

N° d'ordre

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université d'Oran

Faculté des Sciences de la Terre, de Géographie & d'Aménagement du Territoire
Département des Sciences de la Terre

Mémoire

Présenté pour l'obtention du grade de Magister en Géologie

Option : **HYDROGEOLOGIE**

Thème :

**PROCESSUS D'ENRICHISSEMENT EN NITRATES DES EAUX
SOUTERRAINES DANS LES ZONES SEMI-ARIDES,
CAS DE LA PLAINE DE BOUKADIR
(NORD-OUEST ALGERIEN)**

Présenté par :

BOUCHENOUK Ibrahim

Soutenu le :devant la commission d'examen :

HASSANI M. I.	Pr.	Université d'Oran	Président
MEBROUK-ZAIDI N	M. C. (A)	Université d'Oran	Rapporteur
MANSOUR H.	Pr.	Université d'Oran	Examineur
SAFA A.	M. C. (A)	Université d'Oran	Examineur
MAHAMMED Dj.	M. C. (B)	Université d'Oran	Invité

Oran, 2013

Remerciements

Avant tout, je remercie **DIEU** le tout puissant qui m'a donné sagesse et santé afin de réaliser ce modeste travail ;

Au terme de ce travail, il m'est très agréable d'adresser mes vifs remerciements à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Tout d'abord, je tiens à exprimer ma gratitude envers Madame **MEBROUK-ZAIDI N.**, Maître de Conférences à l'université d'Oran, ma promotrice. Je la remercie m'avoir fait bénéficier de ses connaissances et de ses critiques qui m'ont beaucoup aidé à l'amélioration de ce travail. Sa méthode rigoureuse sera pour nous un bon exemple à suivre.

Je tiens à remercier pleinement Monsieur **HASSANI M. I.**, Professeur à l'université d'Oran, de m'avoir fait l'honneur de présider ce jury, et également pour avoir mis à notre disposition de la documentation nécessaire pour la réalisation de nos travaux.

Je tiens également à remercier Monsieur **MANSOUR H.**, Professeur à l'université d'Oran, pour ses encouragements et d'avoir bien voulu examiner ce mémoire.

J'adresse aussi mes remerciements à Monsieur **SAFA A.** Maître de Conférences à l'université d'Oran, pour son soutien et sa gentillesse. Sa participation à ce jury m'honore.

Je tiens également à remercier Monsieur **MAHAMMED Dj.**, Maître de Conférences à l'université d'Oran, qui m'a bien honoré en faisant partie de ce jury.

Je remercie également l'ensemble du personnel de l'A. N. R. H de Chlef et de Blida, ABH-CZ, DREW, DSA de la wilaya de Chlef. Sans leur collaboration, ce travail n'aurait pu se réaliser.

Je tiens aussi à remercier l'ensemble des enseignants du Département des Sciences de la Terre, en particulier ceux de la filière hydrogéologie qui m'ont été d'une aide précieuse.

Résumé :

La plaine de Boukadir possède actuellement des ressources hydriques relativement limitées, à savoir notamment les eaux souterraines de la nappe alluviale du Mio-Plio-Quaternaire. Ces dernières années, un essor économique, particulièrement agricole, a eu lieu, ce qui a entraîné, d'une part, l'accroissement des besoins en eaux et a provoqué, d'autre part, la dégradation de la qualité des eaux.

La nappe alluviale de Boukadir est constituée par des alluvions sableuses, gréseuses et conglomératiques, avec des passages argileux. Elle est alimentée principalement à partir des formations carbonatées de la bordure Sud.

La qualité chimique de l'eau est médiocre, résultant d'une forte salinité influencée par la lithologie de la nappe et les facteurs climatiques.

La majorité des points d'eau faisant objets d'échantillonnage présentent des teneurs élevées en nitrates dépassant les normes de potabilités (50 mg/l).

L'évolution des concentrations en nitrate pour la période 1990-2010 des eaux de la nappe alluviale de la plaine de Boukadir traduit une dégradation temporelle progressive de la qualité de ces eaux destinées pour la consommation et/ou pour l'irrigation.

L'évaluation des quantités d'azote déposées au sol selon différentes sources de pollution a montré l'importance de l'influence des engrais azotés et des fertilisants organiques utilisés dans la contamination de la nappe par les nitrates. Les quantités d'engrais azotés apportées semblent irrationnelles.

Mots clés : la plaine de Boukadir, nappe alluviale, Mio-Plio-quaternaire, essor économique, agricole, dégradation, qualité chimique, nitrates, fertilisants, engrais azotés.

SOMMAIRE

Remerciements.....	1
Résumé.....	1
Liste des figures.....	1
Liste des tableaux.....	1
Liste des acronymes et abréviations	1
INTRODUCTION GENERALE.....	1
<i>Chapitre I: Cadre physique de la zone d'étude</i>	
I-GENERALITES	3
2- CADRE MORPHOLOGIQUE:	4
3- HYDROLOGIE:	5
4- CLIMATOLOGIE	5
4-1- <i>Etude des précipitations</i> :	6
4-1-1- Précipitations moyennes mensuelles :	6
4-1-2- Précipitations annuelles :	7
4-1-3- Précipitations saisonnières	8
4-2- <i>La température</i> :	9
4-3- <i>Les vents</i> :	10
4-4- <i>L'indice climatique de la région d'étude</i> :	11
II-GEOLOGIE.....	12
1- CADRE GEOLOGIQUE GENERAL :	12
2- LITHOSTRATIGRAPHIE:	13
2-1- <i>Les formations anténéogènes</i> :	14
2-1-1- Les terrains anciens autochtones :	14
2-1-2- Les terrains allochtones :	14
- Les nappes A :	14
- Les nappes B	14
- Les nappes C.....	14
2-2- <i>Les formations Néogènes et Quaternaires post-nappes</i> :	14
2-2-1- Le Miocène	16
2-2-1-1- Le Miocène inférieur (Burdigalien) :	16
2-2-1-2- Le Miocène supérieur (Vindobonien).....	16
a- Les formations de base.....	16

b- Les formations médianes	16
c- Les formations terminales :	16
2-2-2- Le Pliocène:	17
2-2-2-1- Le Pliocène inférieur (Pliocène marin) :	17
a- Le Plaisancien :	17
b- L' Astien :	17
2-2-2-2- Le Pliocène continental:	17
2-2-2-3- Le Villafranchien:	18
a- Villafranchien I:	18
b- Villafranchien II :	18
2-2-3- Le Quaternaire:	18
2-2-3-1- Le Quaternaire ancien :	18
2-2-3-2- Le Quaternaire récent:	18
3-APERÇU STRUCTURALE :	19
3-1- <i>Tectonique souple</i>	19
- Au Miocène inférieur	19
- Au Miocène supérieur	19
- Pendant le Pliocène	19
- Au Pliocène supérieur,	19
3-2- <i>Tectonique cassante</i> :	19
3-2-1- Le pli-faille de Boukadir :	19
3-2-2- La faille de Relizane :	20
III-HYDROGEOLOGIE	20
1-INTRODUCTION:	20
2-DESCRIPTION DES PRINCIPAUX AQUIFERES DU SECTEUR D'ETUDE:	22
2-1- <i>La nappe des calcaires à lithothamnium</i> :	22
2- 2- <i>Aquifère du Plio-quaternaire:</i>	24
3-ETUDE PIEZOMETRIQUE :	25
3-1-1- <i>Interprétation de la carte piézométrique</i> :	25
3 -2- <i>Caractéristiques hydrodynamiques</i> :	26
3-2-1- Transmissivité :	26
3-2-2- Coefficient d'emménagement :	27
4- ETUDE GEOPHYSIQUE :	27
4-1- <i>Introduction</i> :	27
4-2- <i>Présentation et interprétation des résultats</i> :	27
4-2-1- Coupes G et H	27

4-2-2- Coupes L et O.....	27
IV- CONCLUSION :	29

Chapitre II: Hydrochimie

I-MATERIELS ET METHODES	30
1- INTRODUCTION	30
2 - PRELEVEMENTS ET METHODES D'ANALYSE.....	30
2-1- <i>Prélèvements</i>	30
2-2- <i>Mesures in situ</i>	31
2-3- <i>Analyse des éléments chimiques</i>	31
3- METHODES STATISTIQUES	32
3-1- <i>Analyse en Composantes Principales</i>	32
4- DIAGRAMMES ET CARTOGRAPHIE :.....	32
II-CARACTERISTIQUES HYDROCHIMIQUES :.....	33
1- CARACTERES ORGANOLEPTIQUES :	33
1-1- <i>La couleur</i> :	33
1-3- <i>La turbidité</i> :	33
2-ÉTUDE DES PARAMETRES PHYSIQUES :.....	34
2-1- <i>Le pH</i> :	34
2-2- <i>La température</i> :	34
2-3- <i>La conductivité</i> :	34
2-4- <i>Le résidu sec</i> :	34
2-5- <i>La dureté</i> :.....	35
2-6- <i>L'alcalinité</i> :	36
3- ETUDE DES PARAMETRES CHIMIQUES MAJEURS :.....	36
3-1- <i>Le calcium</i> :	36
3-2- <i>Le magnésium</i> :	36
3-3- <i>Le sodium et le potassium</i> :.....	38
3-4- <i>Les bicarbonates</i> :.....	39
3-5- <i>Les chlorures</i> :	39
3-6 - <i>Les sulfates</i> :	41
4- ETUDE DES RAPPORTS CARACTERISTIQUES :.....	42
4-1- <i>Le rapport SO_4^{2-}/Cl</i> :.....	43
4-2- <i>Le rapport Na/Cl</i> :	43
4-3- <i>Le rapport Mg/Ca</i> :.....	43
5- CLASSIFICATION HYDROCHIMIQUE:	43

5-1- Interprétation par digramme de Piper :	43
5-2- Interprétation par le diagramme de Schæller- Berkaloff :	44
6- INDICES DE SATURATION :	46
7- INDICE CHLORO-ALCALIN ICA (ANCIEN NOM : I.E.B SCHOELLER) :	48
8 - TRAITEMENT STATISTIQUE DES DONNEES HYDROCHIMIQUES :	50
8-1- Etude statistique en composante principale :	50
8-1-1 statistiques élémentaires :	50
8-1-2- Matrice de corrélation :	50
8-2- Analyse en Composant Principale (ACP) :	51
8-2-1- Cercle de corrélation des variables :	51
8-2-2- Cercle de corrélation des individus :	52
9- CONCLUSION :	54

Chapitre III Pollution et processus d'enrichissement en nitrates des eaux souterraines

I-GENERALITES :	55
1-DEFINITION DE LA POLLUTION DE L'EAU :	55
2- PRINCIPAUX TYPES DE POLLUTION :	55
2-1- Pollution d'origine urbaine :	55
2-1-1- Pollution organique :	55
a)- Pollution organique biodégradable :	55
b)- Pollution organique difficilement biodégradable :	55
2-1-2- Pollution bactériologique :	55
2-2- Pollution d'origine agricole :	55
2-3-Pollution d'origine industrielle :	56
3- PRINCIPAUX ELEMENTS INDICATEURS DE LA POLLUTION ORGANIQUE:	56
3-1- L'Ammonium:	56
3-2- Les Nitrites :	56
3-3- Les Nitrates:	56
3-4- Les Phosphates :	56
3-5- Les matières organiques :	56
3-6- La matière en suspension :	57
II-PRINCIPALES SOURCES DE LA POLLUTION DANS LE SECTEUR D'ETUDE	57
1-INTRODUCTION :	57
2-CARTOGRAPHIE DE SOURCES POTENTIELLES DE LA POLLUTION	58
2- 1- Origine domestique et urbaine :	59

2-2- <i>Origine agricole</i> :	59
2- 4- <i>Origine cimetièrè</i> :	61
3-VULNERABILITE A LA POLLUTION DE LA NAPPE ALLUVIALE DU MCO :	61
III- LA POLLUTION PAR LES NITRATES	62
1-DEFINITION DES NITRATES :	62
2- DIFFERENTES FORMES DE L'AZOTE :	62
3- CYCLE DE L'AZOTE DANS LA NATURE :	63
3-1 - <i>Les phases du cycle de l'azote</i> :	63
3-1-1- La minéralisation.....	63
A- L'Ammonification	64
B- La Nitrification	64
B-1- La Nitritation	64
B -2- La Nitratation	64
3-1-2 – L'immobilisation	65
A- Dénitrification.....	65
B- Absorption de l'Azote par les plantes	65
C- Phénomène de Volatilisation	65
4- NITRATES ET RISQUES SANITAIRES :	65
4-1- <i>Pharmacocinétique et métabolisme</i>	66
4-2- <i>Intoxication aiguë</i>	66
4-3- <i>Effets cancérigènes</i>	66
4-4- <i>Effets environnementaux des nitrates</i>	67
4-5- <i>Teneurs limites</i> :	67
5-ECHANTILLONNAGE ET DOSAGE DES NITRATES :	68
6-DETERMINATION DE LA SOURCE DE LA POLLUTION AZOTEE :	68
6-1- <i>Corrélations chimiques</i> :	68
6-2- <i>Méthodes isotopiques</i> :	68
7- ELIMINATION DES NITRATES (DENITRIFICATION) :	69
7-1- <i>Procédés physico-chimiques</i>	69
7-2- <i>Procédés biologiques</i>	70
8- LESSIVAGE DES NITRATES DANS LES EAUX SOUTERRAINES :	70
IV-EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DES NITRATES	71
1- ORIGINE DES DONNEES:	71
2-ANALYSE STATISTIQUE.....	71
3- EVOLUTION DU TAUX DE NITRATES ENTRE 1992 ET 2010	72
4- LES TENEURS EN NITRATES DE L'ANNEE 2010 :	73

4-1- Répartition spatiale des teneurs en nitrates :	74
5 - EVOLUTION DES NITRATES EN FONCTION DE PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES	76
5-1- Relation Nitrate – Profondeur d'eau :.....	76
5-2- Relation Nitrate – Nitrite :.....	76
5-3- Relation Nitrates – Chlorures :.....	77
5-5- Relation Nitrates – Bicarbonates :	79
5-6- Relation Nitrates – Potassium :	79
V-NOTION DU BILAN D'AZOTE	80
1-DEFINITION :	80
1-APPORTS D'AZOTE SUR LE PERIMETRE DE LA ZONE D'ETUDE	81
1-1-Appports naturels.....	81
1-1-1-Apport d'azote atmosphérique	81
1-1-2- Apport d'azote par minéralisation.....	81
1-2-Appports anthropiques.....	81
1-2-1- Impact de l'activité agricole	81
a- L'élevage :	82
b- Les engrais azotés :	82
b-1- Quantité d'azote fournie par les engrais azotés :	83
C- Le fumier :	84
D- Apports par l'eau d'irrigation :.....	84
1-2-2-L'influence des la pollution d'origine domestique et urbaine.....	85
1-2-3- Impact de l'industrie	86
1-2-4-Décharges d'ordures ménagères.....	86
1-3-Quantification de l'apport total en azote	88
2-LES PERTES D'AZOTE SUR LE PERIMETRE DE LA PLAINE DE BOUKADIR	89
2-1-Absorption.....	89
2-2-Volatilisation.....	90
2-3- Dénitrification.....	90
2-4-Etablissement du bilan d'azote	90
VI-CONCLUSION :	91
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS :.....	92
Références bibliographiques.....	93
Annexes.....	.....

Liste des figures

	Page
Fig. n° 01: Unités hydrographiques du bassin du Chélif.....	3
Fig. n°2 : Situation géographique du secteur d'étude.....	4
Fig. n° 3 : Carte de positionnement des stations pluviométriques.....	6
Fig. n°4 : Précipitations moyennes mensuelles (1990-2010).....	7
Fig. n°5 : Précipitations annuelles (1990-2010).....	7
Fig. n°6 : Précipitations saisonnières (1990-2010).....	9
Fig. n°7: Températures moyennes mensuelles (1973-2006).....	10
Fig. n°8 : Diagramme d'indice d'aridité (d'après De Martonne, 1925).....	11
Fig. n°9 : Cadre géologique général(Perrodon, 1957-Mattauer, 1958).....	12
Fig. n°10 : Cadre géologique du Moyen Chélif Occidental (Scet-Agri ,1985).....	13
Fig. n°11 : Log stratigraphique synthétique de la plaine du MCO (Maghraoui, 1982).....	15
Fig n°12 : Stratigraphie et niveaux aquifères (d'après Schrambach, 1966).....	21
Fig n° 13: Différentes nappes aquifères de la zone d'étude(ABH-CZ,2001).....	22
Fig n°14 : Schéma stratigraphique du Miocène de la bordure nord de l'Ouarsenis (Perrodon, 1966).....	23
Fig n°15 : Coupe hydrogéologique schématique de la plaine de Chlef (Scrambach, 1966).....	24
Fig n° 16 : Carte piézométrique de la nappe alluviale de la zone d'étude (Septembre 2010).....	25
Fig. n° 17: Schéma structural du calcaire à lithothamnium d'Oued Sly à Oued Taflout (Scharmbach, 1966).....	26
Fig n° 18: Coupes géoélectriques G et H (C.G.G., 1972).....	28
Fig n° 19: Coupes géoélectriques L et O (C.G.G., 1972).....	28
Fig n°20 : Localisation des points d'eau échantillonnés.....	31
Fig n° 21 : Carte d'isoteneur en Résidu Sec.....	35
Fig n°22 : Carte d'isoteneur en calcium.....	37
Fig n°23 : Carte d'isoteneur en Magnésium.....	37
Fig n°24 : Carte d'isoteneur en Na + K.....	38
Fig n°25 : Carte d'isoteneur en Bicarbonates.....	40
Fig n°26 : Carte d'isoteneur en Chlorures.....	40
Fig n°27: Carte d'isoteneur en Sulfates.....	41
Fig. n° 28 : Représentation graphique sur le diagramme de Piper.....	44
Fig n°29 : Représentation graphique sur le diagramme de Scholler Berkloff	45

Fig n° 30 : Représentation graphique sur le diagramme de Scholler Berkaloff.....	45
Fig n°31: Cercle de corrélation : axes 1 et 2, étude des variables.....	52
Fig n°32: Cercle de corrélation : axes 1 et 2, étude des individus.....	53
Fig n° 33: Carte des sources de pollution da la nappe alluviale du MCO (in Henia,2006, modifiée et complétée).....	58
Fig n°34:Carte de vulnérabilité à la pollution de la nappe alluviale du MCO (ABH-CZ).....	61
Fig. n°35: Cycle de l'azote dans le sol, (Recous et al. 1997).....	64
Fig.n° 36 : Proportions de points de prélèvements par classe de concentration en nitrates.....	73
Fig.n° 37 : Répartition spatiale des teneurs en nitrates (année 2010).....	75
Fig. n° 38 : Evolution des nitrates dans le sens d'écoulement.....	75
Fig.n° 39: Evolution des nitrates en fonction de la Profondeur.....	76
Fig.n°40 : Evolution des nitrates en fonction de Nitrites.....	77
Fig.n° 41 : Evolution des nitrates en fonction de Chlorures.....	78
Fig.n° 42 : Evolution des nitrates en fonction des Phosphates.....	78
Fig.n° 43 : Evolution des nitrates en fonction des bicarbonates.....	79
Fig.n° 44 : Evolution des nitrates en fonction du potassium.....	80
Fig n° 45 : Situation du centre d'enfouissement technique de Meknassa.....	87
Fig. n° 46 : Taux d'azote annuel (minéral et organique) produit dans la plaine de Boukadir.....	89

Liste des tableaux

	Page
Tab. n°1 : Coordonnées des stations climatiques.....	5
Tab. n° 2 : Précipitations moyennes mensuelles pour la période 1990-2010.....	6
Tab. n° 3 : Précipitations annuelles.....	8
Tab. n° 4 : Précipitations saisonnières (1990-2010) en mm.....	8
Tab. n° 5 : Moyennes annuelles et mensuelles des vitesses du vent (m/s).....	10
Tab. n° 6 : Rapports caractéristiques.....	42
Tab. n° 7 : Les indices des saturations des eaux souterraines de la zone d'étude.....	47
Tab. n° 8 : Valeurs des indices Chloro-Alcalins des eaux du secteur d'étude.....	49
Tab. n° 9 : Calcul des moyennes et des écarts -types de la série.....	50
Tab. n° 10 : Matrice de corrélation des éléments chimiques.....	51
Tab. n° 11: Différents engrais chimiques utilisés dans la région du Chélif (DSA, 2010)...	59
Tab. n° 12 : Unités industrielles des communes du Moyen Chélif Occidental (ABH C-Z et DPAT de Chlef).....	60
Tab. n° 13 : Paramètres statistiques des teneurs en Nitrates exprimés en mg/l.....	71
Tab. n° 14 : Apport annuel en azote à partir de l'élevage.....	82
Tab. n° 15 : Cultures pratiquées dans la plaine de Boukadir (DSA, 2010).....	83
Tab. n° 16: Apport annuel d'azote minéral apportés au sol à partir d'engrais azotés.....	84
Tab. n°17 : Quantités d'azote minéral apportées au sol à partir d'eau d'irrigation.....	85
Tab. n° 18 : Apport annuel en nitrates provenant des eaux usées domestiques.....	86
Tab. n° 19 : Apport total en azote pour l'année 2010.....	88

Liste des Acronymes et Abréviations

Acronymes

ABH-CZ : Agence du Bassin Hydrographique Chéelif-Zahrez

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

CET : Centre d'Enfouissement Technique

CORPEN: Comité d'Orientation pour la Réduction de la Pollution des Eaux par les Nitrates

CGG : Compagnie Générale de la Géophysique

DPAT : Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire

DR DASS : Direction Régionale et Département des Affaires Sanitaires et Sociales

DSA: Direction des Services Agricoles

FNRDA: Fonds National pour la Régulation du Développement Agricole

INPV : Institut National de Protection Végétale

MCO : Moyen Chéelif Occidental

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ONID (ex OPIC) : Office national de l'irrigation et du Drainage

PNDA: Programme National de Développement de l'Agriculture

Abréviations

ACP: Analyse en Composantes Principales

CMA : Concentration Maximale Admissible

CEC (sol) : Capacité d'Echange Cationique

ICA: Indice Chloro-Alcalin

IS: Indice de Saturation

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

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 qualitatif actuel de la nappe alluviale du Moyen Chélif. La qualité des eaux souterraines 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 augmenté la demande en eau et a exposé la ressource à différentes pollutions résultant des activités agricoles ; notamment la pollution par les nitrates.

La présence des nitrates en concentrations excessives dans les eaux de consommation a un effet nocif surtout sur la santé des nourrissons qui se traduit par la méthémoglobinémie ou maladie bleue causant l'asphyxie, en plus d'autres effets plus graves soupçonnés.

Quelques études, déjà réalisées sur la zone d'étude (mémoires d'ingénieur, de Magister et une thèse de Doctorat), ont montré que les plaines du Moyen Chélif sont fortement affectées par cette pollution.

Dans cette étude, nous n'allons pas seulement confirmer cette réalité, mais nous allons essayer de mieux comprendre l'impact de différents paramètres urbains, agricoles et

industriels sur l'enrichissement en nitrates des eaux souterraines de l'une des plaines du Moyen Chélif, c'est la plaine de Boukadir.

Pour la réalisation de ce travail, nous allons adopter la méthodologie suivante :

- Etude du cadre physique et hydrodynamique des eaux souterraines en relation avec la qualité chimique ;
- Etude des paramètres physiques et chimiques de l'eau ;
- Etude des dépendances et relations entre les divers paramètres physico-chimiques de l'eau (analyse en composantes principales) ;
- Etude de la pollution par les nitrates et de leurs origines ;
- Evaluation quantitative des processus d'enrichissement en nitrates des eaux souterraines.

Pour concrétiser ce programme de travail, nous avons exploité les résultats d'analyses physico-chimiques et des données piézométriques des eaux souterraines qui ont été réalisés par les services de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques en juillet 2010. Plusieurs outils (géologique, hydrodynamique, chimique, statistique et informatique) ont également été utilisés afin de mieux interpréter les données acquises.

CHAPITRE I

Cadre physique de la zone d'étude

I- GENERALITES

1- Cadre géographique:

La plaine de Boukadir ou du Chélif-Boukadir appartient, selon le nouveau découpage des unités hydrographiques de l'Algérie, à la partie occidentale du bassin du Moyen Chélif (fig. n°1) ; ou bien au bassin du Moyen Chélif Occidental proprement dit. Ce dernier se situe au Nord Ouest de l'Algérie et regroupe deux (02) sous bassins versants: Oued Sly et Oued Ouahrane.

La plaine d'étude s'étend sur une superficie d'environ 160 km² de la limite Ouest de la ville de Chélif jusqu'à la ville de Boukadir au Sud Ouest.

Elle est limitée : (fig. n°2)

- au Nord-Est, par le secteur de la ville de Chettia,
- au Nord et au Nord-Ouest, par le flanc Sud des monts du Dahra,
- à l'Est, par le secteur de la ville de Chélif,
- au Sud et au Sud-Ouest, par le flanc Nord du massif de l'Ouarsenis occidental.
- Et à l'Ouest, par le secteur du barrage Merdja Sidi-Abed.

