléments Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻ et du Résidu sec durant la période 2002 à 2008 ont la même évolution temporelle. Autant en hautes eaux qu'en basses eaux, on note une relative stabilité des teneurs en ces éléments sur les 7 ans, sans une tendance marquée à une baisse ou une augmentation des teneurs. L'année 2004 est cependant marquée, d'une part, par une hausse sensible de la teneur en Ca²⁺ et Mg²⁺ sur certains points d'eau, localisés au Sud et à l'Est de l'aquifère. Cette hausse est accompagnée par une baisse des teneurs en Na⁺ pour les mêmes points d'eau, cela peut être dû au phénomène d'échange d'ions entre l'eau souterraine et l'encaissant (ce point sera examiné ci-dessous), à la diminution des apports météoriques durant cette année et à l'évaporation qui augmente la concentration des ions dissous.

Les HCO₃⁻ restent stables entre 2002 à 2008 en hautes eaux, alors qu'en basses eaux, on note une forte variabilité interannuelle, probablement liée aux conditions de recharge.

Les teneurs de ces éléments sont en général au dessus des normes admissibles en hautes et basses eaux.



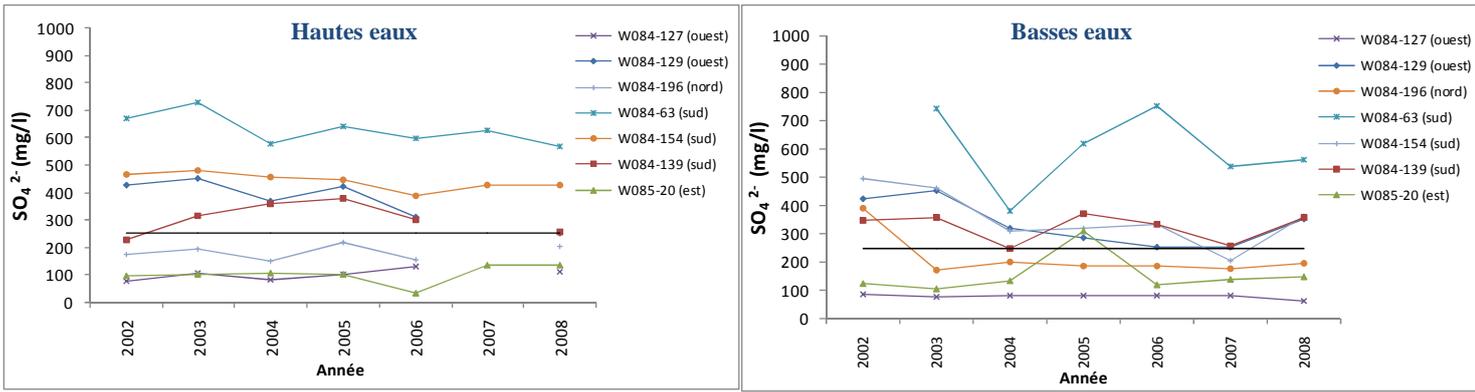


Figure 76 : Évolution des Sulfates durant la période 2002 à 2008.

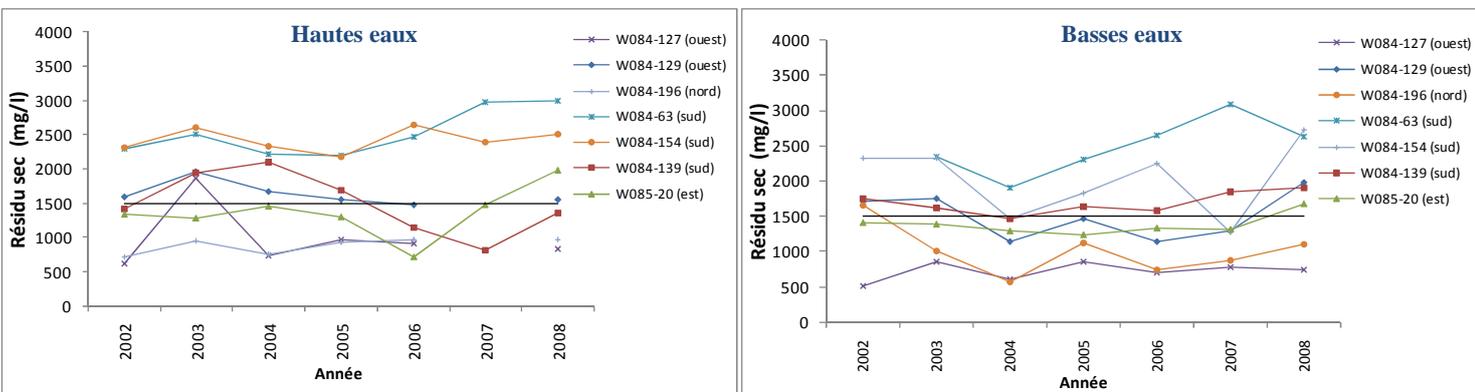


Figure 77 : Évolution des résidus secs durant la période 2002 à 2008.

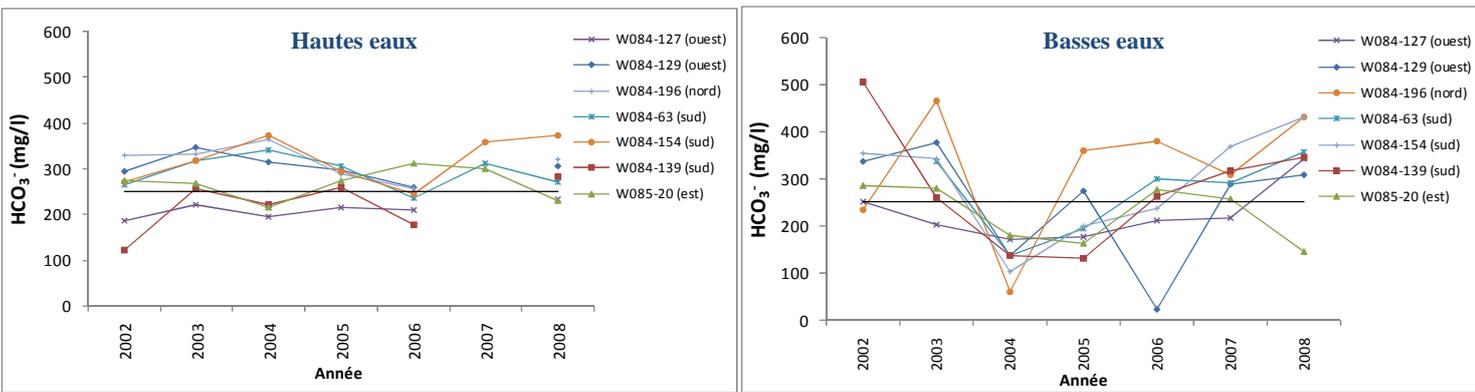


Figure 78 : Évolution des Bicarbonates durant la période 2002 à 2008.

L'interprétation de la figure 79 montre que les ions nitrates évoluent de la même manière pendant toute la période d'observation. Cependant, on peut dire que lors de la campagne de hautes eaux, les teneurs enregistrées sont plus fortes que lors de la campagne de basses eaux. Elles augmentent avec les fortes pluies en avril qui lessivent les terrains agricoles et accroissent les teneurs en nitrates dans la nappe. On signale que la campagne du mois d'avril 2004 a connu l'enregistrement de teneurs maximales (280 en et 260 mg/l aux points d'eau 84-155 et 85-20 respectivement).

On a remarqué que la même répartition des concentrations se répète, avec de faibles variations d'une campagne à une autre, ce qui s'explique par le fait que les agriculteurs ont les mêmes pratiques et parce que les conditions naturelles (la lithologie et les caractéristiques du climat) sont relativement constantes.

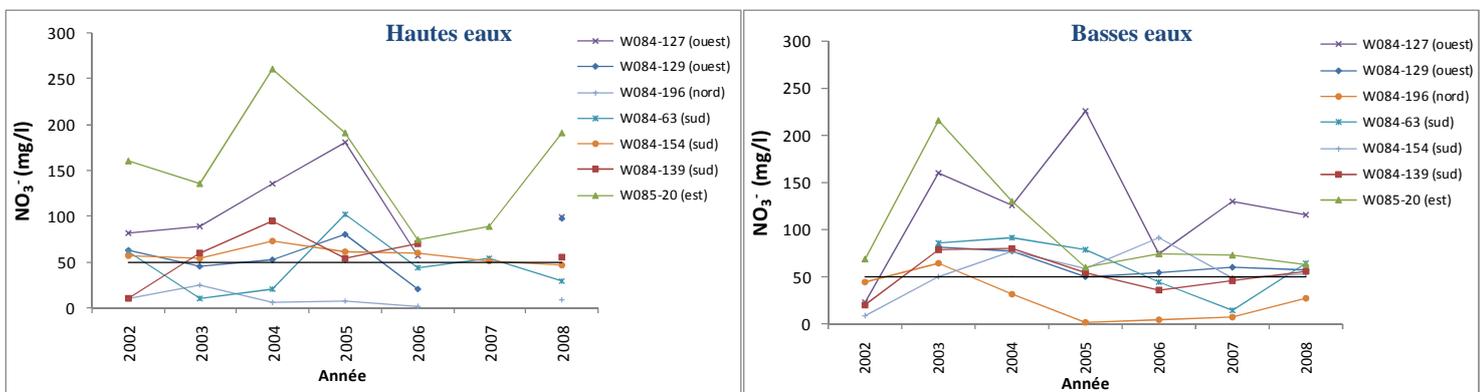


Figure 79 : Évolution des Nitrates durant la période 2002 à 2008.

V.3.5. Analyse en Composantes Principales (ACP)

Une analyse en composantes principales (ACP) a été effectuée sur les données chimiques pour une meilleure compréhension de l'hydrochimie des eaux souterraines. L'Analyse en Composantes Principales est utile pour la réduction et l'interprétation de grands ensembles de données multidimensionnelles avec des structures linéaires sous-jacentes, et pour la découverte de relations insoupçonnées. Des techniques multivariées ont été appliquées dans l'hydrochimie des eaux souterraines par plusieurs auteurs et elles se sont avérées très efficace pour comprendre un certain nombre de processus géochimiques (Dawdy et Feth 1967; Hitchon et al., 1971; Lawrence et Upchurch 1976 ; Ashley et Lloyd 1978; Seyhan et al., 1985; Usunoff et Guzman 1989; Razack et Dazy 1990; Jayakumar et Siraz 1997; Hussein 2004 ; Jayaprakash et al 2008; Abderamane et al 2012; Yitbarek et al 2012).

Le logiciel utilisé pour effectuer l'ACP est XLSTAT (version 7.5.2.). C'est un module complémentaire pour Microsoft Excel pour effectuer une analyse statistique multivariée. La méthode d'extraction utilisée dans cette étude, mise en œuvre dans XLSTAT, est connue sous le nom "méthode en composantes principales" et cherche une solution qui maximise la variance expliquée avec des composantes orthogonales, à savoir, indépendamment les uns des autres. La méthode de rotation orthogonale Varimax (Kaiser, 1958 ; Davis, 2002) a été utilisée pour maximiser la variation de charges de chaque composante. Chaque composante est ensuite expliquée par quelques variables.

V.3.5.1. L'ACP globale

Ces derniers temps, les méthodes multivariées ont été largement utilisées pour étudier les sources de variation de la chimie des eaux souterraines. L'analyse factorielle, comme un outil statistique multivarié, réduit le nombre dans un ensemble de variables qui représentent la géochimie sans pour autant sacrifier l'information originelle des données volumineuses (Achour, 1998). Dans cette étude, une analyse en composantes principales (ACP) a été effectuée pour une meilleure compréhension de l'hydrochimie des eaux souterraines. Les principes de cette méthode ont été présentés précédemment. Les données sont constituées de 8 variables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^- et le Résidu sec) analysés sur les 46 échantillons en 2002 et les 49 échantillons en 2008 (échantillons prélevés au cours de deux campagnes hautes et basses eaux).

V.3.5.2. Analyse de l'espace des variables et des individus

Les résultats des corrélations et des contributions des variables et le pourcentage cumulé de la variance des deux axes retenus après la réalisation de la rotation (Varimax) sont récapitulés dans les tableaux 44 et 45.

Le premier axe F1 représente 50,17% de la variance de l'ensemble de données en 2002, ce pourcentage ne varie pas beaucoup en 2008, il représente 54,9%. F1 est interprétée comme se rapportant principalement à la minéralisation de l'eau souterraine en tant qu'il est associé aux ions Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ et R.sec. Il oppose donc les eaux minéralisées aux eaux faiblement chargées.

L'axe F2 exprime 21,79 de la variance des données en 2002 et 19.19 % en 2008. Il s'oppose à HCO_3^- - NO_3^- . Ces deux éléments ont les plus fortes charges sur ce facteur. Il est possible que la pollution de la nappe phréatique puisse être liée à l'axe F2, compte tenu de son association avec le NO_3^- . (fig. 80)

Tableau 44 : Représentativité des axes factoriels.

Année		Axe Factoriel 1	Axe Factoriel 2
2002	Variabilité (%)	50.17	21.79
	% cumulé	50.17	71.96
2008	Variabilité (%)	54.94	19.19
	% cumulé	54.94	74.13

Tableau 45 : Corrélations entre les variables et les facteurs après rotation Varimax.

variable	2002		2008	
	F1	F2	F1	F2
Ca ²⁺	20.19	1.17	15,09	0,07
Mg ²⁺	19.97	0.02	17,55	0,36
Na ⁺ +K ⁺	9.70	20.84	13,11	3,55
Cl ⁻	21.07	2.39	20,71	0,05
SO ₄ ⁻²	7.17	21.11	11,34	11,94
HCO ₃ ⁻	0.61	5.52	0,006	42,20
NO ₃ ⁻	0.08	41.86	0,71	40,45
R.Sec	21.19	7.12	21,48	1,37

Le plan associé à F1 et F2 représente ainsi 71,9 % et 74,1% de la variance totale en 2002 et 2008 respectivement et est donc tout à fait représentatif de la variabilité des données initiales.

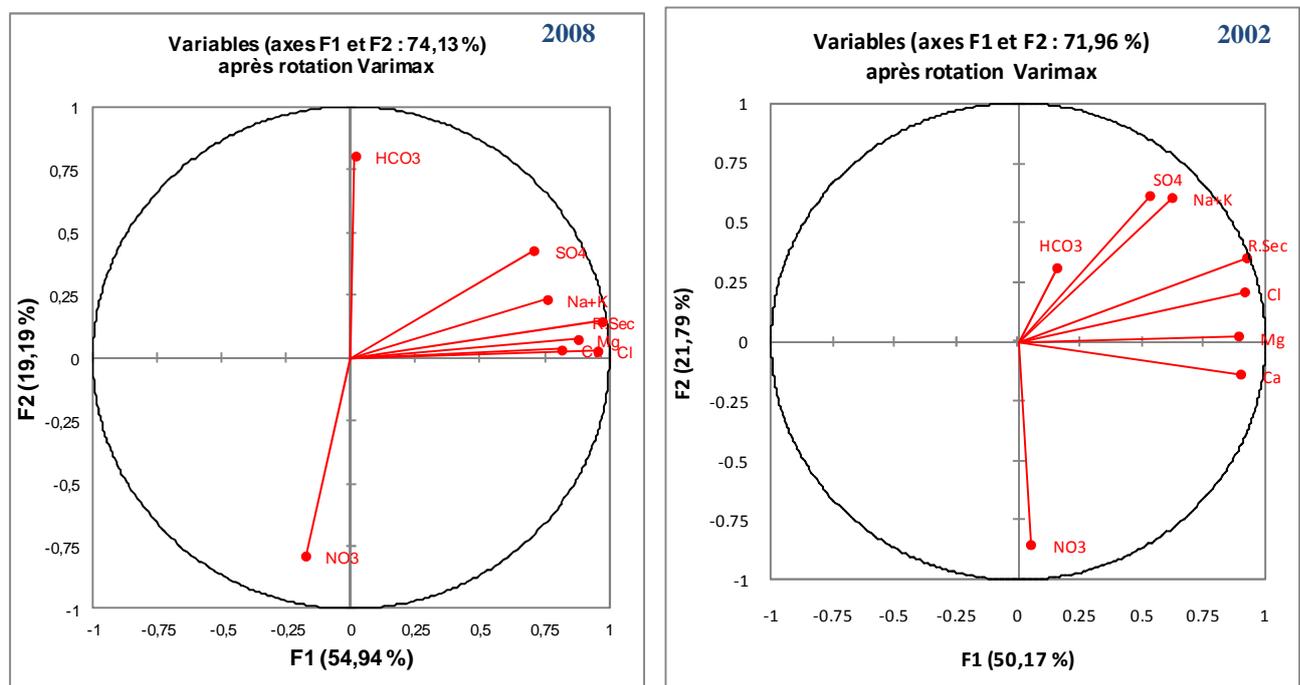


Figure 80 : Projection des variables sur le plan factoriel (F1-F2) en 2002 et 2008.

La projection des individus sur le plan F1-F2 est reportée sur les figures 81 et 82.

- ✓ L'axe F1 montre l'opposition entre les eaux faiblement minéralisées (figure 81A, 82A) se trouvant au Nord-Ouest et à l'Ouest de l'aquifère (aux bordures du massif de Doui et Zaccar en particuliers). Les eaux fortement minéralisées qui se trouvent au Sud de la nappe sur la rive gauche de l'Oued Cheliff et cela pour les deux années 2002 et 2008.

- ✓ L'axe F2 montre également une opposition entre les eaux riches en bicarbonates (figure 81B, 82B) et les eaux faiblement chargées en cet élément. Les premières se localisent sur la rive droite de l'Oued Cheliff au Nord et au Nord-Ouest de la nappe à proximité des bordures des massifs du Zaccar et de Doui. Les secondes se situent au Sud de la nappe.

Les eaux fortement chargées en nitrates se localisent à l'Est et au Sud de la nappe près des agglomérations de Djendel, Bir Ouled Khelifa et Djelida .

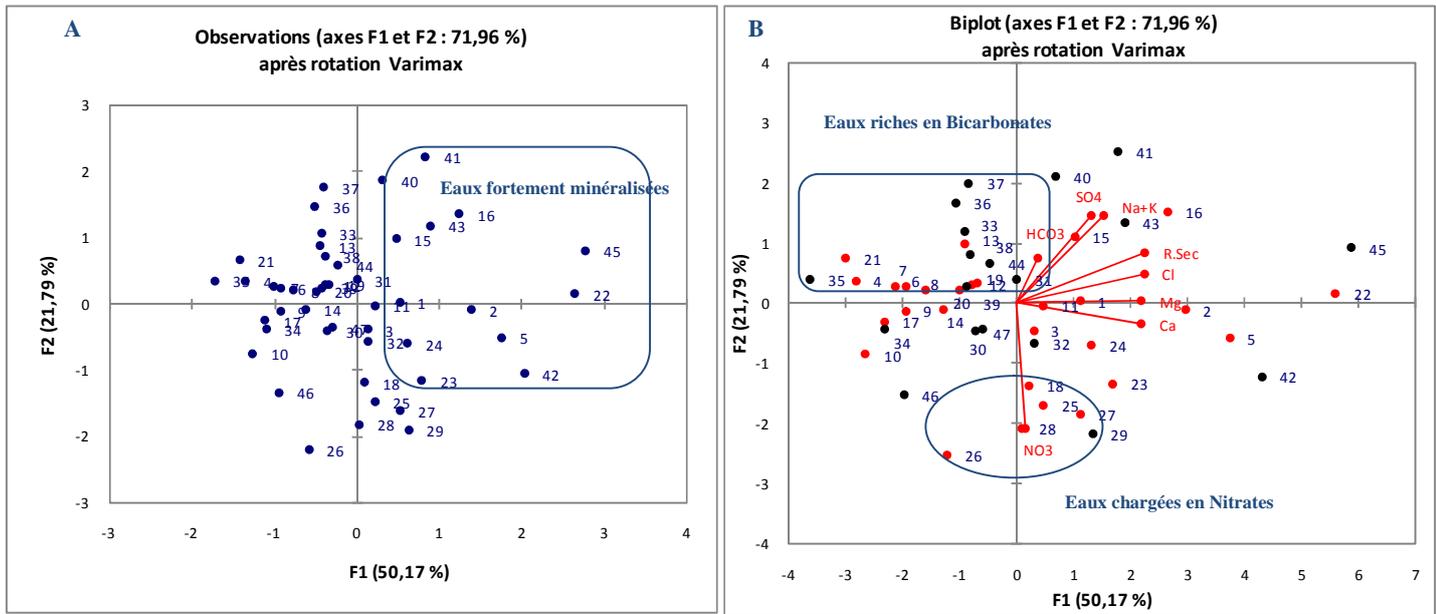


Figure 81 : La projection des individus sur le plan factoriel (F1-F2) en 2002. (point rouge : Haute eaux, point noir : basse eaux)

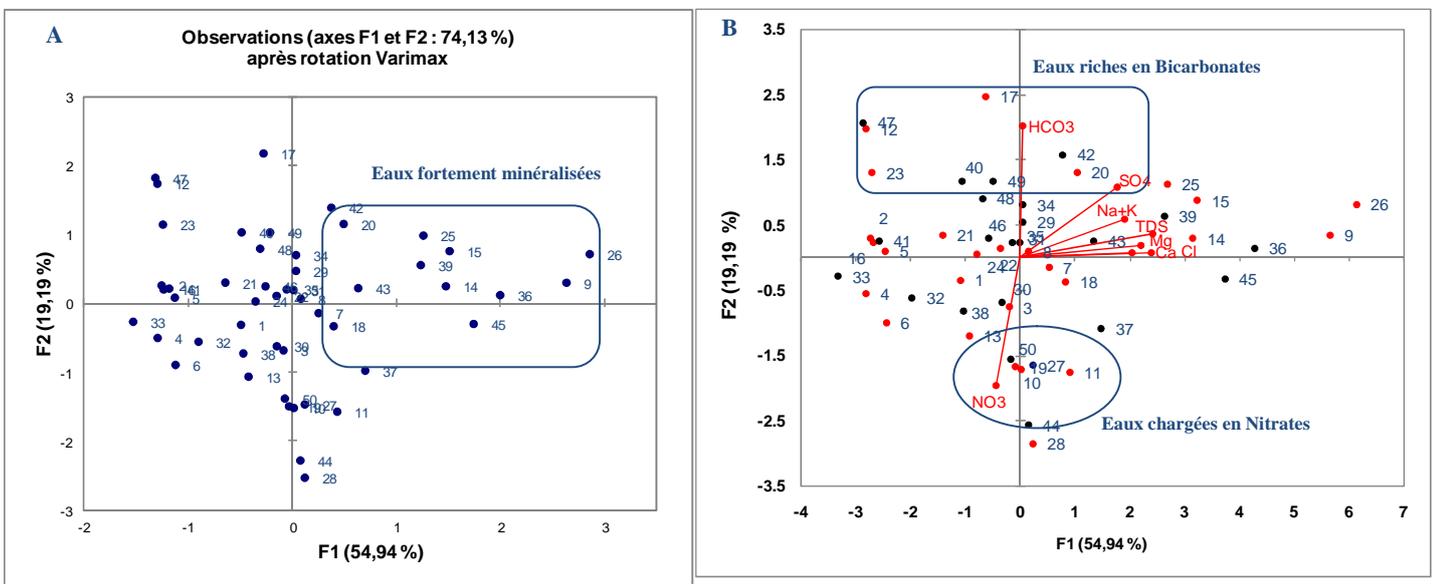


Figure 82 : La projection des individus sur le plan factoriel (F1-F2) en 2008. (Point rouge : Haute eaux, point noir : basse eaux)

V.3.6. Détermination des principaux faciès hydrochimiques

Les faciès hydrochimiques sont fréquemment utilisés en hydrogéologie pour décrire la composition des eaux naturelles. On les détermine par le calcul des quantités en réaction (conversion des concentrations en méq/l), et en tenant compte de la classification des ions (formule ionique) (Djabri, 1996).