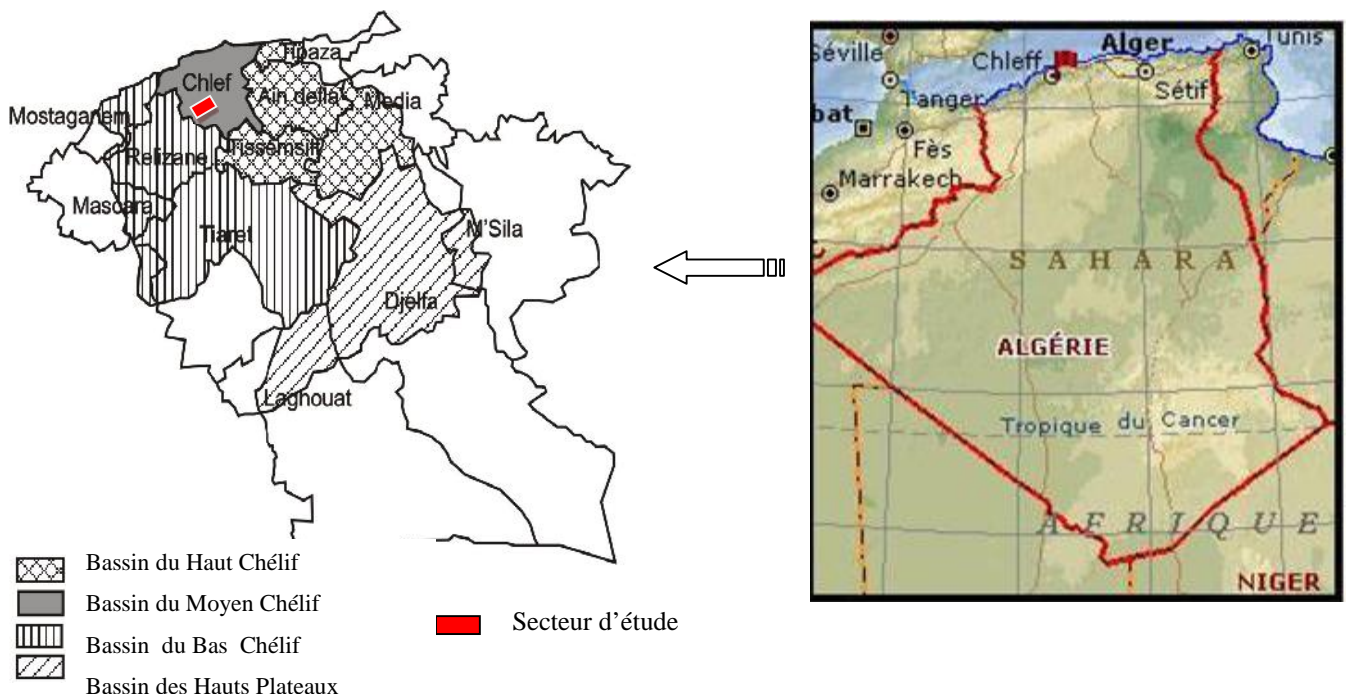


Fig. n° 01: Unités hydrographiques du bassin du Chélif

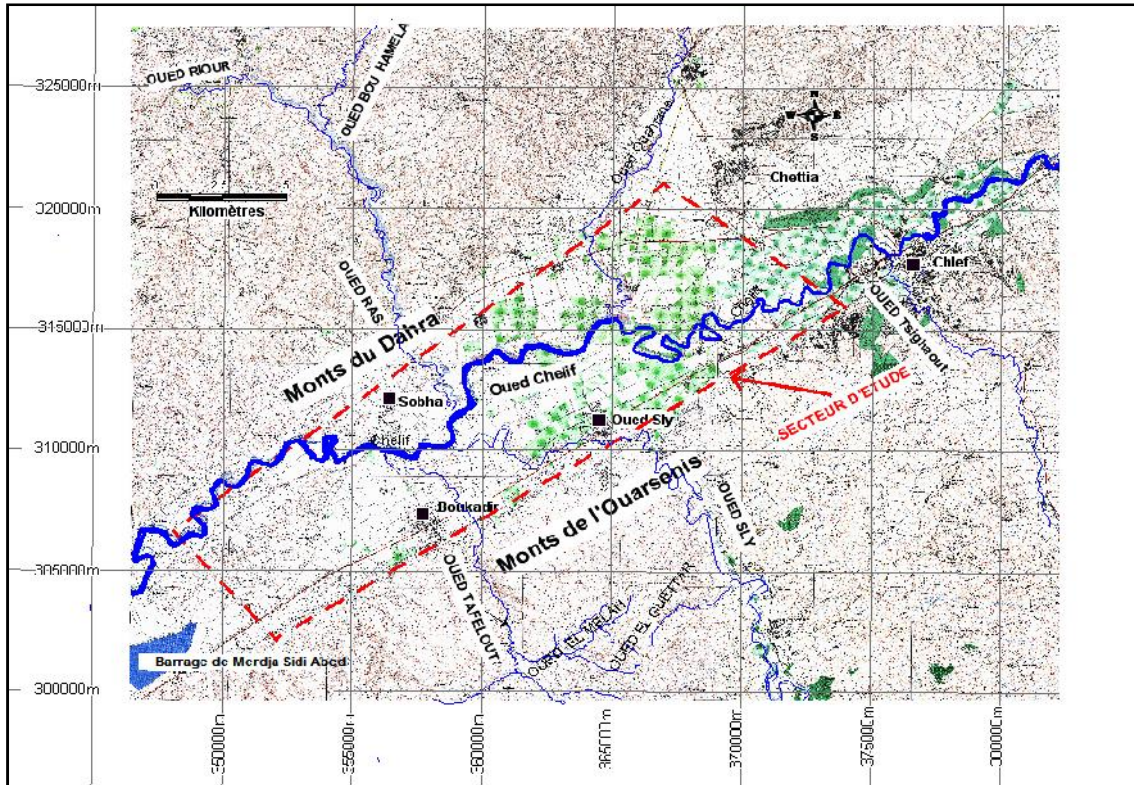


Fig. n°2 : Situation géographique du secteur d'étude

(Extrait de la carte topographique de la région de Chélif au 1 /25000)

2- Cadre morphologique:

Le bassin du Moyen Chélif correspond à un sillon sublittoral subsident de type intramontagnaux fonctionnant en graben le long de grandes flexures bordières (Perrodon, 1957). Le centre du sillon est loin d'être plane. Il se présente sous forme succession de plaines et de collines peu élevées installées aux piedmonts des massifs limitrophes du Dahra au Nord et de l'Ouarsenis au Sud. L'ensemble est orienté selon la direction tellienne (WSW-ENE).

Le massif de l'Ouarsenis est une chaîne qui s'étend sur plus de 200 km. Il domine la plaine du Chélif avec une altitude moyenne qui s'accroît d'Ouest en Est de 1000 à 1300 m environ.

La chaîne septentrionale du Dahra, qui forme une barrière assez continue de la mer de quelques 70 km de longueur, culmine à une altitude moyenne de 500 à 700 m.

3- Hydrologie:

Globalement, la disposition du réseau hydrographique est liée en grande partie à l'évolution des phénomènes structuraux qui ont affecté la région au cours du temps géologique (in Elmeddahi, 2009). Le chevelu hydrographique suit pratiquement les accidents importants qui ont affecté les terrains.

L'Oued Chélif qui résulte de la jonction de deux grands cours d'eau : Oued Touil et Nahr Ouassel, est l'oued principal ; il est parmi les grands oueds Nord-africains. Il draine la vallée du Moyen Chélif Occidental d'Est en Ouest sur un trajet de 60 kilomètres. Ses affluents qui proviennent des piémonts de l'Ouarsenis ou du Dahra sont principalement représentés par oued Fodda, oued Tsighaout, oued Sly, oued Taflout, oued Ouahrane et oued Ras (fig. n°2). L'Oued Chélif quitte le Moyen Chélif vers sa destination finale à Mostaganem où il se déverse à la mer.

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

4- Climatologie

Les principales caractéristiques climatiques de la zone d'étude sont basées sur les données relatives à trois stations pluviométriques appartenant à l'ANRH (fig. n°3) dont les caractéristiques sont mentionnées dans le tableau ci-dessous.

Tab. n°1 : Coordonnées des stations climatiques.

Station	Altitude (m)	X (Lambert) Km	Y (Lambert) Km	Indicatif ANRH
CHLEF	110	378.65	320.5	012219
DOMAINE SI-TAIB	84	362.15	318.4	012218
OUED SLY	95	365.2	312.7	012309

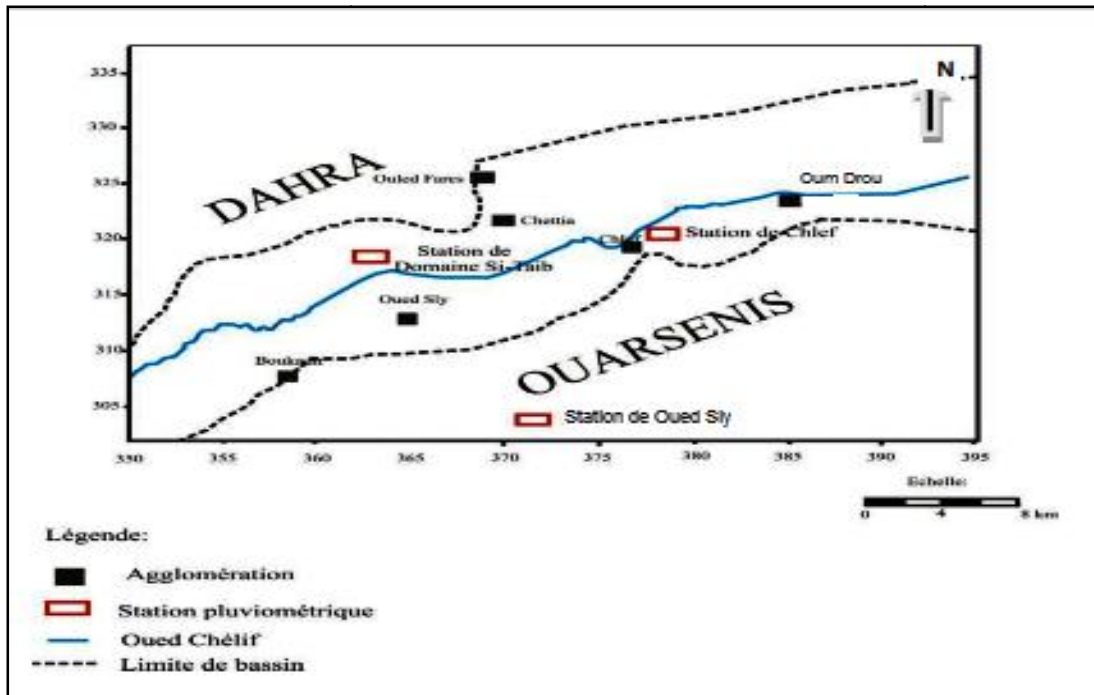


Fig. n° 3 : Carte de positionnement des stations pluviométriques

4-1- Etude des précipitations :

Les enregistrements pluviométriques considérés pour la réalisation des différentes statistiques couvrent la période de 1990 à 2010.

4-1-1- Précipitations moyennes mensuelles :

Les précipitations moyennes mensuelles, maximales et minimales des stations concernées sont présentées sur le tableau n°2.

Tab. n° 2 : Précipitations moyennes mensuelles pour la période 1990-2010.

station		Sep.	Oct.	Nov	Déc.	Jan.	Fév	Mars	Avr	Mai	Jun.	Jul.	Aout
EL ASNAM	Max (mm)	51	83	98	96	103	109	76	74	97	22	10	40
	Moy (mm)	21	31	48	41	41	41	32	36	31	3	2	5
	Min (mm)	0	0	0	1	3	0	0	2	0	0	0	0
ES SOULAST	Max (mm)	78	48	110	78	91	104	78	140	77	20	12	47
	Moy (mm)	24	27	44	36	39	42	32	34	27	4	1	5
	Min (mm)	0	0	1	7	5	0	0	3	0	0	0	0
OUED SLY	Max (mm)	29	76	85	101	109	115	99	71	82	22	9	11
	Moy (mm)	9	22	38	35	37	41	30	25	21	3	1	2
	Min (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Le graphe des précipitations moyennes mensuelles (fig. n°4) montre qu'il y a deux saisons pour la région du Moyen Chélif Occidental; l'une est sèche de Juin à Aout, l'autre pluviale de Septembre à Mai.

Les quantités moyennes maximales sont enregistrées en novembre avec un maximum de 48 mm à la station de Chélif, 44 mm au domaine Si-Taib et 38 mm à Oued Sly.

Le mois de juillet est le mois le plus sec. On enregistre 1 mm à Oued Sly, 1 mm au Domaine Si-Taib et 2 mm à Chélif.

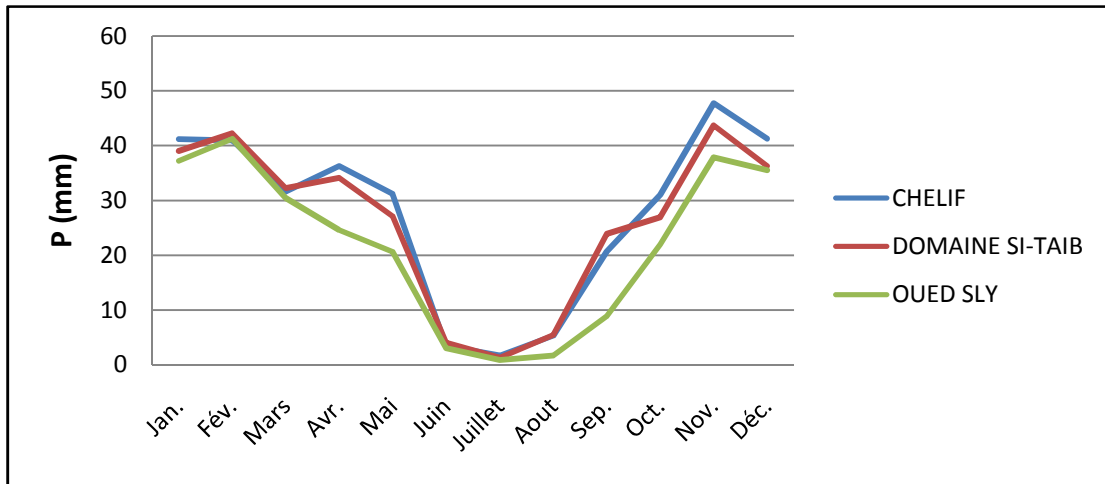


Fig. n°4 : Précipitations moyennes mensuelles (1990-2010)

4-1-2- Précipitations annuelles :

Le module pluviométrique moyen annuel est égal à 304 mm (tab. n°3).

D'après le graphe obtenu (fig. n°5), nous constatons une perturbation interannuelle pour notre région d'étude durant la période 1990-2010, avec un maximum de 458 mm enregistré en 2009 et un minimum de 181 mm en 1993.

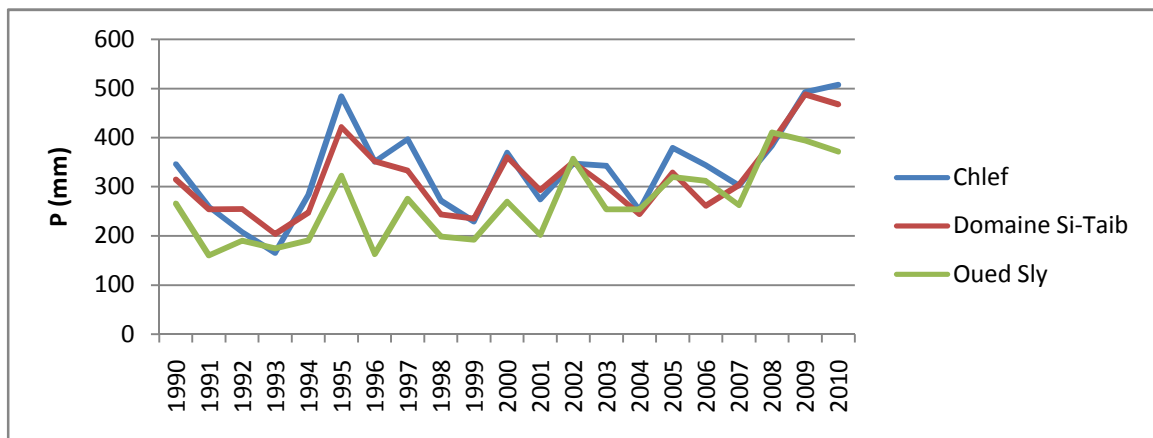


Fig. n°5 : Précipitations annuelles (1990-2010) en mm

Tab.n°3 : Précipitations annuelles

Année	Chlef	Domaine Si-Taïb	Oued Sly	P. moyenne annuelle
1990	345	314	266	308
1991	259	254	160	224
1992	207	254	190	217
1993	165	204	174	181
1994	283	247	191	240
1995	483	421	322	409
1996	351	351	162	288
1997	396	333	276	335
1998	271	244	198	238
1999	229	235	192	219
2000	369	360	269	333
2001	274	293	202	256
2002	347	349	357	351
2003	342	300	254	299
2004	252	244	253	250
2005	379	329	320	342
2006	344	261	312	305
2007	302	303	262	289
2008	383	389	410	394
2009	492	487	394	458
2010	507	467	371	449
P. moyenne interannuelle	332	316	264	304

4-1-3- Précipitations saisonnières

Le tableau ci-dessous représente les valeurs des précipitations saisonnières des différentes stations.

Tab. n°4 : Précipitations saisonnières (1990-2010) en mm.

Station	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Chlef	99	123	99	11
Domaine Si-Taïb	95	118	93	11
Oued Sly	69	114	76	6

Les histogrammes des précipitations saisonnières (fig. n° 06) montrent que :

- Les fortes précipitations sont enregistrées en hiver pour toutes les stations, elles varient entre 114 et 123 mm.
- Les précipitations du printemps et d'automne sont relativement importantes, elles varient entre 76 et 99 mm.
- La saison d'été est la moins pluvieuse, les précipitations varient entre 6 et 11 mm.

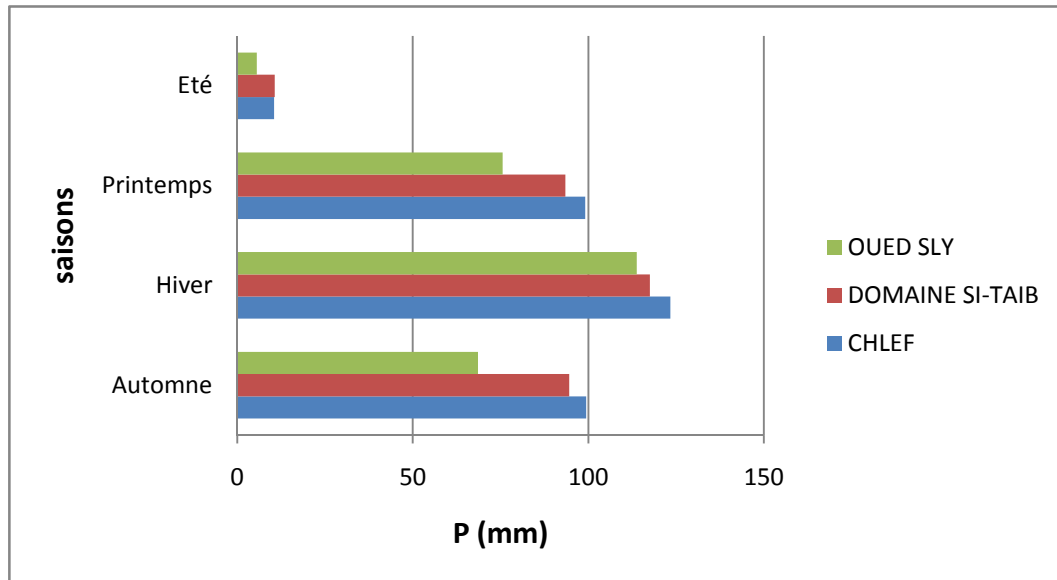


Fig. n°6 : Précipitations saisonnières (1990-2010)

En résumé, les précipitations sont caractérisées par une irrégularité dans l'espace et dans le temps et ainsi que par des variations intermensuelles et interannuelles importantes.

4-2- La température :

Malgré la proximité à la mer de notre zone d'étude, les mois de l'année enregistrent des températures régulièrement croissantes et décroissantes entre les deux pôles chauds et froids. Pour l'examen de ce paramètre, nous avons utilisé les données fournies par la station d'Oued Sly pour la période 1973 à 2006.

Le tracé de la courbe de variation de la température moyenne mensuelle montre qu'il y a deux saisons distinctes (fig. n° 08):

- Une saison froide ($T < 15\text{ °C}$) qui débute en novembre et se termine en mars où la température atteint $9,4\text{ °C}$ en janvier.
- Une saison chaude qui commence en avril et finit en octobre avec un maximum de $29,4\text{ °C}$ en août.

L'écart est important entre le mois de Janvier et le mois d'Août, soit près de 20 °C. Cette différence indique une continentalité claire malgré la proximité de la mer.

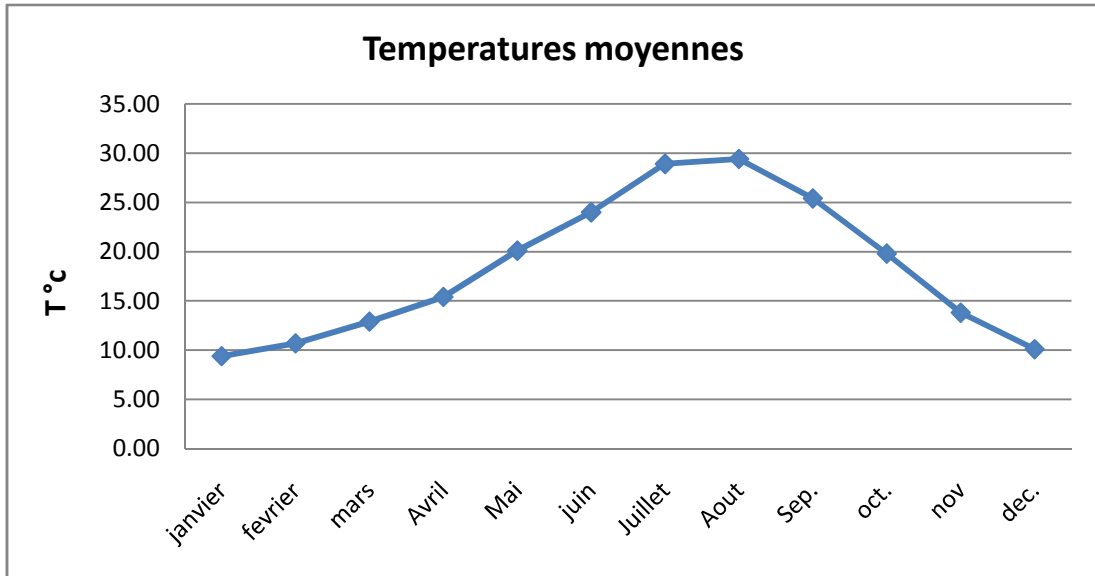


Fig. n°7: Températures moyennes mensuelles (1973-2006).

4-3- Les vents :

Les moyennes mensuelles de la vitesse du vent à la station du Chélif concernant la période 1974 – 1994 sont présentées dans le tableau n°5.

Tab. n°5 : Moyennes annuelles et mensuelles des vitesses du vent (m/s).

Mois	Jan.	Fév	Mars	Avr	Mai	Jun.	Jul.	Aout	Sep.	Oct.	Nov.	Déc
Vitesse moy.	1.9	2.3	2.4	2.7	2.8	2.9	2.8	2.6	2.3	2.2	2.1	2.1
Direction	NE	W	W	W	W	W	WSW	WSW	W	NE	NE	NE

Les vents dominants soufflent essentiellement de l'Ouest et du Nord Est.

Le Sirocco : vent chaud et sec de direction WSW souffle généralement de 5 à 7 jours de Juin à Septembre avec un maximum en Août.

Dans la vallée du Chélif, les pressions atmosphériques sont plus élevées le matin (07 heures) que le soir ; alors que la situation s'inverse sur le littoral (à 13 heures) car l'abaissement absolu est très important dans le Chélif et assez faible sur le littoral (ceci pour Mai et Juin). Ce phénomène explique l'importance de vents locaux, vent Nord de Chélif (Yacono in Boulaine, 1957).

4-4- L'indice climatique de la région d'étude :

L'utilisation du diagramme de De Martonne détermine pour notre région d'étude un climat semi-aride à la limite d'un régime désertique (fig. n°8). L'indice d'aridité, étant donné par la formule: $I = P/T + 10$ avec :

I : indice d'aridité de De Martonne

P : Précipitation moyenne annuelle en mm

T : Température moyenne annuelle en °C.

On prend la station de Chlef pour la période 1980-2003:

$$I = 308/19+10$$

$$= 10.62$$

donc $10 < I < 20$, ceci traduit un climat semi-aride.

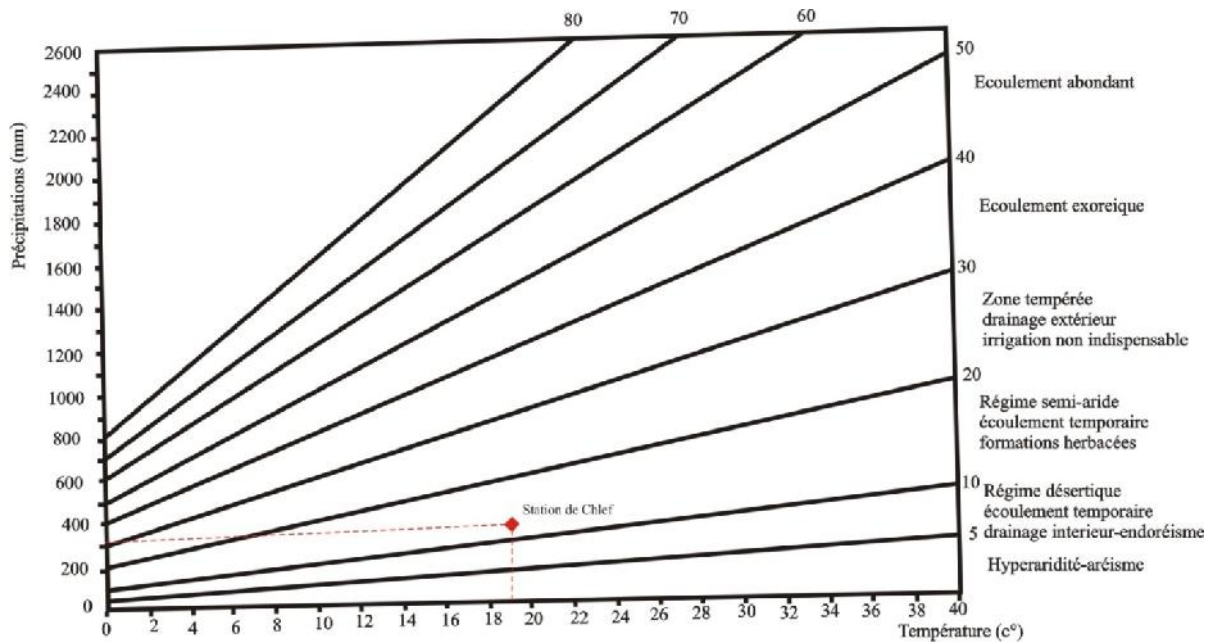


Fig. n°8 : Diagramme d'indice d'aridité (De Martonne, 1925).

II- GEOLOGIE

1- Cadre géologique général :

L'étude géologique de la région d'étude est basée sur la synthèse des travaux majeurs effectués par plusieurs auteurs : Gentil, 1918 ; Perrodon, 1957 ; Mattaeur, 1958 ; Polveche, 1960 ; Aneur, 1979 ; Thomas, 1985 ; Maghraoui, 1982 et 1988 ; Achour, 1997 ; et bien d'autres.

Le bassin du Chélif appartient au bassin néogène de l'Algérie centro-occidentale, qui s'aligne parallèlement à la côte méditerranéenne formant des zones peu élevées par rapport aux chaînes secondaires plissées qui les encadrent (fig. n°09) (Achour, 1997).