Pour identifier correctement les faciès hydrochimiques et pour donner une indication des aspects qualitatifs de l'eau souterraine, la représentation graphique des résultats d'analyse est un outil incontournable. Pour atteindre cet objectif, les données hydrochimiques ont été traitées par le diagramme Piper (Piper, 1944) et la classification de Stabler avec l'utilisation du logiciel Diagrammes (Simler, 2009).

V.3.6.1. Piper

Ce type de diagramme permet de représenter plusieurs échantillons d'eau simultanément. Il est composé de deux triangles, permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique, et d'un losange synthétisant le faciès global (Debieche, 2002 ; Gouaidia, 2008).

Les nuages de points concentrés dans un pôle représentent pour les différents échantillons la combinaison des éléments cationiques et anioniques.

Le diagramme de Piper est particulièrement adapté à l'étude de l'évolution des faciès des eaux lorsque la minéralisation augmente, ou bien pour comparer des groupes d'échantillons entre eux et indiquer les types de cations et anions dominants (Piper, 1944).

L'interprétation des résultats d'analyses hydrochimiques pour les deux périodes d'observation a permis d'avoir une idée sur les faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe alluviale du Haut Cheliff et leur évolution dans le temps, ainsi que sur les conditions naturelles à l'origine de ces faciès.

Le diagramme de Piper pour les deux années 2002 et 2008 durant les période hautes et basses eaux (figures 83, 84, 85 et 86) a permis de représenter sur un même graphique des nombreuses analyses autorisant des regroupements des faciès chimiques. La projection des résultats des analyses chimiques dans ce diagramme fait apparaître clairement que l'ensemble des nuages de points présente une dominance des ions chlorures et nitrates pour les anions , alors que l'ion calcium est le cation qui marque la majorité des échantillons et est suivi par le cation sodium. Ceci révèle la dominance du faciès chloruré-calcique sur le diagramme global avec une apparition du faciès chloruré-sodique.

Cependant, cette représentation a l'inconvénient d'associer les chlorures avec les nitrates. Cela peut conduire à des interprétations erronées. Pour cela, la classification de Stabler, basée sur les quantités en réaction, est révélée utile en tant que méthode complémentaire du diagramme de Piper.

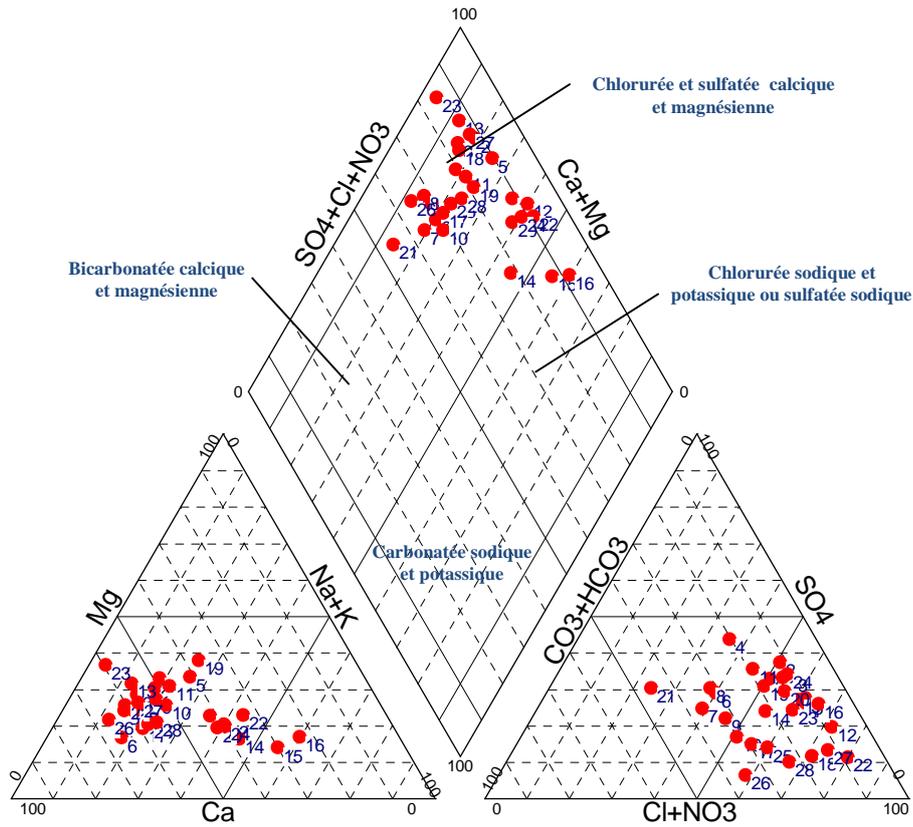


Figure 83 : Diagramme de Piper, campagne avril 2002.

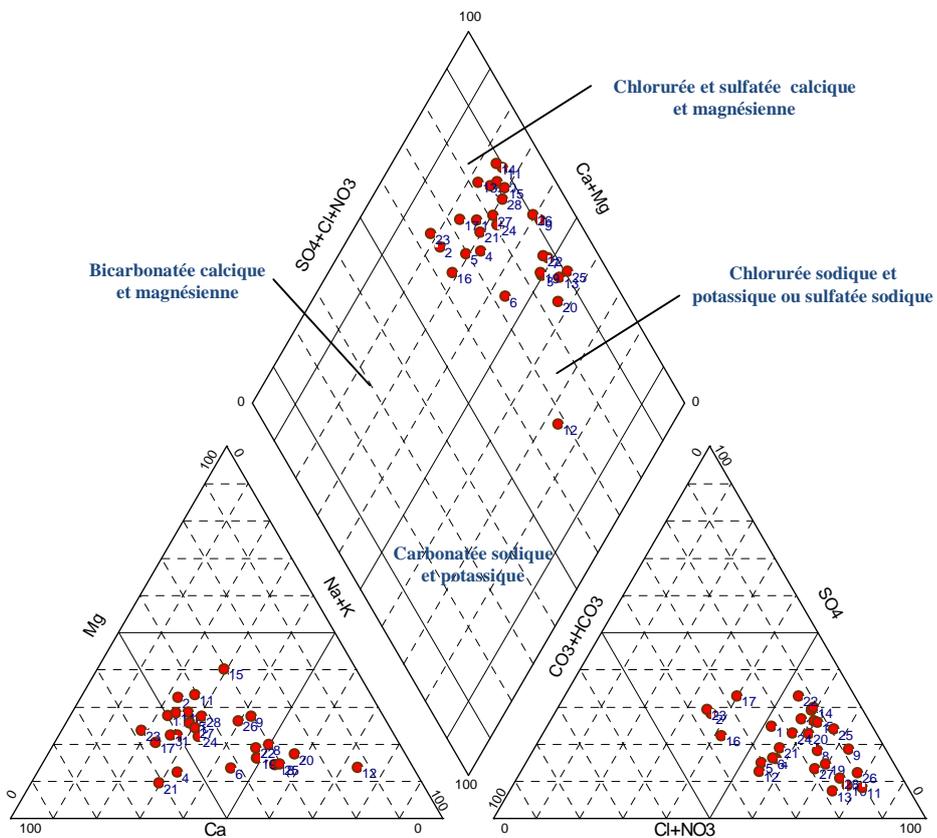


Figure 84 : Diagramme de Piper, campagne avril 2008.

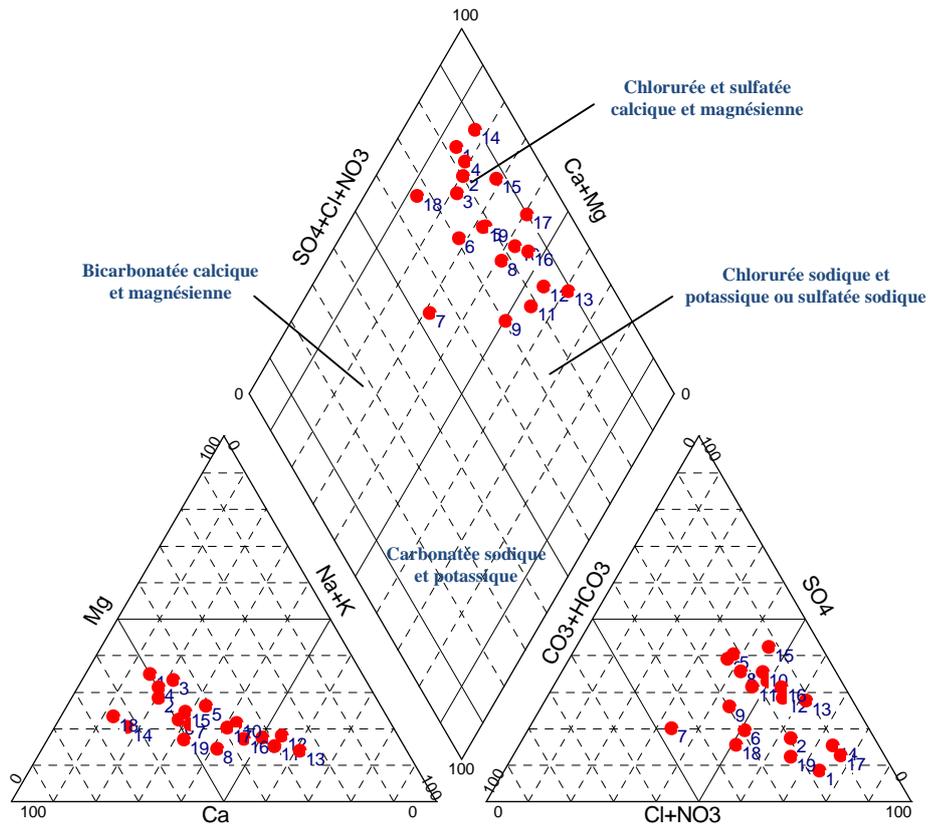


Figure 85 : Diagramme de Piper, campagne Septembre 2002.

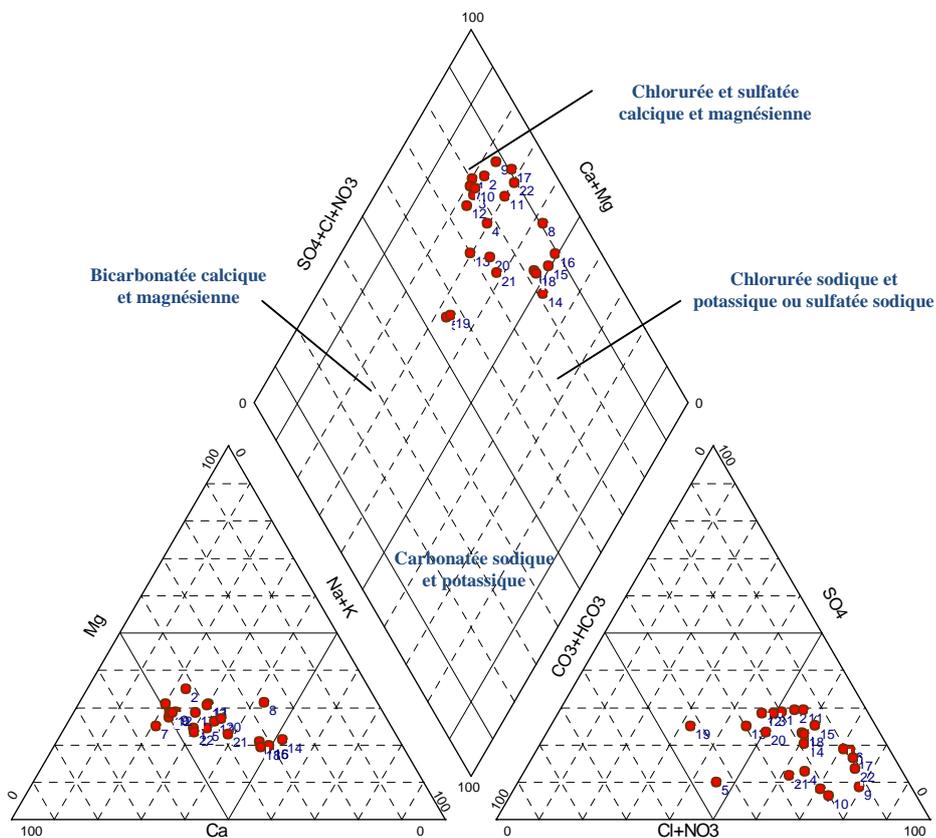


Figure 86 : Diagramme de Piper, campagne octobre 2008.

V.3.6.2. Méthode de Stabler

La classification des eaux consiste à comparer les quantités en réaction des cations et des anions exprimées en pourcentage (%) par rapport à la concentration totale des eaux en utilisant d'une part la formule caractéristique de Stabler (formule 13) et de classer séparément les anions et les cations par ordre décroissant pour déterminer les faciès chimiques et d'autre part la représentation graphique de ces éléments sur le logiciel diagrammes (Simler 2009).

$$r\% = (r/c) * 100 \quad (13)$$

Avec :

r : quantité en réaction de l'ion considéré en méq/l ;

c : concentration totale en méq/l.

L'examen du tableau 46 montre que les faciès chimiques les plus répandus pour l'année 2002, sont du type chloruré calcique ; 17 échantillons sur 28 soit 61% en périodes de hautes eaux et 08 échantillons sur 19 soit 42% en périodes de basses eaux. Suivi par le faciès chloruré sodique avec 10 échantillons sur 28 soit 36% en hautes eaux et 6 échantillons sur 22 soit 27% en basses eaux. Le faciès bicarbonaté calcique représente 11% (3 échantillons) et 11% (2 échantillons) respectivement en hautes et basses eaux. Enfin on signale la présence d'un faciès chloruré magnésien (4%) durant la campagne de hautes eaux et un faciès sulfaté-calcique (3 % et 10 % durant les campagnes de hautes et basses eaux).

Pour l'année 2008 (tableau 47), on constate que les eaux présentent les mêmes faciès chimiques que l'année 2002 ; Chloruré Calcique ; 14 échantillons sur 28 soit 50% en périodes de hautes eaux et 14 échantillons sur 22 soit 64% en périodes de basses eaux. Secondé par le faciès chloruré sodique avec 06 échantillons sur 28 soit 21% en hautes eaux et 07 échantillons sur 19 soit 37% en basses eaux. Le faciès bicarbonaté calcique représente 11% (3 échantillons) et 9% (2 échantillons) respectivement en hautes et basses eaux. On note la présence d'un faciès chloruré magnésien pour un seul échantillon durant la campagne de hautes eaux.

Le faciès chloruré-calcique est important et le plus dominant et se répand vers l'Est, l'Ouest de la nappe. Il s'explique par la présence des formations alluvionnaires du Mio-Plio-Quaternaire et des marnes gypsifères. Le faciès chloruré-sodique se développe au Sud de la nappe, ceci est dû probablement à la présence des alluvions récents de texture fine. Alors que le faciès bicarbonaté-calcique se localise au Nord-Ouest et tire son origine des formations carbonatées bordant la nappe, suite à la réaction de dissociation :



Tableau 46 : Faciès chimiques des eaux souterraines de l'aquifère du Haut Cheliff en 2002.

Campagnes	Famille des eaux	Faciès chimique	(%)	(%)
Avril 2002	Chloruré	Chloruré calcique	61	169/84
		Chloruré sodique	21	155/84
		Chloruré magnésien	04	182/84
	Sulfaté	Sulfaté calcique	03	73/84
	Bicarbonaté	Bicarbonaté calcique	11	196/84
Septembre 2002	Chloruré	Chloruré calcique	42	169/84
		Chloruré sodique	37	154/84
	Sulfaté	Sulfaté calcique	10	69/84
	Bicarbonaté	Bicarbonaté calcique	11	127/84

Tableau 47 : Faciès chimiques des eaux souterraines de l'aquifère du Haut Cheliff en 2008.

Campagnes	Famille des eaux	Faciès chimique	(%)	(%)
Avril 2008	Chloruré	Chloruré calcique	50	W084-129
		Chloruré sodique	36	W084-154
		Chloruré magnésien	3	W084-80
	Bicarbonaté	Bicarbonaté calcique	11	W084-92
Octobre 2008	Chloruré	Chloruré calcique	64	W084-188
		Chloruré sodique	27	W084-139
	Bicarbonaté	Bicarbonaté calcique	9	W084-127

La réalisation d'une représentation graphique des faciès, qui se base sur les quantités en réaction, est très utile pour la confirmation de la présence de ces faciès caractérisant les eaux souterraines de la nappe. Étant donné la dominance des ions précédents, on a réalisé deux diagrammes (figures 87 et 88) qui utilisent les rapports $\text{Na}^+ / \text{Ca}^{2+} - \text{Cl}^- / \text{HCO}_3^-$ et $\text{Na}^+ / \text{Ca}^{2+} - \text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$. L'interprétation de ces deux diagrammes a montré la concentration des rapports d'ions en 04 pôles indiquant les faciès, déterminés précédemment, qui caractérisent la nappe.

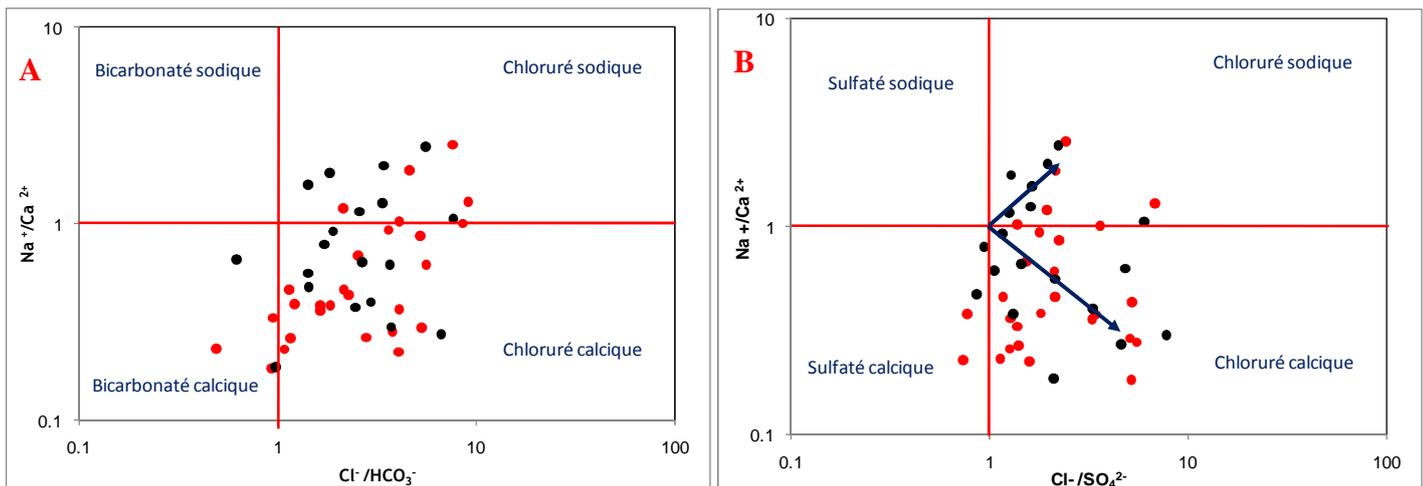


Figure 87 : Distribution des faciès chimiques en 2002 (hautes eaux : pts rouge et basses eaux : pts noir).

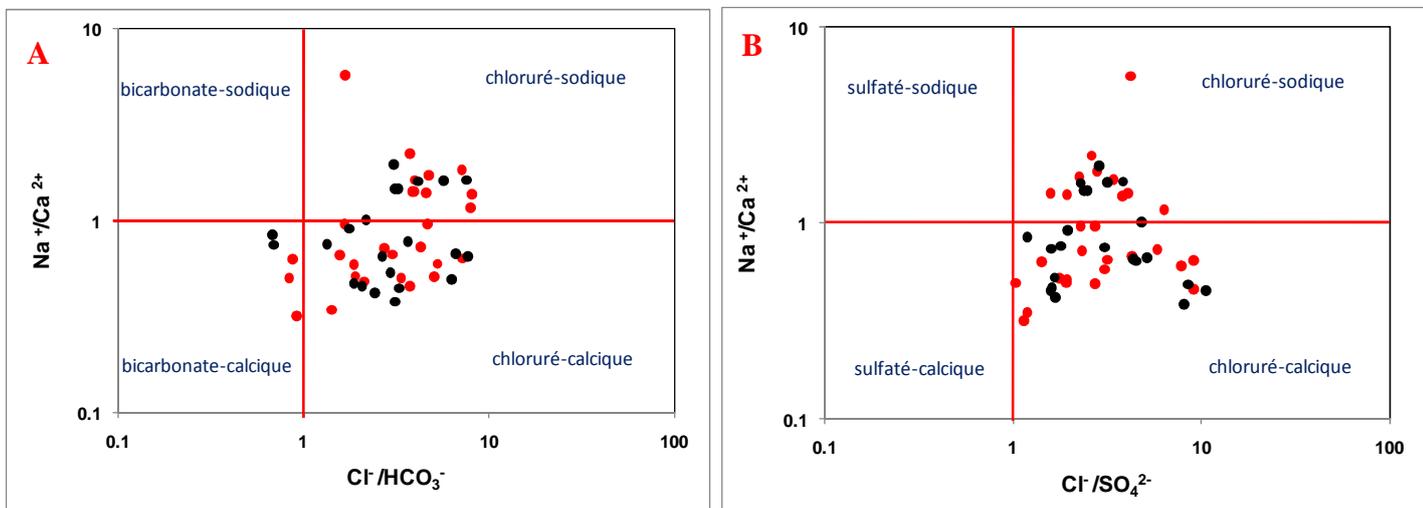


Figure 88 : Distribution des faciès chimiques en 2008 (Haute eaux : pts rouge et basse eaux : pts noir).

V.3.7. Diagrammes binaires et processus de minéralisation

V.3.7.1. Diagrammes binaires

Les espèces dissoutes et leurs relations les unes avec les autres peuvent révéler l'origine de solutés et les processus qui ont généré la composition observée de la nappe phréatique (Sujatha et al., 2003 ; Hussein, 2004; Yuce, 2007 ; Gupta et al., 2008; Moussa et al., 2008; Jalali, 2009 ; Kuldip et al., 2011; Nandimandalam, 2011; Diaw et al., 2012 ; Aboubaker et al., 2013).

Les relations entre les concentrations en éléments majeurs dissous sont représentées sur les figures 89 et 90. Le rapport $\text{Na}^+ / \text{Cl}^-$, relation a été souvent utilisée pour identifier le mécanisme d'acquisition de la salinité. Les ions Na^+ et Cl^- montrent une bonne corrélation ($r = 0,80$ en 2002 et $r = 0,82$ en 2008), indiquant que Na^+ et en grande partie Cl^- sont issus de la dissolution de la halite diffusées dans les sédiments à texture fine.

Cependant, une caractéristique notable de la nappe phréatique du Haut Cheliff est l'enrichissement en Cl^- par rapport à Na^+ (figures 89d, 90d). Cet excès ne peut s'expliquer que par l'existence d'une autre origine de cet ion que la dissolution de la halite. Il peut également avoir une origine anthropique. En effet, les eaux usées urbaines sont rejetées sans traitement dans l'environnement et peuvent atteindre les eaux souterraines par infiltration.

L'augmentation des teneurs en Cl^- qui a accompagné les faibles teneurs en Na^+ est due au phénomène d'échange de base, car les argiles du substratum peuvent libérer des ions Ca^{2+} après avoir fixé le Na^+ .

L'ion HCO_3^- est faiblement corrélé avec Ca^{2+} ($r = 0,17$ en 2002 et $0,10$ en 2008 ; figures 89b, 90b) et Mg^{2+} ($r = 0,10$ en 2002 $0,13$ en 2008 ; figures 89f, 90f) indiquant que la dissolution des roches carbonatées (calcite, dolomite) n'est pas la seule source pour ces éléments.

La corrélation de SO_4^{2-} avec ces deux éléments est significative (respectivement, $r = 0,53$ en 2008 et $r = 0,57$ en 2002 et $0,59$ en 2008 ; (figures 89a,e ; 90a,e), et montre que ces éléments (Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-}) sont dérivés en partie par la dissolution de gypse et d' un minéral sulfaté- Mg.

Les rapports de Ca^{2+} vs SO_4^{2-} (Fig. 89a, 90a), Ca^{2+} vs HCO_3^- (Fig. 89b, 90b) et Ca^{2+} vs Mg^{2+} (Fig. 89c, 90c) montrent, cependant, un excès important de Ca^{2+} , cela indique que l'origine de Ca^{2+} n'est pas seulement la dissolution de la calcite et de gypse, et confirme ainsi l'hypothèse d'une contribution de Ca^{2+} par échange d'ions suivant la réaction basique, telle que :



L'ion Na^+ peut échanger des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} adsorbés sur les sites échangeables de minéraux argileux, ce qui entraîne l'augmentation de Ca^{2+} et Mg^{2+} et la diminution de Na^+ dans les eaux souterraines. Au cours de ce processus, les roches encaissantes sont les principales sources de matières dissoutes dans l'eau. On appelle échange de base des eaux dures, les eaux souterraines dans lesquelles les alcalino- terreux (Ca^{2+} , Mg^{2+}) ont été échangés par les ions Na^+ (Gupta et al., 2008).

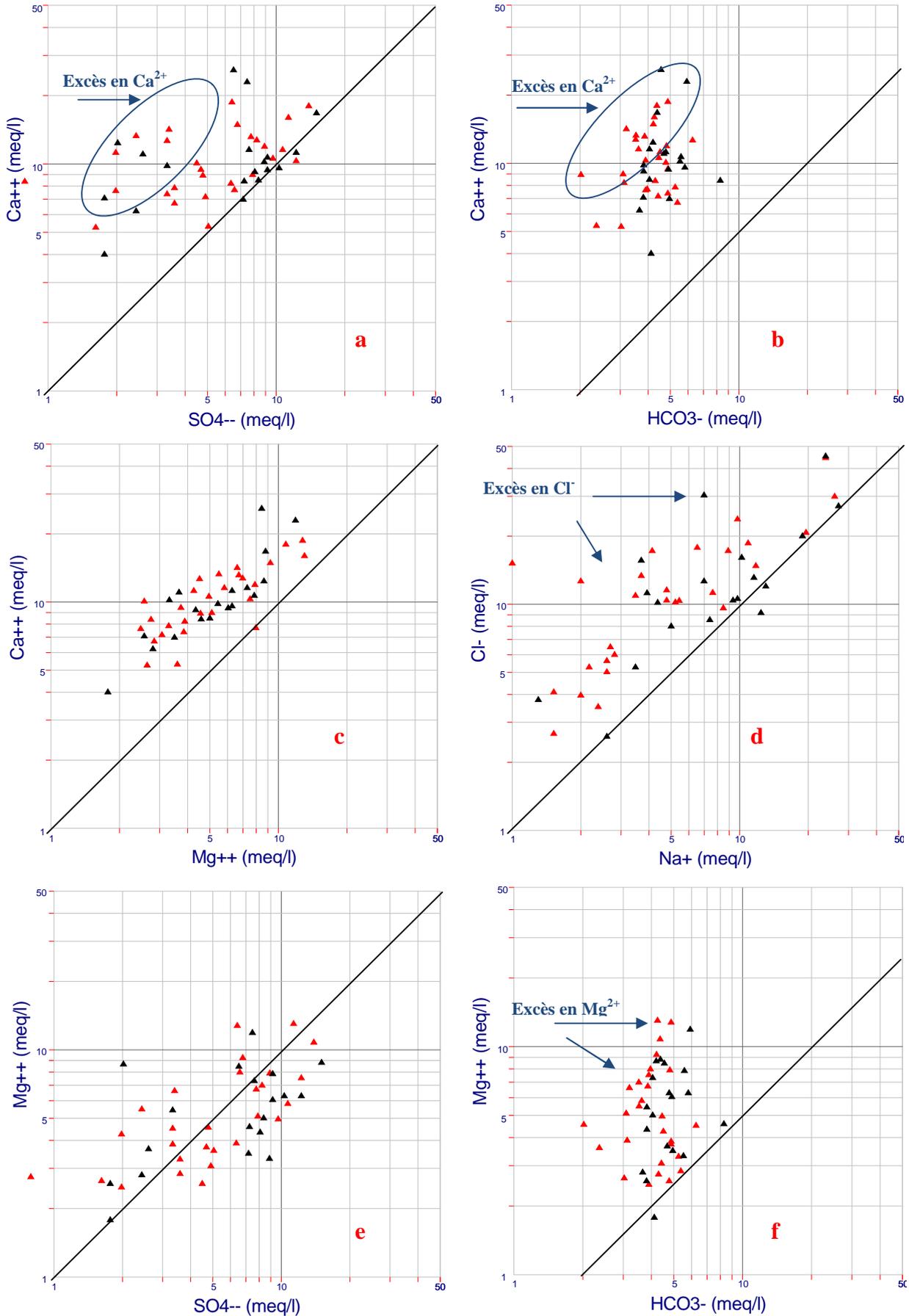


Figure 89 : Relations entre les principaux éléments majeurs 2002. (Haute eaux : pt rouge et basse eaux :pt noir)

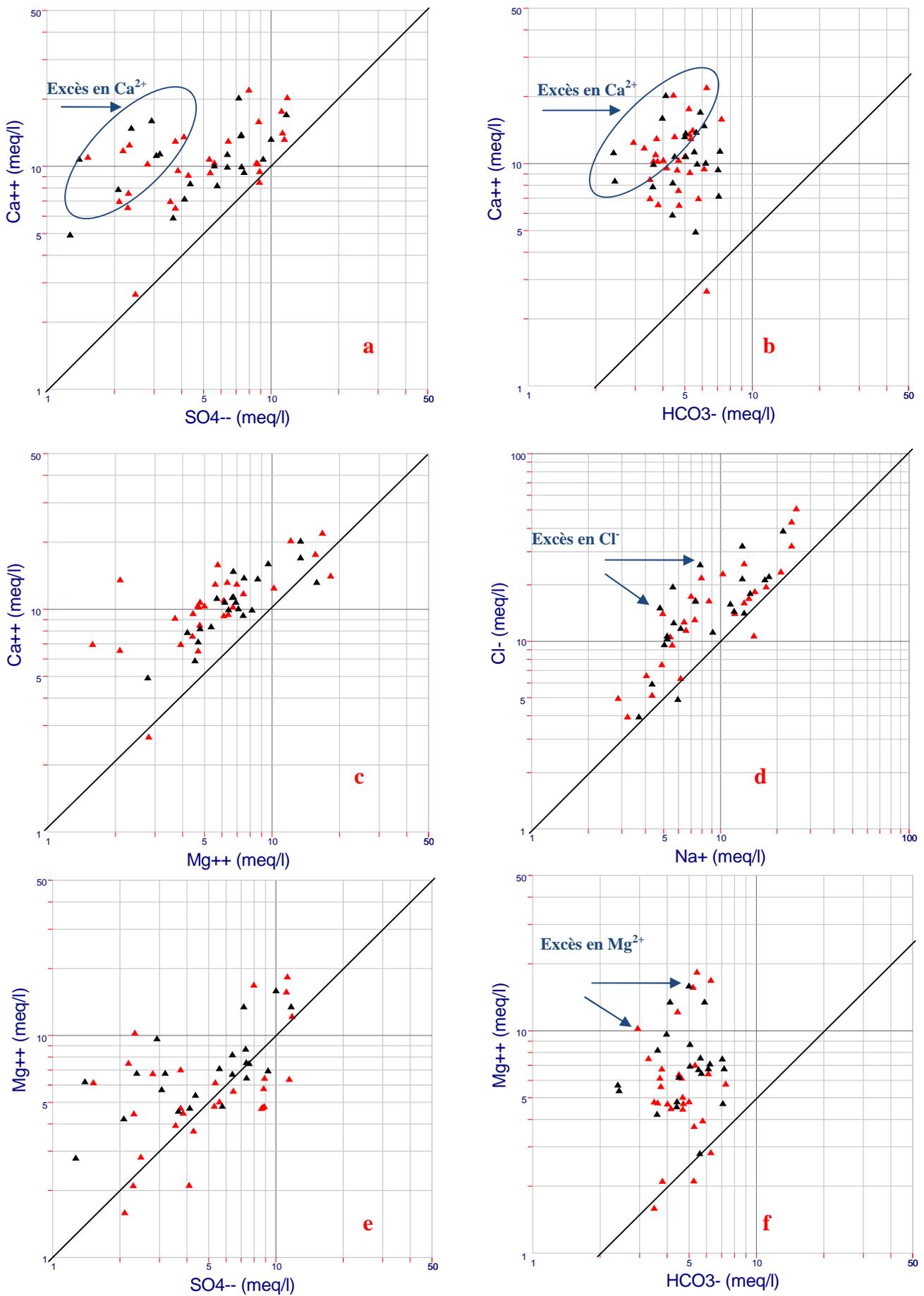


Figure 90 : Relations entre les principaux éléments majeurs 2008. (Haute eaux : pt rouge et basse eaux : pt noir)

La connaissance des variations que subit la composition chimique de l'eau souterraine au cours de son parcours dans l'aquifère est essentielle. L'échange d'ions entre l'eau souterraine et l'encaissant au cours de son parcours peut être compris par l'analyse de diagramme de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ vs $\text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^-$. (figure 91)

Dans le diagramme $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ vs $\text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^-$, les points se trouvant autour de la droite d'équilibre ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} = \text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^-$) suggèrent que ces ions sont les résultats des dissolutions de la calcite, la dolomie et le gypse (Cerling et al, 1989 ; Datta et al., 1996; Fisher et al., 1997 ; Rajmohan et al., 2004).

Si l'échange de base est le procédé dominant, les points se déplaceront vers la gauche en raison d'un excès important de $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ par rapport au $(\text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^-)$. Dans cette étude, la plupart des points se trouvent du côté $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ (Fig. 91), ce qui suggère que l'échange de base est le processus hydrogéochimique majeur fonctionnant dans cet aquifère. Pour cela, le processus d'échange d'ions est examiné plus en utilisant les indices Chloro-Alcalin (ICA) (Schoeller, 1977).

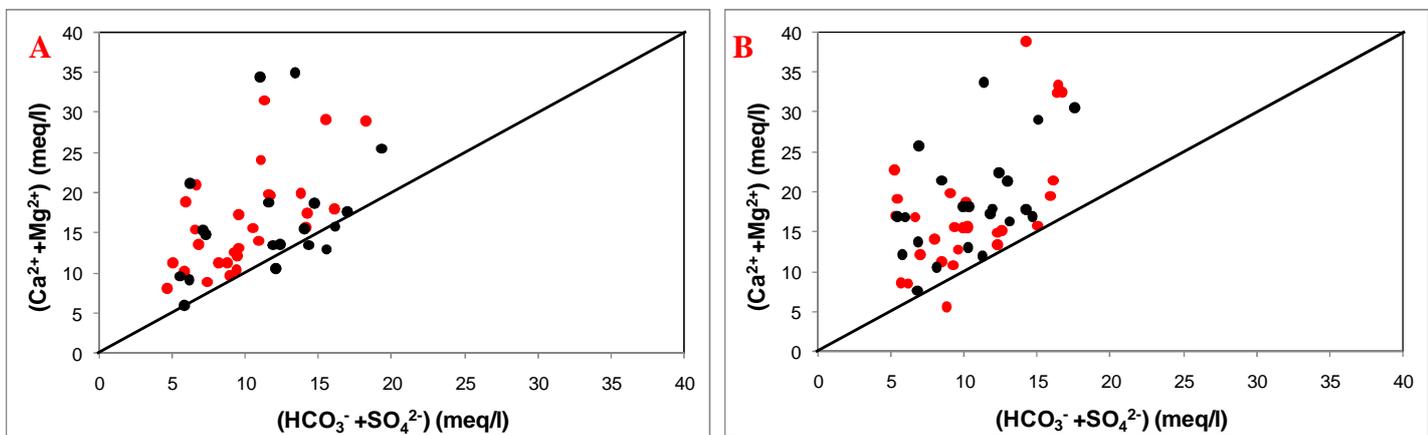


Figure 91 : Relation entre $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ et $(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$ en 2002 (A) et 2008(B).

V.3.7.2. Les échange d'ions

L'indice Chloro-Alcalin (I.C.A) (ex i.e.b : indice d'échange de bases), défini par Schoeller 1977, est le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existants dans l'eau. Il est donné par l'expression suivante :

$$I.C.A = r \frac{\text{Cl}^- - (\text{K}^+ + \text{Na}^+)}{\text{Cl}^-} \quad (16)$$

Toutes les valeurs sont exprimées en meq/l. Cet indice définit le sens d'échanges ioniques entre l'eau et les terrains encaissants, si :

- ❖ I.C.A = 0 pas d'échanges ;
- ❖ I.C.A < 0 Ca^{2+} et Mg^{2+} de l'eau sont échangés par Na^+ et K^+ des formations encaissantes ;
- ❖ I.C.A > 0 Na^+ et K^+ de l'eau sont échangés par Ca^{2+} et Mg^{2+} des formations encaissantes.

La plupart des échantillons de la plaine ont un indice positif (annexe 3). Cette dominance des valeurs positives reflète le remplacement de sodium et de potassium dans l'eau souterraine avec le calcium et le magnésium des terrains traversés. Cela corrobore bien la relation déjà identifiée entre les différents éléments en solution dans l'eau souterraine.

La carte de l'évolution des valeurs de l'I.C.A (figure 92), montre que les fortes valeurs positives sont observées dans les eaux des puits situés au Sud-Est et Sud-Ouest, ainsi qu'au Nord dans les points d'eau situés près de Khemis Miliana. Les valeurs de l'I.C.A négatives sont situées au Nord-Ouest et à l'Est de l'aquifère sur la rive gauche de l'Oued Cheliff en période de basses et hautes eaux respectivement.

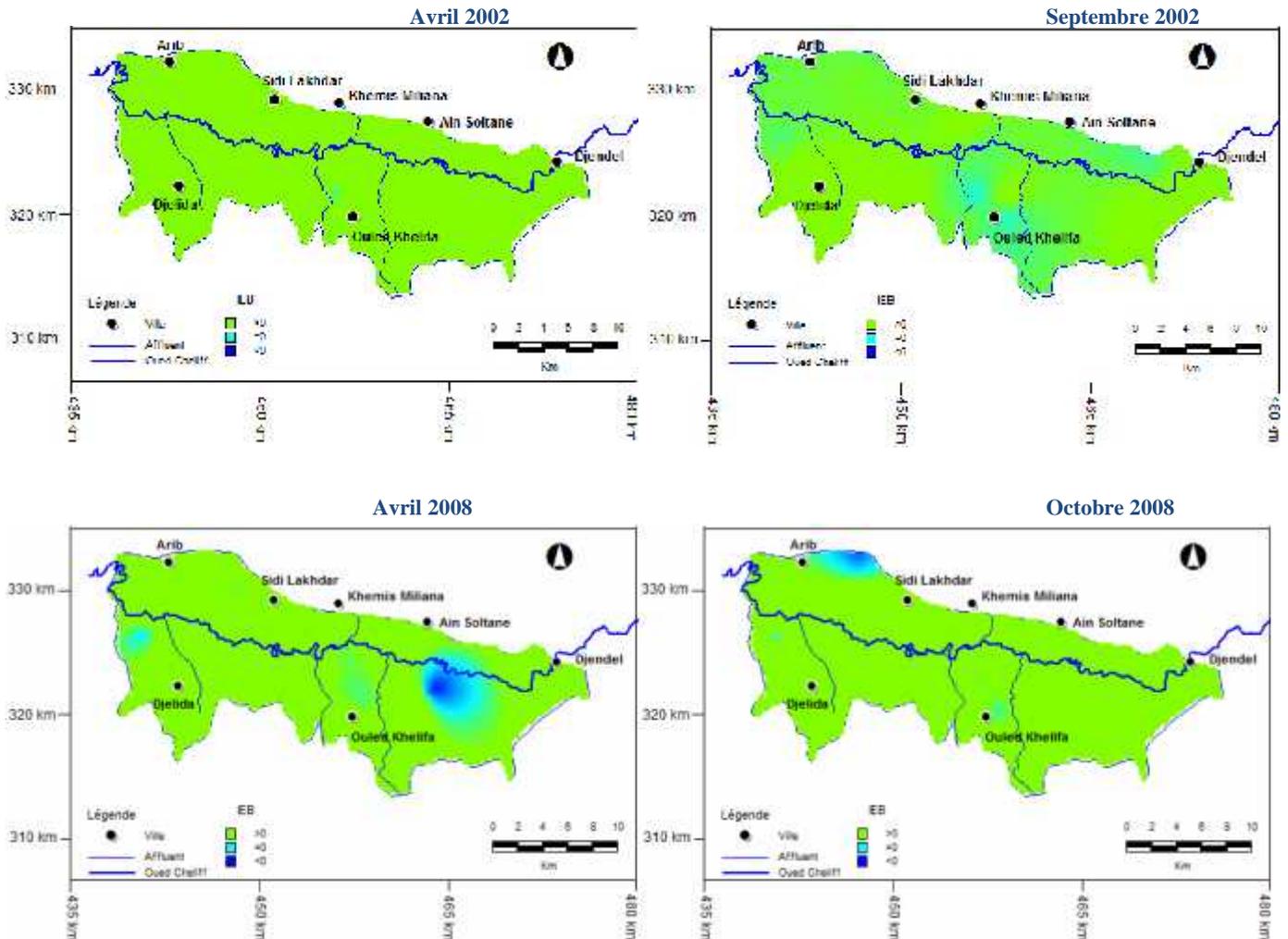


Figure 92 : Carte de l'évolution des valeurs de l'I.C.A en 2002 et 2008.

V.3.7.3. Indices de saturation des minéraux

L'indice de saturation (IS) a également été évalué pour interpréter l'hydrochimie des eaux souterraines, en utilisant le PHREEQC V.2 (Parkhurst et Appelo 1999), qui peut être utilisé via la version gratuite du logiciel Diagrammes (Simler, 2009).

A cet effet, La base de données thermodynamique utilisé est celle de Wateq.dat (Hounslow, 1995). Les indices de saturation des minéraux qui ont été suspectés d'être responsables de la composition chimique des eaux souterraines du Haut Cheliff ont été calculés.

Les indices de saturation (IS) de minéraux sont calculés en utilisant les concentrations des principaux ions dans le système. L'indice de saturation d'un minéral est obtenu à partir de l'équation (17) (Appelo et Postma, 1993 ; Yidana et al., 2008).

$$IS = \log (PAI / K_T) \quad (17)$$

Où : PAI est produit de l'activité ionique de l'élément chimique dans la solution
 K_T est la constante d'équilibre de la réaction considérée à la température T (K).

Lorsque :

IS < 0, l'eau est sous-saturée par rapport au minéral en question.

IS = 0, signifie l'eau est en équilibre avec le minéral,

IS > 0 signifie une solution sursaturée par rapport à la matière minérale en question.

Les indices de saturation des minéraux sont très utiles pour l'évaluation dans la mesure à laquelle la chimie de l'eau est contrôlée par l'équilibre des phases solides (Appelo et Postma, 1993). PHREEQC a été utilisé pour calculer les indices de saturation des minéraux de l'eau suivants : calcite (CaCO_3), dolomite $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, anhydrite (CaSO_4), gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) et halite (NaCl) dans les deux périodes des années 2002 et 2008. (annexe 4)

Les calculs ont montré que les minéraux carbonatés ont différents degrés de saturation. L'indice de saturation de la dolomite est compris entre -0,83 à +0,72 en 2002 et -0,56 à +0,87 en 2008, alors que les intervalles de la calcite varient de -0,39 à +0,43 en 2002 et -0,25 à +0,44 en 2008 (figures 93 et 94). En supposant que l'équilibre se fait dans l'intervalle de -0,5 à +0,5, les résultats montrent que la calcite a atteint l'équilibre et que la dolomite est dans un état de sursaturation.

Les minéraux évaporitiques montrent des degrés de saturation inférieure à celle des minéraux carbonatés (figures 93 et 94). L'indice de saturation du gypse varie de -1,81 à -0,54 en 2002 et -1,82 à -0,68 en 2008 (100% des points d'eau analysés sont sous saturé), et l'IS de la halite varie de -7,08 à -4,75 en 2002 et -6,6 à -4,68 en 2008, ce qui indique que l'eau souterraine est très sous-saturé en ce qui concerne ce minéral. Pour l'anhydrite l'indice de saturation varie de -2,03 à -0,76 en 2002 et -2,04 à -0,82 en 2008 (100% des puits sont sous-saturés).

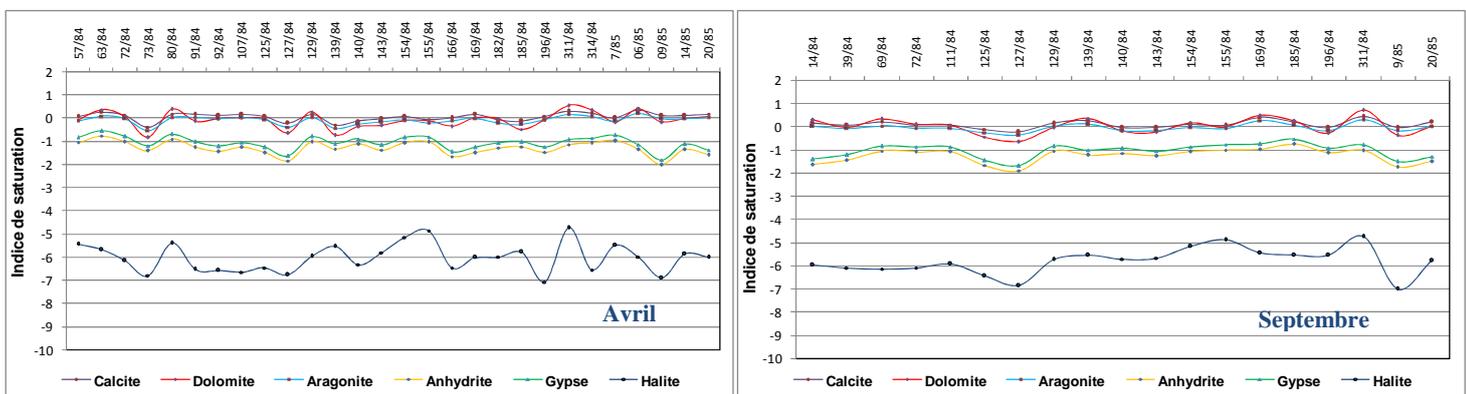


Figure 93 : Variation de l'indice de saturation des minéraux, avril et septembre 2002.

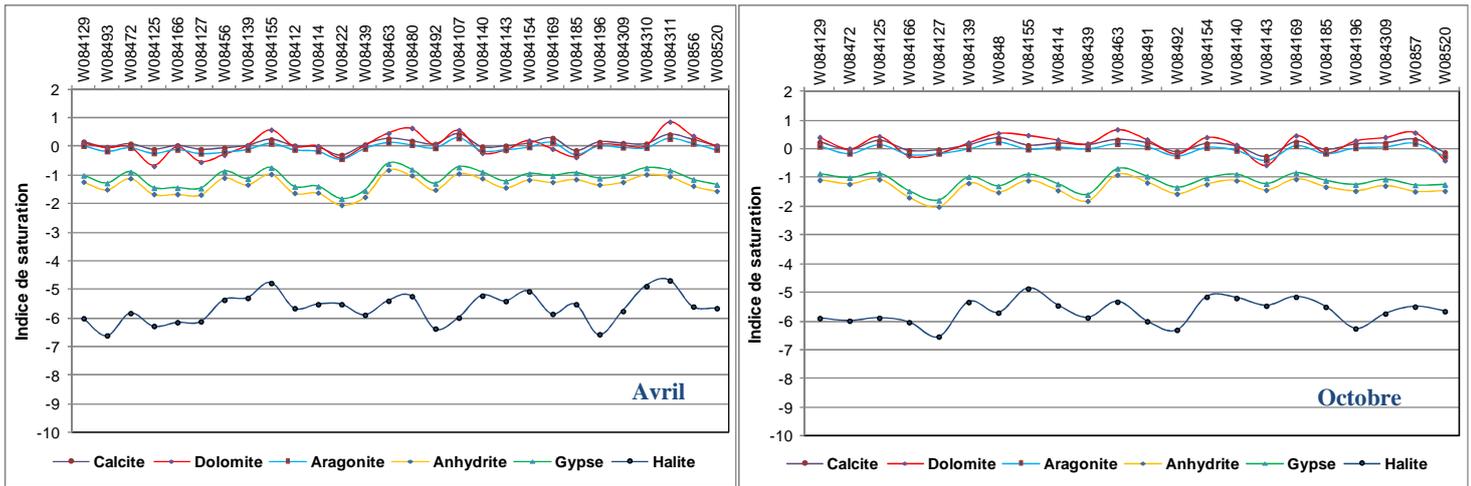


Figure 94 : Variation de l'indice de saturation des minéraux, avril et octobre 2008.