L'histoire est étroitement liée aux phases ultimes et paroxysmales de l'Orogenèse Alpine.

Le bassin du Chélif est un bassin subsident de type intra montagneux fonctionnant en graben le long de grandes flexures bordières (Perrodon, 1957).

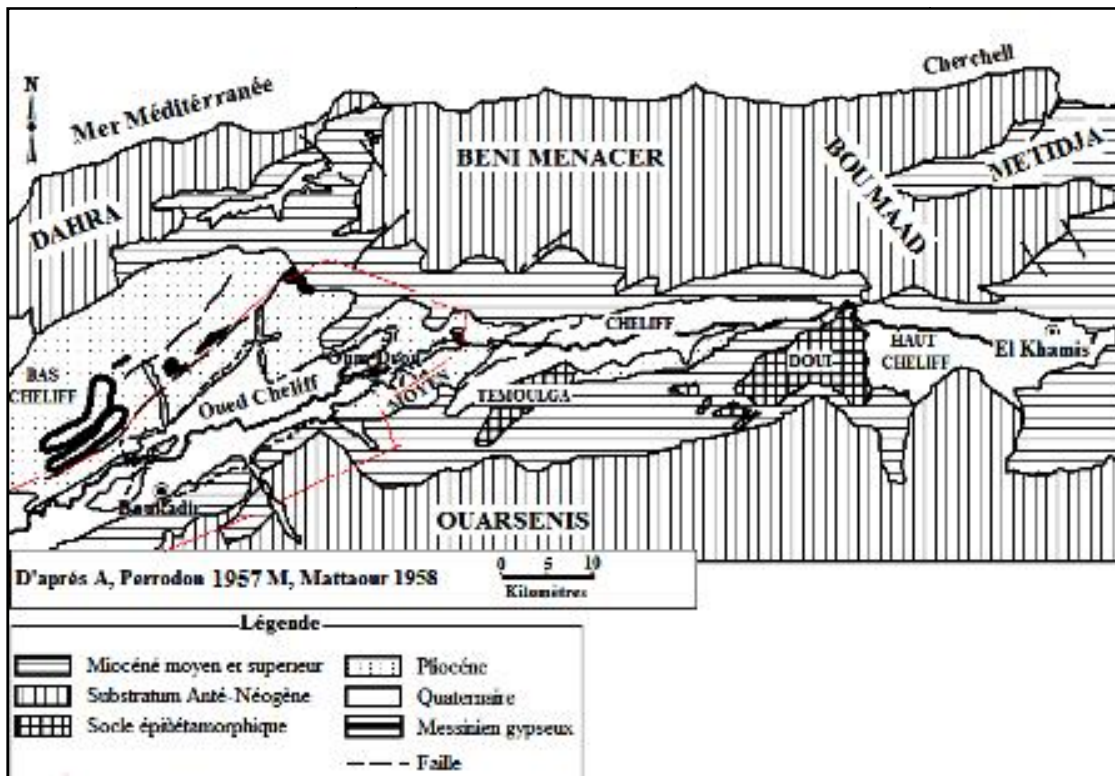


Fig. n°09 : Cadre géologique général (Perrodon, 1957-Mattaeur, 1958)

2- Lithostratigraphie:

L'examen de la carte géologique de la wilaya de Chélif et celle de l'extrait du secteur d'étude a permis de définir deux ensembles lithologiques (fig. n°10) :

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

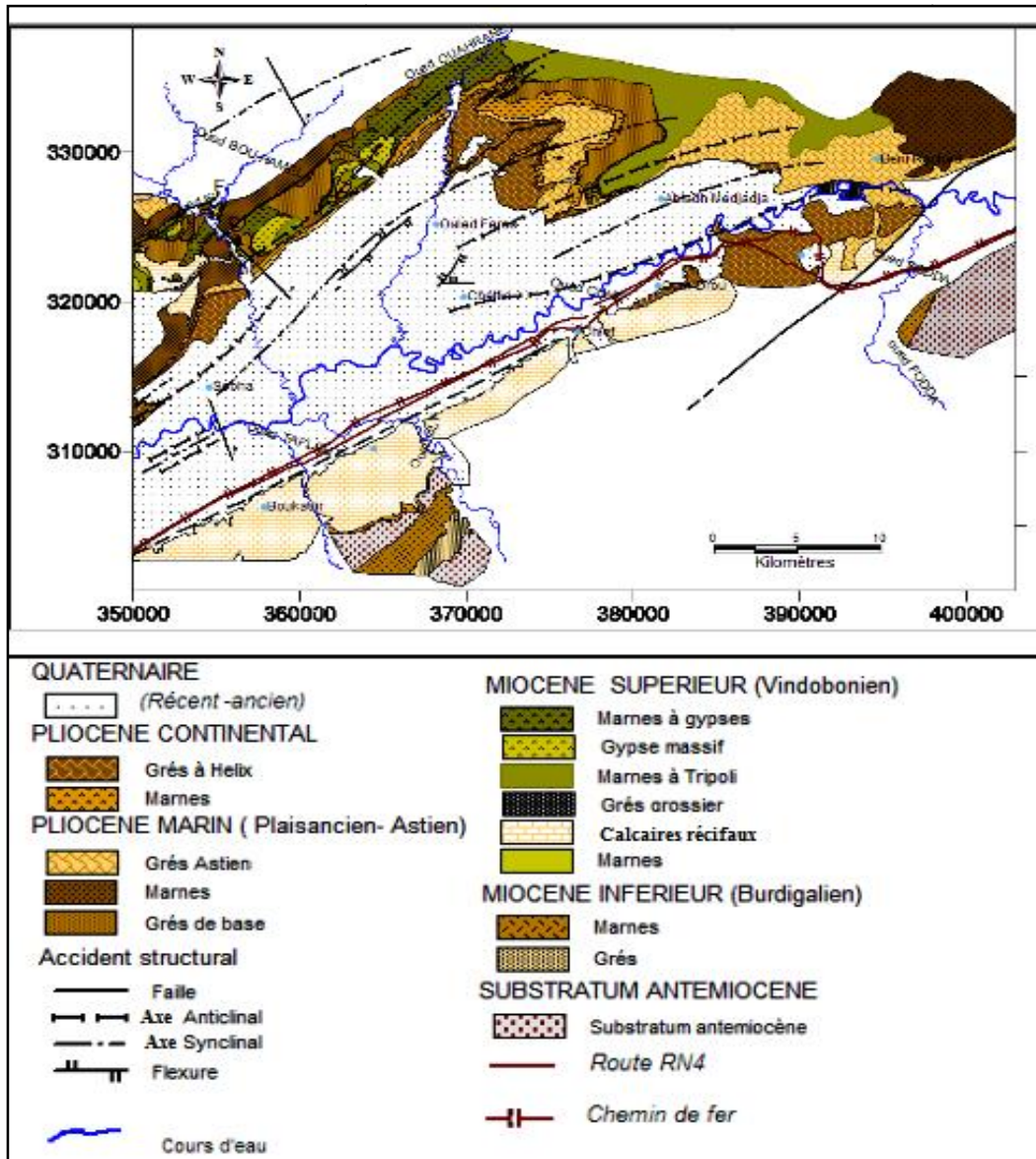


Fig. n°10 : Carte géologique du Moyen Chélif Occidental (Scet-Agri, 1985).

2-1- Les formations anténéogènes:

2-1-1- Les terrains anciens autochtones :

Ils affleurent au niveau des bordures où ils se présentent le plus souvent en fenêtres tectoniques surmontées de terrains allochtones. De bas en haut, on distingue:

- Le paléozoïque (Silurien et Permo-Trias) : il constitue l'essentiel du massif du Doui avec quelques apparitions au massif du Temoulga (fig. n°09).
- Le Secondaire (Jurassique et Crétacé) : le Jurassique est présent dans les deux massifs précédents mais il est plus dominant au Doui.
- Le Tertiaire (Eocène) : le seul affleurement important se trouve au Sud du massif de Temoulga.

2-1-2- Les terrains allochtones :

Il s'agit d'un empilement de nappes de charriage. On distingue trois grands ensembles : nappes A, nappes B et nappes C, elles mêmes subdivisées en sous unités.

- **Les nappes A** : Elles occupent les zones les plus externes au sud du bassin et constituent une partie des Monts de l'Ouarsenis. Le faciès est représenté par le Crétacé marno-gréseux et le Trias gypsifère.
- **Les nappes B** : Leur position est intermédiaire entre les zones internes et externes. Le faciès est essentiellement flyschöide à marneux renfermant des blocs de quartzite et de calcaire. Ces terrains couvrent une grande surface de part et d'autre du bassin du Chélif.
- **Les nappes C** : Elles reposent sur tous les édifices des deux nappes antérieures. On les retrouve dans le Dahra au nord et à l'Ouarsenis occidental. Il s'agit de terrains Oligo-Miocène grés-micacés.

2-2- Les formations Néogènes et Quaternaires post-nappes (fig. n°11) :

Les terrains néogènes qui correspondent aux dépôts mio-plio-quaternaires post-nappes reposent directement en discordance sur le substratum.

Ces dépôts, d'une épaisse série, sont essentiellement marins allant du Miocène inférieur au Pliocène inférieur et ont un caractère marneux dans les zones centrales subsidentes avec quelques dépôts détritiques en bordure.

La sédimentation continentale s'installe et fait suite à ces dépôts marins depuis le Pliocène supérieur au Quaternaire et continue à l'actuel.

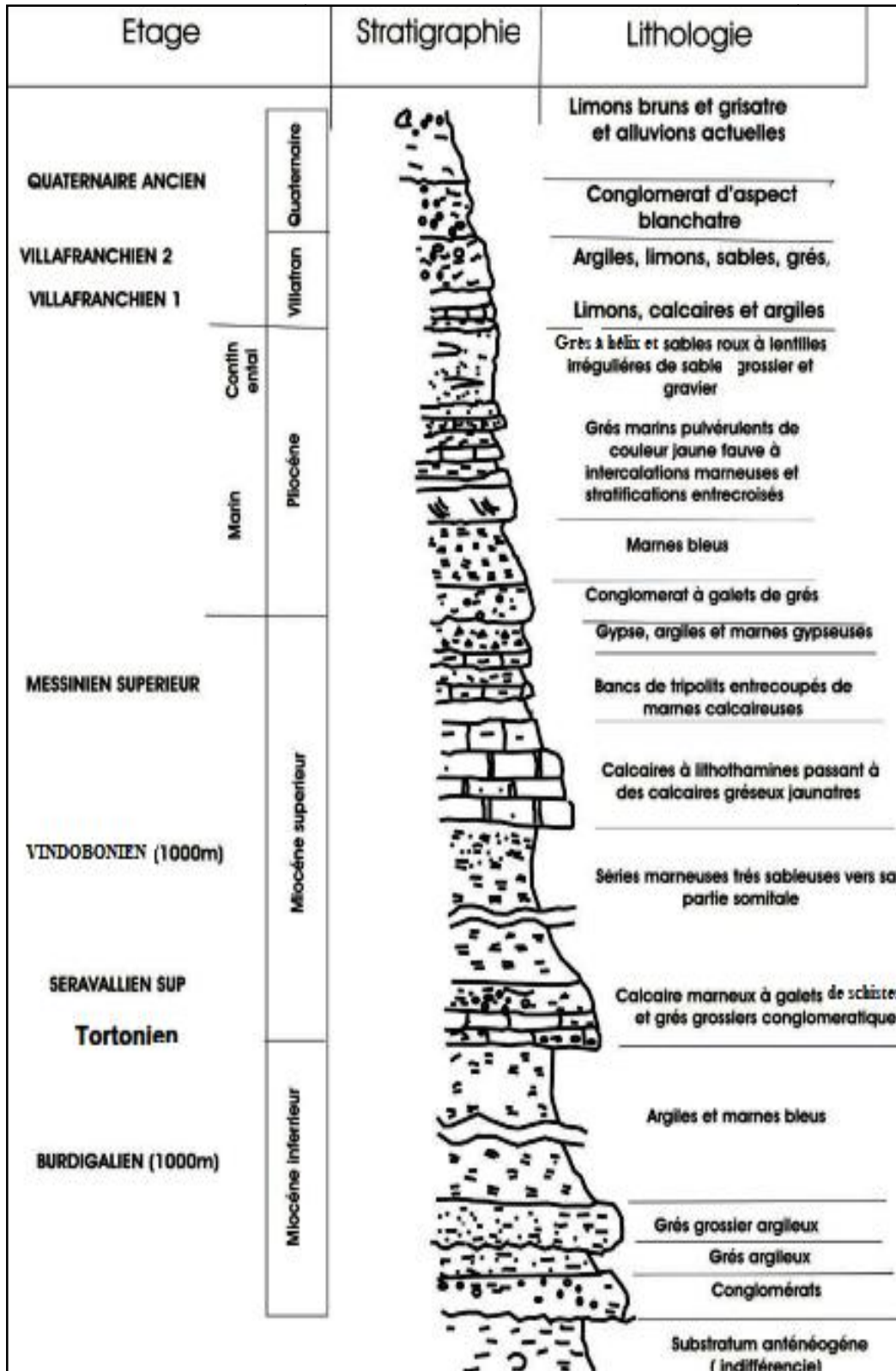


Fig.n°11 : Log stratigraphique synthétique de la plaine du Moyen Chélif Occidental (Meghraoui, 1982) au 1/10000.

2-2-1- Le Miocène : est subdivisé en deux grands ensembles

2-2-1-1- Le Miocène inférieur (Burdigalien) :

Le Miocène inférieur est généralement transgressif sur les différents termes de la série stratigraphique. Il est constitué par une série de marnes bleues pouvant atteindre plusieurs milliers de mètres d'épaisseur. Il affleure largement sur plus de 100km tout le long du massif de l'Ouarsenis.

2-2-1-2- Le Miocène supérieur (Vindobonien):

Le miocène supérieur est représenté par une série marine transgressive reposant sur la série continentale précédente et/ou en discordance sur les terrains plus anciens.

Il est subdivisé en trois formations principales :

a- Les formations de base:

Il s'agit de dépôts continentaux rouges, détritiques et grossiers attribués au Serravallien supérieur et au Tortonien inférieur. Elles affleurent sur les bordures du bassin du Bas Chélib. Cette série débute par une brèche grossière constituée d'éléments peu soudés du substratum (quartzites et calcaires) de taille centimétrique. Ces niveaux bréchiques deviennent plus fins vers le haut de la série pour passer progressivement à des marnes gréseuses brunes et ocre. Le sommet de cette formation est beaucoup plus marneux. L'ensemble de la série peut atteindre 200m d'épaisseur.

b- Les formations médianes :

Elles sont constituées principalement par des marnes bleues d'une puissance maximale de 500m. Celles-ci présentent d'importants passages latéraux avec réduction notable de l'épaisseur. Ces marnes forment une large bande sur la bordure méridionale du Dahra où elles passent localement à des calcaires à algues, des sables et des grès.

Les formations misséniennes sont représentées au sud du bassin par des calcaires à algues (*Lithothamnium*) et couvrent une grande extension le long de l'Ouarsenis.

c- Les formations terminales :

Ce sont des marnes blanches bien liées en alternance avec des bancs à Tripolis. Les horizons à Tripolis sont fréquents et importants dans la partie inférieure de cette formation. Elle est souvent intercalée par des niveaux à silex. L'épaisseur de cet ensemble est de 175m.

Les marnes à Tripolis couvrent des surfaces d'affleurement importantes au Nord de la plaine dans le Dahra. Ils disparaissent à l'Est, au delà d'Oum-Drou. Ces bancs à Tripolis sont entrecoupés par des passages marno-calcaires au Sud-Est et par un ensemble de calcaires à *Lithothamnium* au Sud - Ouest.

La partie supérieure se termine par des argiles grises surmontée par un ensemble de gypse de 40m d'épaisseur qui passe verticalement au sommet à des argiles et marnes grises. La formation gypseuse est importante et semble être responsable de la salure de certaines eaux de ruissellement et par conséquent de la salure des eaux souterraines.

2-2-2- Le Pliocène:

2-2-2-1- Le Pliocène inférieur (Pliocène marin) :

Il est représenté dans le bassin du Moyen Chélif par un cycle sédimentaire complet, débutant par une transgression pour les séries gypseuses de la fin du Miocène, pour se terminer par la régression Astienne.

a- Le Plaisancien :

Il est représenté par une série de marnes bleues parfois détritiques à coccolites très comparables aux marnes bleues du Miocène. L'épaisseur de cet ensemble varie de 0 à plus de 700 mètres.

b- L'Astien :

Il correspond à une série marine finement détritique sableuse ou gréseuse de couleur jaune fauve. Les grès sont souvent pulvérulents à ciment calcaire et peuvent localement passer à des calcaires gréseux. Ils présentent fréquemment des stratifications entrecroisées et des figures de courants (rides et lisages de rides). Les grains sont formés essentiellement de quartz. L'épaisseur moyenne est de 100m. Cette série s'amincit régulièrement en bordure du bassin et présente localement des lentilles de marnes.

2-2-2-2- Le Pliocène continental:

Il est formé de sable roux et grès à gastéropodes (Hélix), surmontés par des limons gris continentaux. Ils succèdent avec une certaine continuité de sédimentation aux grès marins astiens débutant, après quelques alternances de niveau marin et continentaux, par des dépôts fluviatiles et lacustres, renfermant des lentilles irrégulières de sables grossiers et de graviers.

Il affleure largement sur toute la bordure Sud - Est du Dahra (Perrodon , 1957). Au Sud du Chélif, sur la bordure de l'Ouarsenis, le Pliocène disparaît complètement.

A ce niveau, le Quaternaire vient recouvrir directement les calcaires gréseux miocènes (Achour et Harbi, 1990).

2-2-2-3- Le Villafranchien:

Il repose, en continuité de sédimentation, sur le Pliocène continental (Ameur, 1979) avec lequel il présente d'étroites analogies de faciès qui rend leur délimitation très délicate (Perrodon, 1957 et Savornin, 1936).

On distingue deux ensembles :

a- Villafranchien I:

Lacustre ou continental, il débute par des niveaux de base formés de calcaires et de limons gréseux et passent à des sables roux, des sables argileux et des argiles grises à blanches de sommet.

b- Villafranchien II :

Il correspond à un complexe hétérogène rouge formé d'argiles, de limons d'argiles sableuses, de grès et de conglomérats grossiers, de poudingues et de sables grossiers à concrétion calcaire et lentilles de poudingues.

Cette formation s'étend sur toute la rive droite de l'Oued Chélif et réapparaît au Sud de la plaine en formant les reliefs d'El Kherba situés au Nord - Ouest de la localité de Boukadir (Kahlal, 1984).

2-2-3- Le Quaternaire:

Les dépôts Quaternaires sont continentaux. Ils se localisent principalement dans la plaine de Mouafkia et la dépression du Chelif-Oum-Drou. On distingue un Quaternaire ancien et un Quaternaire récent:

2-2-3-1- Le Quaternaire ancien :

Le Quaternaire ancien est constitué par des alluvions grossières essentiellement conglomératiques, représentés par des galets, des graviers et des sables. L'épaisseur de ces dépôts est en moyenne de 100 à 120m et peut atteindre localement des épaisseurs beaucoup plus grandes au synclinal de Boukadir, Ouled Farès (200 m d'épaisseur).

2-2-3-2- Le Quaternaire récent:

Il correspond à des alluvions dont le caractère essentiel est la prédominance des éléments fins (limons). Ces limons correspondent à d'anciennes vases asséchées qui recouvrent le centre de la plaine. Ces derniers sont représentés par des limons bruns à rougeâtres, des limons gris et des alluvions actuelles.

3- Aperçu structurale :

La structure de la région est liée à la tectonique alpine où les phénomènes tectoniques synsédimentaires d'ampleurs diverses commandent la sédimentation.

Ce secteur d'étude se situe dans un domaine tectonique actif. On distingue :

3-1- Tectonique souple

Près de trois quarts du bassin du Moyen Chelif sont occupés par des formations plissées (Perrodon, 1957).

Le bassin a subi une tectonique polyphasée au cours du temps :

- **Au Miocène inférieur** : une phase de distension avec une direction d'allongement NNW–SSE qui a permis l'ouverture du bassin de Chélif ainsi que sa mise en place en tant que structure post-nappe (Maghraoui, 1982).

- **Au Miocène supérieur** : une phase transgressive ayant provoquée le dépôt d'une épaisse formation de marnes qui s'est prolongée jusqu'à la fin du Miocène supérieur (formations terminales). Cet événement a pour effet de combler les bassins préexistants. En même temps que le comblement se faisait, des mouvements compressifs apparaissent et se traduisent par la formation de plis E-W à ESE-WNW.

- **Pendant le Pliocène** : un événement compressif se produit. Les déformations qui l'accompagnent s'expriment nettement en constituant des structures plissées qui tendent à réduire le bassin à un couloir étroit allongé Est-Ouest. Une importante phase se manifeste à la fin de cette période et met en place des plis de direction ENE-WSW.

- **Au Pliocène supérieur**, un épisode compressif déforme les niveaux continentaux du Pliocène supérieur suivant des plis de direction Est-Ouest.

3-2- Tectonique cassante :

De nombreuses failles ont affecté la région du bassin du Moyen Chelif Occidental (fig. n°10). Deux failles assez importantes ont été mises en évidence par Maghraoui (1988):

3-2-1- Le pli-faille de Boukadir :

Cette structure anticlinale a une direction N50E et est située à 40Km du pli-faille de Chelif. Elle est transverse à la direction générale du bassin du bas Chélif qui a une direction N70E-N80E.

3-2-2- La faille de Relizane :

La limite Sud du bassin (qui est la limite sud des dépôts plio-quadernaires) est bien marquée par un contact tectonique linéaire entre les dépôts du quadernaire et les calcaires à Lithothamnium du Miocène. C'est la faille de Relizane qui a une direction N70E et parcourt une distance d'environ 150 Km de la ville de Chélif à celle de Relizane.

III- HYDROGEOLOGIE

1- Introduction:

L'hydrogéologie du secteur d'étude a fait l'objet de plusieurs études à caractère général ou ponctuel.

Pour mieux comprendre l'hydrogéologie de notre zone d'étude, nous avons exploité des données existantes au niveau de différentes structures ayant relation avec la recherche, l'exploitation et la gestion de l'eau, notamment l'A.N.R.H de Chélif et de Blida et l'A.B.H-CZ.

De même, les anciens mémoires et rapports concernant la région, spécialement sur la synthèse des différents logs stratigraphiques des forages, et l'assemblage des cartes géologiques au 1/50000 (n°82, n°81, n°105, n°106) constituent une source importante des données.

Nous avons aussi exploité les données géophysiques effectuées dans la région du Moyen Chélif Occidental dont l'objectif est l'identification des aquifères, leurs épaisseurs et la variation du substratum.

Enfin, l'étude des paramètres hydrodynamiques des aquifères du secteur devraient servir à bien schématiser la fonction conduite du réservoir.

Les aspects lithologiques des formations géologiques de la zone d'étude font paraître que les terrains susceptibles de constituer des aquifères exploitables sont (fig. n° 12):

- Les calcaires à lithothamnium.
- Les grès astiens marins et les sables dunaires à Hélix.
- Les grès, conglomérats et sables du Villafranchien.
- Les alluvions grossières du Chélif et ses affluents et le complexe quadernaire ancien.

Designation sur la carte au 1/50000	Nom d'étages	Nature des dépôts	Perméabilité	Niveaux aquifères théoriques	
a ¹	Quaternaire récent (20-50m)	Argiles	I		
A ₁	Quaternaire moyen	Sables, grés et graviers	P		
q ₁	Quaternaire ancien (100-200m)	Poudingues, grés et gravier	P		
p ¹	Pliocène supérieur ou Astien (50-100 m)	Grés grossiers (sables dunaire et grés).	P	Niveau 6 (important)	
p ² et p ³	Pliocène inférieur ou Plaisancien (50-200 m)	Marnes bleues	I		
		Marnes blanches et calcaires	I		
		Grés grossiers et graviers	P	Niveau 5	
m ⁴ +G mc ⁴ mc ³ m ₅	Miocène supérieur Miocène inférieur	Sahélien 350 m	Gypse et marnes gypseuses	I	
		175 m	Marnes blanches à tripolls	I	
		55-260 m	Grés et calcaire à Lithothamnium	P	Niveau 4
		Tortonien 50-500 m	Marnes bleues	I	
			Grés et grés calcaires	P	Niveau 3
		<50 m	Grés et grés calcaires	P	Niveau 3
		200-300 m	Marnes sombres	I	
		Helvétien 100-120 m	Poudingues et grés calcaires	P	Niveau 2
			200-700 m	Marnes sableuses plus ou moins brècheoide	I
		Cartenien 50-220 m	Conglomérats	P	Niveau 1 (possible)

P: perméable
I: imperméable

Les épaisseurs de couches varient régionalement, il s'agit d'un schéma théorique ou des horizons peuvent manquer.

Fig. n°12 : Stratigraphie et niveaux aquifères (Schrambach, 1966)

2- Description des principaux aquifères du secteur d'étude:

Deux systèmes aquifères principaux sont à signaler (fig. n°13) :

- Aquifère des calcaires à lithothamnium
- Aquifère du Plio-Quaternaire

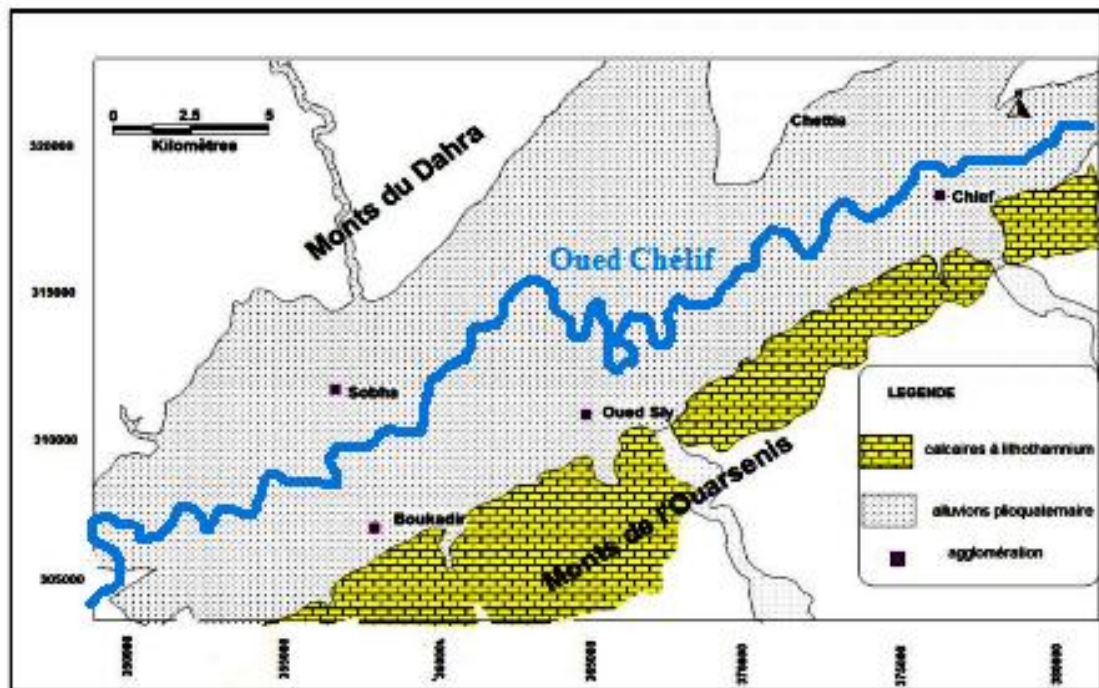


Fig. n° 13 : Différentes nappes aquifères de la zone d'étude (ABH-CZ, 2001)

2-1- La nappe des calcaires à lithothamnium :

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

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

Ce miocène supérieur repose soit directement sur le substratum charrié (existe uniquement dans la zone comprise entre l'oued Sly et la région occidentale de Boukadir), soit par l'intermédiaire du Miocène inférieur (Burdigalien) comme cela est illustré dans la figure n°14.

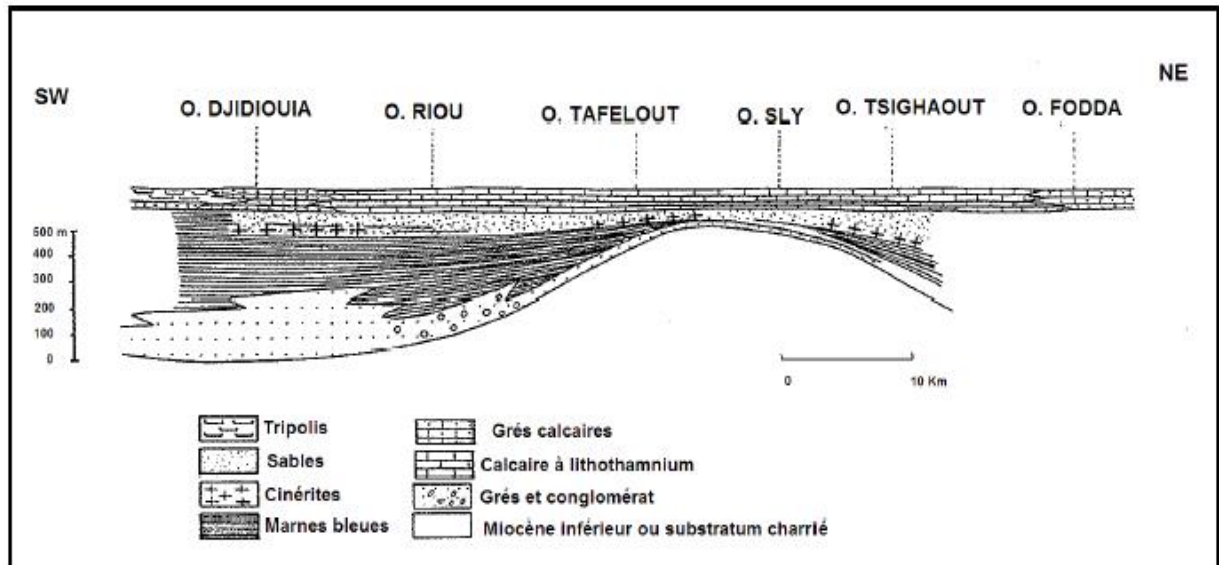


Fig. n°14 : Schéma stratigraphique du Miocène de la bordure nord de l'Ouarsenis (Perrodon, 1966)

La fracturation et les phénomènes karstiques majeurs sont en générale peu spectaculaires. Du point de vue tectonique, les calcaires n'ont été affectés que par les mouvements postparoxysmaux ainsi que par la subsidence de la vallée du Chélif. L'ensemble constitue le flanc Sud du synclinorium du Chélif.

Cependant, on a constaté à partir des forages implantés au sein des calcaires à lithothamnium que la karstification se poursuivrait en profondeur. Des fissures et des chenaux ont été rencontrés à des profondeurs pouvant atteindre plusieurs mètres (Elmeddahi, 2009). Les pendages sont, en moyenne de 5° à 20° vers le NW.

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

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

2- 2- Aquifère du Plio-quaternaire:

L'aquifère du Plio-quaternaire qui fait l'objet de notre étude englobe l'ensemble des formations attribuées à cet étage (fig. n°15). L'étanchéité de cet aquifère est assurée à la base par un substratum formé par les marnes bleues du Plaisancien. Dans certains endroits le miocène supérieur peut se trouver en contact direct avec cet ensemble.

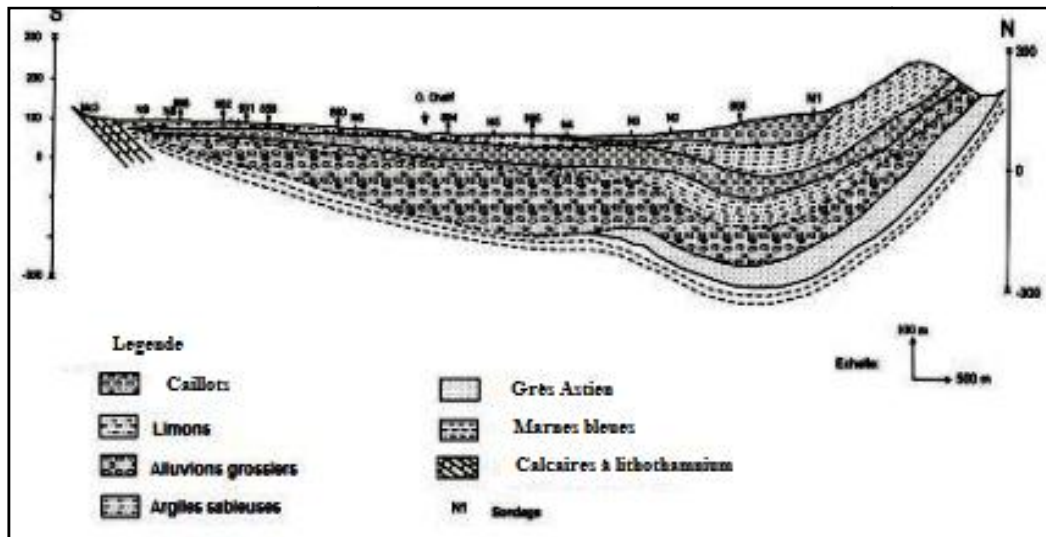


Fig. n°15 : Coupe hydrogéologique schématique de la plaine de Chéelif (Schrambach, 1966)

Cet aquifère s'étend sous forme d'une bande élargie entre les crêtes des monts rouges et les plateaux du Chéelif. Il est peu épais à l'Est du Chéelif, et moins épais à l'Ouest notamment en rive droite de l'Oued Chéelif.

Des sédiments détritiques d'âge sub-Pliocène à Quaternaire forment le remblai de la vallée. Ces sédiments incluent des argiles et des marnes épaisses avec des lits de sables, de graviers et de conglomérats. Les roches du Pliocène et celles du Quaternaire, plus anciennes, sont plus consolidées et contiennent des grès et des conglomérats avec cimentation argileuse ou calcaire.

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

3- Etude piézométrique :

3-1- La piézométrie :

Pour notre étude, nous nous sommes basés sur les données de la campagne piézométrique qui a été réalisée en période de basses eaux (septembre 2010) par les services de l'ANRH, et qui nous a permis de tracer une carte piézométrique (fig. n°16).

3-1-1-Interprétation de la carte piézométrique : L'examen de la carte piézométrique nous a permis de révéler les observations suivantes :

- Il apparaît que la nappe est de type radial à écoulement convergent.
- Au Nord Est, deux directions d'écoulement se convergent, l'une provient des calcaires à lithothamnium au sud, l'autre provient du nord. Ces deux directions se convergent pour constituer un axe de drainage de direction Est-Ouest pratiquement parallèle à celle de Oued Chélif.
- Les dépressions piézométriques créées au Nord de la ville de Boukadir et au Sud Ouest de la ville de Sobha semblent dues à des pompages intensifs pour l'irrigation des terres agricoles qui caractérisent notre zone d'étude.
- Le dôme piézométrique remarqué au Nord Est de la ville de Oued Sly est probablement lié soit à une aire privilégiée d'infiltration ou bien au rehaussement du substratum.

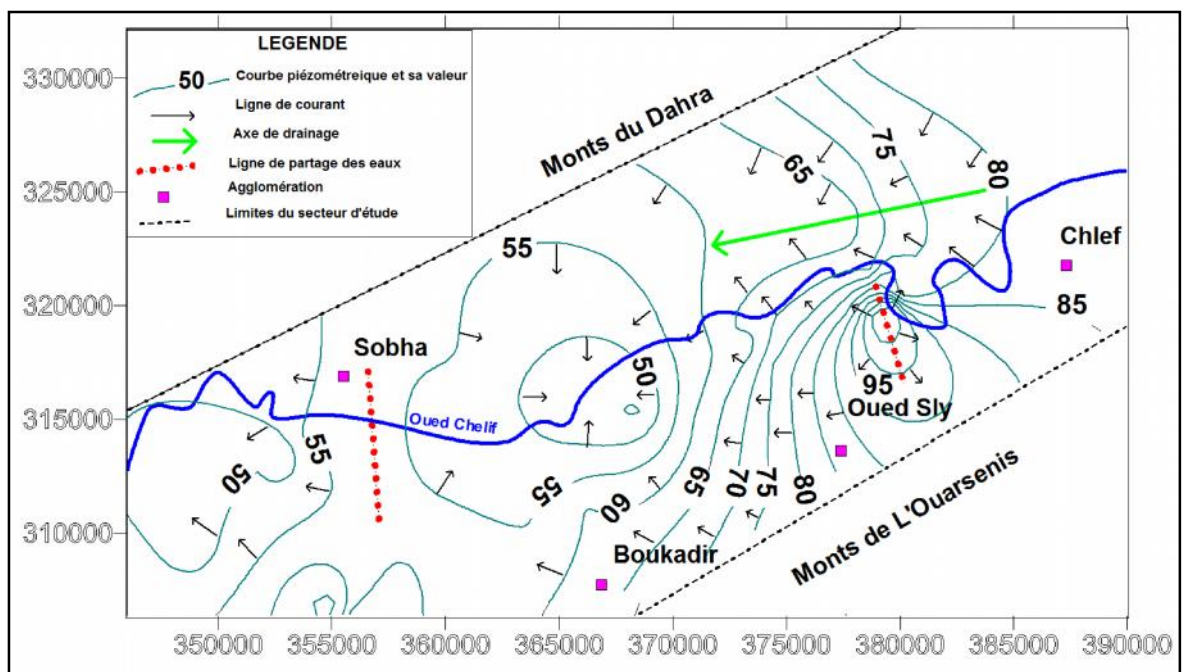


Fig. n° 16 : Carte piézométrique de la nappe alluviale de la zone d'étude (ANRH, septembre 2010, Basses Eaux).

- L'espacement des courbes piézométriques dans le sens d'écoulement caractérise la pente (gradient hydraulique), donc elles sont resserrées au niveau du versant nord des monts de l'Ouarsenis, c'est-à-dire que le gradient est fort ; l'accroissement du gradient correspond à une zone très alimentée. Ceci traduit une importante alimentation en eaux souterraines par les calcaires à lithothamnium (Fig. n° 17).

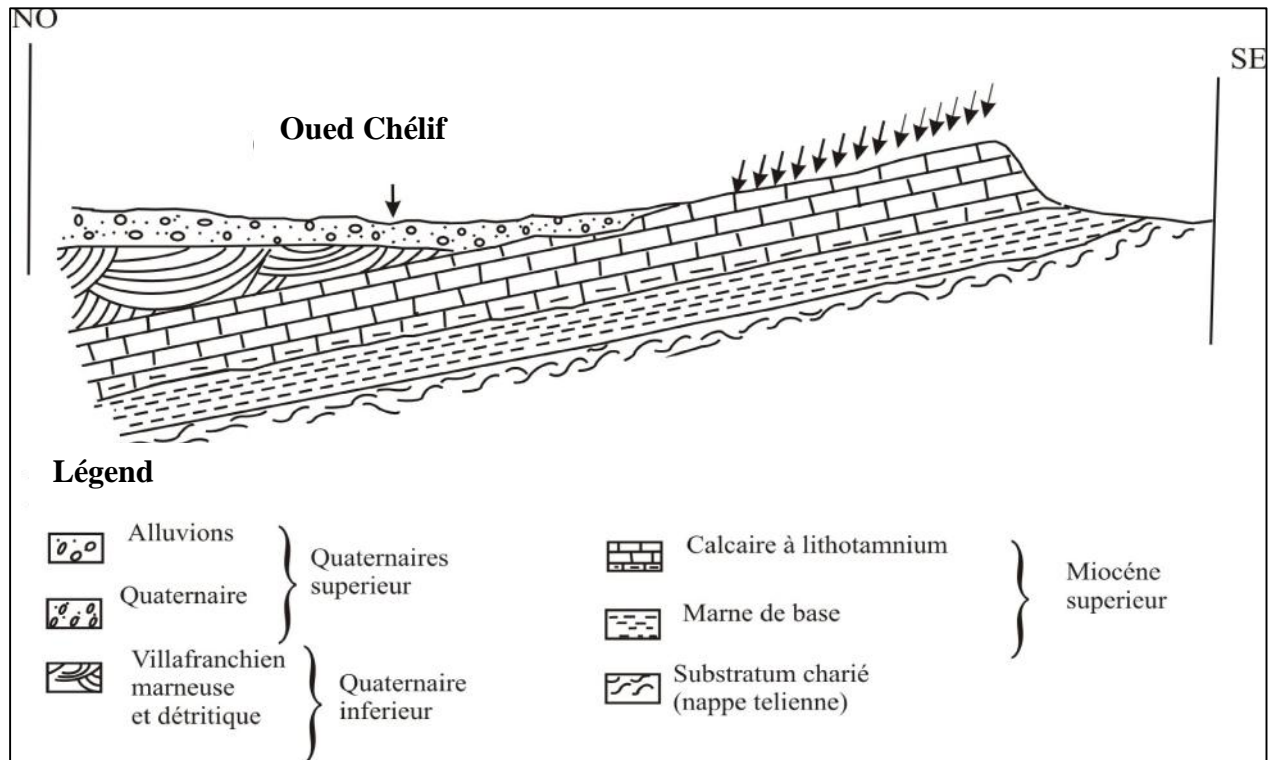


Fig. n° 17: Schéma structural du calcaire à lithothamnium d'Oued Sly à Oued Taflout (Schrambach, 1966)

3 -2- Caractéristiques hydrodynamiques :

3-2-1- Transmissivité :

De nombreux travaux ont été effectués afin de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques de la nappe des calcaires et celle des alluvions à travers les essais de pompage réalisés dans la région, notamment, les travaux de Pradines en 1977 (compte rendu de forages n° 77. SHYG. 18), ceux de Schrambach en 1966 (étude n°33 GE) et ceux d'Elmeddahi en 2009.

Les résultats obtenus ont permis de déterminer des valeurs de transmissivité de l'ordre de $0,25 \cdot 10^{-3}$ à $7,06 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ pour la nappe des alluvions du Moyen Chélif Occidental (in Elmeddahi, 2009).

Ces valeurs obtenues mettent également en évidence l'hétérogénéité du réservoir.

3-2-2- Coefficient d'emmagasinement :

En l'absence de la réalisation de pompages d'essai avec présence de piézomètre ou de puits témoins, il n'est plus possible d'estimer le coefficient d'emmagasinement par les méthodes habituelles.

4- Etude géophysique :**4-1- Introduction :**

Cinq études géophysiques ont été effectuées en 1960, 1966, 1967, 1971 et 1972 dans la région du Moyen Chélif Occidental. L'étude géophysique la plus importante est celle qui a été réalisée par la Compagnie Générale de la Géophysique (C.G.G.) en 1972 dans l'objectif de la recherche et de l'estimation de potentialités hydrogéologiques à travers la plaine du Moyen Chélif Occidental.

Cette étude a comporté 237 sondages électriques Schlumberger en longueur de ligne d'émission (AB) variable de 1000 mètres jusqu'à 6000 mètres et répartis sur une trentaine de profils.

Nous avons présenté l'interprétation de quatre (04) coupes géoélectriques vu qu'elles sont effectuées dans notre secteur d'étude.

4-2- Présentation et interprétation des résultats :**4-2-1- Coupes G et H : (Fig. n°18)**

Ces coupes montrent que les éléments résistants (plus grossiers) prennent de l'importance par rapport aux limons qui ne dépassent pas une dizaine de mètres.

Le niveau résistant profond, dont une partie est représentée par les grès astiens (son extension sud n'est pas déterminée), s'avance très près de la bordure Sud et des calcaires à lithothamnium (coupe H). Les alluvions résistantes se développent aux profils G et H.

4-2-2- Coupes L et O: (Fig. n°19)

Sur les coupes L et O, les formations résistantes du Villafranchien sont à leur maximum de résistance totale. Dans le synclinal Nord, elles peuvent atteindre 300 mètres d'épaisseur.

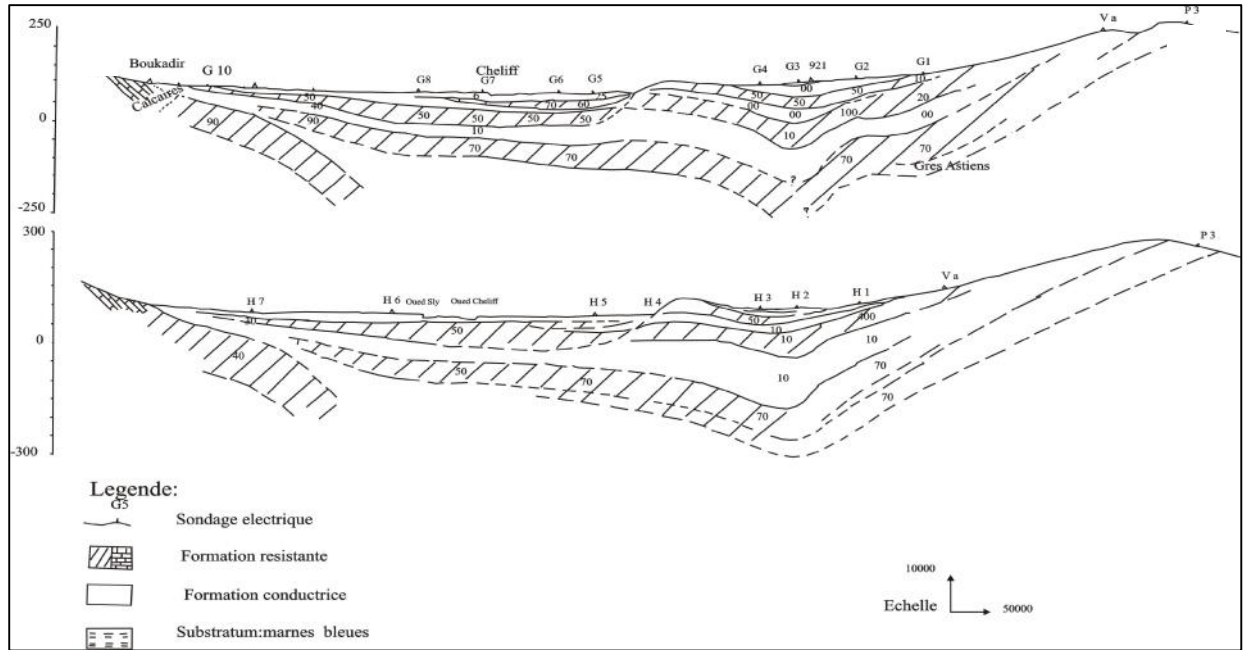


Fig. n° 18: Coupes géoélectriques G et H (C.G.G., 1972)

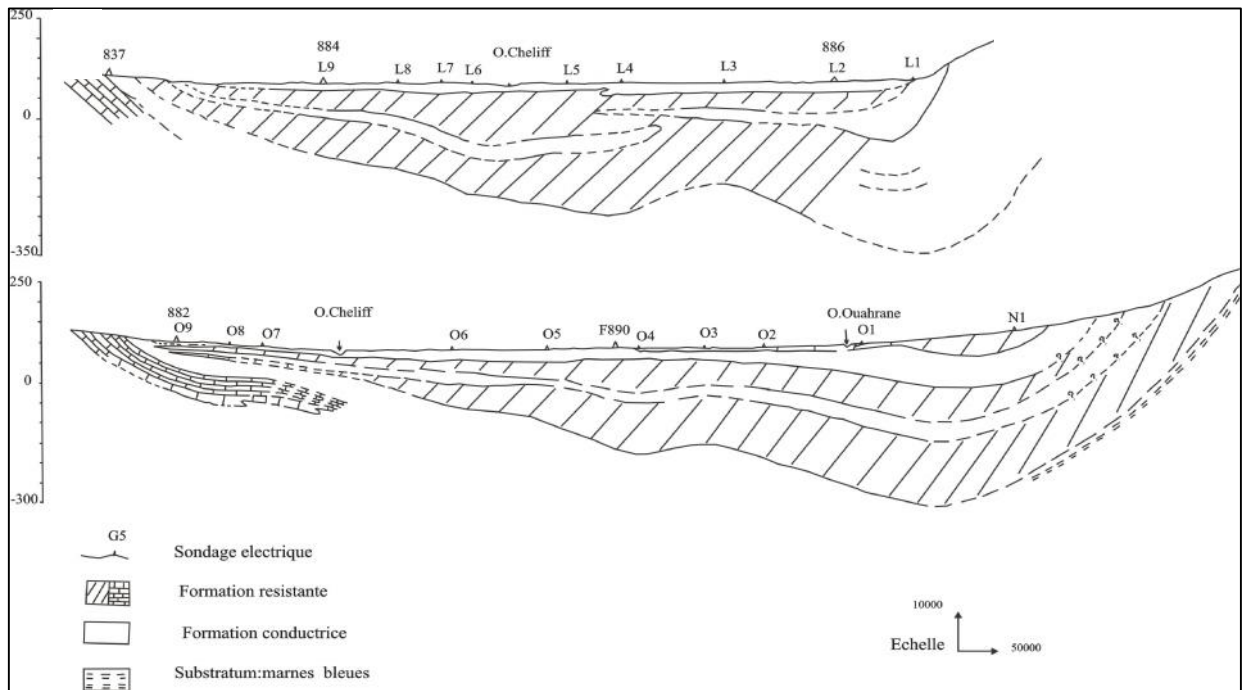


Fig. n° 19: Coupes géoélectriques L et O (C.G.G., 1972)

IV- Conclusion :

L'étude du cadre physique de la plaine de Boukadir a abouti aux conclusions suivantes :

- La plaine de Boukadir est soumise à un climat méditerranéen de type semi-aride, avec un hiver froid et pluvieux et un été chaud et sec, avec des précipitations annuelles de l'ordre de 304 mm

- L'étude géologique et l'étude géophysique ont pu mettre en évidence l'extension des formations alluvionnaires à l'intérieur de la plaine. Ces formations sont composées de galets, de cailloutis, de graviers, de sables et de limons. Ces dépôts de remplissage sont très hétérogènes et intercalés de couches conductrices constituées par des marnes et des argiles. Cet ensemble constitue une importante nappe d'eau souterraine : la nappe du remplissage alluvial de la plaine de Boukadir.

- La carte piézométrique de la campagne de septembre 2010 a montré que la nappe d'eau souterraine est de type radial à écoulement convergent qui suit globalement la direction de l'oued Chélif (E-W).

CHAPITRE II

Hydrochimie

I- MATERIELS ET METHODES :**1- Introduction**

Dans la vallée du Moyen Chélif Occidental, la chimie de deux ressources en eaux (eaux de surface et nappe Plio-Quaternaire) est souvent influencée par l'effet des processus du réservoir (dissolution des formations géologiques, phénomène d'hydrolyse), les rejets urbains et industriels et l'activité agricole (Bettahar et al., 2008a). Par conséquent, la qualité des eaux souterraines est fortement influencée par ces processus. Notre étude va permettre de décrire l'état actuel de la pollution en nitrates des eaux souterraines de la plaine de Boukadir qui fait partie de la vallée du Moyen Chélif Occidental, son évolution spatiale et temporelle et ses processus d'enrichissement.

Le plan de travail adopté pour atteindre ces objectifs consiste en la collecte de données d'un suivi de la qualité des eaux souterraines de la nappe du Plio-Quaternaire, pendant la période 1992-2010, avec analyse des éléments majeurs et certains éléments indicateurs de pollution, en particulier les nitrates.

A ceci s'ajoutent une enquête sur l'ensemble de sources potentielles de la pollution des eaux souterraines probablement à l'origine des processus d'enrichissement en nitrates. Nous avons également tenté de faire un lien entre les teneurs en nitrates et certains paramètres pour mieux comprendre l'évolution et l'origine de ces derniers.

Pour la caractérisation hydrochimique des eaux souterraines, les résultats d'analyses des prélèvements des eaux de puits et forages captant la nappe étudiée au cours de l'année 2010 ont été recueillis auprès de l'ANRH

2 - Prélèvements et méthodes d'analyse**2-1- Prélèvements**

L'étude des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de la zone étudiée est basée sur l'échantillonnage et l'analyse des eaux de vingt quatre (24) points d'eau (Fig. n°20).

Les points d'échantillonnage correspondent à des puits et forages répartis le long de la bande étroite de terrain entre la partie occidentale de la ville de Chélif et le seuil de Boukadir. Ces points d'eau captent la nappe alluviale et celle des calcaires à lithothamnium pour les forages situés aux piémonts Nord de l'Ouarsenis.

Nous avons utilisé des bouteilles en plastiques pour l'ensemble des eaux échantillonnées.