De même, l'analyse des figures 95 et 96 a montré une évolution positive et significative entre la calcite, la dolomite en relation avec les bicarbonates et le gypse, la halite avec les sulfates et les chlorures respectivement, ce qui donne une indication de mise en solution des différents sels.

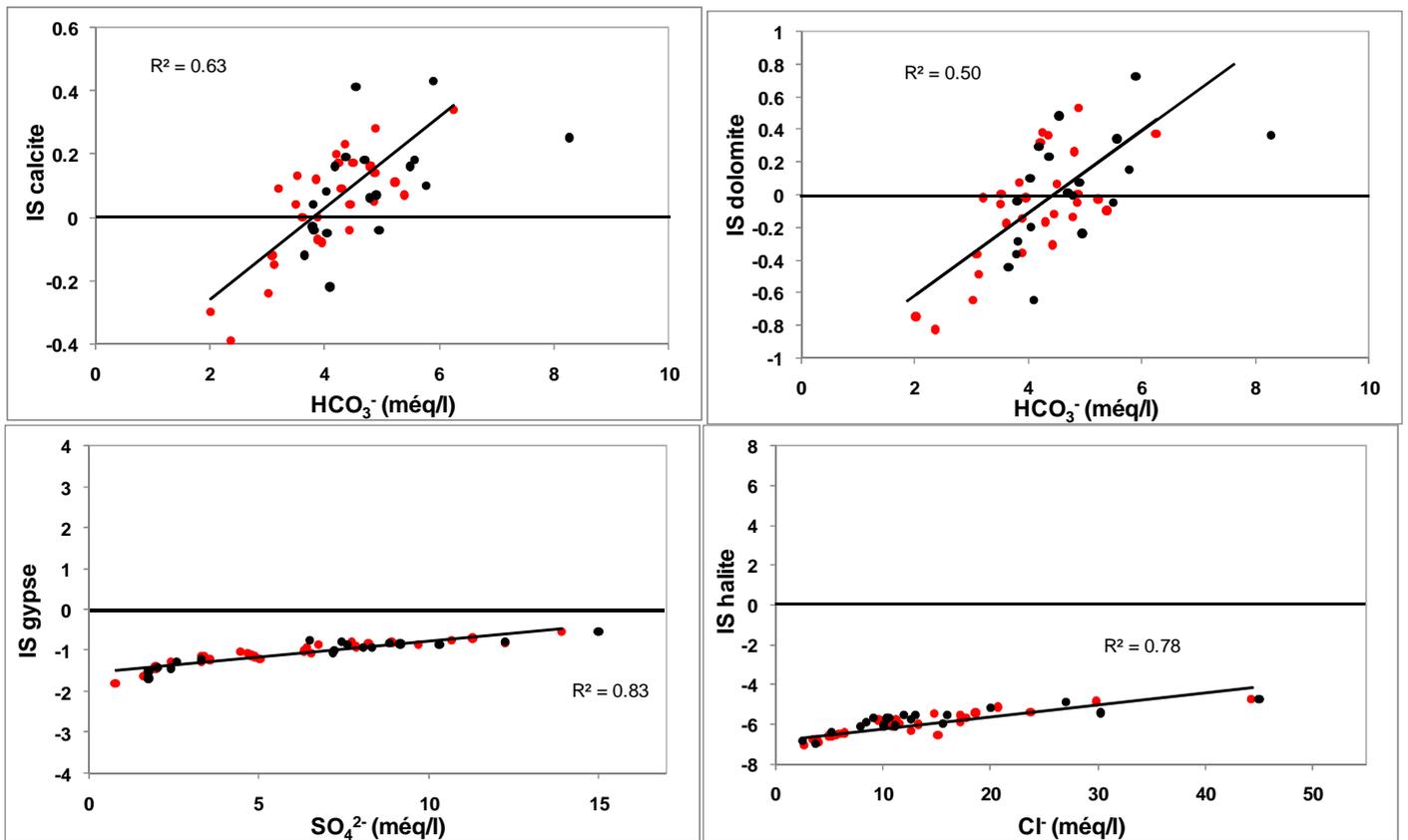


Figure 95 : Variation de l'indice de saturation des minéraux, avril et Septembre 2002. (Haute eaux : pts rouge et basse eaux : pts noir)

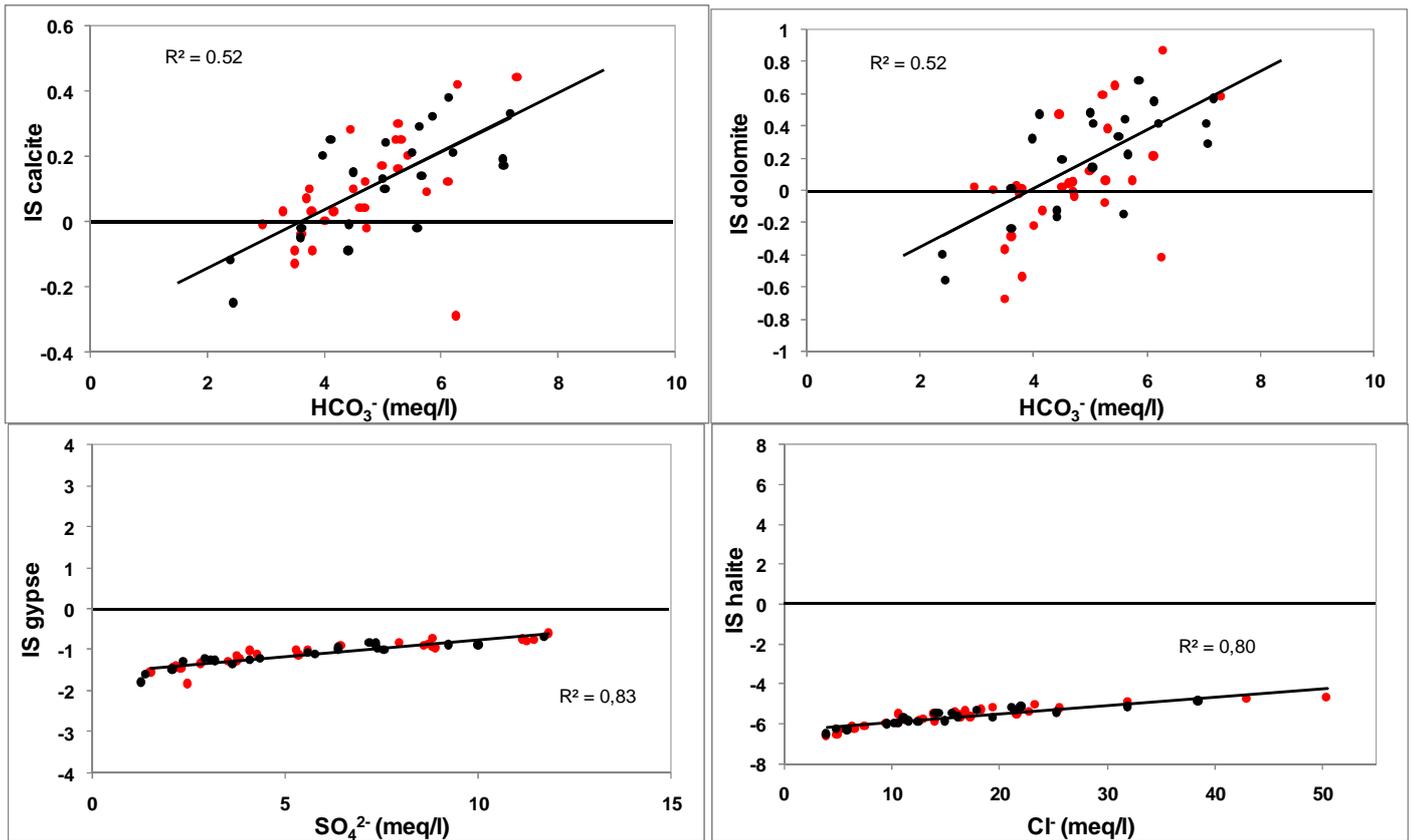
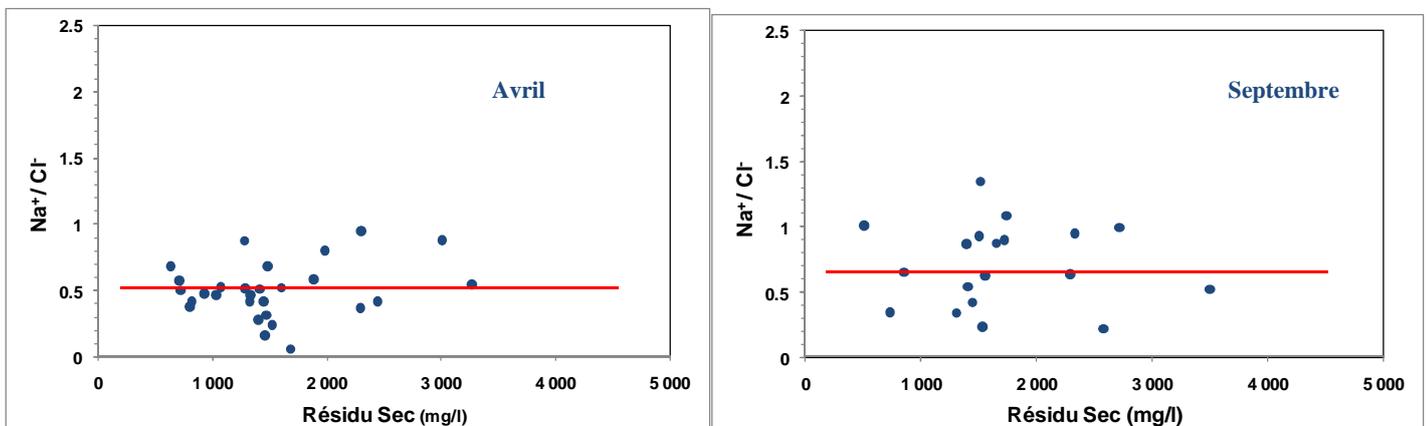
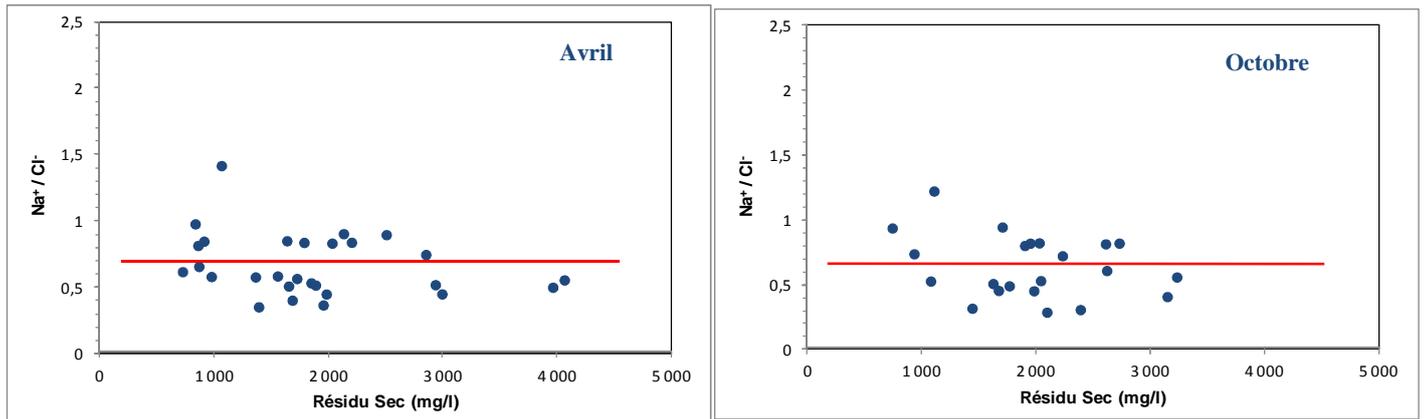


Figure 96 : Variation de l'indice de saturation des minéraux, avril et Octobre 2008.

V.3.7.4. Rôle de l'évaporation

Afin de caractériser l'effet de l'évaporation sur le mécanisme du chimisme des eaux souterraines de l'aquifère du Haut Cheliff nous avons établi un graphe qui montre la relation entre le rapport (Na^+/Cl^-) et le résidu sec (figures 97 et 98). En général, on constate que les points s'alignent sur une droite horizontale c'est-à-dire que le rapport (Na^+/Cl^-) est constant malgré l'augmentation de teneurs en Résidu sec pour les périodes de hautes et basses eaux ce qui traduit l'effet du phénomène de l'évaporation dans notre région d'étude.

Figure 97 : Relation entre le rapport (Na^+/Cl^-) et le Résidu sec en 2002.

Figure 98 : Relation entre le rapport (Na^+/Cl^-) et le Résidu sec en 2008.

V.4. Utilisation des eaux souterraines pour l'A.E.P

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

Les paramètres pris en compte sont :

- la dureté de l'eau correspondant à sa minéralisation en calcium et magnésium ;
- le pH qui dépend de la teneur en ions ;
- la teneur en substances minérales dissoutes généralement sous forme ionique : anions (bicarbonates, chlorures, sulfates, nitrates) et cations (calcium, magnésium, sodium, potassium, manganèse); 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).

La potabilité des eaux souterraines du Haut Chelif a été évaluée selon les normes internationales (OMS, 2008) et à la dureté de l'eau. La dureté est exprimée en degrés français ($^{\circ}\text{F}$). (chapitre 1)

Les teneurs des principaux éléments d'échantillons dans les périodes de hautes eaux et de basses eaux 2002 et 2008 ont été comparés avec les normes de l'O.M.S et sont présentés dans le tableau 48 (OMS, 2008).

Tableau 48 : Pourcentage des échantillons ayant des concentrations inférieures aux normes OMS.

Élément	Normes OMS	pourcentage des échantillons ayant des concentrations inférieures aux normes			
		2002		2008	
		Avril (%)	Septembre (%)	Avril (%)	Octobre (%)
Ca^{2+} (mg/l)	100	0	5	0	5
Mg^{2+} (mg/l)	50	39	31	21	5
Na^+ (mg/l)	150	60	37	36	41
K^+ (mg/l)	12	100	100	93	100
Cl^- (mg/l)	250	32	16	18	14
SO_4^{2-} (mg/l)	250	53	31	50	45
HCO_3^- (mg/l)	250	46	32	36	23
NO_3^- (mg/l)	50	39	52	36	32
R. Sec (mg/l)	1500	64	42	32	23
pH	6,5 < pH < 9,5	100	100	100	100

L'examen du tableau 48 montre que seulement 5% des teneurs en calcium et magnésium sont en dessous des normes OMS en période de basses eaux. Alors que tous les échantillons ont des

teneurs en calcium supérieures aux normes en période de hautes eaux. Les échantillons qui ont des teneurs en chlorures en dessous des normes représentent 32% en avril et 16% en septembre 2002 ; tandis qu'en 2008, ils représentent 18% et 14% en avril et octobre respectivement.

Pour les sulfates 50% des échantillons présentent des teneurs inférieures aux normes pour la période de hautes eaux des deux années, ce pourcentage est moins en période de basses eaux 2002. Pour les bicarbonates 46% et 36% des échantillons sont inférieures aux normes en Avril 2002 et 2008, ce pourcentage diminue à 32% et 23% en périodes de basses eaux.

On remarque que la majorité des échantillons ont des teneurs en nitrates et en Résidu sec supérieures aux normes pour les deux périodes.

Les mesures du pH montrent que tous les puits se trouvent dans l'intervalle de norme de potabilité pendant la période de hautes et basses eaux, ceci indique que les valeurs de pH sont proches des valeurs naturelles.

Les échantillons ont été classés en fonction de leur dureté (De Fulvio et alori, 1976). Le tableau 49 montre que la quasi-totalité des eaux analysées sont très dures pour les deux périodes, avec un D.H.T supérieur à 54 °F. Des fortes teneurs en magnésium et en calcium qui dépassent le seuil fixé par l'OMS, font que ces eaux sont très dures. Ces résultats montrent que les eaux souterraines de notre région d'étude ont une potabilité médiocre à mauvaise.

Tableau 49 : Classification des eaux selon leurs DHT.

D.H.T (en °F)		0-7	7-14	14-22	22-32	32-54	>54	
Qualification de l'eau		Très douce	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure	
(%) des échantillons	2002	Avril	-	-	-	18	82	
		Septembre	-	-	-	05	16	79
	2008	Avril	-	-	-	04	07	89
		Octobre	-	-	-	-	09	91
Usage Domestique		Bonne Potabilité		Potabilité passable		Potabilité médiocre à mauvaise		

V.5. Aptitude des eaux à l'irrigation

Dans les zones arides et semi-arides, l'approvisionnement en eau d'irrigation constitue l'un des facteurs déterminants dans la production agricole, aussi bien dans l'intensification des cultures, que dans l'extension des surfaces irriguées. Pour les régions tempérées, les eaux superficielles constituent la principale source d'eau d'irrigation ; alors que dans les zones semi-arides, où cette ressource est rare ou inexistante, on fait appel aux eaux souterraines. Le développement de l'agriculture dans ces zones rencontre actuellement, en dehors de la rareté des ressources hydriques, de nouveaux problèmes tels que le risque de salinisation des sols qui peut être apprécié par la conductivité électrique et celui de l'alcalinisation des sols. Cette dernière est due aux échanges ioniques (du sodium, du calcium et du magnésium) entre l'eau et le sol irrigué.

Comme la région du Haut Cheliff est à vocation agricole et les risques de salinisation des sols se font sentir, une étude d'aptitude des eaux à l'irrigation s'avère nécessaire car cette région se caractérise par une pluviométrie moyenne, une forte évaporation et une eau souterraine trop chargée en chlorures et en sulfates. Les risques qu'encourt cette plaine imposent une bonne

connaissance des régimes hydriques et salins afin de pouvoir assurer une durabilité d'utilisation des ressources en eau et des sols.

Dans la présente approche, on a fait l'estimation de quelques paramètres de salinité en rapport avec l'usage agricole pour les deux campagnes en 2002 et 2008.

V.5.1. Caractérisation des eaux pour l'irrigation

La salinisation peut entraîner, comme on l'a signalé précédemment, des effets nocifs sur la qualité des eaux pour l'irrigation, et ce en raison de la fixation du sodium et des chlorures par les colloïdes du sol (Person, 1978). La présence du sodium exerce alors une action néfaste sur la végétation et le sol :

- Un accroissement de la pression osmotique qui rend l'eau plus difficilement mobilisable par les plantes ;
- Une toxicité de certains ions pour les végétaux (Cl^- , Na^+ , ...etc) ;
- Une dégradation du sol (modifications de l'état structural, diminution de la perméabilité).

Lorsque la concentration des ions Na^+ à l'état soluble dans le sol est importante, ces ions remplacent le plus fréquemment les cations Ca^{+2} (échange de base) dans le complexe absorbant.

Une eau chargée en sels peut provoquer cette action. Ce risque est déterminé à l'aide de la valeur du sodium absorbable (Sodium Absorption Ratio, SAR). Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé. Le SAR est défini par la relation suivante :

$$\text{SAR} = \frac{(\text{Na}^+ + \text{K}^+)}{\sqrt{\frac{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})}{2}}} \quad (18)$$

Tous les ions sont exprimés en méq/l.

Les résultats des calculs sont représentés dans l'annexe 5.

V.5.2. Classification des eaux par la méthode de RICHARDS

Cette classification a été proposée par RICHARDS, chercheur à l'USDA de Riverside en Californie, en 1954, elle a été très utilisée et l'est encore de nos jours. Elle est très utile et fiable pour caractériser une eau d'irrigation. Cependant, elle ne peut pas servir pour estimer un risque de salinisation ou de sodisation.

En effet, cette classification ne peut prendre en compte l'évolution des caractéristiques de l'eau lorsque sa minéralité augmente dans les sols des zones arides ou semi-arides auxquels elle est destinée. Elle donne une vision sur l'état actuel de ces caractéristiques mais ne permet pas d'anticiper sur le devenir de cette eau.

L'eau avec un SAR se situant entre 0 et 6 peut généralement être utilisée sur tout type de sol avec une faible accumulation de sodium. Quand le SAR se situe entre 6 et 9, les risques de problèmes liés avec la perméabilité du sol augmentent. Dans ce cas, le sol devrait être échantillonné tous les 1 ou 2 ans pour déterminer si l'eau augmente la teneur en sodium du sol (Person, 1978).

Après avoir reporté tous les points d'eau des différentes campagnes sur le diagramme de RICHARDS (figure 99), selon la conductivité électrique et la valeur de SAR, les classes suivantes sont mises en évidence (tableau 50) :

- Les classes C3S1, C3S2 (de 27 à 60 % des puits) désignent des eaux médiocres, utilisables seulement pour l'irrigation de cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés ou de bonne

perméabilité, avec une salinité qui doit être contrôlée. La classe C3S1 caractérise les puits situés au Nord dans la région de Arib et ceux qui se trouvent dans la région de Djelida à l'Ouest de la nappe (jusqu'à 60,7 % des puits en avril 2002). La classe C3S2 est peu représentée (5,3 % des puits en septembre 2002 et 3,6% en avril 2008) ;

- Les classes C4S1, C4S2 et C4S3 (plus de 60 % des puits pour l'année 2008) indiquent des eaux de mauvaise qualité, fortement minéralisées, qui ne peuvent convenir qu'à des espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés et lessivés. La majorité des puits appartenant aux classes C4S1 et C4S2 se situent à l'Est, au Centre et au Sud de la nappe entre Djendel et Bir Ouled Khelifa. La classe C4S3 est d'une sodicité supérieure à celle des classes précédentes. On la rencontre dans la région Sud de la plaine du Haut Cheliff.