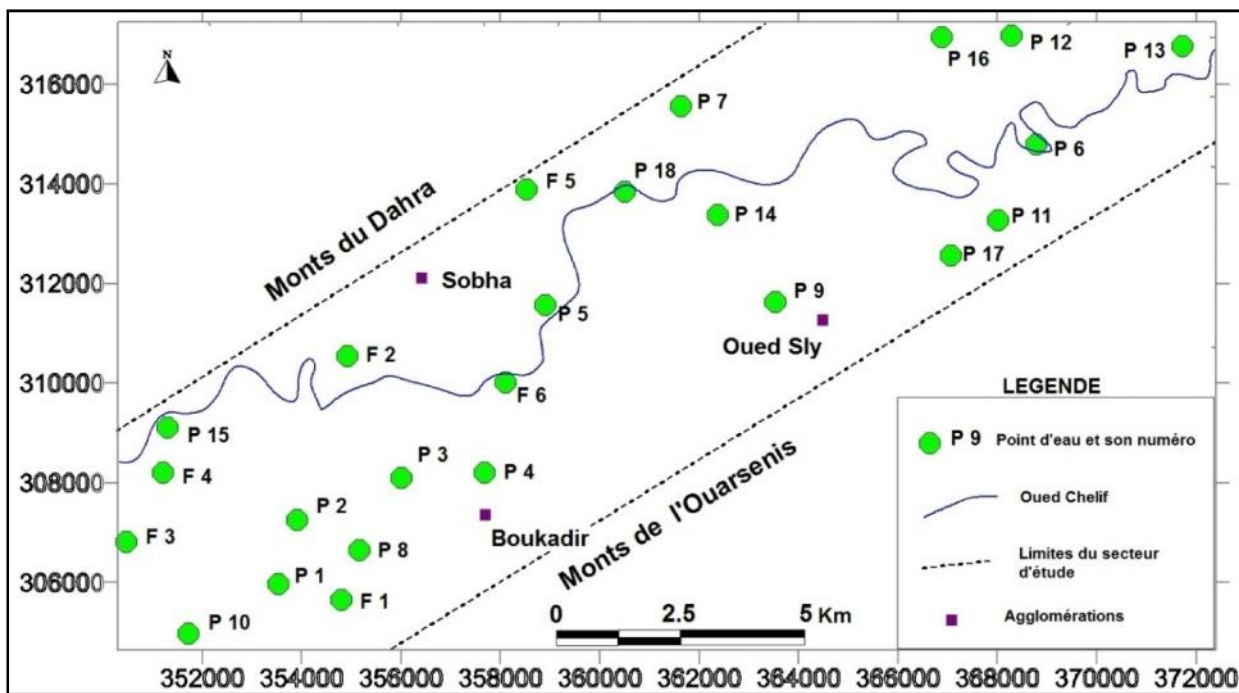


Fig. n°20 : Localisation des points d'eau échantillonnés.

2-2- Mesures in situ

Sur le terrain nous avons mesuré trois paramètres physico-chimiques (T, pH et la conductivité électrique) immédiatement après le prélèvement à l'aide d'un appareil portatif (multiparamètres de marque HACH).

2-3- Analyse des éléments chimiques

La détermination physico-chimique de l'ensemble des échantillons prélevés a été effectuée par le Laboratoire de Chimie de la Direction Régionale Centre de l'A.N.R.H à Blida.

Les échantillons d'eau sont conservés à une température constante (environ 4°C) pendant le transport au moyen d'une glacière.

Au cours de cette campagne, les analyses ont concerné aussi bien, les éléments chimiques majeurs que l'élément chimique indicateur de pollution qui fait l'objet de notre étude (les nitrates).

Le contrôle de la validité des résultats d'analyse chimique est fait à l'aide de la balance ionique (annexe 2).

L'analyse des éléments chimiques a été effectuée par volumétrie (Rodier, 1996): le calcium, la dureté ($Ca^{2+} + Mg^{2+}$), le magnésium, les chlorures et le TAC (HCO_3^-) par

titrimétrie, le sodium et le potassium par spectrométrie à flamme (un spectrophotomètre de marque Sherwood 410). Les sulfates (SO_4^{2-}), les nitrates (NO_3^-) sont eux dosés par un spectrophotomètre de marque HACH DR/4000 (modèle 48000).

3- Méthodes statistiques

3-1- Analyse en Composantes Principales

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) consiste à exprimer un ensemble de variables en un ensemble de combinaisons linéaires de facteurs non corrélés entre eux (Tomassone, 1974). Ces facteurs rendent compte d'une fraction de plus en plus faible de la variabilité des données. Cette méthode permet de représenter les données originelles (individus et variables) dans un espace de dimension inférieure à l'espace originel, tout en limitant au maximum la perte d'information. La représentation des données dans des espaces de faible dimension (2 dimensions) en facilite considérablement l'analyse. Le premier axe factoriel est celui qui explique le plus grand pourcentage de la variance totale, le second explique ensuite le plus grand pourcentage de variance résiduelle et ainsi de suite.

L'interprétation des résultats des variables se fait sur le cercle de corrélation. Les variables qui se situent près du cercle et qui sont proches l'une de l'autre présentent une forte relation linéaire entre elles. Par contre, les points qui sont à l'opposé présentent une relation inverse (Philippeau, 1986).

La projection des variables nous permet d'interpréter les composantes principales et de repérer rapidement les groupes de caractères liés entre eux ou opposés, à condition que les points soient proches de la circonférence. Par contre la projection des individus sur les plans, nous permet de déterminer les groupes à travers le nuage de points.

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

Le traitement de nos données par analyse en composantes principales (ACP) a été réalisé par le logiciel Spad Version 5.

4- Diagrammes et cartographie :

Pour mieux comprendre le comportement hydrochimique des eaux souterraines du secteur étudié, nous avons utilisé des diagrammes hydro- chimiques de type Schoeller-Berkaloff et Piper.

Des cartes d'isoteneurs en Résidu Sec et en différents éléments chimiques ont été établies et ont permis d'illustrer l'acquisition et l'évolution physico-chimique spatiale des eaux de la nappe.

La cartographie est l'aboutissement final de la géostatistique. Ainsi, après avoir estimé la valeur d'une propriété en tout point d'un domaine, l'obtention d'une carte est aisée.

En général, on procède à l'estimation de la propriété étudiée aux noeuds d'une fine grille carrée couvrant le domaine d'étude. Les résultats obtenus sont alors visualisés :

- soit en traçant des courbes d'isovaleurs entre les points de la grille,
- soit en construisant un bloc-diagramme,
- soit en construisant une carte maillée en niveaux gris ou en couleur.

Le traitement cartographique est réalisé moyennant un logiciel Surfer version 7 qui sert à l'interpolation spatiale et à la réalisation des cartes en courbes d'isovaleurs.

II- CARACTERISTIQUES HYDROCHIMIQUES :

1- Caractères organoleptiques :

1-1-La couleur :

L'eau colorée pourrait présenter des inconvénients. D'après l'O.M.S. la valeur de 10 unités (10 mg/l de Pt) est considérée comme un chiffre qu'il est souhaitable de ne pas dépasser et la valeur de 15 unités est admise comme limite supérieure acceptable.

Selon les résultats obtenus de l'analyse, les eaux de différents points d'eau sont dans l'ensemble incolores.

1-2- L'odeur :

L'eau potable doit être sans odeur, non seulement au moment du prélèvement, mais encore après une période de 10 jours en vase clos à une température de 26 C °. Dans notre secteur d'étude, toutes les eaux prélevées ne présentent aucune odeur.

1-3- La turbidité :

La turbidité d'une eau est due à la présence de matières en suspension finement divisées. Les normes concernant la turbidité sont assez différentes. L'O.M.S. indique comme valeur limite 5 unités NTU (*nephelometric turbidity unit*).

A l'exception du puits P18 les eaux échantillonnées dans notre secteur d'étude ont présenté des valeurs dans les normes de potabilité comprises entre 1,87 et 4 NTU (annexe

01). Cette valeur élevée au niveau de ce puits pourrait être due à une contamination directe externe

2-Etude des paramètres physiques :

Les valeurs des différents paramètres physiques mesurés sont portées sur l'annexe 01.

2-1- Le pH :

Le pH d'une eau représente son acidité ou son alcalinité, et à l'exception de rejets industriels particuliers, il est rare que le pH soit une contre-indication à la potabilité.

Pour nos eaux échantillonnées, le pH varie de 7.2 à 8.1 ; soit une certaine tendance à la basicité des eaux du fait que ces dernières proviennent essentiellement des calcaires à lithothamnium du flanc nord de l'Ouarsenis.

2-2- La température :

La température naturelle joue un rôle primordial dans la solubilité des sels et surtout des gaz ; elle régit la quantité d'oxygène dissous dans l'eau. Plus la température de l'eau est élevée, et moins l'oxygène sera capable de se maintenir en solution, le manque d'oxygène étant l'un des indices de la pollution thermique.

Pour les eaux du secteur étudié, on remarque que la température varie entre 19 °C et 23 °C. En général, la température dans tous les points d'eau est inférieure à 25°C (DR DASS, 2001).

2-3- La conductivité :

La mesure de ce paramètre permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale et d'en suivre l'évolution. Donc la conductivité d'une eau naturelle est fonction de la teneur en sels électrolytables dissous.

Pour les eaux étudiées, on constate que la valeur de la conductivité varie de 860 $\mu\text{s}/\text{cm}$ au P9 à 11200 $\mu\text{s}/\text{cm}$ au F3. Il apparaît que la plupart des points d'eaux présentent des valeurs relativement élevées qui dépassent la norme fixée à 1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (DR DASS, 2001).

2-4- Le résidu sec :

Le résidu sec représente la minéralisation totale de l'eau, c'est-à-dire la totalité des sels dissous et les matières organiques contenus dans l'eau.

Pour des raisons de saveur, l'O.M.S. recommande une valeur limite de 1000 mg/l dans l'eau destinée à la consommation humaine. Dans les pays à climat semi aride et aride cette valeur est souvent largement dépassée (voir 2000 mg/l).

D'après la carte d'isoteneur en résidu sec (fig. n° 21), la valeur minimale est constatée au point P9 (568 mg/l) alors que la valeur maximale (6697 mg/l) au point F2. Ces fortes valeurs au niveau de ce puits et des puits environnants sont probablement dues à la présence de formation gypseuse au niveau de ce secteur.

Sur l'ensemble du secteur, l'évolution du résidu sec se fait selon une direction SE-NW. Cette évolution suit parallèlement le contact des affleurements carbonatés avec les alluvions plio-quaternaire. Les eaux provenant des calcaires à lithothamnium sont moins chargées que celles circulant dans la nappe alluviale. L'influence de la zone fortement sollicitée par pompage est bien marquée au Nord Est de Oued Sly (la minéralisation augmente avec ces pompages).

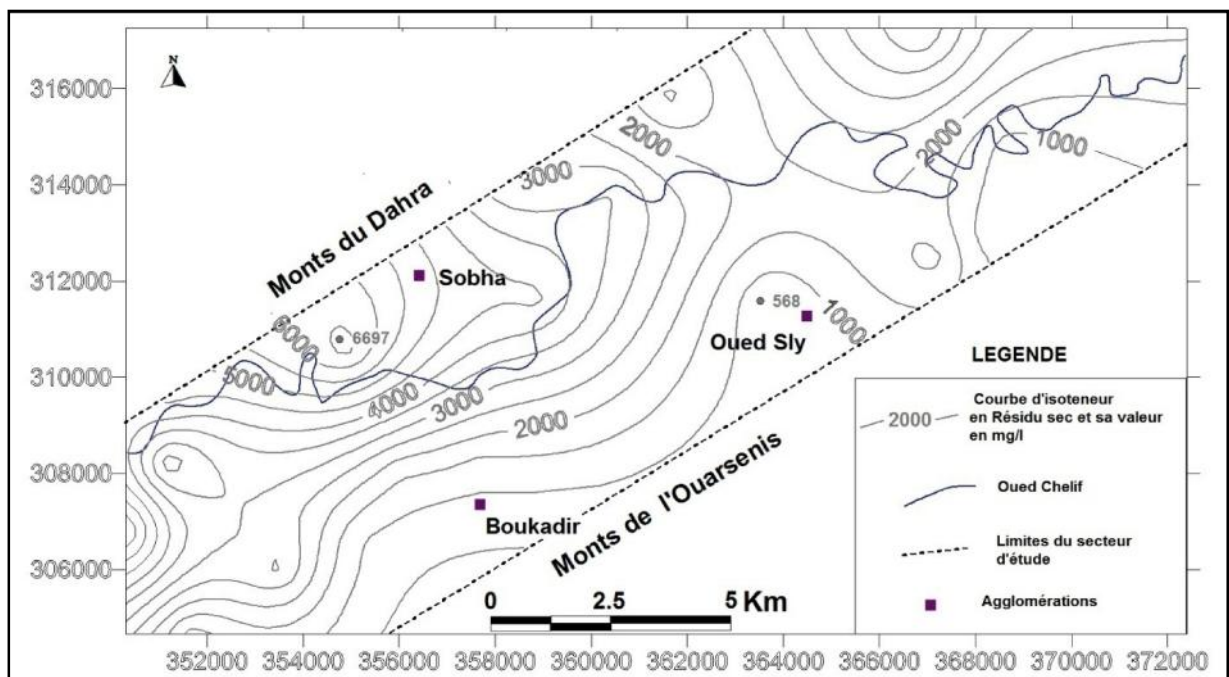


Fig. n° 21 : Carte d'isoteneur en Résidu Sec

2-5- La dureté :

La dureté d'une eau est un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés et correspond à la teneur en calcium et en magnésium.

On peut considérer qu'une eau ayant une dureté inférieure à 15 °F (1°F = 4 mg de Ca ou 2.4 mg de Mg par litre) est une eau douce, alors qu'au dessus de 30°F, il s'agit d'une eau dure ou plus chargée en calcaire. Une eau trop dure constitue un risque important d'entartrage des canalisations.

Au niveau de notre secteur d'étude, la valeur de la dureté varie de 20°F au point P11 à 266°F au point F2. Cette dureté élevée résulte principalement de la circulation des eaux

dans les formations carbonatées et s'y ajoute l'influence de la formation gypseuse au Nord-Ouest du secteur.

2-6- L'alcalinité :

L'alcalinité d'une eau est liée à la présence de bases fortes CO_3 et OH et de bases faibles HCO_3 . Elle est toujours en relation directe avec le pH. On distingue :

- le Titre Alcalimétrique Complet (TAC) : il représente la somme des bases (fortes et faibles),
- le Titre Alcalimétrique (TA) : il concerne les bases faibles, lorsque le pH est supérieur à 8.3.

Pour les eaux étudiées, le TA est égal à zéro du fait que le pH ne dépasserait pas 8.3. Le TAC varie de 12° F aux points F1, P7 et P9 à 36° F au P15.

3- Etude des paramètres chimiques majeurs :

L'analyse chimique a concerné les cations : Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ et les anions : Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{-2} , NO_3^- (Annexe 02).

3-1- Le calcium :

Une eau potable de bonne qualité renferme de 100 à 400 mg/l de calcium. Les eaux qui dépassent une teneur de 200 mg/l de calcium présentent de sérieux inconvénients pour les usages domestiques et pour l'alimentation des chaudières.

La carte d'isoteneur en calcium (Fig. n°22) montre que la valeur minimale de la teneur en calcium est atteinte au P6 (28 mg/l) à l'Est. Le calcium s'accroît vers le Nord Ouest pour atteindre un maximum de 532 mg/l au F2. L'origine de ces teneurs élevées au niveau de cette partie semble liée à la dissolution des calcaires du miocène supérieur (calcaire à *Lithothamnium*) et leur migration de la nappe de ce dernier vers la nappe alluviale. La présence dans ce secteur de gypse ($\text{Ca SO}_4 2\text{H}_2\text{O}$) au sein de la série miocène explique également ces fortes teneurs.

3-2- Le magnésium :

Il proviendrait essentiellement de la dissolution de la dolomie (carbonate de magnésium), notamment à partir des carbonates du flanc Nord de l'Ouarsenis. Pour les eaux étudiées, le magnésium varie de 24 mg/l à Oued sly (P9) à 339 mg/l au P16 au Nord Est du secteur d'étude (Fig. n°23).

Ce magnésium trouve probablement son origine dans la dissolution de la dolomie présente au sein de la série carbonatée.

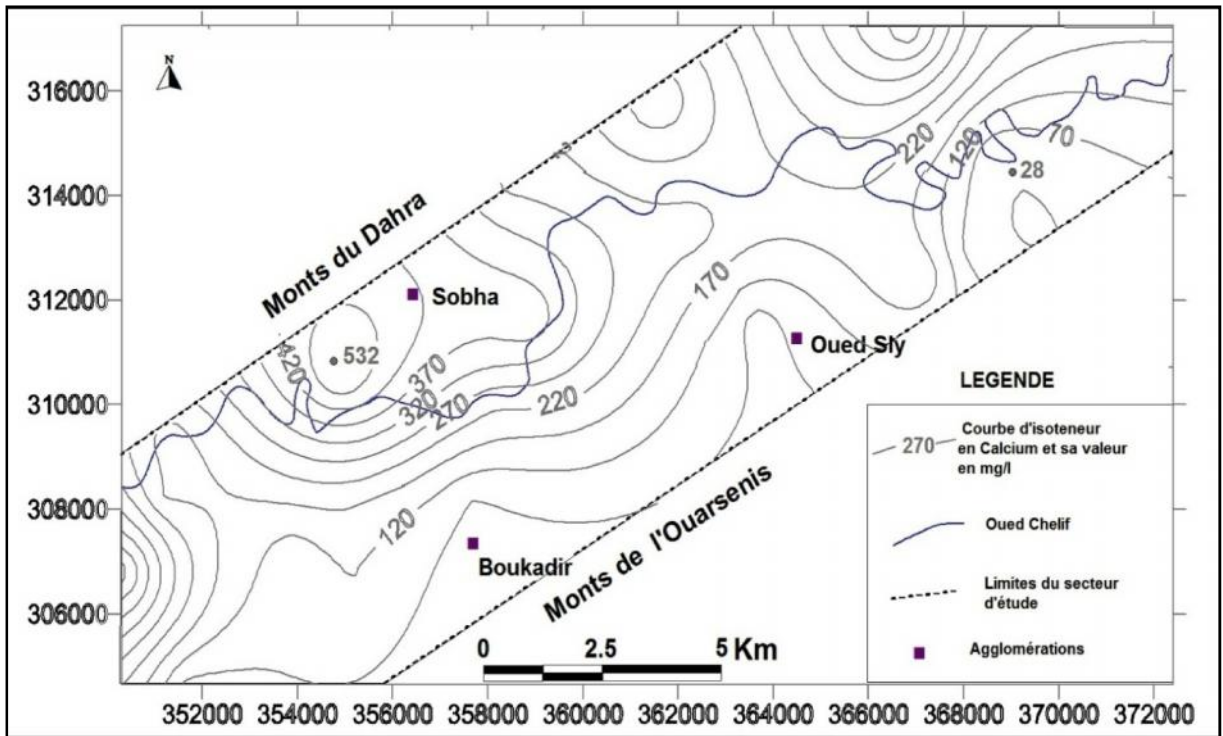


Fig. n°22 : Carte d'isoteneur en Calcium

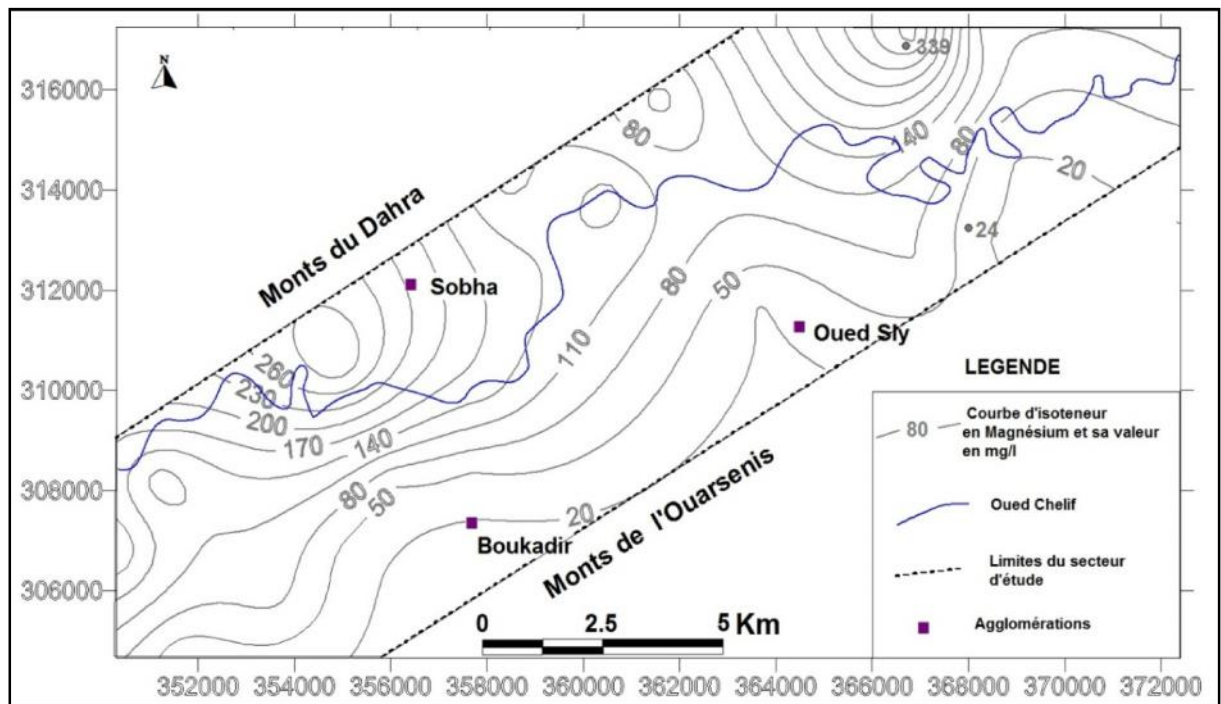


Fig. n°23 : Carte d'isoteneur en Magnésium

3-3- Le sodium et le potassium :

Le sodium a généralement la même origine que les chlorures. Il est généralement lié aux minéraux argileux. Il peut être échangé contre les ions Ca^{++} et Mg^{++} par les minéraux argileux ou les substances organiques et il provient essentiellement de l'hydrolyse des silicates.

La carte d'isoteneur en $Na^+ + K^+$ (fig. n°24) montre que leur concentration évolue de la zone des reliefs vers la plaine. Elle augmente également de l'Est vers l'Ouest ou bien de l'amont vers l'aval conformément à la direction de l'écoulement souterrain. La concentration minimale en $Na+K$ est atteinte au P9 (85.9 mg/l), alors que les valeurs maximales de concentration sont atteintes au Nord Ouest avec un maximum de 1615.8 mg/l au F2.

La prédominance du $Na^+ + K^+$ dans les eaux de la nappe alluviale serait principalement liée à la dissolution des formations évaporitiques du Dahra, des formations gypsifères et des minéraux silicatés. Les eaux usées peuvent également contribuer à l'augmentation des teneurs de ces éléments surtout au niveau des captages implantés aux alentours des oueds.

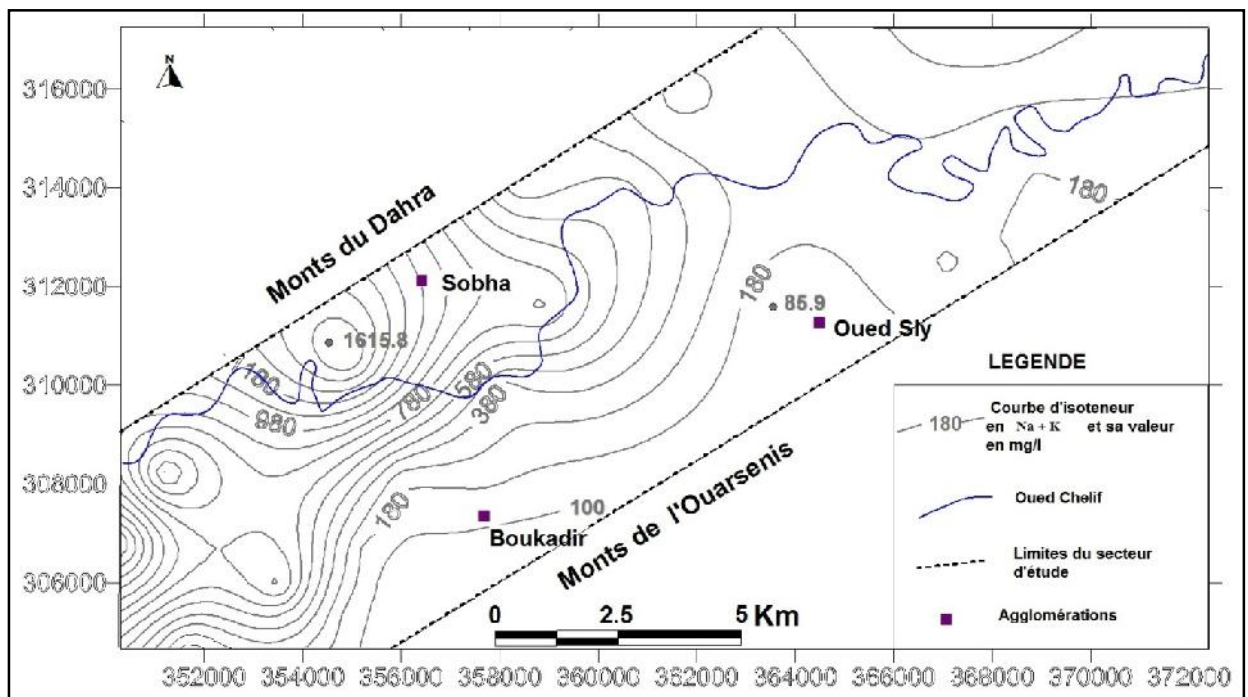
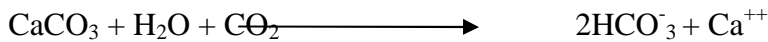


Fig. n°24 : Carte d'isoteneur en $Na^+ + K^+$

3-4- Les bicarbonates :

Les ions HCO_3^- résultent de la dissolution des carbonates par le CO_2 des eaux de pluie et de percolation, selon l'équation chimique :



Sur la carte d'isoteneur en bicarbonates du secteur d'étude (fig. n°25), on constate que l'évolution de la teneur en bicarbonates s'effectue selon la direction Est-Ouest avec un minimum de 152 mg/l au P7, et un maximum de 440 mg/l au P15.

3-5- Les chlorures :

Les chlorures sont considérés comme les migrateurs les plus actifs, ils sont présents dans les types génétiques des eaux souterraines (Maciosrezyk 1987 ; in Dramchi et Boukrari 1990).

Naturellement, les chlorures peuvent avoir deux origines : les apports atmosphériques et la dissolution des évaporites salées.