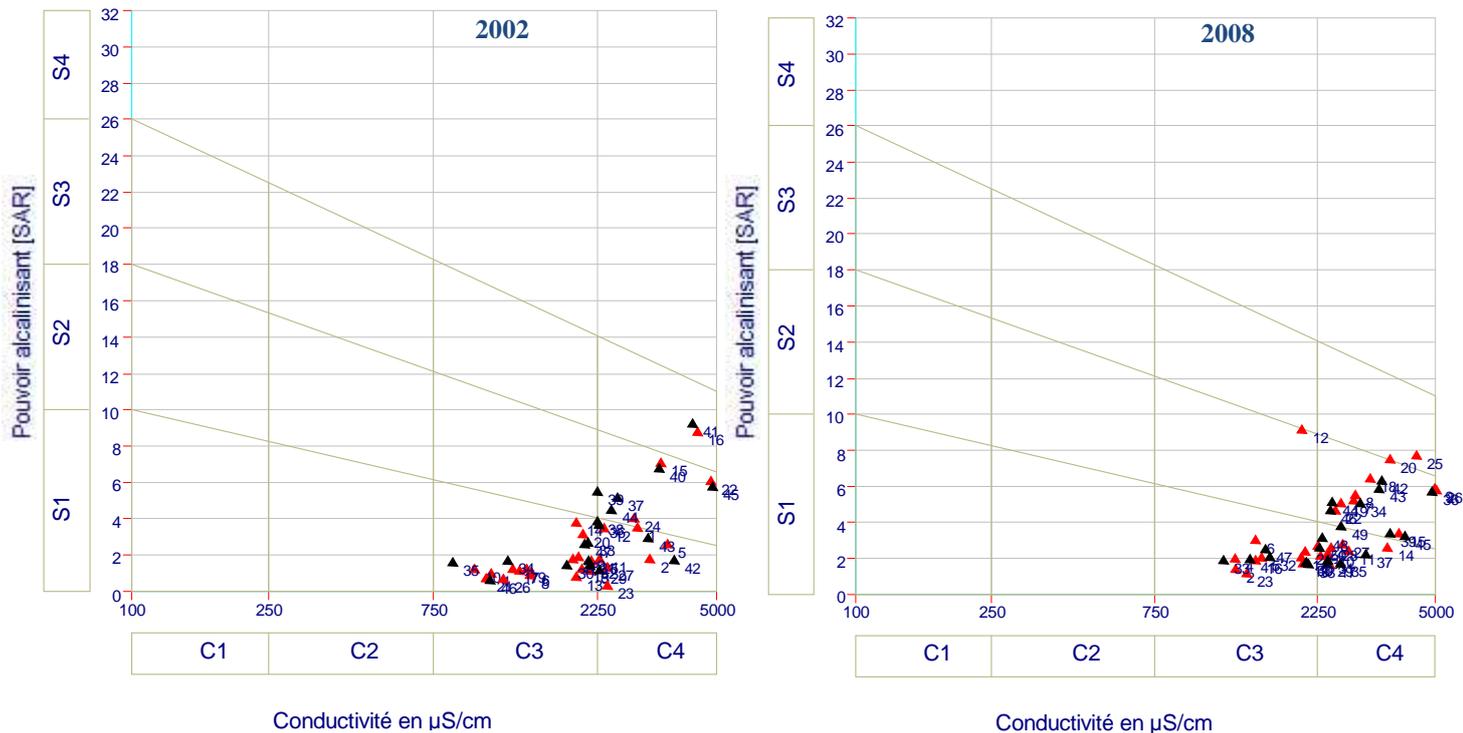


Figure 99: Représentation sur le diagramme de RICHARDS (Riverside) des eaux de la nappe de Haut Cheliff pour les années 2002 et 2008. (Pts rouge : Haute eaux ; pts noir : basse eaux)

Les eaux de la nappe alluviale de la plaine du Haut Cheliff manifestent, en général, les mêmes dispositions pour l'irrigation sur toute la période d'observation (tableau 50). La dégradation observée au cours de chaque campagne (47.4% en septembre 2002 à 72.7% en octobre 2008) en allant vers la partie Sud et Est de la plaine traduit certainement surtout l'influence de la lithologie (présence de gypses et d'argiles), même si le rôle de l'évapotranspiration ne doit pas être négligé.

Tableau 50 : Répartition des puits de la plaine du Haut Cheliff (en % des Nbr de puits) selon le diagramme de Richards.

Classe	Qualité	Avr-02		Sept-02		Avr-08		Oct-08	
C3S1	Médiocre	60.7%	60.7%	47.4%	52.6%	35.7%	39.3%	27.3%	27.3%
C3S2		0.0%		5.3%		3.6%		0.0%	
C4S1	Mauvaise	25.0%	39.3%	21.1%	47.4%	25.0%	60.7%	36.4%	72.7%
C4S2		10.7%		21.3%		32.1%		36.4%	
C4S3		3.6%		5.3%		3.6%		0.0%	

V.6. Conclusion

L'étude hydrogéochimique des eaux souterraines a été effectuée en utilisant différentes méthodes (de Piper et Stabler, statistiques multivariées, échanges d'ions, les indices de saturation des divers minéraux). Cette étude a montré la présence de plusieurs faciès hydrochimiques : chloruré-calciques, chloruré sodique et de bicarbonate calciques. La minéralisation des eaux souterraines est due au processus des dissolutions des formations carbonatées et évaporitiques. L'échange d'ions affecte de manière significative la composition chimique des eaux souterraines.

Les activités humaines (effluents urbains, engrais) contribuent également à la minéralisation de l'eau. La cartographie des nitrates dans la plaine du Haut Cheliff a montré que la zone proche de villes Djendel, Ouled Khelifa, Sidi Lakhdar et Djelida est beaucoup plus exposée à la pollution.

Des teneurs en nitrates dans ces endroits dépassent 50 mg/l. Ces teneurs élevées en nitrates peuvent être expliquées par la présence des diverses sources de pollution principalement liées à l'agriculture, l'élevage et les pratiques urbaines (domestiques et les déchets industriels). Le rôle de l'évaporation due à des températures élevées dans la plaine a également été souligné.

Dans la plaine du Haut Cheliff, la majorité des éléments chimiques analysés dépassent les normes fixées par l'OMS. Les eaux de cette nappe sont en conséquence impropres à la consommation humaine. La classification de Richards a prouvé la dégradation de la qualité des eaux pour l'irrigation.

Les résultats de cette étude ont permis d'améliorer considérablement la compréhension de l'aquifère qui est une ressource importante pour le développement de cette région. Des mesures urgentes doivent être prises rapidement par les autorités pour faire face à la grave dégradation de cette ressource.

Chapitre VI

SOURCES DE POLLUTION DES EAUX SOUTERRAINES



VI.1. Introduction

Les activités humaines passées ou présentes, et en particulier les activités industrielles, mais aussi agricoles et domestiques, libèrent dans l'environnement des produits et des substances potentiellement dangereux, appelés contaminants ou polluants. Ces derniers sont rejetés vers les milieux naturels (eau et sol). Leur présence, notamment dans les eaux souterraines, pose un problème transdisciplinaire à l'interface des écosystèmes et des ressources hydriques.

La région du Haut Cheliff a connu durant ces dernières années une certaine expansion économique et particulièrement agricole, après l'application du Programme National de Développement de l'Agriculture (PNDA) en 2000 et celui du Fonds National pour la Régulation du Développement Agricole (FNRDA) en 2001. Ceci a augmenté la demande en eau, d'une part, et, d'autre part, il a exposé les ressources en eau à différentes pollutions résultant notamment de l'activité agricole.

La collecte des données auprès des différentes structures et les enquêtes sur site ont été effectuées par l'Agence du Bassin Hydrographique Cheliff Zahrez en 2006. Ces enquêtes ont pour objet l'identification des sources de pollution dans l'aire d'étude (ABH-CZ, 2008).

Pour l'évaluation des charges polluantes arrivant à la nappe du Haut Cheliff, l'ABH-CZ a établi en 2008 des cartes thématiques sur un support SIG pour la nappe, présentant les différentes sources de pollution (élevage, décharges publiques, décharges hospitalières, rejets domestiques, activités industrielles et stations de services...).

VI.2. Les principales sources de pollution

La classification des unités de production et des activités de service, selon leur degré de pollution (élaboration du fichier des pollueurs 2008), se fait en deux étapes :

1. La première étape consiste à exprimer la charge polluante de chaque type d'activité en Equivalent-Habitant¹, qui est fonction soit de la quantité de production, soit de la matière première, soit du nombre d'employés. Pour cela nous nous sommes basés sur les données des enquêtes effectuées sur site par l'ABH -CZ.
2. La deuxième étape consiste à positionner les sources de pollution sur une carte géographique, afin de faire ressortir l'impact de cette source de pollution sur les ressources en eau.

Dans ce qui suit, nous présentons une synthèse de la charge polluante de chaque source de pollution, suivie d'une carte thématique.

VI.2.1. Unités industrielles

Après une première sélection des unités industrielles enquêtées, nous avons 24 unités qui présentent un risque potentiel de pollution des ressources en eau soit une charge polluante de l'ordre de 1 326 000 Eq hab.

¹ L'Equivalent-Habitant est une notion théorique, établie sur la base d'un grand nombre de mesures, qui exprime la charge polluante d'un effluent liquide (quelle que soit l'origine de la pollution), par habitant et par jour.

La carte thématique (figure 100) montre que les activités industrielles sont implantées dans la nappe du Haut Cheliff autour des grandes agglomérations (Khemis Meliana, Sidi Lakhdar, Ain Soltane et Arib)

L'activité la plus fréquente est l'agro-alimentaire (limonaderies; laiteries), qui génère une grande charge polluante (555 624 Eq.hab), suivie par les activités de la fabrication industrielle (Industrie extractive, Industrie des matières plastiques, Matériaux de construction, Manufactures), avec une charge polluante de 770 376 Eq hab. La charge polluante des autres activités est insignifiante.

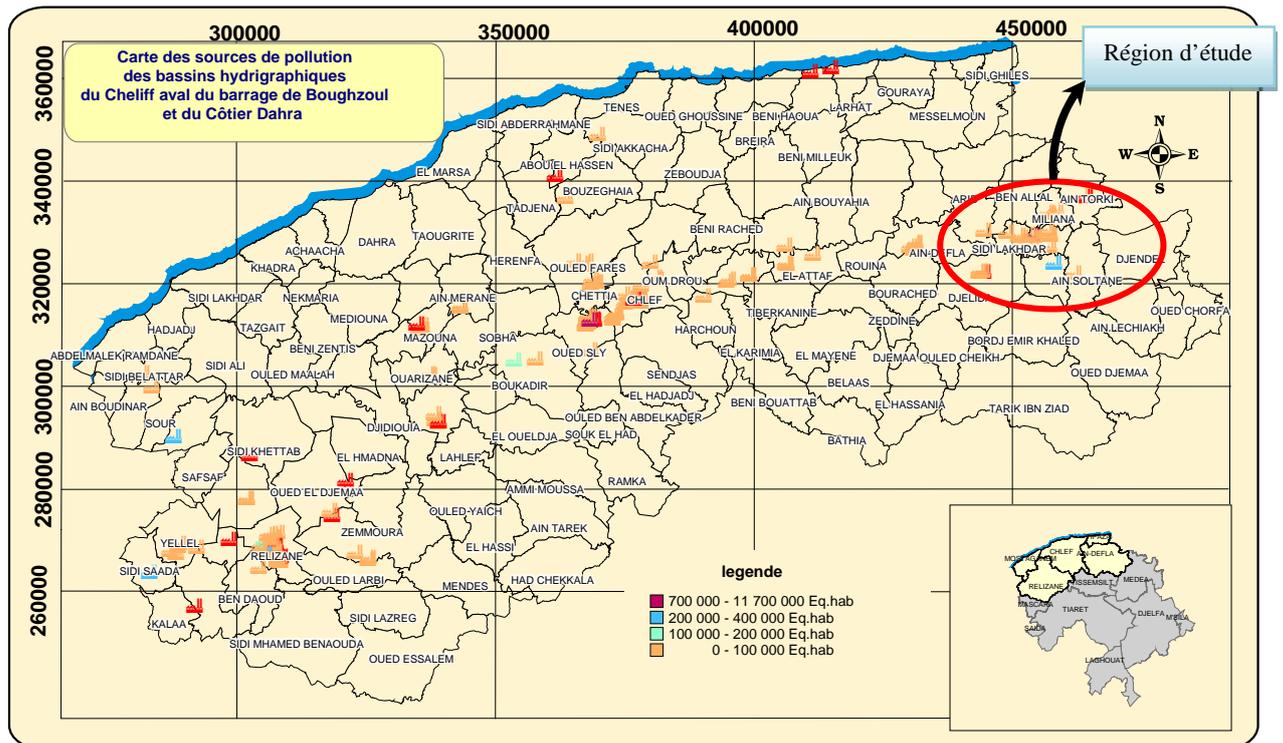


Figure 100 : Charge de pollution industrielle dans l'aire de l'étude. (Source ABH.CZ 2008)

VI.2.2. Stations de services et stations de lavage et graissage

Parmi les 34 stations enquêtées, nous avons 10 stations de distribution de carburant, 24 stations de lavage, vidange, graissage.

Malgré le fait que l'entreprise NAFTAL récupère la quasi totalité des huiles des stations-services ($13\text{m}^3/\text{mois}$), le risque de pollution pour les ressources en eaux est toujours présent.

De même que les activités industrielles (figure 101), les stations-service sont concentrées dans la nappe du Haut Cheliff, notamment dans les agglomérations suivantes : Khemis Meliana (21 stations), Djelida (04 stations), Djendel (04 stations), Sidi Lakhdar (03 stations) et Bir Ouled Khelifa (02 stations).

Toutes les stations-services sont considérées comme des activités polluantes à cause de la présence de fortes concentrations de matières en suspension et la présence des huiles et des graisses dans les eaux de lavage.

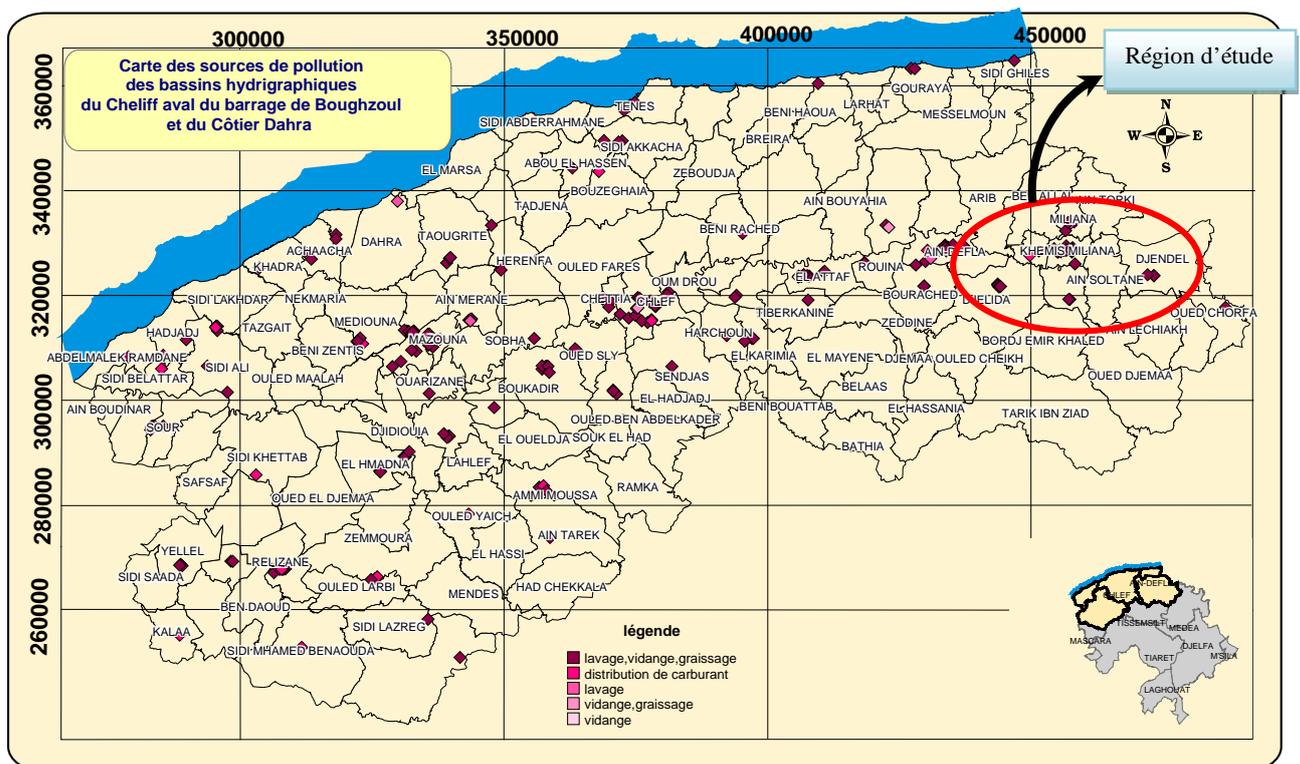


Figure 101 : Carte des stations de services. (Source ABH.CZ 2008)

VI.2.3. Rejets domestiques

La charge polluante des rejets domestiques est calculée en fonction de la population (2003) ; sachant que : 1 habitant = 1 Eq.hab.

L'aire de l'étude (figure 102) compte 17 points de rejets domestiques avec un volume d'eau usée rejetée de 14 819 m³/j et une charge polluante de l'ordre de 188 072 Eq hab.

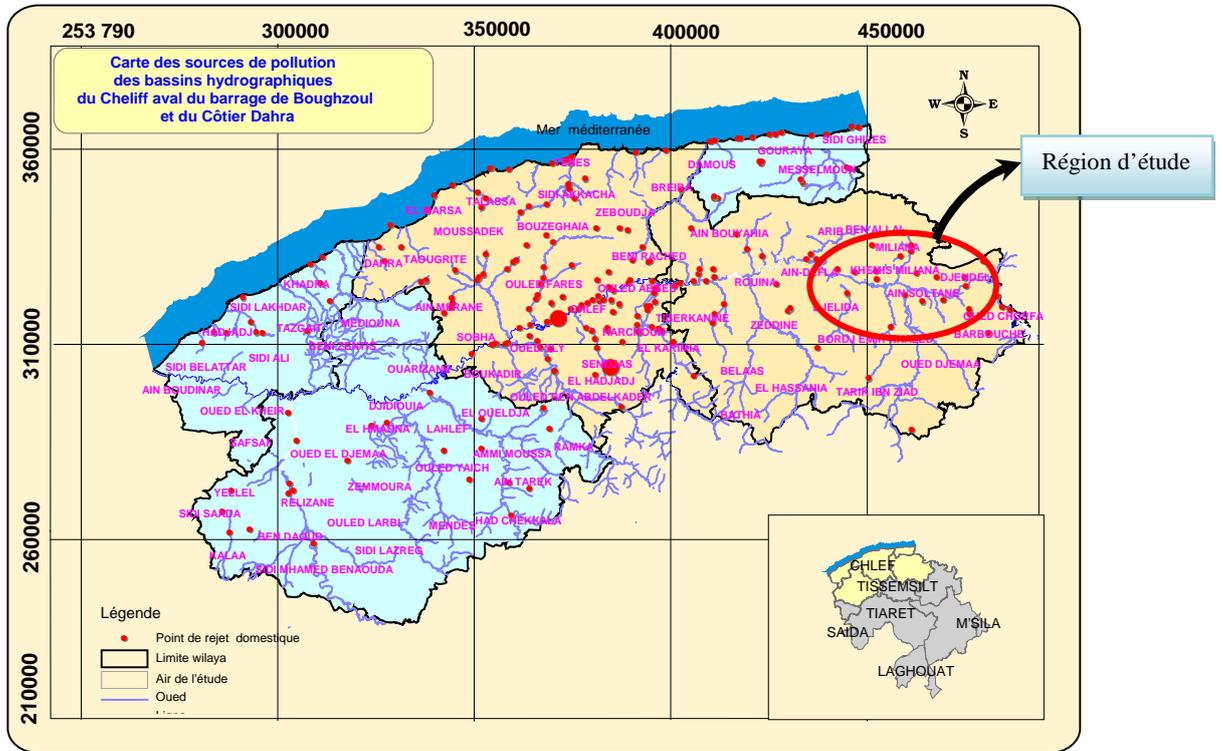


Figure 102 : Localisation des points des rejets domestiques de la région d'étude. (Source ABH.CZ 2008)

En raison de l'absence de stations d'épuration dans l'aire d'étude, tous ces rejets sont déversés dans le milieu naturel et constituent par leur volume journalier une grave source de pollution tant des ressources en eau superficielle que souterraine.

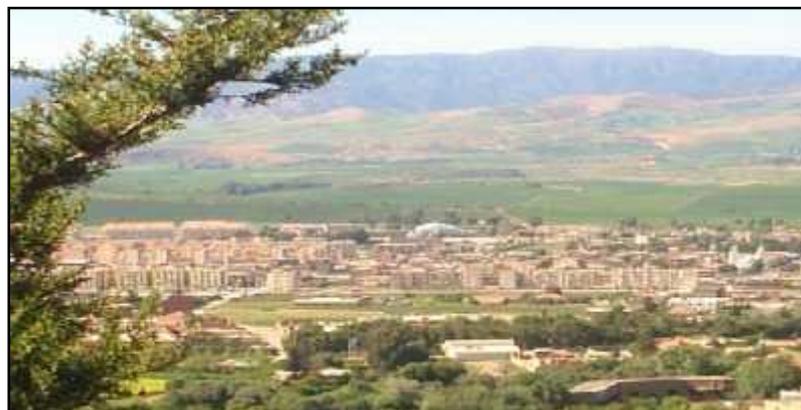


Figure 103 : Localisation de la ville de Khemis Miliana dans la vallée du Haut Cheliff.

Les principales agglomérations sont concentrées dans la vallée du Haut Cheliff menaçant ainsi par leurs rejets des eaux domestiques les ressources en eau, principalement la nappe du Haut Cheliff. L'oued Cheliff reçoit, directement ou à travers ses affluents, les volumes d'eau usées rejetés.

Il est à signaler que les grandes agglomérations telles que Khemis Miliana (figure 103), Sidi Lakhdar et Djendel ne dispose actuellement d'aucun système d'épuration des eaux usées.

VI.2.4. Décharges publiques

Pour les décharges publiques, la charge polluante ne peut être évaluée, seules sont prises en compte les quantités de déchets déposés (figure 104). Les résultats sont les suivants :

La plupart des décharges exploitées, même si certaines sont autorisées par les A.P.C, sont des décharges brutes, non contrôlées et ne répondant pas aux critères de préservation de l'environnement. La région d'étude compte actuellement 12 sites de décharges publiques (figure 04) avec une quantité déposée annuellement de 57 487 Tonnes.

Aucun centre d'enfouissement technique (C.E.T) des déchets ménagers ne se trouve dans la région d'étude.

La majorité des agglomérations dans l'aire d'étude déposent leurs déchets domestiques dans des sites non contrôlés. On peut classer ces décharges par priorité d'aménagement comme suit :

Priorité d'aménagement 01 : les décharges de Khemis Miliana qui reçoivent 37 412 T/an, ce qui constitue une urgence pour prévenir le milieu naturel et les ressources en eau de la pollution engendrée par ces décharges.

Priorité d'aménagement 02 : la quantité des déchets est entre 1000 et 10 000 T/an, les communes concernées sont : Djendel (2920 T/an), Djelida (4380 T/an) et Arib (2737 T/an)

Le reste des communes de l'aire de l'étude sont en priorités 03.

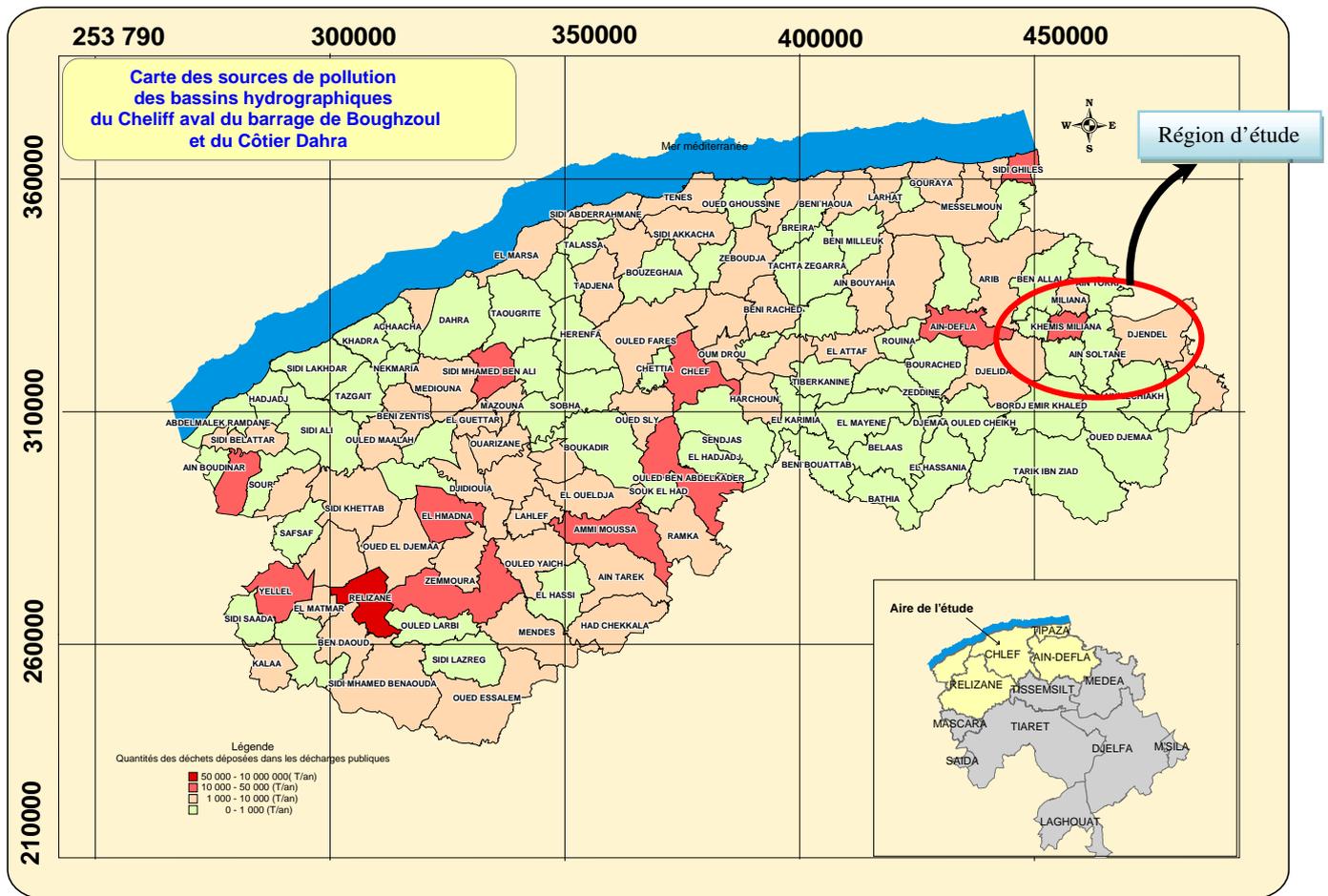


Figure 104 : Quantité des déchets ménagers par commune. (Source ABH. CZ 2008)

VI.2.5. Abattoirs et tueries

La charge polluante des abattoirs et des tueries est fonction du nombre de têtes abattues ou du poids vif.

Type	Unité de mesure	Coefficient de la charge polluante (Eq hab)
Abattoirs	1 tonne de poids vif	400
	Tête abattue	200

Malgré le faible nombre de sites (abattoirs et tueries) les risques de pollution des ressources hydriques y sont présents.

Le degré de pollution des eaux résiduaires des abattoirs est très élevé parce qu'il contient du sang, des urines, des entrailles et autres déchets des animaux.les sources potentielles sont :

- La commune de Khemis Miliana, car elle dispose d'un abattoir de 4451 têtes/an qui peut générer une charge polluante de 1 780 400 Eq.
- La commune de Djendel, qui comprend 01 tuerie avicole avec un abattage de 344 têtes/an et une charge polluante de 137 600 Eq hab.

- La commune de Djelida, qui compte 01 tuerie avicole avec un abattage de 591 têtes/an et une charge polluante de 236 400 Eq hab.

Même si le nombre de sites est relativement faible et les quantités d'animaux abattues assez moyennes, les risques de pollution existent car ces eaux sont chargées en fortes concentrations de matières organiques et de nombreux sédiments solides en suspension qui sont déversés directement dans les égouts communaux sans traitement en raison de l'absence de systèmes d'épuration.

VI.2.6. Décharges hospitalières

La charge polluante est exprimée, en fonction du nombre de lits dans les différentes structures hospitalières comme suit :

Type	Unité de mesure	Coefficient de la charge polluante (Eq hab)
Hôpitaux	Lit	1,5

L'aire de l'étude compte 01 hôpital avec une capacité d'accueil de 300 lits. Les déchets hospitaliers sont constitués par les déchets d'activités de soins à risque infectieux (DASRI), déchets à risque assimilables aux ordures ménagères (DAOM) et les déchets à risque toxique ou chimique DRTC. Leur élimination par incinération semble maîtrisée, d'après les informations fournies par les services de santé.

Puisque la charge polluante est calculée en fonction de la capacité d'accueil de chaque structure sanitaire existant dans la zone d'étude, on constate que la charge polluante générée par les décharges hospitalières dans la commune de Khemis Miliana est insignifiante (591 Eq hab). Du fait de l'existence d'un secteur sanitaire important (hôpital).

VI.2.7. Huileries

Vu que la région est à vocation agricole (cultures maraîchères et arbo – fruitières), il existe 02 huileries avec une quantité d'huile de 50 m³/an. La charge polluante calculée et générée par les deux huileries localisées dans la commune de Sidi Lakhdar est de 60 000 Eq hab.

Les huileries sont considérées comme des activités polluantes à cause de leurs effluents chargés en matières en suspension, de DBO₅ et DCO très élevées, par contre les conserveries d'olive ne rejettent que les eaux de lavage des olives qui sont chargés de matières en suspension.

VI.3. Activité agricole

La céréaliculture et les fourrages constituent la principale activité agricole dans la région, suivie des cultures maraîchères, de la viticulture et l'arboriculture et les terres au repos. La production animale dans cette commune est essentiellement aviaire puis ovine, bovine et caprine.

VI.3.1. Élevage

Pour l'élevage d'animaux, la charge polluante est calculée en fonction du nombre de têtes de bétail ou de volailles, comme il est indiqué ci-dessous.

Type d'animaux	Unité de mesure	Coefficient de la charge polluante (Eq hab)
Volailles	1000 têtes	300
Petit bétail	1 tête de bétail	3
Gros bétail	1 tête de bétail	8

On remarque que l'élevage est concentré dans la vallée du Haut Cheliff avec une capacité d'élevage de 170 155 têtes et une charge polluante de 87 328 Eq hab. (Gros Bétail 4 712 têtes soit une charge polluante 37 696 Eq hab, Volailles 165 443 têtes ; 49 632 Eq hab). La carte suivante présente la thématique de la charge polluante d'élevage (figure 105) dans l'aire de l'étude.

L'élevage des bovins est minime (3 à 9 têtes par établissement) alors le risque de pollution est négligeable. Par contre l'élevage des volailles est important dans les communes de Ain Soltane, suivi par Khemis Miliana, Sidi Lakhdar, Djendel et Djelida, d'où le risque élevé de pollution des eaux souterraines de la nappe du Haut Cheliff.

En conséquence l'action des surdosages des irrigations et de l'azote fourni par des tonnes/hectare de fumier et lisier épandues sur le sol conduit à des incidences de fortes concentrations en nitrates (chapitre 5) à l'intérieur des sols favorisant le lessivage vers les profondeurs des sols.

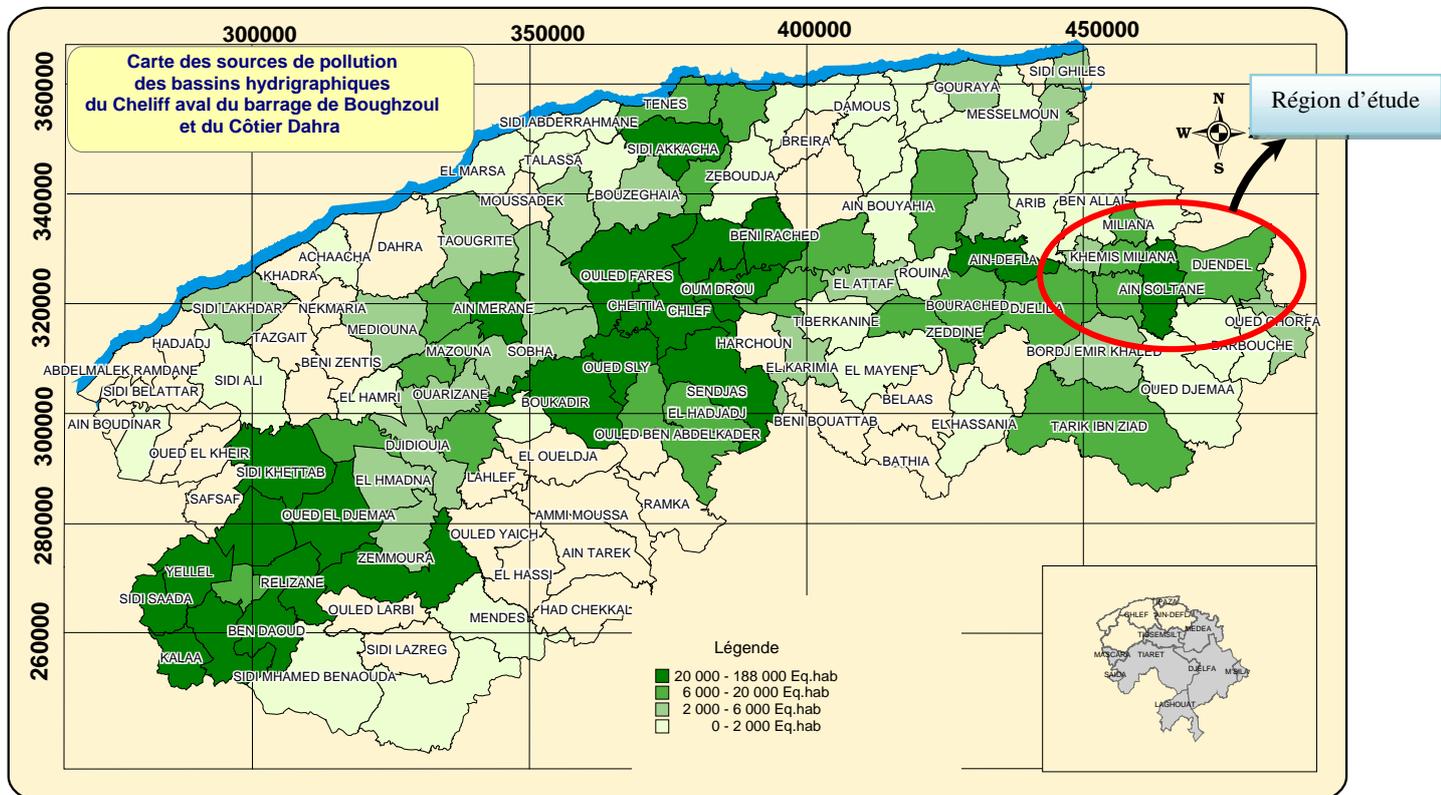
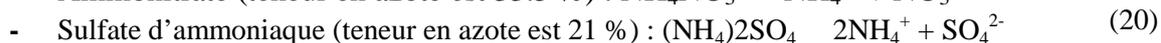
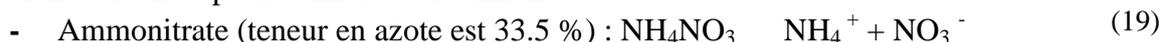


Figure 105 : Charge polluante de l'élevage par commune. (Source ABH. CZ 2008)

VI.3.3. Les engrais azotés

Les engrais azotés sont des produits minéraux apportés au sol pour fournir les quantités suffisantes d'azote et d'autres éléments nutritifs aux plantes et ce pour rentabiliser la récolte. Les doses d'engrais recommandées dépendent de la pluviosité, du type de culture et de la nature du sol. Selon notre enquête sur le terrain avec les agriculteurs et la Direction des Services Agricoles de khemis Miliana, ces doses varient entre 100 et 300 Kg/ha.

Apportés au sol, et en présence des eaux d'irrigation, les principaux engrais azotés subissent les réactions suivantes pour donner des nutriments :



Les enquêtes faites sur terrains auprès des agriculteurs par l'OPIIC ; DSA Ain Defla en 2003 indiquent que le type d'engrais utilisé dans le périmètre du Haut Cheliff est le NPK (15, 15, 15) du fait de son efficacité sur toutes les spéculations comme l'indique sa fiche technique (annexe 6). D'autre part les recherches faites par l'INRA en 1990 dans le cadre du calcul du reliquat d'azote sur une parcelle étaient sur ce type d'engrais (Ikhlef, 2006).

La culture maraîchère est la plus consommatrice (250 kg/ha épanchée au lieu de 100 kg/ha besoin), suivie par la céréaliculture (150 kg/ha au lieu de 100 kg/ha), l'arboriculture (250kg/ha au lieu de 200 kg/ha) (Ikhlef, 2006).

D'après les agriculteurs, l'explication de l'augmentation des doses épanchées est la recherche constante de la performance, c'est-à-dire de rendement de plus en plus élevés.

Si l'on devait établir un classement des plus grandes cultures consommatrices d'engrais azoté, les maraîchages (la pomme de terre) occupent la première classe surtout à l'Ouest (Djelida) et l'Est (Djendel) de la nappe ; par conséquent la culture de la pomme de terre est une réussite économique mais en réalité c'est une catastrophe écologique.

VI.4. Impact des sources de pollution sur la nappe du Haut Cheliff

La nappe du Haut Cheliff englobe plusieurs communes : Djendel, Khemis Miliana, Sidi Lakhdar, Bir Ouled Khelifa, Ain Soltane, Djelida et Arib (figure 106). Les sources de pollution qui libèrent plus de charge polluante sont principalement les rejets domestiques et industriels, l'élevage, les décharges publiques non contrôlées. Les abattoirs et les décharges hospitalières sont avec des charges moins importantes.

Tableau 51 : Charge polluante des communes implantées dans la nappe.

Commune	Charge polluante totale (Eq. hab)
Khemis Miliana	4 701 495
Miliana (hors nappe)	2 889 141
Sidi Lakhdar	1 888 406
Ain Soltane	782 613
Arib	657 445
Bir Ouled Khelifa	384 057
Djelida	377 315
Djendel	353 185
Ain Lechiakh	78 217
Oued Djemaa	65 331
Ben Allel	44 749

Le figure 106 montre que les diverses pollutions sont concentrées en forte charge dans la commune de Khemis Miliana, avec 4 701 495 Eq hab (tab.51), suivie par la commune de Sidi Lakhdar avec 1 888 406 Eq hab. et celle de Ain Soltane avec 782 613 Eq hab. la commune de Arib avec 657 445 enfin la commune de Bir Ouled Khelifa, Djelida et Djendel.

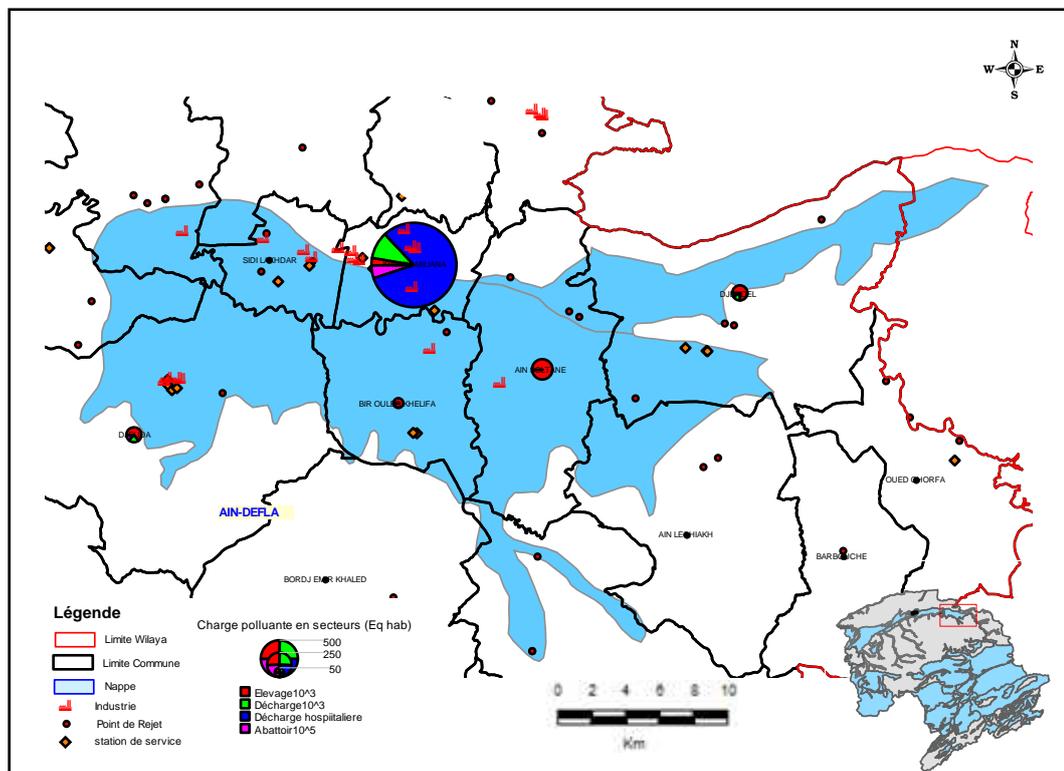


Figure 106 : Charge polluante dans la nappe du Haut Cheliff. (Source ABH. CZ 2008)

VI.5. Conclusion

La nappe alluviale du Haut Cheliff se trouve exposée à diverses sources de pollutions liées principalement à l'agriculture (la zone est à vocation agricole), la nappe semble être fortement contaminée par des nutriments d'origine agricole, suite à l'utilisation de fertilisants plus que nécessaire pour les plantes. D'autre part, les rejets urbains, déversés sans aucun traitement préalable dans le milieu naturel, sont une source importante de pollution.

Les données collectées par l'ABH nous fournissent les sources potentielles de pollution des ressources en eau que nous synthétisons ci-après :

L'aire de cette étude (la nappe du Haut Cheliff) compte une population de 306 531 habitants qui rejettent un volume de 15 000 m³/j d'eau usée domestique sans aucun traitement, en l'absence de stations d'épuration, ce qui constitue une grave menace de pollution pour les ressources en eau superficielle et souterraine. Par ailleurs plus de 57 487 tonnes de déchets ménagers sont déposés annuellement dans 12 sites sauvages donc non contrôlés. Par contre les déchets hospitaliers sont traités et incinérés. Même si leur nombre paraît réduit, les abattoirs et les tueries rejettent leurs effluents liquides sans traitement, ainsi que les déchets solides, soit dans les réseaux d'assainissement soit dans la nature. Ce qui est en fait une source de pollution à prendre en charge.

Toutes les unités industrielles enquêtées ne disposent pas d'un système d'épuration de leurs effluents liquides, ce qui constitue un risque majeur de pollution des ressources hydriques. Les résultats de calcul ont montré que l'activité agro-alimentaire génère une grande charge polluante avec 555 624 Eq.hab ; elle est suivie par les activités de la fabrication industrielle avec 770 376 Eq.hab. La charge polluante des autres activités est insignifiante.

Sur les 34 stations de services nous avons 24 stations de lavage, vidange, graissage qui rejettent leurs effluents liquides directement soit dans les réseaux urbains, soit dans les cours d'eau. Ce qui constitue un risque à prévenir.

La charge polluante des abattoirs et des tueries est très élevée parce qu'elle contient du sang et autres déchets polluants. La charge polluante des structures hospitalières est très réduite en raison du traitement de leurs déchets. Enfin La commune de Khemis Miliana reçoit la plus grande partie de la charge polluante.

L'élevage est composé de 03 types : élevage bovins, volailles et couveuses. L'élevage des bovins est minime (03 à 09 têtes/établissement) alors la pollution est réduite. Par contre, l'élevage des volailles est important, d'où une charge polluante importante, notamment dans la vallée du Haut Cheliff. Par ailleurs, la pollution générée par les couveuses est négligeable.

Les résultats obtenus d'après cette étude sur les sources de pollution, ont montré que les nitrates constituent la variable d'origine anthropique qui pourrait engendrer réellement la contamination des eaux de la nappe c'est pourquoi nous avons portés un intérêt particulier à l'agriculture. L'incrimination de l'agriculture dans la contamination de la nappe par les nitrates est désormais mise en évidence.

Conclusion Générale
et
Recommandations

1. Conclusion générale

La présente étude, qui a porté sur la vallée du Haut Cheliff, située au Nord-Ouest de l'Algérie, a abouti aux conclusions suivantes :

Cette étude a permis d'abord de faire une synthèse géologique et hydrogéologique de l'aquifère de la plaine du Haut Cheliff.

La plaine alluviale du Haut Cheliff, s'étend sur une surface d'environ 370 km² et correspond à une vaste zone déprimée subsidente d'orientation Est-Ouest où des sédiments du Miocène, du Pliocène et du Quaternaire se sont accumulés. Les potentialités en eaux souterraines sont estimées à 16 Hm³.

Ce système est principalement composé des formations mio-plio-quaternaire. Les formations quaternaires sont représentées par les alluvions. Le Miocène et le Pliocène se composent principalement de grès. Toutes ces formations ont une continuité hydraulique et forment un système aquifère unique. Les formations carbonatées qui bordent la plaine sont d'âge secondaire (massifs de Zaccar et Doui). L'écoulement des eaux souterraines se fait généralement dans une direction Est-Ouest, avec un axe de drainage qui coïncide avec le parcours de l'Oued Cheliff.

La région du Haut Cheliff a une vocation agricole nécessitant une irrigation par aspersion en raison d'un climat continental semi aride avec des étés très secs (la température moyenne interannuelle oscille entre de 13 à 19°C, avec un maximum mensuel de plus de 30°C enregistré au mois de juillet). La pluviométrie moyenne interannuelle varie entre 300 et 500 mm. Elle est plus concentrée dans les altitudes sur les versants sud du Zaccar et Nord de l'Ouarsenis. Sur l'ensemble du bassin du Haut Cheliff, l'évapotranspiration annuelle varie de 1200 à 1500 mm. Des épisodes pluvieux d'hiver provoquant parfois des inondations spectaculaires de l'Oued Cheliff. La construction des barrages Ghrib, Deurdeur, Harreza, Sidi M'hamed Ben Taiba et Ouled Mellouk totalisent une capacité de 667 Hm³, a permis de régulariser les débits des Oueds et de fournir de l'eau d'irrigation de avril à octobre. Les besoins en eau potable des populations (1 153 975 habitants) ont été estimés, en 2010, à 54 Hm³ environ.

- L'allure générale des courbes piézométriques est restée constante lors des campagnes d'observations de l'année 2002 et 2008.
- L'évolution de la piézométrie dépend des conditions climatiques, qui influent sur le battement de la nappe par la recharge durant la période de hautes eaux et l'évaporation pendant la période de basses eaux.
- Le niveau piézométrique présente une évolution régulière, caractérisée par une baisse durant la période de basses eaux sous l'effet de l'évaporation, et une remontée pendant la période de hautes eaux, suite à la recharge de la nappe. Néanmoins, on remarque une certaine perturbation locale au niveau de la zone centrale et Sud de la plaine en 2008, due à la surexploitation de la nappe pour assurer l'irrigation.

L'étude hydrogéochimique des eaux de la nappe du Haut Cheliff permet de dire que :

- Les eaux sont caractérisées par une forte salinité et par la présence de trois faciès selon la méthode de Stabler, qui sont les faciès chloruré calcique, le chloruré sodique et le bicarbonaté calcique. Ce caractère des eaux est à relier avec la présence du massif calcaire dolomitique du Zaccar et de Doui ainsi que les marnes qui constituent le substratum de la nappe.

- La répartition spatiale des éléments chimiques montre que le chimisme est fortement lié à la lithologie de l'aquifère, suite à la dissolution des formations carbonatées et des formations évaporitiques ;
- Le suivi de la qualité des eaux dans le temps a montré l'effet des précipitations et de l'évaporation sur la minéralisation des eaux souterraines ;
- La comparaison des concentrations des éléments chimiques (Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^-) qui caractérisent les formations géologiques principales du bassin, a mis en relief la dominance des ions gypsifères (Ca^{2+} , SO_4^{2-}) par rapport à ceux carbonatés (Ca^{2+} , HCO_3^-) dans l'acquisition de la salinité.
- Le calcul de l'indice de saturation des minéraux carbonatés et gypsifères a montré que les premiers ont tendance à précipiter avant les seconds, ceci a permis aux éléments chimiques provenant de la dissolution des gypses d'acquérir des teneurs importantes.
- L'analyse en composantes principales a confirmé le mode de minéralisation des eaux souterraines, car les puits qui se situent au Nord de la nappe se trouvent faiblement minéralisés au contraire de ceux qui se positionnent au Sud, qui sont trop minéralisés. Les fortes teneurs en bicarbonates se localisent au Nord de la nappe et à proximité des bordures des massifs du calcaire de Zaccar et de Doui.
- La cartographie des teneurs en nitrates dans la plaine de Haut Cheliff montre que la zone qui se trouve à proximité des agglomérations de Djendel, Bir Ouled Khelifa et Djelida, est beaucoup plus exposée à la pollution, on y enregistre des teneurs dépassant 50 mg/l. Ces fortes teneurs en nitrates peuvent être expliquées par la présence de diverses sources de pollutions liées principalement à l'agriculture, à l'élevage et aux pratiques urbaines (rejets domestiques et industriels).
- Dans la plaine du Haut Cheliff, la majorité des éléments chimiques analysés dépasse les normes fixées par l'OMS. En effet, les fortes teneurs en calcium et magnésium font que ces eaux sont très dures (91 % des points d'eau sont très dures en période de basses eaux 2008).
- L'évaluation de la qualité des eaux pour l'irrigation a révélé une salinité moyenne à élevée, notamment au Sud et à l'Est de la plaine. Elle reste toutefois modérée pour les puits situés dans la partie Ouest et Nord-Ouest de la nappe phréatique, qui peuvent donc être utilisés pour l'irrigation. Deux types d'eau ont été reconnus par la méthode de RICHARDS à savoir médiocre à mauvaise. L'utilisation de certaines d'entre elles pourrait avoir un effet négatif sur l'évolution des sols, notamment au Sud de la plaine.