L'observation de la carte d'isoteneur en chlorures (fig. n°26) indique que leur concentration en chlorures évolue de l'Est (131 mg/l au P9) vers l'Ouest (2900 mg/l au F3) avec une moyenne de 845.37 mg/l qui semble très élevée par rapport à la norme 250 mg/l (DR DASS, 2001).

Les origines des chlorures dans les eaux souterraines de la plaine sont diverses (in Yahiaoui et Zertou, 2006) :

- La nature lithologique de l'aquifère de la nappe alluviale ;
- Le contact permanent des eaux souterraines avec le substratum marneux ;
- La présence de niveau argileux qui s'intercale dans les alluvions ;
- L'évaporation intense due à un climat semi-aride conduit à l'augmentation de la concentration en chlorures ;
- Les eaux météoriques qui lessivent les affleurements des bandes minces des formations évaporitiques et qui alimentent la nappe au niveau de la bordure nord pendant la période pluvieuse.

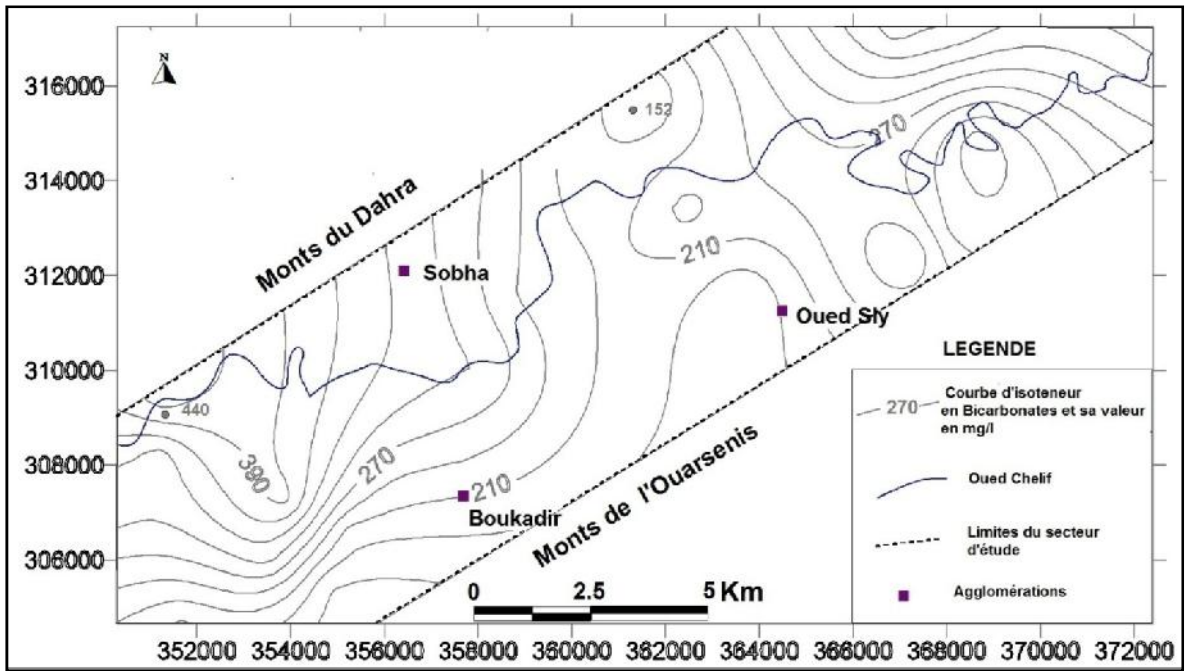


Fig. n°25 : Carte d'isoteneur en Bicarbonates

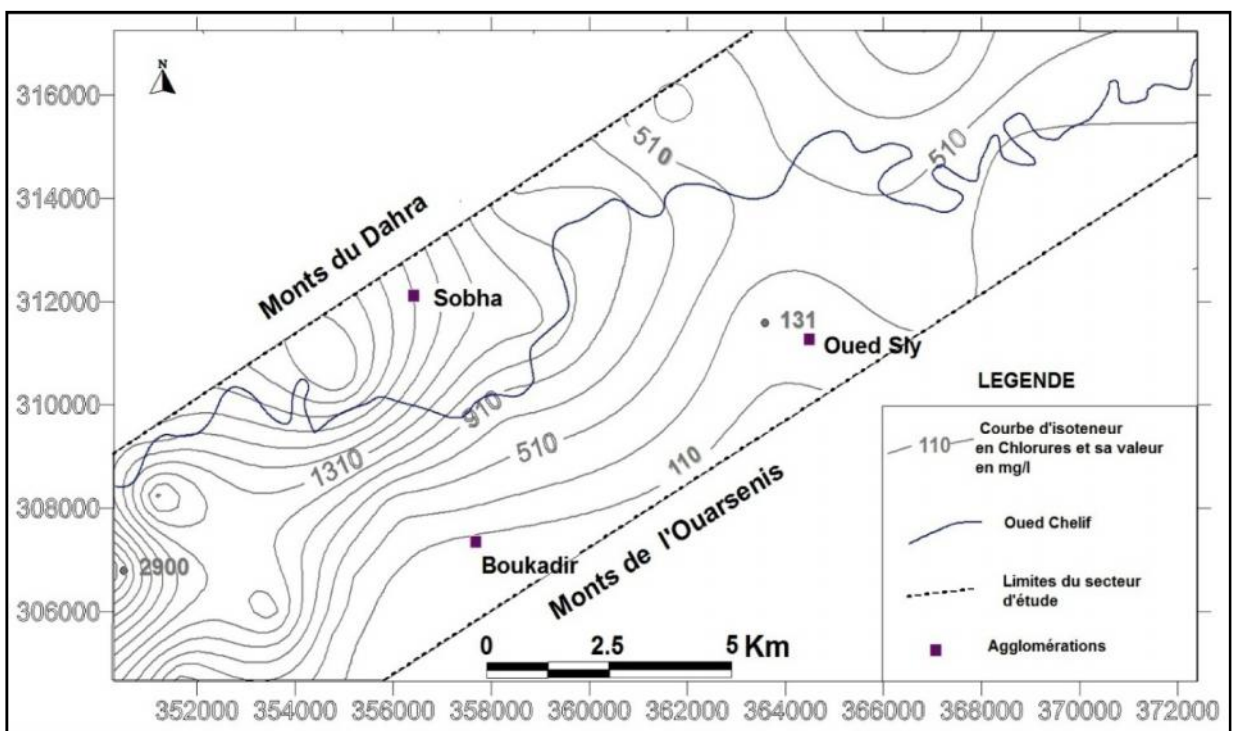


Fig. n°26 : Carte d'isoteneur en Chlorures

3-6 - Les sulfates :

Les sulfates peuvent avoir une origine météorique ; comme ils peuvent également provenir de l'activité agricole ou biologique naturelle, ou de l'utilisation domestique (détergents), ou de la présence d'évaporites (gypse).

D'après la carte d'isoteneur en sulfates (fig. n° 27), on constate que l'évolution de la concentration est similaire à celle de la teneur en calcium. La faible teneur en sulfates est remarquée au P6 (74 mg/l), alors que le maximum est au F2 (1365 mg/l). Ceci serait lié à la dissolution de gypse (Ca SO_4) présent au sein de la série miocène du Dahra.

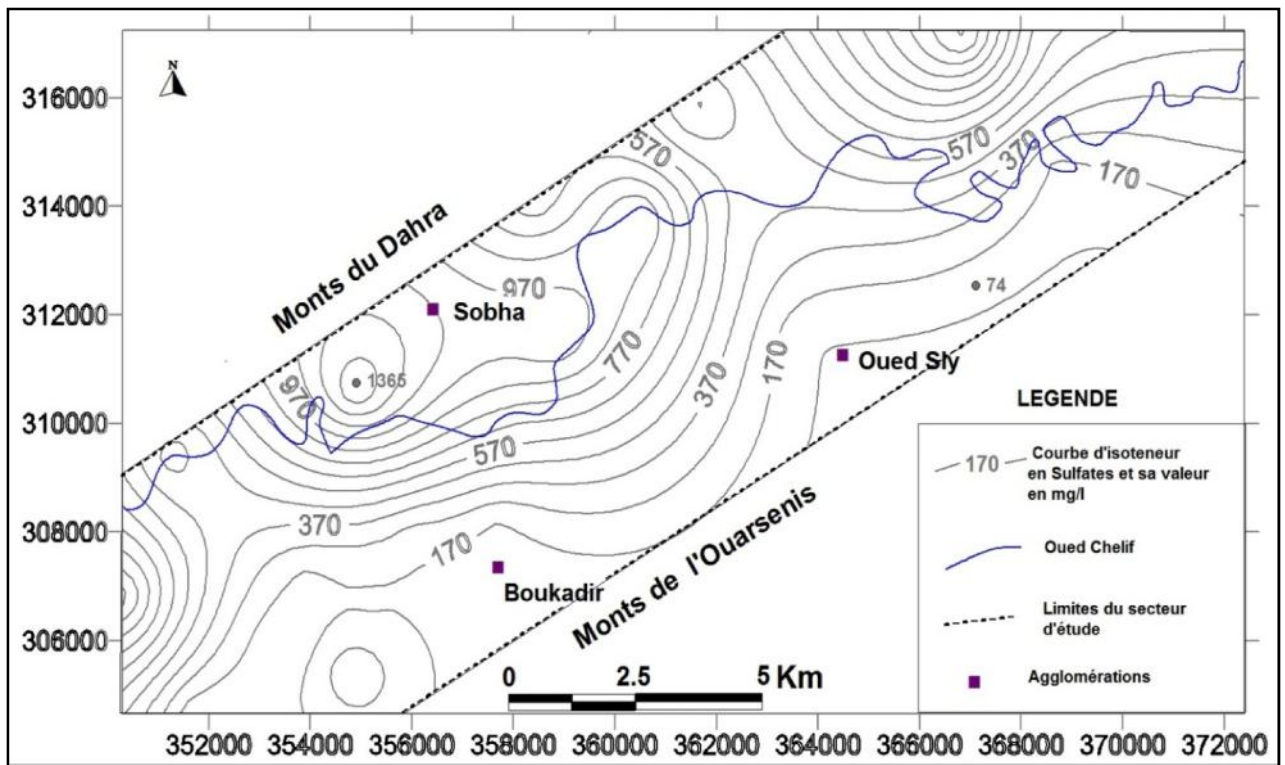


Fig. n°27 : Carte d'isoteneur en Sulfates

4- Etude des rapports caractéristiques :

L'étude des rapports caractéristiques a concerné les rapports suivants :

(SO₄/Cl) ; (Na/Cl) et (Mg/Ca). Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau ci-dessous.

Tabl. n° 06 : Rapports caractéristiques

Points d'eaux	r(SO ₄ /Cl)	r(Na/Cl)	r(Mg/Ca)
F1	1,09	1,10	0,67
P1	0,04	0,98	1,03
P2	0,11	1,05	1,06
P3	0,46	0,76	0,59
P4	0,34	0,98	0,99
P5	0,58	1,02	0,58
P6	0,51	1,01	1,07
P7	0,82	0,97	0,82
P8	0,37	0,87	0,49
F2	0,37	0,90	0,99
F3	0,29	0,80	0,66
P9	0,50	0,99	0,56
P10	0,33	0,86	0,75
F4	0,64	0,86	0,89
P11	0,33	1,16	0,99
P12	0,78	1,00	0,58
F5	0,48	0,67	0,63
P13	0,78	1,09	0,85
P14	0,51	0,79	0,60
P15	0,12	0,75	1,10
P16	0,92	0,58	1,11
P17	0,63	0,92	0,62
P18	0,74	0,83	1,05
F6	0,61	0,68	1,05

4-1- Le rapport $\text{SO}_4^{-2}/\text{Cl}^-$:

Toutes les valeurs du rapport $\text{SO}_4^{-2}/\text{Cl}^-$ sont inférieures à l'unité sauf au F1 où le rapport s'inverse : les chlorures dominent les sulfates. Au niveau de certains points d'eau, les deux anions sont presque de même importance. L'abondance des chlorures résulte des formations évaporitiques, qui bordent la nappe au Nord, et le contact permanent des eaux souterraines avec le substratum marneux.

4-2- Le rapport Na/Cl :

Les résultats obtenus montrent une claire dominance des chlorures sur le sodium pour la majorité des eaux échantillonnées. Les deux éléments sont presque de même importance au niveau des points d'eau où le rapport est supérieur à l'unité.

Ceci semble du aux mêmes raisons précédentes de la dominance des chlorures sur les sulfates.

4-3- Le rapport Mg/Ca :

A l'exception de certains points d'eau, la dominance du calcium sur le magnésium est assez nette. Cette prédominance est due à la faveur de la dissolution des calcaires du miocène supérieur et leur migration de la nappe du Sud vers la nappe alluviale. Elle est également due à la présence de gypse bordant la limite nord de la nappe alluviale.

5- Classification hydrochimique:

Pour mieux connaître les principaux aspects hydrochimiques, il convient d'interpréter les résultats par des représentations graphiques qui nous permettent de comparer facilement plusieurs eaux entre elles.

5-1- Interprétation par digramme de Piper :

Ce diagramme présente l'avantage de regrouper un grand nombre d'analyses sans pour autant faire une subdivision précise. Il permet de déterminer les tendances chimiques des eaux échantillonnées.

Le diagramme de piper (Fig. n°28) montre que les eaux de la nappe de la plaine étudiée appartiennent essentiellement à deux familles d'eaux :

- Chlorurée et Sulfatée calcique et magnésienne,
- Chlorurée Sodique et potassique ou sulfatée sodique.

Pour déterminer le faciès chimique de chaque échantillon nous allons utiliser le diagramme de Schoeller-Berkaloff.

5-2- Interprétation par le diagramme de Schöeller- Berkaloff :

Il s'agit d'un diagramme logarithmique qui permet de représenter avec une bonne précision un ensemble d'eaux aux concentrations différentes avec une bonne précision. Il permet également d'effectuer la conversion des résultats d'analyse en milligrammes par litre (mg/l) en milliéquivalent par litre (meq/l).

Les valeurs des analyses chimiques des eaux étudiées reportées sur le diagramme de Schöeller- Berkaloff (Fig. n° 29 et Fig. n°30) nous ont permis de distinguer trois faciès :

- *faciès chloruré sodique* : au niveau de la majorité des points d'eau ;
- *faciès chloruré magnésien* : au niveau du puits P16 ;
- *faciès sulfaté sodique* : au niveau du forage F1.

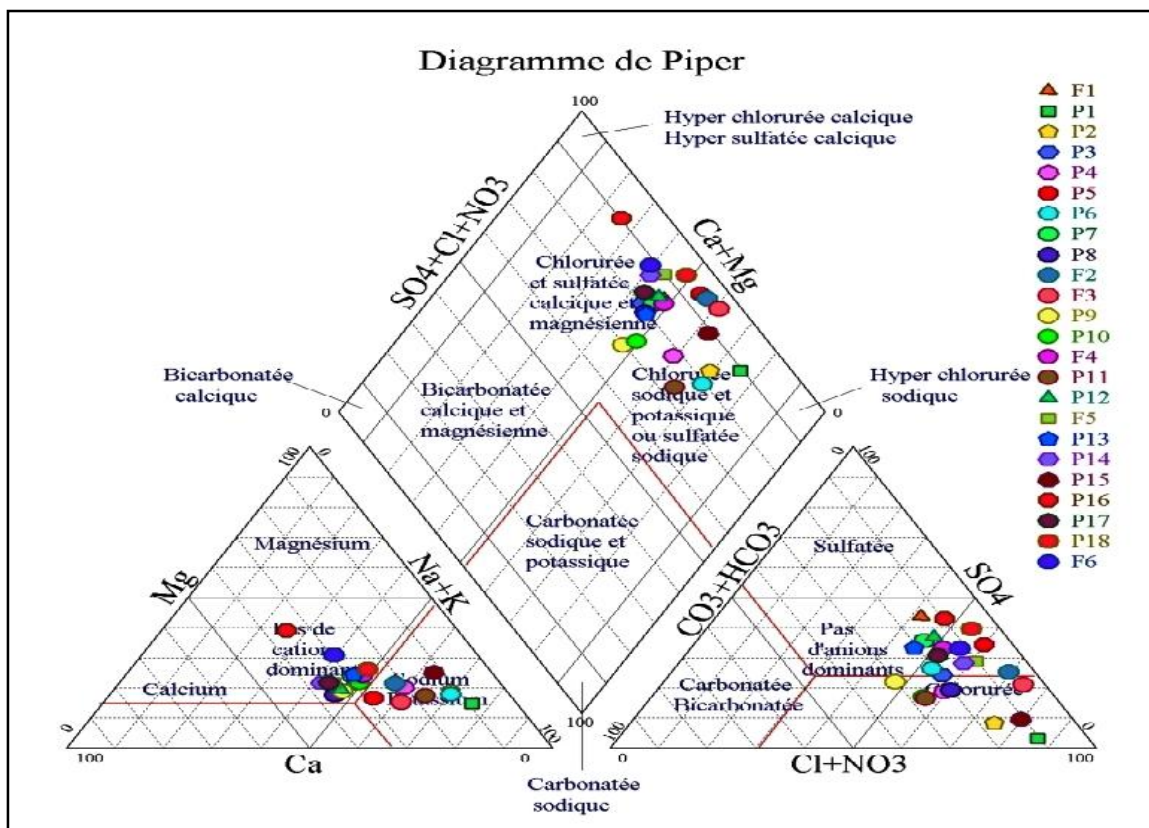


Fig. n°28 : Représentation graphique sur le diagramme de Piper

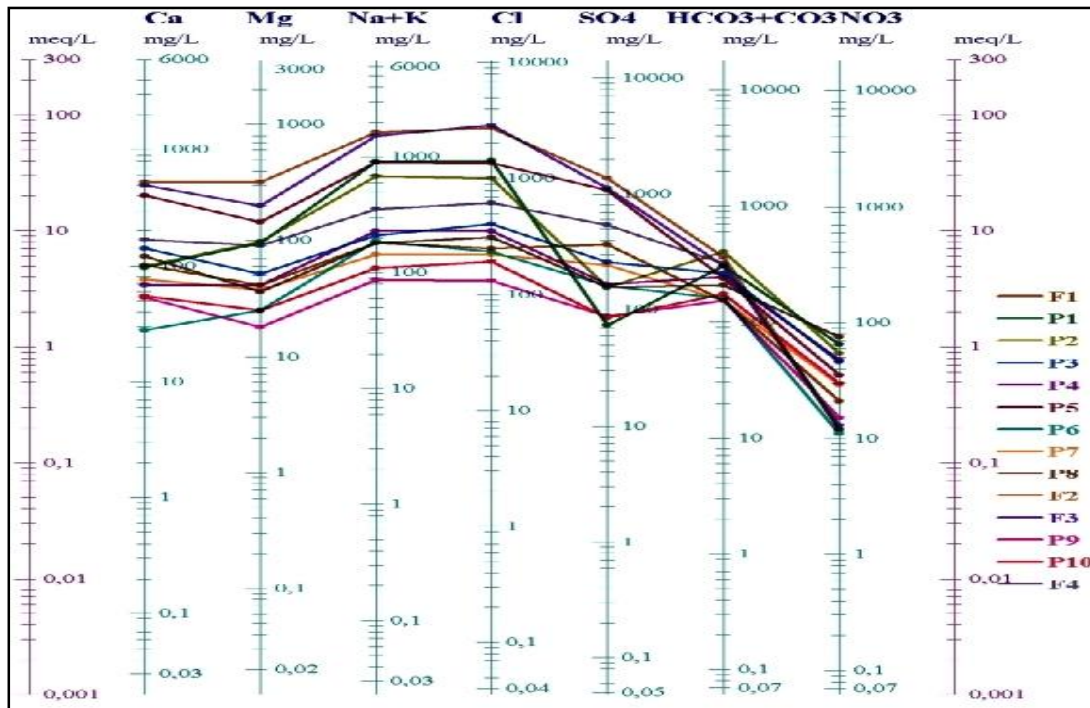


Fig. n° 29 : Représentation graphique sur le diagramme de Schöeller- Berkaloff

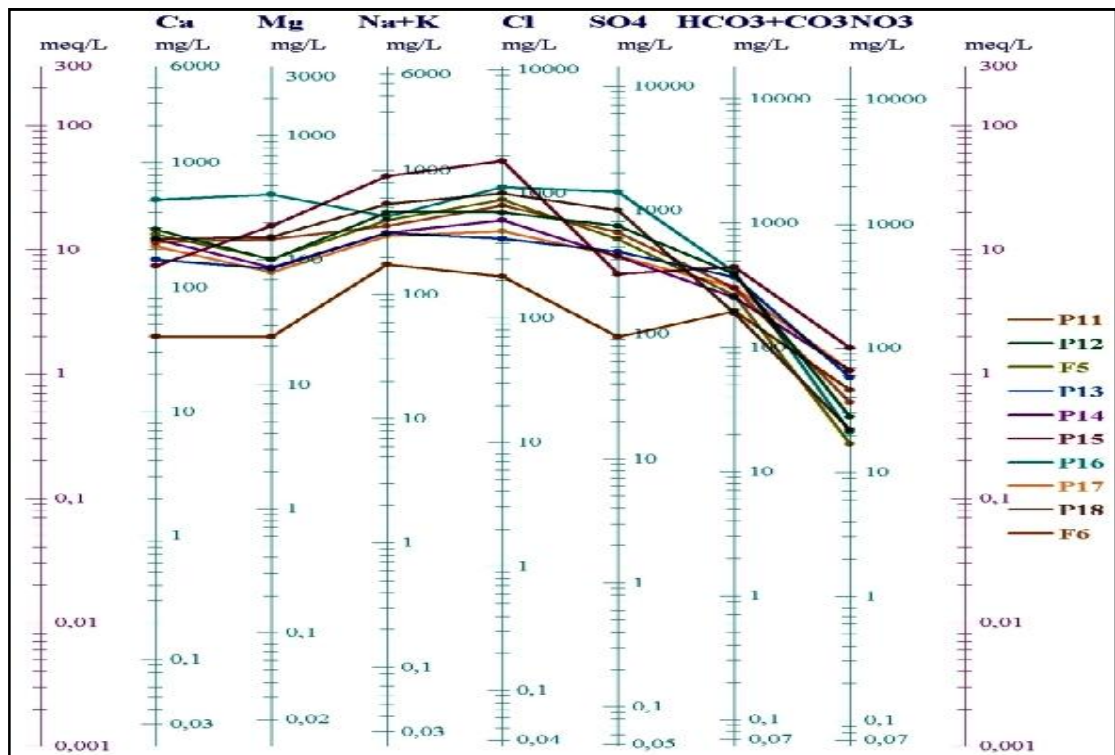


Fig. n° 30 : Représentation graphique sur le diagramme de Schöeller- Berkaloff

6- Indices de saturation :

L'état thermodynamique du milieu aquifère par rapport à certains minéraux peut être déterminé par l'étude de leurs indices de saturation et d'équilibre.

L'état de saturation (I.S) est défini par le logarithme du rapport des produits d'activité ionique d'un minéral (PAI) sur son produit de solubilité (K) :

$$IS = \log \frac{PAI}{K}$$

Dans le cas de la calcite par exemple, Si :

IS = 0, l'eau est saturée vis-à-vis de la calcite

IS > 0, l'eau est sursaturée par rapport à la calcite

IS < 0, l'eau est sous-saturée vis-à-vis de la calcite

Pour nos échantillons d'eaux souterraines, les indices de saturation vis-à-vis de la calcite, du gypse, de l'anhydrite, de la dolomite et de l'aragonite sont représentés dans le tableau n° 07.

Les résultats montrent que les eaux de la nappe étudiée sont sursaturées par rapport à la calcite, la dolomite et l'aragonite. Elles sont par contre sous-saturées par rapport au gypse et à l'anhydrite.

Tab. n° 07 : les indices des saturations des eaux souterraines de la zone d'étude

Points d'eaux	Is Calcite	Is Dolomite	Is Aragonite	Is Gypse	Is Anhydrite
F1	0,55	0,5	0,4	-0,98	-1,15
P1	0,62	1,04	0,47	-1,82	-2,04
P2	0,97	1,74	0,82	-1,45	-1,6
P3	1,01	1,38	0,86	-0,9	-1,2
P4	0,49	0,57	0,35	-1,4	-1,6
P5	1,06	1,48	0,91	-0,2	-0,4
P6	0,26	0,27	0,11	-1,7	-1,2
P7	0,45	0,4	0,3	-1,2	-1,4
P8	0,77	0,88	0,6	-1,2	-1,42
F2	1,18	1,96	1	-0,07	-0,3
F3	1,1	1,62	0,9	-0,15	-0,4
P9	0,45	0,23	0,31	-1,7	-1,9
P10	0,41	0,27	0,26	-1,71	-1,93
F4	0,9	1,35	0,76	-0,66	-0,82
P11	0,51	0,6	0,37	-1,82	-2,04
P12	1,39	2,16	1,24	-0,36	-0,6
F5	0,99	1,38	0,85	-0,48	-0,7
P13	1,08	1,62	0,93	-0,71	-0,93
P14	0,37	0,1	0,22	-0,6	-0,83
P15	0,42	0,75	0,27	-1,1	-1,31
P16	0,95	1,56	0,81	-0,01	-0,21
P17	0,7	0,79	0,56	-0,64	-0,87
P18	0,47	0,55	0,32	-0,35	-0,57

7- Indice Chloro-Alcalin ICA (ancien nom : i.e.b Schoeller) :

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

$$\text{ICA} = \frac{r_{\text{Cl}^-} - r(\text{Na}^+ + \text{K}^+)}{r_{\text{Cl}^-}}$$

D'après Shoeller, si :

ICA = 0, il y a un équilibre entre les compositions chimiques de l'eau et de l'encaissant.

ICA < 0, l'encaissant libère le sodium et le potassium et fixe le calcium.

ICA > 0, l'encaissant libère le calcium et fixe le sodium et le potassium.

La majorité des valeurs des indices d'échange de base, représentées dans le tableau n° 8, sont positives. Elles s'échelonnent entre 0.01 à 0.42. Ceci indique que les eaux souterraines de la nappe étudiée échangent les ions Na⁺ et K⁺ contre les ions Ca²⁺ et Mg²⁺ de l'encaissant. Ces échanges révèlent l'importance des lambeaux d'argiles dans l'aquifère du Plio-Quaternaire ; ce qui est confirmé par ailleurs par les logs lithologiques des forages implantés dans la zone d'étude. Les autres points d'eau (6), avec un indice négatif entre -0.23 et -0.02 traduisent des échanges entre le calcium de l'eau avec le sodium des formations encaissantes.