Deux facteurs peuvent être tenus pour responsables de la salinité :

- La nature de certaines roches, en particulier des marnes gypsifères et des évaporites.
- Les conditions climatiques, caractérisées par une période hivernale pluvieuse (favorable à la dissolution des roches) et par une période estivale sèche et chaude (ce qui induit une forte évapotranspiration et par conséquent une augmentation de la concentration des éléments dissous).

Comprendre l'hydrochimie et la qualité des eaux souterraines est essentiel pour préserver cette ressource afin qu'elle puisse répondre aux besoins actuels et futurs en eau dans de nombreux pays. Dans le Nord-Ouest de l'Algérie, les ressources en eaux souterraines de la plaine du Haut Cheliff jouent un rôle essentiel pour l'approvisionnement en eau potable et l'utilisation de l'eau à des fins agricoles. Cependant, il ya une augmentation de la dégradation de cette ressource

précieuse qui reflète un manque de la connaissance des processus de minéralisation des eaux souterraines et une absence de gestion rationnelle.

L'importance et la gravité de cette pollution sont confirmées par les résultats constatés dans l'étude de la qualité des eaux superficielles des 04 barrages (Ghrib, Deurdeur, Harreza et Ouled Mellouk) dans la région du Haut Cheliff, à savoir :

- Les fiches de qualité des eaux montrent une dégradation de cette qualité pour l'ensemble des barrages (une pollution organique exprimée en DCO et en MO) au cours du temps. En effet, la quantité de DCO enregistrée dépasse souvent 50 mg/l, et celle de MO aussi dépasse les 15 mg/l. Cette pollution est due aux rejets des eaux usées et au processus d'eutrophisation.
- Les eaux des barrages montrent une salinité très élevée (résidu sec =2574 mg/ l en 2008 pour les eaux du barrage Ghrib, norme=1500mg/l).
- La teneur des eaux en matières azotées (NH_4^+ , NO_2^-) est élevée en 2008 dans le barrage Ouled. Mellouk. Cette pollution est due à l'oxydation de la matière organique azotée.
- D'autre part le suivie de l'évolution des paramètres de qualité et le remplissage des barrages a permis de constaté une diminution de la salinité et de la DCO suite à une amélioration de l'état de remplissage des barrages, ceci réside dans la dilution des eaux par l'apport des eaux pluviales. Tandis que l'augmentation des teneurs en nitrates et en phosphore dans les eaux des quatre barrages étudiés pendant la période pluvieuse par rapport à la période sèche peut être due au lessivage des fertilisants utilisés dans les sols agricoles situés dans les bassins versants.
- La charge polluante arrivant aux bassins versants des barrages est caractérisée par la charge polluante des établissements d'élevage en premier lieu à cause de sa valeur élevée dans presque tous les bassins versants.

2. Recommandations

La surveillance de la qualité des eaux et la lutte contre les pollutions doivent être menées afin de satisfaire aux objectifs de qualité fixés pour les eaux superficielles et pour garantir la qualité des eaux souterraines. Les nappes aquifères soumises à diverses pollutions dont les effets ne se manifestent qu'avec un important décalage dans le temps, sont difficiles à reconquérir une fois contaminées.

Pour protéger ces ressources en eau contre la pollution, il est recommandé de respecter la carte de la vulnérabilité des eaux à la pollution pour les nouveaux projets d'aménagement. Nous recommandons également la mise en place de certaines dispositions qui permettront d'éviter les causes de cette contamination :

- ✓ Pour les eaux superficielles, le réseau de mesures actuel de la qualité doit être complété, automatisé et étendu à l'ensemble des barrages et des principaux oueds permanents ;
- ✓ L'amélioration de la connaissance permanente de la qualité des eaux superficielles et des eaux souterraines doit, pour être utilisable efficacement, faire l'objet d'une diffusion régulière et rapide des informations recueillies ;
- ✓ Pour faire face aux insuffisances et aux disparités du réseau de mesures constitué au niveau des nappes, il est indispensable de mettre en place un réseau des mesures pérenne, assez densifié

et moderne, permettant d'avoir une connaissance satisfaisante de l'état et de l'évolution de la qualité de tous les aquifères significatifs de la région hydrographique ;

✓ Éviter l'implantation des ouvrages d'AEP au voisinage des berges des oueds, car les pompages peuvent provoquer un écoulement des eaux de l'oued vers la nappe, ce qui amènerait une modification de la qualité de la nappe ;

✓ L'implantation et la mise en service de stations d'épuration pour les agglomérations situées en amont des barrages et des agglomérations de plus de 25.000 habitants constituent un pas important dans la lutte contre la pollution, mais cela est insuffisant ;

✓ Concernant l'agriculture, il est conseillé de limiter l'utilisation intensive des engrais chimiques dans les sols à forte perméabilité, afin de limiter l'infiltration des éléments chimiques vers la nappe ;

✓ Les décharges publiques non contrôlées doivent être interdites dans les sites proches des nappes aquifères et les communes doivent prendre l'initiative pour s'associer en vue de créer en commun des centres d'enfouissement technique ;

Cependant, il serait très intéressant de compléter cette étude par des travaux de recherches au côté de la communauté scientifique pour une compréhension plus approfondie du comportement hydrogéologique de l'aquifère du Haut Cheliff, à savoir :

- ⇒ Des études sédimentologiques, géophysiques et hydrodynamiques couvrant l'ensemble de la nappe,
- ⇒ Étude isotopique portant sur l'utilisation en plus des traceurs environnementaux classiques les isotopes du strontium ou du rubidium pour une meilleure compréhension du temps de transit des eaux dans l'aquifère et les sources susceptibles de recharger la nappe et l'impact du changement climatique sur la nappe.
- ⇒ Une modélisation de l'écoulement des eaux souterraines et du transfert des polluants chimiques au niveau de la plaine sera utile pour connaître leur dispersion sur l'ensemble de la plaine.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

- Abderamane H., (2012) :** Étude du fonctionnement hydrogéochimique du système aquifère du Chari Baguirmi (République du Tchad). ; Université de Poitiers. France. pp 117-198.
- Abderamane H., Razack M., & Vassolo S., (2012) :** hydrogeochemical and isotopic characterization of the groundwater in the chari-baguirmi depression. Republic of Tchad. Journal of Environmental Earth Sciences. 69(7) : pp 2337–2350.
- ABH C-Z (Agence du Bassin Hydrographique Cheliff- Zahrez) (2008):** Résultats du rapport de l'élaboration de la carte des sources de pollution du bassin du Cheliff aval. 55 p.
- Aboubaker M., Jalludin M., Razack M., (2013):** Hydrochemistry study of a volcano-sedimentary aquifer using major ion and environmental isotope data. Dalha basalts aquifer, southwest of Republic of Djibouti. Environ Earth Sci 70(7): pp3335–3349.
- Achour F., Bouzelboudjen M., (1998) :** Variabilité spatio-temporelle des ressources en eau en région semi-aride: application au bassin du Cheliff, Algérie. Water Resources Variability in Africa during XXth Century (Proceedings of the Abidjan'98 Conference. held at Abidjan, Cote d'Ivoire, November 1998). IAHS Publ. no. 252. pp 225-234.
- ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques) (2004) :** Annuaire Hydrogéologique de la nappe alluviale du Haut et Moyen Cheliff. 24 p.
- Appelo CAJ., Postma D., (1993):** Geochemistry. Groundwater and Pollution, Balkema
- Ashley RP., Lloyd JW., (1978):** An example of the use of factor analysis and cluster analysis in ground water chemistry interpretation. J Hydrol 39: pp355–364.
- Beaux JF., (2003) :** L'environnement. Edition Paris : Nathan, ISBN 2-09-182431-3. 160 p.
- Bernard D., (1966) :** Limnologie - Étude des eaux continentales. Paris : Gauthier-Villars. 678 p.
- Bettahar N., Ali Benamara A, Kettab A, Douaoui A, (2009) :** Risque de pollution nitraté des zones semi-arides : cas de la vallée du moyen Cheliff occidental (Nord Algérien). Revue des sciences de l'eau, Volume 22, numéro 1, 2009, pp 69-78.
- Boulaine J., (1957):** Étude des sols des plaines du Cheliff. Université d'Alger. Algérie. 582 p.
- Bouzelboudjen M., Mania J., (1989):** Hydrogeology of the middle Cheliff basin (Algeria). Simulation of the groundwater flows. International workshop on appropriate methodologies for development and management of groundwater resources in developing countries. Hyderabad (INDIA). February 28- March 4, Vol. II. pp 505-521.
- Bremond R, Vuichard R, (1973):** Paramètres de la qualité des eaux. Ministère de la protection de la nature et de l'environnement. OSPEPE, Paris. 179 p.
- Castany G., (1982) :** Principes et méthodes de l'hydrogéologie Ed. Dunod Université – Bordas, Paris, 238 p.
- Cerling TE, Pederson BL, Damm KLV (1989):** Sodium-Calcium ion exchange in the weathering of shales: implications for global weathering budgets. Geology 17: pp 552–554.
- CGG, (1969) :** Étude géophysique des plaines du Cheliff, DEMRH, Alger.

- Chekroud H., (2007) :** Étude de la pollution des eaux de la plaine de Telezza due aux activités agricoles et commerciales. Mémoire de Magister. Université du 20 Août 1955 - Skikda. 56 p.
- Datta PS, Tyagi SK., (1996):** Major ion chemistry of groundwater in Delhi area: chemical weathering processes and groundwater regime. *J Geol Soc India* 47: pp 179–188.
- Davis JC., (2002):** Statistics and data analysis in geology. Wiley (ASIA) Ltd, Singapore, New York, pp 526–540.
- Dawdy DR, Feth JH., (1967):** Application of factor analysis in study of chemistry of groundwater quality, Mojaveriver Valley California. *Water Resources* 3(2): pp 505–510.
- De Fulvio S, Olori L., (1976):** Definitions and classification of naturally soft and naturally hard waters. In: Proc. Hardness of drinking water and public health. European Scientific Colloquium, Luxembourg 1975, Pergamon Press, New York, 95 p.
- De Villers J., Squilbin M., Yourassowsky C., (2005):** Qualité physicochimique et chimique des eaux de surface. Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement.
- Debieche T.H, (2002):** Évolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. (application à la basse plaine de la Seybouse - Nord-est Algérien). Thèse Doctorat ; université de Franche-Comté. France. 235 p.
- Degrémont SA, (2005) :** Mémento technique de l'eau. tome 1- tome 2. Lexique technique de l'eau- Lavoisier. Paris, 10^{ème} édition française. 1718 p.
- Diaw M., Faye S., Stichler W., Maloszewski P., (2012):** Isotopic and geochemical characteristics of groundwater in the Senegal River delta aquifer: implication of recharge and flow regime. *Environ Earth Sci* 66(4): pp 1011–1020.
- Dib I., (2010):** L'impact de L'activité Agricole et Urbaine sur la Qualité des Eaux Souterraines de la Plaine de Gadaine - Ain Yaghout (Est- Algérien). Thèse de magister ; Université Hadj Lakhdar Batna, Algérie. 144 p.
- Djabri L., (1996):** Pollution des eaux de la vallée de la Seybouse - régions Guelma - Bouchegouf - Annaba, ses origines géologiques, industrielles, agricoles et urbaines. Thèse de docteur d'état. Univ. Annaba. 247 p.
- Djeda F., (1987) :** Étude hydrogéologique et simulation par modèles mathématiques de la nappe de Khemis Miliana (bassin du Haut Cheliff, Algérie). thèse doctorat. Université de franche-comté. France. 173p.
- Domenico PA, Schwartz FW, (1990):** Physical and chemical hydrology. Wiley, New York.
- Durand J.H, (1959) :** Les sols rouges et les croûtes en Algérie. SES. Alger, 188 p.
- El Wartiti M., Malaki A., et El Mahmoudi N., (2012) :** Évaluation effective de la Vulnérabilité des eaux souterraines de la plaine de Gharb à laide du SIG et la méthode DRASTIC (NW du Maroc). Chapitre IV : Hydrochimie et Vulnérabilité des aquifères souterrains. 25 p.
- EPA (1983) :** Methods for the chemical analysis of water and wastes. EPA/600/4-79/020, USA, 491 p.

- Faurie C., Medori P., Ferra C., et al, (2003) :** Écologie : Approche scientifique et pratique. 5^{ème} Edition Lavoisier doc et Tec, Paris, p.312.
- Fisher RS, Mulican WF., (1997):** Hydrochemical evolution of sodium-sulfate and sodium-chloride groundwater beneath the Northern Chihuahuan desert, Trans-Pecos, Texas, USA. *Hydrogeol J* 10: pp 455-474.
- Gaujous D, (1995) :** La pollution des milieux aquatiques, aide-mémoire, Édition2, Éditeur Tec & Doc Lavoisier, 220 p.
- Ghebouli M.S. et Bencheikh Elhocine, M. (2008):** Origine de la salinité des eaux souterraines-cas de Hautes plaines Setifiennes (Nord-est algérien). *Sciences & technologie A-N°28*. Decembre (2008), pp 37-46.
- Glangeaud L., (1955) :** Les déformations plio-quaternaire de l’Afrique du Nord.
- Gouaidia L., et al. (2011) :** Évaluation de la vulnérabilité d’une nappe en milieu semi-aride et comparaison des méthodes appliquées : cas de la nappe de Meskiana (Est Algérien). Article de recherche : *Revue Sécheresse* 2011 ; vol. 22, N° 1 : pp 35–42.
- Gouaidia L., (2008) :** Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d’une nappe en zone semi des zones arides, cas de la nappe de Meskiana nord-est Algérien; Université Badji Mokhtar-Annaba Algérie. 199 p.
- Guillemin C., et Roux JC., (1992):** Pollution des eaux souterraines en France. *Manuels et Méthodes n° 23*, éd. BRGM, 262 p.
- Gupta S, Mahato A, Roy P, Datta JK, Saha RN., (2008):** Geochemistry of groundwater, Burdwan District, West Bengal, India. *Environ Geol* 53: pp 1271–1282.
- Hitchon B, Billings GK, Klovan JE., (1971):** Geochemistry and origin of formation waters in the western Canada sedimentary basin-III factors controlling chemical composition. *Geochim Cosmochim* 35: pp 567–598.
- Hounslow A., (1995):** Water quality data: analysis and interpretation. CRC Press, Boca Raton.
- Hussein MT., (2004):** Hydrochemical evaluation of groundwater in the Blue Nile Basin, eastern Sudan, using conventional and multivariate techniques. *Hydrogeol J* 12: pp 144-158.
- Ikhlef S., (2006) :** Étude de la nappe alluviale du Haut Cheliff par les nitrates. Université de Hassiba Ben Bouali Chelf. Mémoire de magister. 136 p.
- Jalali M., (2009):** Geochemistry characterization of groundwater in an agricultural area of Razan, Hamadan, Iran. *Environ Geo* 156: pp 1479–1488
- Jayakumar R, Siraz L., (1997):** Factor analysis in hydrogeochemistry of coastal aquifers- a preliminary study. *Environ Geol* 31: pp174–177.
- Jayaprakash M, Giridharan L, Venugopal T, Krishna Kumar SP, Periakali P (2008):** Characterization and evaluation of the factors affecting the geochemistry of groundwater in Neyveli, Tamil Nadu, India. *Environ Geol* 54: pp 855-867.
- Kaiser HF., (1958):** The Varimax criteria for analytical rotation in factor analysis. *Psychometrika* 23: pp 187-200.

- Kankou M., (2004) :** Vulnérabilité des eaux et des sols de la rive droite du fleuve Sénégal en Mauritanie- étude en laboratoire du comportement de deux pesticides. Thèse de doctorat, Université de Limoges, (2004), pp 23-24.
- Kemmer F.N., (1984) :** « Nalco-Manuel de l'eau ». Édition : Paris : Technique et Documentation Lavoisier, (4e tirage revu, 1983). Livre, ISBN/ISSN/EAN : 978-2-85206-220-7. 930 p. http://infodoc.agroparistech.fr/index.php?lvl=notice_display&id=60205
- Kuldip S., Hundal H., Dhanwinder S., (2011):** Geochemistry and assessment of hydrogeochemical processes in groundwater in the southern part of Bathinda district of Punjab, northwest India. *Environ Earth Sci* 64: pp 1823–1833.
- Lawrence FW., Upchurch SB., (1983):** Identification of recharge areas using factor analysis. *Ground Water* 20: pp 680–687.
- Makhoukh M., Sbaa M., Berrahou A., Clooster M. Van. (2011):** Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya (Maroc Oriental). *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n° 09, pp 149-169
- Mania J., et Djeda F., (1990) :** Hydrogéologie de la plaine alluviale du Haut Cheliff de la région de Khemis–Miliana (Algérie). *Bull. Soc. Géol. France*, 1990. 8-VI(3). pp 505-513.
- Mattaeur M., (1958) :** Étude géologique de l'Ouarsenis oriental (Algérie) - publication du service de la carte géologique de l'Algérie. bulletin N°17. Alger.
- Meghraoui M., Cisternas A., & Philip H., (1986):** Seismotectonics of the lower Cheliff basin: structural background of the El Asnam (Algeria) earthquake. *Tectonics* 5, pp 809-836.
- Mehaiguene M., (2013):** Étude des débits de base et des étiages en Nord Ouest de l'Algérie, thèse doctorat, ENSH Blida. pp 16-106.
- Merabet S., (2010):** Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux brutes et distribuées du barrage réservoir de Beni Haroun, thèse de magister, université de Constantine.
- Messelmi H., (2004):** Essai de quantification de la ressource en eau et protection de la nappe alluviale du Haut Cheliff, mémoire d'ingénieur. Université de Khemis Miliana. 77p
- Moussa A., Zouari K, Oueslati N, (2008):** Geochemical study of groundwater mineralization in the Grombalia shallow aquifer, north-eastern Tunisia: implication of irrigation and industrial waste water accounting. *Environ Geol.* doi:10.1007/s00254-008-1530-7.
- Musy A., (2003):** cours d'hydrologie générale, École Polytechnique Fédérale de Lausanne(EPFL), cours virtuel: <http://echo.epfl.ch/e-hydrologie/>.
- Nandimandalam JR., (2011):** Evaluation of hydrogeochemical processes in the Pleistocene aquifers of Middle Ganga Plain, Uttar Pradesh, India. *Environ Earth Sci* 65(4):pp 1291–1308.
- Parkhurst DL., Appelo CAJ., (1999):** User's guide to PHREEQC (Version 2)-A Computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations. United States Geological Survey, Water Resources Investigations Report 99-4259, Washington, 326 p.
- PDARE (2009) :** Plan Directeur d'Aménagement des Ressources en Eau. Rapport de synthèse de la région hydrographique du Cheliff, 266 p.

- Perrodon A., (1957) :** Étude géologique des bassins néogènes sublittoraux de l'Algérie nord Occidentale. Thèse Paris, Publ. Serv. Carte geo/. Algerie, nouv. Sér. n°. 12.
- Person J., (1978) :** Irrigation et drainage en Tunisie problème posé par la salinité des sols et des eaux. *Bulletin du BRGM*, 2^{ème} série, section III, n° 2, pp 143-151.
- Piper AM., (1944):** A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *Trans Am Geophys Union* 25: pp 914–923.
- PNE (1998) :** Région hydrographique Cheliff-Zahrez. Document de synthèse. 73 p.
- PNUD (2009) :** second communication nationale de l'Algérie sur les changements climatiques, projet GEF /PNUD 00039149 Alger, pp 140- 147.
- Rajmohan N., Elango L., (2004):** Identification and evolution of hydrogeochemical processes in the groundwater environment in an area of the Palar and Cheyyar River Basins, Southern India. *Environ Geol* 46: pp 47–61.
- Razack M., & Dazy J., (1990):** Hydrochemical characterization of groundwater mixing in sedimentary and metamorphic reservoirs with combined used of Piper's principle and factor analysis. *J. Hydrol.*, 114, pp371-393.
- Richards L.A., (1954):** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Édit. US Department of Agriculture, *Agricultural Handbook* n° 60, Washington (USA), 160 p.
- Rodier J., (1996) :** L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8^e édition Dunod, Paris.
- Rodier J., Legube B., Merlet M., Brunet R., (2009) :** L'analyse de l'eau. Ed. Dunod, Paris, 1600 p.
- Schoeller H., (1977):** Geochemistry of groundwater. In: Brown RH et al (eds) *Groundwater studies- an international guide for research and practice*. UNESCO, Paris, pp 1–18.
- Seyhan EV., Van de Caried AA, Engelen GB., (1985):** Multivariate analysis and interpretation of the hydrochemistry of a dolomite reef aquifer, Northern Italy. *Water Resources* 21: pp 1010–1024.
- Simler R., (2009):** Diagrammes software. Downloadable at <http://www.lha.univ-avignon.fr/LHA-Logiciels.htm>.
- Sogreah (1984) :** Étude hydrologique et hydrogéologique du périmètre du Haut Cheliff.
- Sujatha D., Reddy RB., (2003):** Quality characterization of groundwater in the south-eastern part of the Ranja Reddy district, Andhra Pradesh, India. *Environ Geol* 44(5): pp 579–586.
- Touhari F., (2007) :** Étude de la qualité des eaux superficielles et souterraines du Haut et moyen Cheliff. Thèse de magister ; centre universitaire de Khemis Miliana. Algérie.
- Touhari F., Meddi M., Mehaiguene M., & Razack M., (2014):** Hydrogeochemical assessment of the Upper Cheliff groundwater (North West Algeria). *Environ Earth Sci* ISSN 1866-6280 DOI 10.1007/s12665-014-3598-6. 21p.
- Usunoff EJ, Guzman AG., (1989):** Multivariate analysis in hydrochemistry. An example of the use of factor and correspondence analysis. *Ground Water* 17. pp 27–34.

WHO World Health Organization (OMS) (2008): Guidelines for Drinking-Water Quality, 2nd edn. Geneva. http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/2edvol1i.pdf.

Yidana S., Ophori D., Yakubo B., (2008): Hydrochemical evaluation of the Voltaian system. The Afram Plains area, Ghana. *J Environ Manag* 88: pp 697–707

Yitbarek A., Razack M., Ayenew T., Zemedagegnehu E., Azagegn T., (2012): Hydrogeological and hydrochemical framework of Upper Awash River basin, Ethiopia: with special emphasis on interbasins groundwater transfer between Blue Nile and Awash Rivers. *Journal Afr Earth Sc* 65: pp 46-60.

Yuce G., (2007): A Geochemical study of the groundwater in the Misli basin and environmental implications. *Environ Geol* 51 : pp 857–868.

Annexes

Annexe 1 : Lames d'eau moyennes annuelles précipitées.

Code	Nom bassin	Altitude moyenne (m)	superficie (km ²)	tranche d'eau moyenne annuelle précipitée (mm) (1968-2001)
0113	Oued Cheliff Djellil	900	992,85	401,9
0114	Oued Cheliff Ghib	870	1383,69	457,3
0115	Oued Cheliff Harbil	600	767,29	465,6
0116	Oued Deurdeur	980	743,97	463,4
0117	Oued Cheliff Harraza	575	857,64	433,6
0118	Oued Ebda	610	690,55	570,8
0119	Oued Rouina Zeddine	640	898,54	423,9

Annexe 1: Valeurs de l'hydraulicité aux différentes stations du Haut Cheliff (1968 à 2001).

Année	Station Hydrométrique							
	011407	011503	011514	011602	011702	011715	011801	011905
1968	1.58	2.15	0.66	0.73	0.67	0.96	0.75	0.78
1969	2.35	<u>3.68</u>	2.86	2.22	3.31	5.33	<u>3.73</u>	2.38
1970	0.35	0.44	0.63	0.49	0.63	0.91	0.75	0.83
1971	2.16	3.32	<u>2.93</u>	2.58	<u>3.55</u>	<u>5.45</u>	3.29	2.69
1972	2.08	2.97	2.86	1.93	3.27	2.64	2.62	2.67
1973	1.60	1.44	1.91	1.85	2.23	1.93	2.52	2.26
1974	0.92	0.92	1.09	0.63	0.97	2.02	0.94	0.97
1975	0.68	1.67	1.54	1.96	1.56	2.05	1.38	1.26
1976	0.57	1.01	1.09	0.65	0.96	0.70	0.94	0.92
1977	0.22	0.83	0.73	0.68	0.78	0.62	0.81	0.95
1978	0.44	0.60	1.12	1.09	1.16	0.96	0.97	0.99
1979	1.24	0.94	1.38	1.53	1.42	1.06	1.19	1.22
1980	0.27	0.63	1.26	1.28	1.13	0.55	1.24	0.97
1981	0.72	0.62	1.03	0.29	0.85	0.15	0.74	0.77
1982	0.57	0.86	0.99	0.81	0.89	0.61	1.05	0.91
1983	<u>0.08</u>	0.48	0.46	0.26	0.39	0.30	0.42	0.47
1984	0.63	0.65	0.80	0.99	0.64	0.54	1.28	<u>3.31</u>
1985	1.35	0.84	1.01	2.58	0.94	1.18	0.67	0.75
1986	0.74	1.80	1.84	<u>4.40</u>	1.78	1.37	1.29	1.11
1987	0.21	0.47	0.54	0.27	0.36	0.08	0.16	0.31
1988	0.23	0.35	0.45	0.56	0.31	0.37	0.57	0.45
1989	2.47	0.31	0.38	0.29	0.18	0.13	<u>0.10</u>	0.21
1990	0.74	0.40	0.34	0.55	0.33	0.42	0.66	0.63
1991	<u>2.72</u>	1.61	1.37	0.32	1.53	0.21	1.15	0.63
1992	0.63	0.27	0.18	0.25	0.12	<u>0.04</u>	0.17	0.14
1993	0.70	<u>0.23</u>	<u>0.10</u>	0.37	<u>0.05</u>	0.09	0.13	0.26
1994	0.86	1.11	0.97	0.43	1.15	0.47	0.68	1.43
1995	2.58	0.74	0.98	1.94	0.76	1.00	0.91	0.62
1996	0.65	0.32	0.40	0.34	0.17	0.29	0.27	0.29
1997	0.75	0.50	0.52	0.37	0.47	0.31	1.00	0.88
1998	0.82	0.65	0.47	0.41	0.57	0.22	0.53	0.87
1999	0.66	0.32	0.43	0.27	0.19	0.06	0.35	<u>0.11</u>
2000	0.79	0.58	0.43	0.54	0.46	0.62	0.43	0.58
2001	0.64	0.29	0.25	<u>0.18</u>	0.23	0.34	0.29	0.41

Annexe 02 : Log stratigraphique des forages testés par les essais de pompages.

Annexe 3 : détails des paramètres chimiques des points d'eau en 2002 et 2008.

N°	Point d'eau	LNA(x) m	LNA(y) m	LNA(z) m	Mois	pH	ICA	Balance
1	57/84	456425	324400	275.73	4	7.70	0.415	0.9%
2	63/84	452070	321950	280.60	4	7.70	0.631	2.3%
3	72/84	454400	328400	279.30	4	7.40	0.675	0.0%
4	73/84	453050	328950	277.30	4	7.50	0.492	2.4%
5	80/84	448900	325250	260.12	4	7.20	0.587	2.1%
6	91/84	447500	329600	256.64	4	7.50	0.523	0.2%
7	92/84	447450	330600	284.31	4	7.50	0.469	2.1%
8	107/84	447250	331000	264.81	4	7.40	0.578	0.0%
9	125/84	442700	326000	258.29	4	7.10	0.520	3.7%
10	127/84	441050	326350	274.14	4	7.40	0.306	4.3%
11	129/84	440750	327900	251.75	4	7.50	0.467	0.5%
12	139/84	459500	320900	303.64	4	7.60	0.480	3.9%
13	140/84	458500	321300	296.901	4	7.30	0.842	9.1%
14	143/84	458750	320300	301.10	4	7.70	0.112	4.0%
15	154/84	456400	321850	290.05	4	7.50	0.054	0.9%
16	155/84	456000	321050	293.02	4	7.60	0.127	3.3%
17	166/84	442400	325250	269.18	4	7.80	0.580	1.3%
18	169/84	442050	322650	313.15	4	7.20	0.722	4.1%
19	182/84	444300	327550	252.28	4	7.30	0.487	0.7%
20	185/84	457050	325500	274.84	4	7.50	0.320	4.4%
21	196/84	447500	332600	278.02	4	7.50	0.422	3.1%
22	311/84	455950	320250	310.84	4	7.10	0.460	0.8%
23	314/84	454550	328350	279.22	4	7.93	0.934	4.9%
24	7/85	470050	324250	306.973	4	7.80	0.203	3.6%
25	06/85	471700	324700	346.26	4	7.60	0.583	3.8%
26	09/85	473250	321550	333.18	4	7.30	0.621	2.0%
27	14/85	469820	321500	316.43	4	7.30	0.759	1.3%
28	20/85	477350	323500	394.87	4	7.20	0.536	2.0%
29	14/84	462470	320850	315.80	9	7.70	0.762	1.5%
30	39/84	461500	328000	292.83	9	7.70	0.649	0.1%
31	69/84	456050	327050	274.89	9	7.80	0.366	0.1%
32	72/84	454400	328400	279.30	9	7.60	0.564	0.2%
33	111/84	440400	331800	245.14	9	7.80	0.128	0.2%
34	125/84	442700	326000	258.29	9	7.90	0.335	0.3%
35	127/84	441050	326350	274.14	9	7.80	-0.016	2.4%
36	129/84	440750	327900	251.75	9	7.90	0.093	3.8%
37	139/84	459500	320900	303.64	9	7.70	-0.098	3.1%
38	140/84	458500	321300	296.90	9	7.80	0.066	0.4%
39	143/84	458750	320300	301.10	9	7.70	-0.365	0.2%
40	154/84	456400	321850	290.053	9	7.90	0.055	2.1%
41	155/84	456000	321050	293.02	9	7.60	-0.004	0.6%
42	169/84	442050	322650	313.15	9	7.50	0.768	1.2%
43	185/84	457050	325500	274.84	9	7.60	0.362	0.4%
44	196/84	447500	332600	278.02	9	7.90	0.116	1.2%
45	311/84	455950	320250	310.84	9	7.60	0.468	0.3%
46	9/85	473250	321550	333.18	9	7.70	0.641	1.6%
47	20/85	477350	323500	394.87	9	7.50	0.449	1.4%

N°	Point d'eau	LNA(x) m	LNA(y) m	LNA(z) m	Mois	pH	I.C.A	Balance
1	W084-129	440750	327900	251.745	4	8.0	0.387	0.0%
2	W084-93	449200	330800	286.901	4	7.8	0.184	4.0%
3	W084-72	454400	328400	279.295	4	7.7	0.490	1.9%
4	W084-125	442700	326000	258.292	4	7.5	0.381	2.0%
5	W084-166	442400	325250	269.177	4	7.7	0.342	4.8%
6	W084-127	441050	326350	274.142	4	7.5	-0.072	4.6%
7	W084-56	456500	324850	275.732	4	7.8	0.160	1.6%
8	W084-139	459500	320900	303.641	4	7.1	0.167	2.5%
9	W084-155	456000	321050	293.016	4	7.1	0.443	2.4%
10	W084-12	462450	321750	308.38	4	7.3	0.596	3.6%
11	W084-14	462470	320850	315.803	4	7.6	0.632	4.2%
12	W084-22	463900	322000	298.818	4	7.6	-0.417	2.6%
13	W084-39	461500	328000	292.827	4	7.4	0.646	3.5%
14	W084-63	452070	321950	280.602	4	7.5	0.548	3.8%
15	W084-80	448900	325250	260.124	4	7.5	0.479	3.3%
16	W084-92	447450	330600	284.305	4	7.5	0.152	2.2%
17	W084-107	447250	331000	264.806	4	7.5	0.384	2.2%
18	W084-140	458500	321300	296.901	4	7.6	0.095	1.1%
19	W084-143	458750	320300	301.102	4	7.4	0.161	2.0%
20	W084-154	456400	321850	290.053	4	7.4	0.103	3.1%
21	W084-169	442050	322650	313.147	4	7.2	0.421	1.4%
22	W084-185	457050	325500	274.837	4	7.2	0.149	3.5%
23	W084-196	447500	332600	278.018	4	7.3	0.418	3.5%
24	W084-309	463300	327000	288.063	4	7.2	0.433	3.3%
25	W084-310	456300	322100	289.754	4	7.4	0.252	4.9%
26	W084-311	455950	320250	310.843	4	7.3	0.498	0.7%
27	W085-6	471700	324575	346.255	4	7.1	0.465	0.9%
28	W085-20	477400	323500	394.872	4	7.4	0.550	3.6%
29	W084-129	440750	327900	251.745	10	7.9	0.544	4.7%
30	W084-72	454400	328400	279.295	10	8.2	0.501	3.5%
31	W084-125	442700	326000	258.292	10	8.0	0.462	3.0%
32	W084-166	442400	325250	269.177	10	8.1	0.466	3.0%
33	W084-127	441050	326350	274.142	10	8.2	0.043	4.9%
34	W084-139	459500	320900	303.641	10	8.3	0.195	1.8%
35	W084-8	462300	322800	293.401	10	8.2	0.709	3.4%
36	W084-155	456000	321050	293.016	10	8.2	0.439	3.5%
37	W084-14	462470	320850	315.803	10	8.3	0.689	0.2%
38	W084-39	461500	328000	292.827	10	8.2	0.679	1.3%
39	W084-63	452070	321950	280.602	10	8.3	0.387	4.2%
40	W084-91	447500	329600	256.639	10	8.3	0.484	1.6%
41	W084-92	447450	330600	284.305	10	8.6	0.253	0.4%
42	W084-154	456400	321850	290.053	10	8.3	0.178	3.6%
43	W084-140	458500	321300	296.901	10	8.5	0.183	2.3%
44	W084-143	458750	320300	301.102	10	8.6	0.050	7.6%
45	W084-169	442050	322650	313.147	10	8.1	0.589	3.4%
46	W084-185	457050	325500	274.837	10	8.0	0.176	1.0%
47	W084-196	447500	332600	278.018	10	8.1	-0.233	3.8%
48	W084-309	463300	327000	288.063	10	7.7	0.170	4.8%
49	W085-7	470050	324250	306.973	10	8.3	0.274	4.3%
50	W085-20	477400	323500	394.872	10	8.0	0.542	3.3%

I.C.A : Indice Chloro-Alcalin

Annexe 4 : Évolution des indices de saturation des minéraux en 2002.

Haute Eaux							Basses Eaux						
nom	Calcite	Aragonite	Dolomite	Gypse	Anhydrite	Halite	nom	Calcite	Aragonite	Dolomite	Gypse	Anhydrite	Halite
57/84	0.04	-0.11	-0.06	-0.84	-1.06	-5.44	14/84	0.16	0.01	0.29	-1.42	-1.64	-5.97
63/84	0.23	0.08	0.36	-0.55	-0.77	-5.69	39/84	0.04	-0.1	-0.04	-1.23	-1.45	-6.08
72/84	0.12	-0.03	0.07	-0.81	-1.03	-6.15	69/84	0.18	0.03	0.34	-0.83	-1.05	-6.13
73/84	-0.39	-0.54	-0.83	-1.2	-1.42	-6.8	72/84	0.08	-0.06	0.1	-0.87	-1.09	-6.08
80/84	0.17	0.02	0.38	-0.7	-0.92	-5.39	111/84	0.07	-0.07	0.07	-0.86	-1.08	-5.93
91/84	0.16	0.02	-0.14	-1.04	-1.26	-6.54	125/84	-0.12	-0.26	-0.45	-1.44	-1.66	-6.43
92/84	0.11	-0.03	-0.03	-1.22	-1.44	-6.59	127/84	-0.22	-0.36	-0.65	-1.68	-1.9	-6.85
107/84	0.14	0	0	-1.06	-1.28	-6.65	129/84	0.16	0.01	-0.05	-0.83	-1.05	-5.74
125/84	0.05	-0.09	-0.05	-1.28	-1.5	-6.47	139/84	0.25	0.1	0.36	-1.01	-1.23	-5.54
127/84	-0.24	-0.39	-0.65	-1.64	-1.86	-6.76	140/84	-0.05	-0.19	-0.2	-0.93	-1.15	-5.71
129/84	0.16	0.01	0.26	-0.81	-1.03	-5.98	143/84	-0.04	-0.18	-0.24	-1.05	-1.27	-5.67
139/84	-0.3	-0.44	-0.75	-1.12	-1.34	-5.54	154/84	0.1	-0.04	0.15	-0.87	-1.09	-5.17
140/84	-0.12	-0.27	-0.37	-0.91	-1.13	-6.32	155/84	0.06	-0.08	-0.01	-0.78	-1	-4.9
143/84	-0.04	-0.18	-0.31	-1.16	-1.38	-5.8	169/84	0.41	0.27	0.48	-0.75	-0.97	-5.44
154/84	0.04	-0.1	-0.12	-0.85	-1.07	-5.14	185/84	0.19	0.05	0.23	-0.54	-0.76	-5.54
155/84	-0.07	-0.21	-0.15	-0.82	-1.04	-4.87	196/84	-0.04	-0.19	-0.29	-0.92	-1.14	-5.55
166/84	0	-0.15	-0.36	-1.45	-1.67	-6.46	311/84	0.43	0.29	0.72	-0.8	-1.02	-4.75
169/84	0.13	-0.02	0	-1.27	-1.49	-6.03	9/85	-0.03	-0.18	-0.37	-1.51	-1.73	-7
182/84	-0.08	-0.22	-0.02	-1.07	-1.29	-6	20/85	0.18	0.03	0.01	-1.29	-1.5	-5.78
185/84	-0.15	-0.29	-0.49	-1.02	-1.24	-5.79							
196/84	0.07	-0.07	-0.1	-1.25	-1.47	-7.08							
311/84	0.28	0.14	0.53	-0.93	-1.15	-4.75							
314/84	0.2	0.06	0.32	-0.86	-1.08	-6.56							
7/85	0	-0.15	-0.18	-0.76	-0.98	-5.5							
06/85	0.34	0.2	0.37	-1.15	-1.37	-5.99							
09/85	0.09	-0.05	-0.17	-1.81	-2.03	-6.9							
14/85	0.09	-0.05	-0.02	-1.14	-1.36	-5.88							
20/85	0.17	0.03	0.06	-1.39	-1.61	-6.02							

Annexe 4 : Évolution des indices de saturation des minéraux en 2008.

Haute Eaux							Basses Eaux						
nom	Calcite	Aragonite	Dolomite	Gypse	Anhydrite	Halite	nom	Calcite	Aragonite	Dolomite	Gypse	Anhydrite	Halite
W084129	0.17	0.03	0.12	-1.01	-1.23	-6	W084129	0.24	0.09	0.41	-0.86	-1.08	-5.89
W08493	-0.02	-0.16	-0.04	-1.28	-1.5	-6.6	W08472	-0.02	-0.16	0.01	-1	-1.22	-5.98
W08472	0.1	-0.04	-0.02	-0.89	-1.11	-5.82	W084125	0.29	0.14	0.44	-0.84	-1.06	-5.88
W084125	-0.09	-0.23	-0.68	-1.44	-1.66	-6.27	W084166	-0.05	-0.19	-0.24	-1.47	-1.69	-6.03
W084166	0.04	-0.1	-0.01	-1.44	-1.66	-6.14	W084127	-0.02	-0.16	-0.15	-1.79	-2.01	-6.53
W084127	-0.09	-0.24	-0.54	-1.46	-1.68	-6.11	W084139	0.14	0	0.22	-0.97	-1.19	-5.33
W08456	-0.04	-0.19	-0.29	-0.87	-1.09	-5.36	W0848	0.38	0.23	0.55	-1.29	-1.51	-5.7
W084139	0.04	-0.1	0.04	-1.12	-1.33	-5.29	W084155	0.13	-0.01	0.48	-0.88	-1.1	-4.86
W084155	0.25	0.11	0.59	-0.74	-0.96	-4.77	W08414	0.2	0.06	0.32	-1.22	-1.44	-5.45
W08412	0.03	-0.11	0	-1.4	-1.62	-5.65	W08439	0.15	0	0.19	-1.59	-1.81	-5.87
W08414	-0.01	-0.16	0.02	-1.39	-1.61	-5.51	W08463	0.32	0.18	0.68	-0.68	-0.9	-5.32
W08422	-0.29	-0.43	-0.42	-1.82	-2.04	-5.51	W08491	0.21	0.07	0.33	-0.95	-1.17	-6
W08439	0.07	-0.07	0.03	-1.54	-1.76	-5.88	W08492	-0.09	-0.24	-0.17	-1.34	-1.56	-6.3
W08463	0.28	0.14	0.47	-0.6	-0.82	-5.39	W084154	0.19	0.05	0.41	-1.01	-1.23	-5.15
W08480	0.2	0.06	0.65	-0.8	-1.01	-5.23	W084140	0.1	-0.05	0.14	-0.88	-1.1	-5.19
W08492	0.09	-0.05	0.06	-1.29	-1.51	-6.36	W084143	-0.25	-0.39	-0.56	-1.21	-1.43	-5.46
W084107	0.44	0.3	0.58	-0.72	-0.94	-5.98	W084169	0.25	0.11	0.47	-0.83	-1.05	-5.15
W084140	0	-0.14	-0.22	-0.89	-1.11	-5.21	W084185	-0.01	-0.16	-0.13	-1.1	-1.32	-5.5
W084143	0.03	-0.11	-0.13	-1.21	-1.43	-5.4	W084196	0.17	0.03	0.29	-1.24	-1.46	-6.25
W084154	0.12	-0.02	0.21	-0.95	-1.16	-5.06	W084309	0.21	0.07	0.41	-1.06	-1.28	-5.73
W084169	0.3	0.15	-0.08	-1.02	-1.24	-5.85	W0857	0.33	0.19	0.57	-1.26	-1.48	-5.49
W084185	-0.13	-0.27	-0.37	-0.92	-1.14	-5.51	W08520	-0.12	-0.26	-0.4	-1.24	-1.46	-5.65
W084196	0.16	0.02	0.06	-1.11	-1.33	-6.56							
W084309	0.12	-0.03	0.05	-1.02	-1.24	-5.75							
W084310	0.1	-0.04	0.02	-0.75	-0.97	-4.88							
W084311	0.42	0.28	0.87	-0.83	-1.04	-4.68							
W0856	0.25	0.11	0.38	-1.15	-1.37	-5.59							
W08520	0.03	-0.11	0.01	-1.33	-1.55	-5.65							

Annexe 5 : Estimation des paramètres de la qualité de l'eau à l'irrigation la conductivité et le (SAR) pour les années 2002 et 2008

Compagne Avril 2002			Compagne septembre 2002			Compagne Avril 2008			Compagne octobre 2008		
Point d'eau	Conductivité μS/cm	SAR	Point d'eau	Conductivité μS/cm	SAR	Point d'eau	Conductivité μS/cm	SAR	Point d'eau	Conductivité μS/cm	SAR
57/84	2934	3.48	14/84	2287	1.15	W084-129	2020	2.09	W084-129	2399	1.70
63/84	3200	1.73	39/84	1842	1.43	W084-93	1300	1.36	W084-72	2095	1.76
72/84	2152	1.13	69/84	2124	1.66	W084-72	2295	2.11	W084-125	2414	1.92
73/84	1104	0.95	72/84	2139	1.44	W084-125	1295	1.96	W084-166	1638	2.08
80/84	3595	2.58	111/84	2117	2.68	W084-166	1547	2.01	W084-127	1193	1.92
91/84	1446	1.07	125/84	1237	1.65	W084-127	1485	3.27	W084-139	3001	5.04
92/84	1339	1.13	127/84	857	1.55	W084-56	2871	5.18	W084-8	2636	1.73
107/84	1434	0.87	129/84	2275	3.63	W084-139	2904	5.50	W084-155	4877	5.66
125/84	1405	1.22	139/84	2565	5.16	W084-155	4963	5.87	W084-14	3125	2.20
127/84	989	1.23	140/84	2250	3.80	W084-12	2419	2.26	W084-39	2121	1.66
129/84	2292	1.75	143/84	2246	5.46	W084-14	2780	2.36	W084-63	3684	3.36
139/84	2346	3.46	154/84	3409	6.74	W084-22	2035	9.09	W084-91	2096	1.77
140/84	1955	0.75	155/84	4259	9.21	W084-39	2042	1.70	W084-92	1427	1.93
143/84	1950	3.78	169/84	3750	1.69	W084-63	3608	2.56	W084-154	3476	6.26
154/84	3442	7.05	185/84	3170	2.87	W084-80	3903	3.32	W084-140	3424	5.82
155/84	4399	8.76	196/84	2472	4.45	W084-92	1488	1.87	W084-143	2483	5.12
166/84	1279	1.21	311/84	4856	5.74	W084-107	2443	1.97	W084-169	4062	3.20
169/84	2038	1.22	9/85	1098	0.62	W084-140	3207	6.40	W084-185	2455	4.66
182/84	1984	1.87	20/85	2070	2.58	W084-143	2643	5.05	W084-196	1587	2.47
185/84	2042	3.12				W084-154	3668	7.44	W084-309	2326	3.15
196/84	1070	0.71				W084-169	2077	2.35	W085-7	2643	3.78
311/84	4802	6.03				W084-185	2541	4.62	W085-20	2287	2.56
314/84	2402	0.29				W084-196	1396	1.14			
7/85	2881	4.01				W084-309	2256	2.65			
06/85	2157	1.64				W084-310	4400	7.66			
09/85	1204	0.66				W084-311	5038	5.75			
14/85	2405	1.30				W085-6	2673	2.76			
20/85	1912	1.74				W085-20	2467	2.54			



ASMIDAL

N.P.Ks (Sulfaté) 15.15.15

Dénomination :
Engrais Ternaire Azoté - Phosphaté - Potassique Sulfaté

Formule Chimique : $N.P_2O_5.K_2O$

Analyse Chimique :

Azote Total	15 % + ou - 1%
P_2O_5 Total	15 % min
P_2O_5 assimilable	14 %
K_2O assimilable	15 % + ou - 1%
S (soufre)	8%
Humidité	2% Max
PH	Neutre

Aspect Physique :

Présentation :	Granulé
Couleur :	Grisâtre
Granulométrie :	1 à 4 mm > 90%

Conditionnement : Sac Polypropylène de 50 Kg

Utilisation :

- Arboriculture / Viticulture
- Maraichage : Pomme de terre, tomate, oignon, ail, melon, pastèque,etc
- Cultures industrielles : Tomate ind., Tabacetc

Doses à l'Hectare :

Maraichage / Cultures industrielles	: 6 à 10 Qx
Arboriculture / Viticulture	: 8 à 12 Qx

Période d'application :
Engrais à utiliser comme engrais de fond
(au moment des semis et sur les différentes plantations)
sur tous les types de sols.