Tab. n° 08 : valeurs des indices Chloro-Alcalins des eaux du secteur d'étude.

points d'eau	rCl	r(Na+K)	IAC
F1	7,02	7,8	-0,11
P1	40,19	39,63	0,01
P2	28,2	29,64	-0,05
P3	11,49	8,99	0,22
P4	10,04	9,92	0,01
P5	38,49	39,28	-0,02
P6	6,54	8,06	-0,23
P7	6,15	6,08	0,01
P8	8,85	7,79	0,12
F2	77,27	69,97	0,09
F3	81,78	65,28	0,20
P9	3,69	3,7	0,00
P10	5,41	4,7	0,13
F4	17,63	15,28	0,13
P11	6,06	7,36	-0,21
P12	19,88	19,87	0,00
F5	25,24	17,09	0,32
P13	12,32	13,54	-0,10
P14	17,2	13,65	0,21
P15	51,89	39,06	0,25
P16	31,8	18,51	0,42
P17	14,03	12,96	0,08
P18	28,2	23,5	0,17
F6	22,77	15,55	0,32

8 - Traitement statistique des données hydrochimiques :

Nous avons effectué une étude statistique par analyse en composante principale sur les 24 échantillons prélevés. Nous avons pris en considération les éléments majeurs suivants : Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^- , ainsi que la conductivité et le pH.

8-1- Etude statistique en composante principale :

8-1-1 statistiques élémentaires :

Dans le tableau n° 09 nous avons présenté le calcul des moyennes et des écarts -types de la série de différents éléments chimiques.

Les chlorures, les sulfates et le sodium présentent des écarts-types élevés, respectivement 755.31, 415.30 et 412.77. Ceci explique la dominance du faciès chloruré-sodique pour la majorité des eaux échantillonnées.

Tab. n°09 : Calcul des moyennes et des écarts -types de la série.

variables	Moyenne (mg/l)	Ecart-type	Minimum	Maximum
Ca	198,12	151,37	28,00	532,00
Mg	103,78	85,94	18,00	338,75
Na	479,04	412,77	84,00	1600,00
K	4,45	3,65	0,00	15,80
Cl	847,02	755,31	131,00	2900,00
SO4	492,15	415,30	74,00	1410,00
HCO3	270,31	88,94	151,59	440,42
NO3	38,78	24,00	11,00	100,00
CE	3,94	2,85	0,86	11,20
pH	7,78	0,24	7,20	8,10

8-1-2- Matrice de corrélation :

Dans le tableau n°10, nous avons figuré les valeurs des coefficients de corrélation entre les teneurs des différents éléments majeurs.

On remarque que, à l'exception des nitrates et des bicarbonates, la majorité des éléments majeurs sont corrélés positivement entre eux.

Le pH est corrélé négativement avec tous les ions constitutifs de la minéralisation.

Tab. n° 10 : Matrice de corrélation des éléments chimiques.

	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	CE	pH
Ca	1,00									
Mg	0,87	1,00								
Na	0,71	0,73	1,00							
K	0,14	0,22	0,33	1,00						
Cl	0,76	0,79	0,98	0,29	1,00					
SO4	0,95	0,87	0,62	0,19	0,67	1,00				
HCO3	0,47	0,64	0,52	-0,04	0,55	0,38	1,00			
NO3	-0,30	-0,15	-0,06	-0,17	-0,07	-0,43	0,33	1,00		
CE	0,84	0,88	0,94	0,26	0,98	0,78	0,59	-0,08	1,00	
pH	-0,46	-0,57	-0,30	0,26	-0,40	-0,43	-0,38	-0,33	-0,50	1,00

Les meilleures corrélations positives se retrouvent entre :

- les chlorures et le sodium (0.98).
- la conductivité ou le résidu sec avec les ions Na^+ (0.94) et Cl^- (0.98) dont dépend en grande partie la minéralisation et les ions Ca^{+2} (0.84) et Mg^{+2} (0.87).
- le calcium et le magnésium (0.87)
- les sulfates et le calcium (0.95) ou le magnésium (0.87).

Le pH est corrélé négativement avec tous les ions constitutifs de la minéralisation.

8-2- Analyse en Composant Principale (ACP) :

8-2-1- Cercle de corrélation des variables :

D'après l'espacement des variables sur le cercle de corrélation (Fig. n°31) on constate que les axes 1 et 2 regroupent 75.47 % de l'information. Les ions qui sont bien corrélés entre eux, se regroupent étroitement à droite de l'axe 1.

Les nitrates, les bicarbonates, le potassium ainsi que le pH se détachent nettement du précédent groupe et confirment ainsi leur non corrélation.

Tous les éléments sont corrélés positivement sauf le pH et les nitrates NO_3^- .

Les éléments HCO_3^- et K^+ sont les plus proches de l'origine de l'axe ce qui indique leur moindre corrélation avec les autres éléments.

Selon l'axe F2, on constate que les paramètres : Na^+ , Cl^- , SO_4^- , Ca^{++} et K^+ sont nettement corrélés négativement aux CE , Mg^{++} , HCO_3^- et NO_3^- .

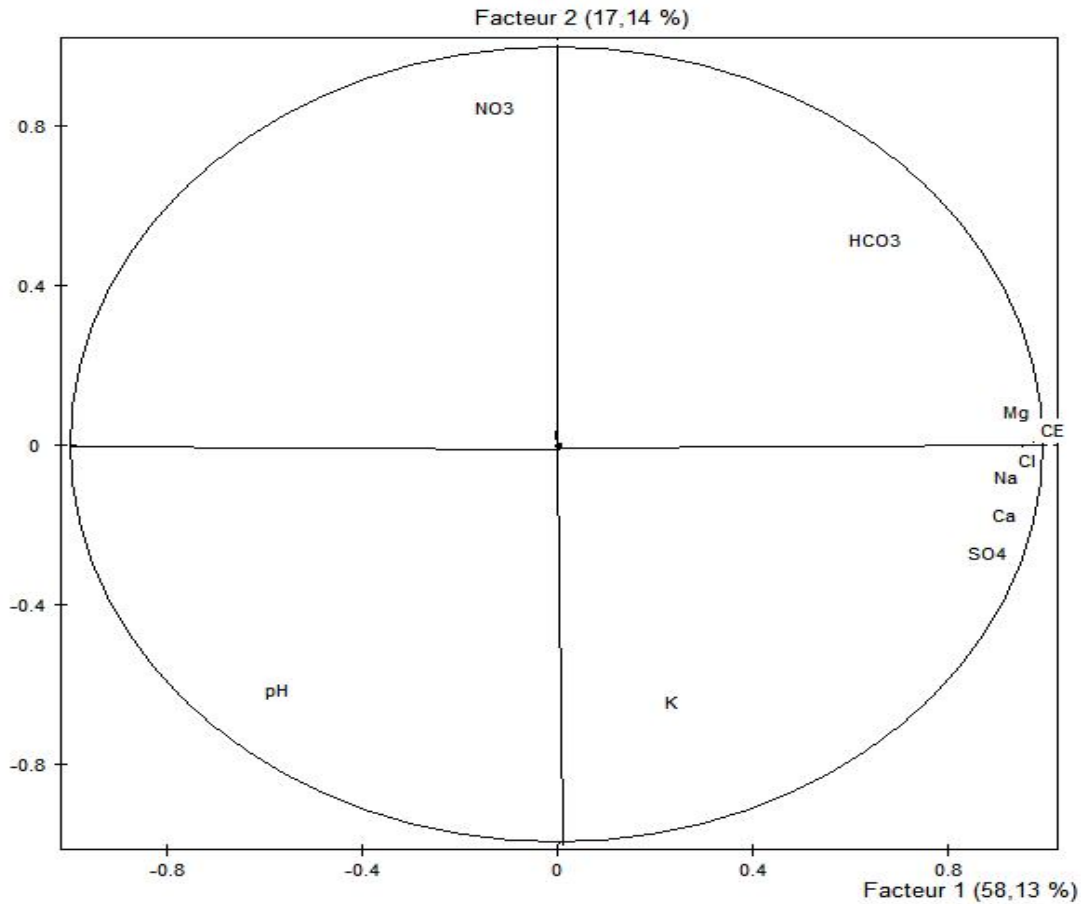


Fig. n°31: Cercle de corrélation : axes 1 et 2, étude des variables.

8-2-2- Cercle de corrélation des individus :

L'étude de la répartition des individus fait apparaître trois (03) regroupements de nuages des points (fig. n° 32) en fonction de la minéralisation :

Groupe 1 : eaux situés dans le prolongement du pôle Na – Cl à droite du cercle de corrélation ; à faciès chlorurée sodique, et à plus forte minéralisation

(4477 mg/l < RS < 6697mg/l).

Groupe 2 : eaux à faciès chloruré sodique et à forte minéralisation

(1942 mg/l < RS < 4612 mg/l).

Groupe 3 : eaux à minéralisation relativement faible (568 mg /l < RS < 1708 mg/l).

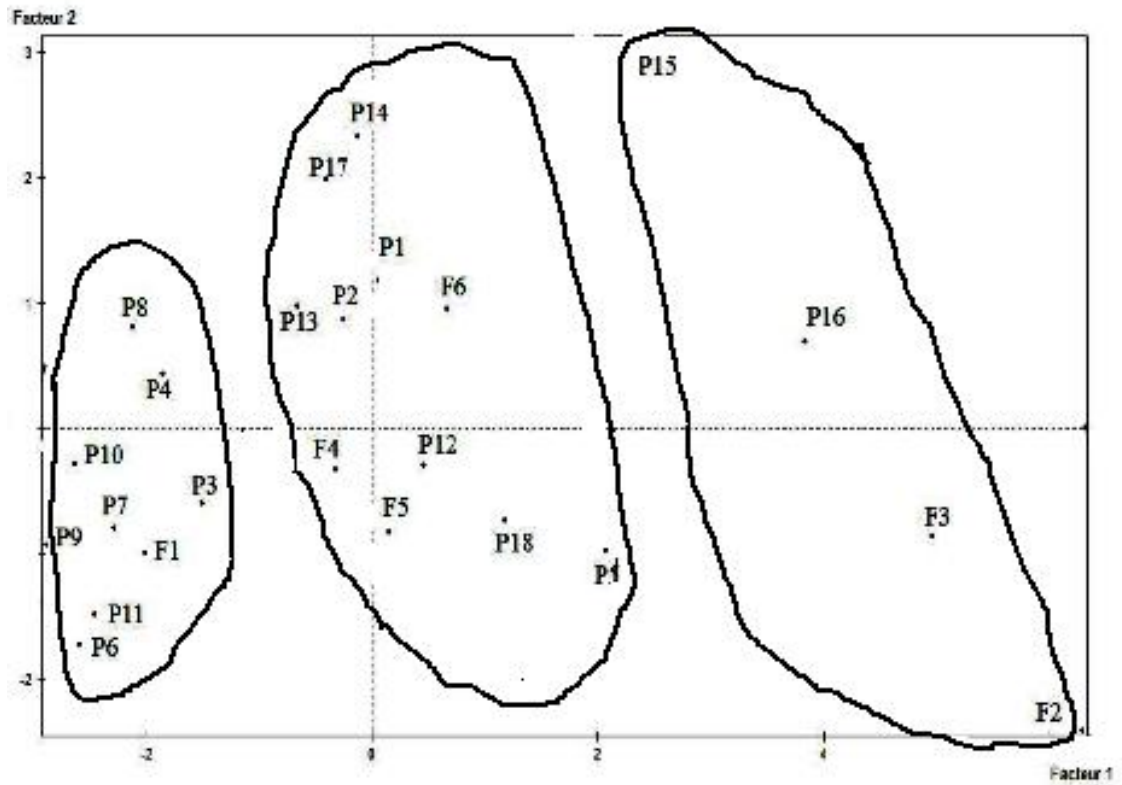


Fig. n°33: Cercle de corrélation : axes 1 et 2, étude des individus.

9- Conclusion :

L'étude hydrochimique des eaux souterraines du secteur d'étude a montré que:

- La présence de trois faciès chimiques avec prédominance du faciès chloruré sodique. Ceci traduit l'influence des intercalations argileuses au sein des formations alluvionnaires et celle du substratum marneux. Par conséquent, les eaux du secteur d'étude sont fortement chargées en sels dissouts.

- La répartition spatiale des éléments chimiques a confirmé que l'origine de ces faciès est fortement liée à la nature lithologique des formations aquifères.

- Le calcul de l'indice de saturation des minéraux carbonatés et gypsifères a montré que les eaux de la nappe étudiée sont sursaturées par rapport à la calcite, la dolomite et l'aragonite. Elles sont par contre sous-saturées par rapport au gypse et à l'anhydrite

- L'étude statistique, par analyse en composante principale (ACP), fait apparaître un bon regroupement des échantillons selon leur minéralisation.

ChAPITRE III

Pollution et processus d'enrichissement en nitrates des eaux souterraines

I- GENERALITES :

1-Définition de la pollution de l'eau :

Une eau est polluée lorsque, sous l'effet de l'activité humaine, elle devient impropre à satisfaire la demande d'utilisation ou qu'elle présente un danger pour l'environnement (G. Castany, 1982). Les causes naturelles de la dégradation de la qualité de l'eau souterraine sont donc exclues de ce concept.

2- Principaux types de pollution :

Selon l'origine de la pollution, on peut distinguer trois grands groupes de pollution : urbaine, agricole et industrielle.

2-1- Pollution d'origine urbaine :

La pollution d'origine urbaine, correspond à des apports hétérogènes liés, d'une part aux activités physiologiques et domestiques, et d'autre part aux activités économiques, industrielles et commerciales pratiquées dans le milieu urbain.

Pour celles liées aux activités physiologiques et domestiques, elle est essentiellement de type organique et bactériologique.

2-1-1- Pollution organique :

Deux formes peuvent être distinguées :

a)- *Pollution organique biodégradable* : issue des eaux ménagères (toilettes, lavages divers, etc.). Ce type de pollution est facilement éliminé, soit par le pouvoir auto épuratoire au niveau du sol, soit par l'épuration biologique dans les stations d'épuration,

b)- *Pollution organique difficilement biodégradable* : elle correspond en grande partie aux détergents synthétiques contenus dans les produits de nettoyage domestique. L'inconvénient de leur présence dans l'eau réside dans l'apparition de mousse qui diminue l'oxygénation de l'eau et perturbe le fonctionnement des stations d'épuration.

2-1-2- Pollution bactériologique :

Elle est due aux microorganismes pathogènes qui peuvent être présents dans l'eau.

2-2- Pollution d'origine agricole :

L'agriculture est entrée dans un stade de modernisation, où les cultivateurs font parfois recours à une utilisation abusive d'engrais chimiques et de produits phytosanitaires (insecticides, fongicides, herbicides, etc.).

L'utilisation irrationnelle de ces produits peut entraîner des risques graves et polluer les eaux souterraines.

2-3-Pollution d'origine industrielle :

Elle peut être provoquée par les rejets industriels, thermiques et chimiques. Sa nature est aussi variée que celle des industries. La pollution par les éléments toxiques est la plus dangereuse incluse dans ce type.

3- Principaux éléments indicateurs de la pollution organique:

3-1- L'Ammonium:

L'ammonium est souvent rencontré dans l'eau. Il traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique. Généralement, l'ammoniaque se transforme rapidement en nitrites (NO_2) et en nitrates (NO_3^-) par oxydation. Pour l'eau destinée à la consommation humaine, il est recommandé comme valeur admissible maximale ; 0.5 mg/l.

3-2- Les Nitrites :

Les nitrites peuvent être présents dans l'eau mais généralement à des doses faibles. Ils peuvent avoir comme origine l'oxydation incomplète de l'ammoniaque, ou bien une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante.

L'O.M.S préconise comme teneur en nitrites dans l'eau potable une valeur limite de 0.1 mg/l.

3-3- Les Nitrates:

Ils constituent la forme la plus oxydée de l'azote que l'on retrouve dans l'eau. Une forte teneur en nitrates peut être d'origine naturelle, mais indique parfois la présence d'une contamination par des eaux résiduaires, de certaines industries ou de ruissellement riches en engrais (agriculture).

3-4- Les Phosphates :

Leur présence dans les eaux naturelles dépend de la nature des terrains traversés et de la décomposition de la matière organique. Les eaux de surface ou souterraines peuvent être contaminées par des rejets industriels et domestiques ou par le lessivage des terres cultivées renfermant des engrais phosphatés.

Pour l'eau potable, les normes de l'O.M.S recommandent comme niveau guide du phosphate 0.4 mg/l et une concentration maximale admissible de 5 mg/l.

3-5- Les matières organiques :

Ce genre de pollution est fortement lié aux activités humaines. Les matières organiques susceptibles d'être rencontrées dans les eaux sont constituées par des produits

de décomposition d'origine animale ou végétale, élaborés sous l'influence des micro-organismes.

L'inconvénient des matières organiques est de favoriser l'apparition de mauvais goût dans l'eau. En plus, une teneur élevée en matières organiques pourrait faire suspecter une contamination microbienne.

3-6- La matière en suspension :

La teneur et la composition minérale et organique des matières en suspension dans les eaux sont très variables. Elles sont en fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, des rejets, etc. En se déposant, elles peuvent colmater les fonds et créer des déséquilibres de la faune et la flore. En outre, ces substances peuvent favoriser la prolifération des micro-organismes pathogènes et ralentissent les phénomènes liés à la lumière (photosynthèse).

II-PRINCIPALES SOURCES DE LA POLLUTION DANS LE SECTEUR D'ETUDE

1-Introduction :

L'augmentation du taux de nitrates dans l'eau, qui n'est désirable ni pour l'homme ni pour l'environnement, représente aujourd'hui un sérieux problème pour un grand nombre de pays, quelque soit leur niveau de développement ; cette pollution est un problème difficile dans les pays où la population augmente rapidement, où les demandes de développement sont considérables, et / ou les gouvernements ont d'autres priorités d'investissement (Chiclomonov. I.A, 1997).

La région du Chélif a connu durant ces dernières années une certaine expansion socio-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, d'une part, augmenté la demande en eau et a d'autre part exposé les ressources en eau à différentes pollutions résultant de l'activité agricole.

La pollution des eaux souterraines par les nitrates, est l'une des conséquences inattendues de ce développement mal contrôlé des activités humaines.

2-Cartographie de sources potentielles de la pollution

Dans le cadre de la préparation d'un mémoire de magistère qui s'inscrit dans l'étude de la pollution des eaux souterraines du Moyen Chélif Occidental et en collaboration avec les services de l'ANRH et de l'ABH-CZ, on a pu faire un inventaire des différentes sources de pollution (Fig. n°33) au niveau de notre secteur d'étude, qui se résume essentiellement comme suit:

- L'élevage des animaux (ovins, bovins et volailles) ;
- Les cultures maraîchère et céréalière, qui utilisent d'importantes quantités de fertilisants sous forme de fumier ou d'engrais azotés;
- Les rejets urbains, qui déversent des eaux usées domestiques dans l'Oued Chélif et ses affluents, sans traitement préalable ;
- La zone industrielle d'Oued Sly ;
- Les décharges ménagères sauvages ;
- Les cimetières.

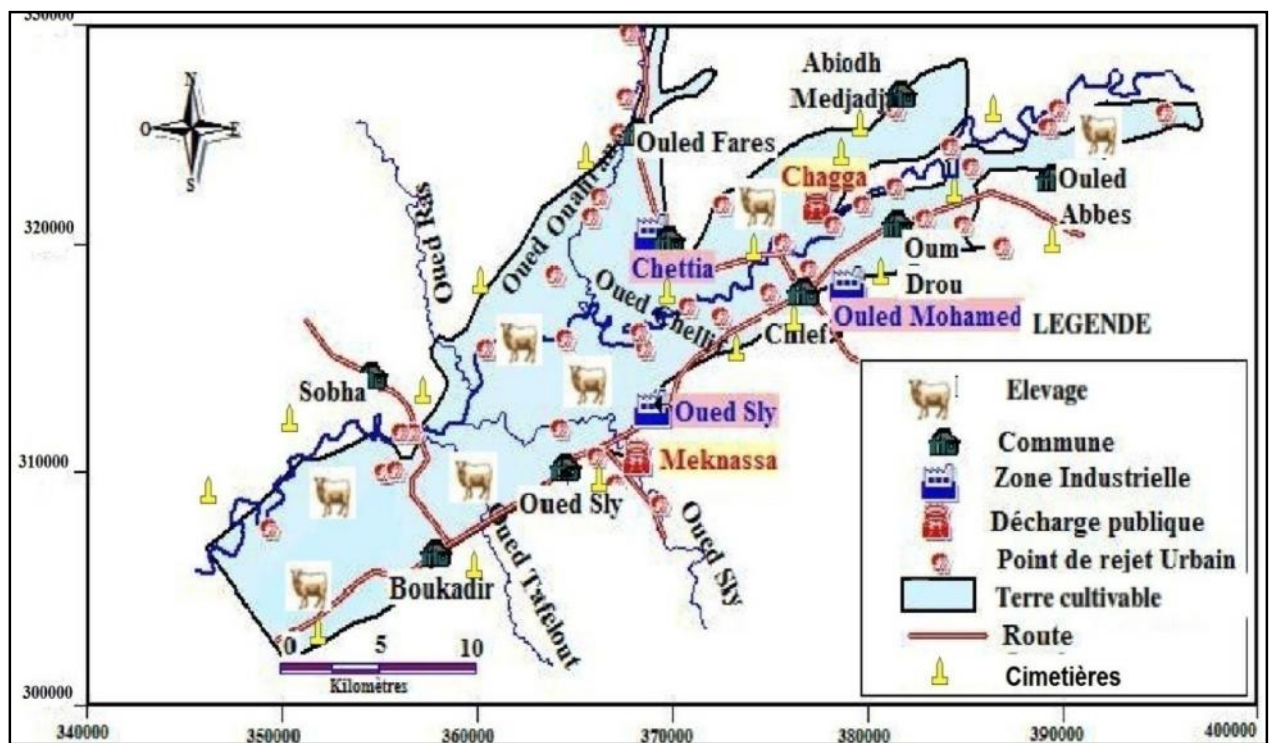


Fig. n° 33 : Carte des sources de pollution de la nappe alluviale du Moyen Chélif Occidentale (in Henia, 2006, modifiée et complétée)

2- 1- Origine domestique et urbaine :

Ce sont les rejets d'eaux usées domestiques et urbaines qui se déversent dans l'oued Chélif et ses affluents, dans la majorité des cas, sans traitement préalable. Les dépôts d'ordures ménagères répartis d'une façon anarchique dans la plaine de Boukadir apportent leur lot de charge polluante.

2-2- Origine agricole:

L'agriculture a connu dans les dernières années un développement très rapide qui nécessite l'utilisation massive des engrais chimiques et des produits phytosanitaires (herbicides, insecticides, fongicides...). Le tableau n° 11 représente les différents engrais chimiques adoptés par les agriculteurs dans notre région d'étude. Ces engrais sont dans la majorité à base d'azote (N).

L'utilisation abusive de ces produits est la principale source de pollution des eaux souterraines par les nitrates.

Tab. n° 11: Les différents engrais chimiques utilisés dans la région du Chélif (DSA, 2010).

	Engrais azoté N12 P18K18	Urée à 46% ou sulfate d'ammonium 21%	Engrais azoté N15 P15 K15	Ammonitrates à 33.5 %
Jeune Vergé	10 Qts/ha	14 Qts/ha	...	...
Vieux Vergé	5 Qts/ha	7 Qts/ha	...	...
Maraichage	...	...	19.5 Qts/ha	12 Qts/ha
Céréale	...	7.5 Qts/ha	...	...

2- 3- Origine industrielle :

Elles sont dues aux rejets industriels, thermiques et chimiques. Leur nature est donc aussi variée que celle des industries.

Dans le tableau n° 12, nous représentons les différents complexes industriels implantés dans la région du Chélif. Ces derniers sont dotés d'installations antipollution vétustes et pour la plupart sont souvent hors services.

Fig. n° 12 : Unités industrielles des communes du Moyen Chélif Occidental
(ABH C-Z et DPAT, 2010)

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

2- 4- Origine cimetièrè :

Les sites d'implantation des cimetières sont souvent définis de façon arbitraire sans tenir compte des spécificités géologiques. Dans notre secteur d'étude, les cimetières sont généralement installés dans les zones hautes du versant Nord des Monts de l'Ouarsenis ou sur le versant Sud des Monts du Dahra (Fig. n°33).

Les cimetières seraient des sources de sérieux risques de pollution des eaux souterraines par les nitrates. Ceci est favorisé lorsque le sol est caractérisé par des terrains perméables ; c'est le cas du versant Nord des Monts de l'Ouarsenis (calcaires fissurés et karstifiés du Missinien).

3-Vulnérabilité à la pollution de la nappe alluviale du MCO :

La carte de vulnérabilité du Moyen Chélif Occidental (Fig. n°34) a été établie par la méthode DRASTIC. Elle montre pour notre zone d'étude qu'une grande partie de la nappe alluviale est caractérisée par une vulnérabilité moyenne, les zones les plus vulnérables se trouvent au Nord Ouest de la plaine, aux alentours de la commune de Chlef et au Nord de la commune de Ouled Abbas (mais en dehors des limites de la zone d'étude). Les terrains les moins vulnérables se retrouvent en particulier à Boukadir et au Nord d'Oued Sly.

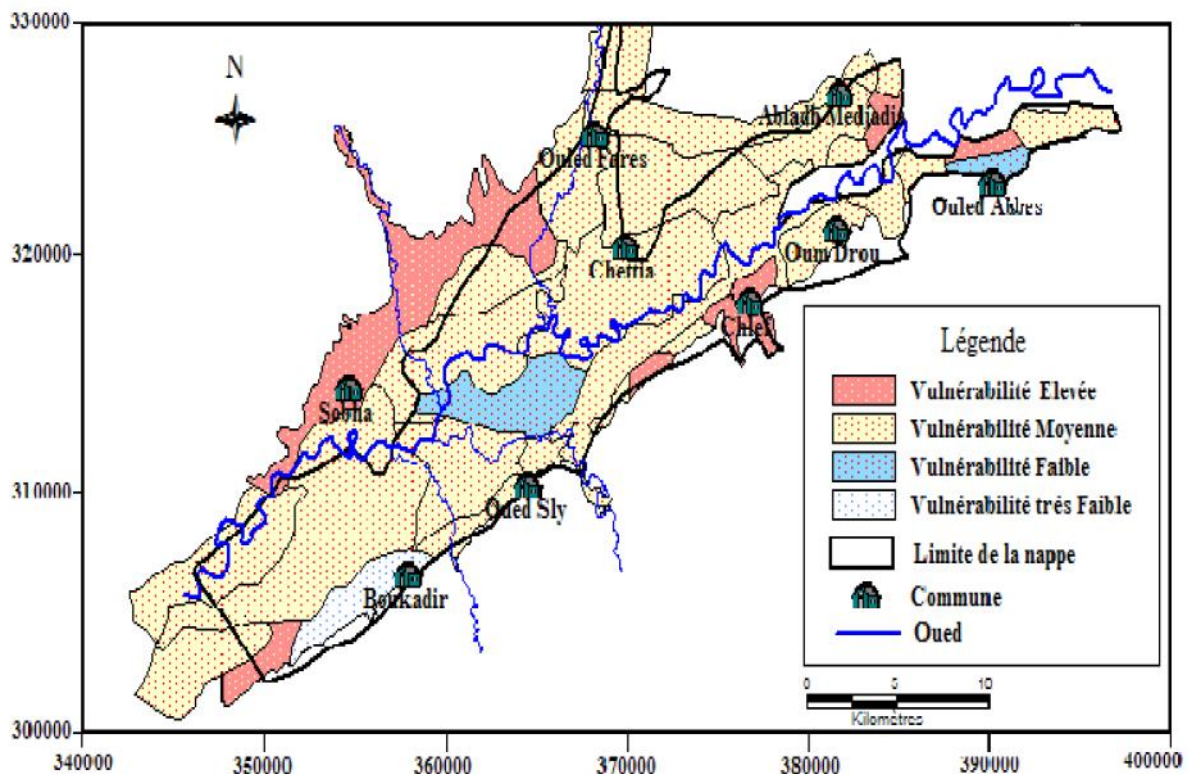


Fig. n°34 : Carte de vulnérabilité à la pollution de la nappe alluviale du MCO (ABH-CZ)

III- LA POLLUTION PAR LES NITRATES

1-Définition des nitrates :

Les nitrates (NO_3^-) sont des composés chimiques constitués d'azote et d'oxygène. Ils résultent du cycle de l'azote qui est une substance nutritive indispensable à la vie végétale. Celui-ci peut être amené à se retrouver dans le sol via différentes voies. L'oxydation par les microorganismes des plantes, du sol ou de l'eau rend l'azote assimilable par les plantes sous forme de nitrates. Ainsi toutes les sources d'azote sont potentiellement capables de se retrouver sous forme de nitrate. Dans d'autres conditions, notamment en milieu acides, des nitrites (NO_2^-) sont naturellement formés à partir des nitrates. A leur tour les nitrites, peuvent se combiner aux amines et aux amides pour former ce que l'on appelle des nitrosamines.

2- Différentes formes de l'azote :

L'azote peut exister sous trois formes principales:

- Gazeuse : il constitue 78% de l'atmosphère.
- Minérale : il peut être en liaison avec l'hydrogène pour former l'ammoniac, ou avec l'oxygène et donner les nitrites et les nitrates (il s'agit respectivement d'azote ammoniacal, nitreux ou nitrique):

- l'azote ammoniacal est une forme transitoire. Résultant de l'ammonification, l'ammoniac et les sels ammoniacaux sont solubles et les ions NH_4^+ qu'ils libèrent sont retenus par le complexe adsorbant. Cette forme d'azote est assez rapidement oxydée par les bactéries nitrifiantes et transformées en nitrates.

- l'azote nitrique, très soluble, est la forme principale d'absorption et de migration de l'azote. Non retenu par le complexe adsorbant, cet azote est rapidement perdu par lessivage s'il n'est pas absorbé par les plantes ou par les bactéries réorganisatrices.

- l'azote nitreux est une forme transitoire servant de pont dans la nitrification et dans la dénitrification. Ces deux processus sont très rapides et même instantanés.

- Organique : il entre dans la constitution des protéines présentes dans tous les tissus vivants.

L'azote est surtout employé dans la synthèse des produits de base (ammoniac, acide nitrique, etc.) dans l'industrie d'engrais, des explosifs et des colorants.

3- Cycle de l'azote dans la nature :

Le cycle d'azote est le plus complexe des cycles biogéochimiques. Il est difficile d'évaluer les quantités d'azote présentes dans les divers compartiments de la biosphère, à l'exception de l'atmosphère qui contient 79 %, et des composés d'origines industriels qui sont de 4 à 5 fois plus abondants que ceux qui proviennent de la fixation biologique de l'azote atmosphérique. Ce dernier est la réserve essentielle de la biosphère.

Les bactéries qui sont capables de fixer l'azote atmosphérique sont soit aérobies comme azoto- bactères, soit anaérobies comme clostridium ; certaines sont capables de réaliser la photosynthèse comme les rhodospirillum ou bien vivent en symbiose avec les légumineuses ce qui permet la fixation de 150 à 400 kg d'azote par ha/an (Dajoz.R, 1986).

3-1 - Les phases du cycle de l'azote : (Fig. n°35)

Les principales phases du cycle de l'azote sont : la **minéralisation** (ammonification et nitrification) et l'**immobilisation** ou réorganisation.

Le premier phénomène concerne les transformations de l'azote organique en azote ammoniacal, qui est progressivement converti en nitrites et en nitrates ; alors que l'immobilisation transforme l'azote minéral en azote organique.

Ces deux phénomènes sont simultanés dans le sol sont fortement influencés par les conditions environnementales tel que la température, le pH et l'humidité du sol, d'où une évolution annuelle des concentrations en nitrates dans la nappe (Pinheiro. A, 1995).

3-1-1- La minéralisation

Dans le processus de minéralisation, les composés carbonés sont dégradés puis utilisés comme source d'énergie, l'azote qui est en excès par rapport aux besoins des micro-organismes est libéré, les formes solubles de l'azote sont libérées par la rupture des cellules lors de la mort des organismes.

Environ 1 à 2 % de la matière organique est minéralisée chaque année en éléments solubles par l'action des micro-organismes. Les principales étapes de cette minéralisation sont les suivantes :

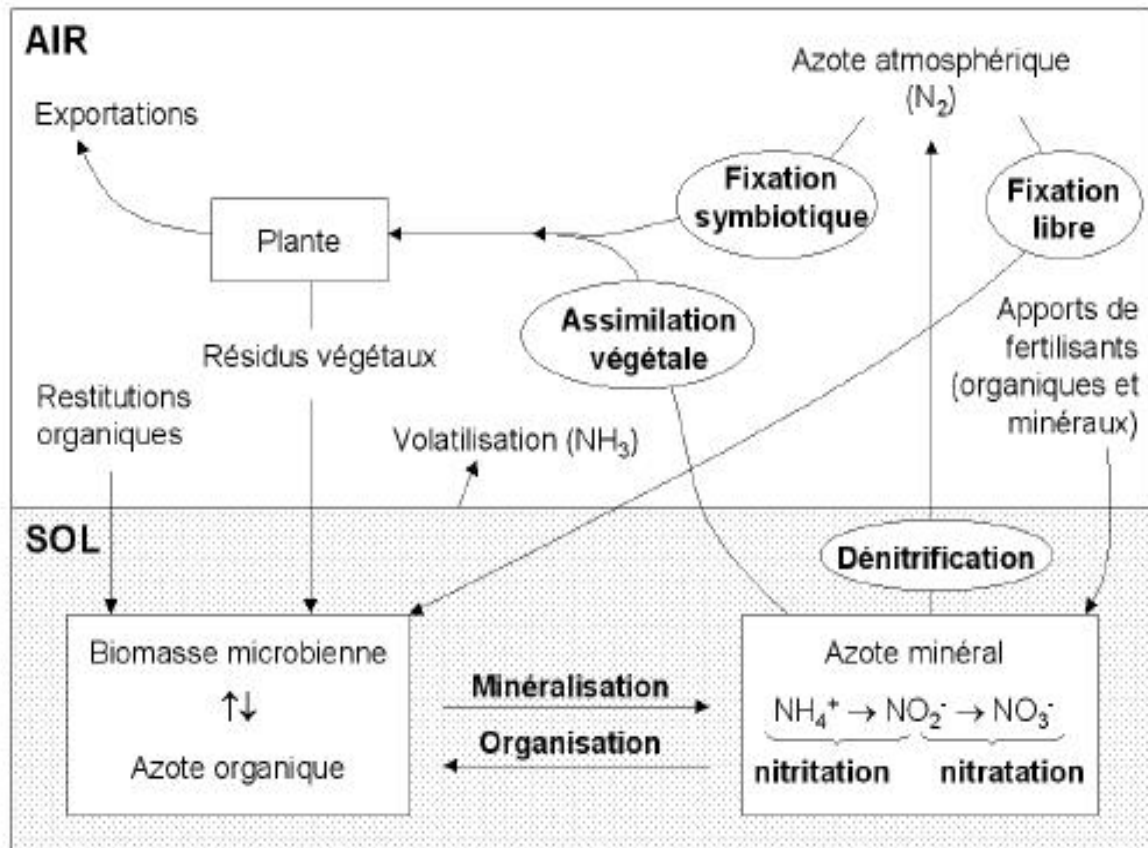


Fig. n°35 : Cycle de l'azote dans le sol, (Recous et al. 1997).

A- L'Ammonification

L'ammonification est l'œuvre du micro-organisme qui transforme l'azote aminé des protéines en ammonium.

B- La Nitrification

C'est l'oxydation d'azote ammoniacal en nitrite puis nitrate à l'aide de bactéries autotrophes qui tirent leur énergie d'une réaction d'oxydation. Cette énergie leur permet de réduire le gaz carbonique pour utiliser le carbone (Gaid A., 1984. Anonyme 1989).

B-1- La Nitritation

C'est l'oxydation de l'ammonium (NH_4^+) en nitrite (NO_2^-) par les bactéries autotrophes aérobies du type nitrosomonas.

B-2- La Nitratisation

C'est l'oxydation du nitrite (NO_2^-) en nitrates (NO_3^-) forme très assimilable par les plantes, la réaction d'oxydation se fait en milieu aérobie sous l'action des bactéries autotrophes du type nitrobacter qui utilisent leur substrat minéral comme source de carbone (Anonyme, 1989).

3-1-2 – L'immobilisation

C'est une rétrogradation de l'azote minéral sous la forme organique au cours de la période froide. Ceci est fait par l'intermédiaire de certains groupes de microbes qui font la synthèse des protéines dans leurs cellules aux dépens des nitrates du sol.

L'immobilisation est donc la transformation de l'azote minéral en azote organique.

Elle se fait par trois voies :

A- Dénitrification

C'est le processus par lequel certaines bactéries réduisent l'azote nitrique à un état plus faible d'oxydation (Gaid.A, 1984 ; Anonyme, 1989).

B- Absorption de l'Azote par les plantes

Les composés azotés absorbés par les plantes sont les nitrates et l'ammonium, sous la forme soluble, l'équilibre entre ces deux formes varie selon les espèces et les conditions, mais généralement, les nitrates constituent la principale source d'azote pour les plantes. L'absorption d'azote par les plantes est fonction de l'espèce végétale, du climat, des conditions du sol et du stade de développement de la plante (Mariotti, 1988).

C- Phénomène de Volatilisation

C'est la perte sous forme d'ammoniac NH_3 , généralement négligeable, elle peut cependant atteindre 20 à 30% de l'azote ammoniacal lorsqu'il est apporté en sol basique. La volatilisation de l'ammoniac NH_3 , peut avoir lieu dans les conditions de pH élevé. Ceci peut se passer par exemple dans les sols calcaires ou encore au cours de processus de fermentation de composées organiques (Mariotti, 1988).

4- Nitrates et risques sanitaires :

Les préoccupations liées à la pollution par les nitrates portent sur la toxicité des eaux de consommation. Cependant, les nitrates ingérés par l'homme ne proviennent pas uniquement de l'eau boisson et cuisson. La dose absorbée au travers de l'alimentation (légumes: 100 mg à 2 g/kg, charcuterie: 50 à 200 mg/kg, salaisons, fruits, pain, produits laitiers) est estimée entre 100 et 300 mg/j. La dose journalière admissible est fixée par l'OMS à 3,65 mg/kg de poids par jour (Rodier, 1996).

L'importance de l'apport hydrique apparaît clairement, compte tenu d'une consommation journalière de l'ordre de 0,7 l pour le nourrisson et de 2 l pour l'adulte (Duchemin et al., 1988).

4-1- Pharmacocinétique et métabolisme

Une fois ingérés, les nitrates sont rapidement absorbés au niveau de l'intestin grêle proximal puis distribués dans tout l'organisme (Bartholomew et Hill, 1984). Une partie des nitrates absorbés, soit environ 25%, est sécrétée dans la salive (Spiegelhalder et al., 1976).

La microflore buccale contribue à transformer environ 20% des nitrates sécrétés dans la salive en nitrites. Environ 5% des nitrates ingérés sont donc réduits en nitrites par l'activité microbienne de la salive (Eisenbrand et al., 1980 ; Spiegelhalder et al., 1976).

Il est prouvé que les nitrites, une fois absorbés, sont responsables de la formation de la méthémoglobine (Shuval et Gruener, 1972). Les nitrites sont également reconnus pour réagir, au niveau gastrique, avec des composés nitrosables tels que les amines et les amides pour former des composés N-nitrosés (Broitman et al., 1981).

4-2- Intoxication aiguë

La méthémoglobinémie du nourrisson est le seul effet sur la santé qui a été associé de façon non équivoque à une exposition excessive aux nitrates par l'eau de consommation. Elle survient principalement chez les enfants de moins de trois mois exposés à des concentrations de nitrates qui excèdent 50 mg/l dans l'eau utilisée pour la préparation des biberons (CEPA, 1997). Des bactéries contenues entre autres dans les glandes salivaires, transforment les nitrates en nitrites. L'hémoglobine du sang se lie alors aux nitrites et cette nouvelle configuration chimique (méthémoglobine) est incapable de fixer l'oxygène des poumons vers les tissus (Fan et al., 1987).

4-3- Effets cancérigènes

Les nitrates et nitrites ne sont pas cancérigènes, mais leur transformation possible en composés N-nitroso dans l'eau ou les aliments avant l'ingestion, ou dans l'organisme après ingestion, pourrait augmenter le risque de cancer et de malformation du fœtus (tératogénicité) chez l'être humain (Vermeer et al., 1998 ; Levallois et Phaneuf, 1994). Cependant, selon d'autres résultats d'études, les nitrosamines ne se forment pas lors de l'ingestion ou de la digestion de légumes riches en nitrates, et la consommation de tels légumes pourrait présenter certains avantages (McKnight et al., 1999 ; Duncan et al., 1997). De même, certains auteurs ont observé des associations avec l'exposition aux nitrates par l'eau de consommation mais non par l'ingestion d'aliments (Weyer et al., 2001 ; Ward et al., 1996).

De plus, plusieurs études épidémiologiques n'ont pas réussi à confirmer le lien entre l'ingestion de nitrates et le cancer (Van Leeuwen et al., 1999 ; Barrett et al., 1998 ; Van

Loon et al., 1998 ; Cantor, 1997). Toutefois, ces études n'ont pas non plus prouvé l'absence de risque de cancer lié à leur consommation.

Le risque de cancer n'est pas actuellement pris en compte dans l'établissement des normes d'eau potable, vu que l'apport de cette dernière est généralement faible, comparé à celui provenant des aliments (NRC, 1995).

4-4- Effets environnementaux des nitrates

Au point de vue environnemental, les nitrates (et les phosphates) sont responsables des phénomènes d'eutrophisation des rivières et des eaux littorales. Ils correspondent à une prolifération importante de végétaux chlorophylliens, qui provoquent la baisse des quantités d'oxygène dissous disponibles (Menesguen et Piriou, 1995).

Une augmentation des concentrations en composés toxiques comme l'hydrogène sulfuré et l'ammoniaque peut accompagner l'eutrophisation, et provoquer un déséquilibre biologique et biochimique perturbant les écosystèmes, les animaux et les végétaux.

De plus, une utilisation abusive de certains engrais peut être à l'origine d'une baisse des rendements par acidification des sols. Ainsi, l'ammonitrate possède une action acidifiante (Hebert, 1990), favorisant la décalcification des sols. Le phénomène de "fatigue" des sols peut se développer, et correspond à un appauvrissement en certains nutriments ou à l'effet de l'accumulation de substances toxiques (Gaucher, 1968).

4-5- Teneurs limites :

Le problème des concentrations élevées en nitrates a commencé à être pris en compte dans les années 70 pour des raisons sanitaires (Somlette, 1998), et a amené l'OMS à fixer en 1971 la concentration maximale dans l'eau d'alimentation à 45 mg/l. En Algérie, la concentration maximale admissible (CMA) est fixée à 50 mg/l. Pour les eaux traitées, la concentration en nitrates en sortie des installations de traitement doit être inférieure ou égale à 0,1 mg/l.

Le Service d'Hygiène Publique Américain recommande la concentration de 45 mg/l de NO_3 comme valeur limite à ne pas dépasser pour l'eau de boisson particulièrement quand celle-ci doit être donnée à des enfants (Rodier, 1996).

5-Echantillonnage et dosage des nitrates :

Le dosage des nitrates fait appel à des méthodes relativement complexes avec une grande probabilité de présence de constituants interférents; de ce fait, la détermination des nitrates est délicate. Pour chaque type d'échantillon, le choix de la méthode est déterminé par la concentration à doser et les interférences probables. Les méthodes proposées sont :

- La chromatographie ionique, applicable aux teneurs supérieures à 1 mg/ l ;
- la réduction au cadmium de 0,01 à 1 mg/ l en *N*, avec une adaptation en automatique de 0,05 à 20 mg / l ;
- Les méthodes spectrophotométriques exigent un échantillon limpide : les échantillons turbides doivent être filtrés sur membrane 0,45 µm après avoir vérifié qu'elle ne contient pas de nitrates. De plus, les colorations développées sont très sensibles aux interférences.

Prélever les échantillons en flacons de verre ou de polyéthylène. Les refroidir à 4 °c sur le lieu de prélèvement. Effectuer le dosage dans les meilleurs délais pour éviter l'évolution rapide des nitrates et des nitrites.

6-Détermination de la source de la pollution azotée :

Pour la détermination de l'origine des nitrates dans les eaux souterraines, plusieurs méthodes, simples ou compliquées, ont été établies. Nous citons :

6-1-Corrélations chimiques :

La bonne corrélation de l'évolution spatio-temporelle des teneurs en nitrates contenues dans les eaux souterraines avec d'autres éléments, notamment, indicateurs de pollution dont l'origine est connue, peut informer sur leurs sources de provenance. Ceci est appliqué avec une certaine prudence ; ces méthodes sont plus fiables lorsque le paramètre de corrélation est plus caractéristique de la source considérée. Pour notre étude, nous avons utilisé des graphes de l'évolution des nitrates en fonction des chlorures, des phosphates, du potassium et des bicarbonates.

6-2-Méthodes isotopiques :

Les rapports isotopiques de l'azote (^{15}N , ^{14}N) ont été utilisés de façon extensive pour caractériser les sources de l'azote dans les eaux superficielles et souterraines. Le fait que la signature isotopique des nitrates change de façon systématique lors de la réduction des nitrates, permet de mettre en évidence l'existence d'un processus de dénitrification naturel dans la nappe. La superposition de plusieurs sources et d'une éventuelle dénitrification peut rendre difficile une discrimination de l'origine de la pollution et nécessite l'utilisation

d'outils complémentaires. Les isotopes du Bore, du Strontium et bien d'autres sont presque omniprésents dans l'eau et montrent de très forts contrastes isotopiques dans le milieu naturel, ce qui leur confère un potentiel certain pour la discrimination de sources de pollution. Ces isotopes ne sont pas fractionnés par les mêmes processus que l'azote (Kloppmann, BRGM, 2003).

Malheureusement nous ne disposons pas de données isotopiques pour faire un lien entre les nitrates et les différentes sources de pollution.

7- Elimination des nitrates (dénitrification) :

De nombreuses techniques permettent d'abaisser le taux de nitrate. Le choix de celle à retenir doit intégrer la présence ou non d'un exutoire pour les rejets générés par le traitement (De Larminat, 1987).

7-1- Procédés physico-chimiques

Quatre techniques existent :

- l'échange d'ions,
- la déminéralisation partielle,
- l'osmose inverse,
- l'électrodialyse.

Les deux premières (les plus pratiquées) mettent en œuvre des procédés d'échange d'ions et les deux dernières des procédés membranaires, mais ceux-ci modifient la minéralisation totale de l'eau et sont réservés au traitement des cas particuliers.

L'échange d'ions permet l'élimination des nitrates sur résine. Les nitrates et sulfates sont fixés, en contrepartie, la résine libère des chlorures et des hydrocarbonates qu'elle a intégrés préalablement lors d'une régénération. Contrairement à ce qui peut se produire dans une filière biologique, les nitrates ne sont pas éliminés sous forme d'azote gazeux mais temporairement adsorbés par la résine. Les nitrates éliminés de l'eau se retrouvent intégralement dans le faible volume des rejets, mêlés à l'excès de sel de régénération. L'exutoire peut être :

- un milieu marin,
- un récepteur naturel d'un débit suffisant,
- un réseau d'égout.

7-2- Procédés biologiques

Les techniques biologiques sont les seuls susceptibles de fonctionner sans problèmes d'éluats (Richard et Leprince, 1980). Il en existe deux :

- hétérotrophe (substrat organique),
- autotrophe ou chemiolitrophe (substrat minéral).

8- Lessivage des nitrates dans les eaux souterraines :

Les nitrates, principale forme assimilable de la nutrition azotée des végétaux, sont en totalité contenus dans la solution du sol, ce qui les rend disponibles pour les plantes (et les micro-organismes) mais les exposent aussi aux entraînements par lixiviation, accentuée par la charge négative de l'ion nitrate, qui n'est pas retenu par les colloïdes argileux ou organiques du sol, eux aussi chargés négativement (Mariotti, 1988).

Les pertes de nitrates peuvent être très importantes dans les sols des climats humides ou des zones irriguées, spécialement si le sol a une texture grossière (sols sableux). L'intensité du lessivage des nitrates est déterminée par les facteurs suivants (El Tabach, 2005 ; Trembley et al., 2001):

- la texture du sol et la capacité d'échange cationique (CEC) : une texture grossière et une CEC faible augmentent le potentiel de lessivage. Par vagues successives, liées à la pluviométrie et éventuellement à l'irrigation, ces nitrates sont entraînés en profondeur, hors des horizons prospectés par les racines et rejoignent alors les nappes souterraines.
- le type et quantité d'irrigation: le lessivage potentiel est plus élevé sous irrigation gravitaire que sous irrigation goutte à goutte. Aussi, des apports excessifs d'eau d'irrigation entraînent une infiltration plus rapide de l'eau dans le sol et par là plus de lessivage de nitrates.
- la forme, la dose et le moment d'apport de l'azote : l'utilisation d'engrais azotés nitriques et l'apport d'engrais azotés en avance ou en retard par rapport aux moments des besoins de la culture favorisent le lessivage.

L'agriculture peut contribuer à la lixiviation des nitrates en apportant des doses supérieures aux possibilités d'absorption des plantes et au pouvoir de rétention du sol. Des précipitations abondantes hors des périodes de prélèvement des plantes, l'absence de couverture végétale entre la récolte et le semi suivant et le travail du sol en été sont d'autres exemples de facteurs aggravants.

Les mécanismes de transport des nitrates sont la convection, la diffusion et la dispersion mécanique. Dans les régions mobiles du sol (macropores), l'eau et les nitrates se déplacent autant par convection que par diffusion. Par contre, dans les régions immobiles du sol (micropores), Sardin et al. (1991) ont montré qu'alors le transport de l'eau et des nitrates s'effectue principalement par diffusion du fait des gradients de concentrations dans le sol. Pinheiro (1995) note que le lessivage est très variable d'une année à l'autre, ce que nous comprenons aisément du simple fait de la variation des conditions météorologiques.

Tindall et al. (1995) ont comparé les réactions d'une argile et d'un sable face au lessivage des nitrates et aux réactions de dénitrification probable. La migration des nitrates est retardée sur l'argile mais elle s'effectue.

La vitesse moyenne de transfert des nitrates est de 0,3 à 1,25 m/an selon la nature du couvert végétal et le recouvrement de la nappe (Lacherez, 1997; Vachier et al., 1979).

IV-EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DES NITRATES

1- Origine des données:

L'étude de l'évolution des teneurs en nitrates a été entreprise pour mettre en évidence les étapes antérieures d'enrichissement des eaux de la nappe étudiée qui ont abouti à la situation actuelle. Nous avons collecté auprès des services de l'ANRH de Chlef et de Blida les analyses chimiques des éléments majeurs correspondant aux prélèvements effectués sur les captages appartenant au réseau de surveillance géré par cet organisme. Les données sont disponibles pour les années 1992, 1993, 1994, 1997, 1998, 1999, 2002, 2003, 2004, 2006, 2008 et l'année d'étude 2010.

2-Analyse statistique

Les paramètres statistiques de la chronique des concentrations en nitrate enregistrée depuis 1992 jusqu'au 2010 sont résumés dans le tableau n° 13.

Tab. n° 13 : Paramètres statistiques des teneurs en Nitrates exprimés en mg/l

		1992	1993	1994	1997	1998	1999	2002	2003	2004	2006	2008	2010
Teneur en Nitrates	Max (mg/l)	395	240	295	185	230	140	350	255	338	105	305	100
	Moy (mg/l)	52	58	46	69	59	44	77	63	57	32	28	42
	Min (mg/l)	7	7	4	4	10	5	21	9	0	2	6	12
	Ecart-type	212	122	157	92	116	69	176	120	180	65	142	24

La concentration moyenne en nitrates des eaux de la nappe étudiée a pratiquement dépassé la concentration maximale admissible (50 mg/l) pour la majorité des campagnes. Les teneurs maximales sont à leur tour excessivement élevées, et sont enregistrées au niveau de captages différents pour les campagnes retenues.

Les variations interannuelles des teneurs en nitrates sont essentiellement dues aux phénomènes du cycle d'azote qui se déroulent simultanément dans le sol et sont fortement influencés par les conditions environnementales (la température, le pH et l'humidité de sol. etc.), d'où une évolution annuelle des concentrations en nitrates dans la nappe (Bettahar, 2009).

3- Evolution du taux de nitrates entre 1992 et 2010

Quatre classes de concentrations en nitrates sont distinguées pour les campagnes précédemment décrites (Fig. n° 36) :

- Inférieures à 25 mg/l (représentée en bleu) : eau de qualité optimale pour être consommée.
- Entre 25 et 50 mg/l (représentée en rouge) : eau de qualité acceptable pour être consommée.
- Entre 50 et 100 mg/l (représentée en vert) : eau non potable, déconseillée aux nourrissons et femmes enceintes, nécessite un traitement de potabilisation avant distribution.
- Supérieures à 100 mg/l (représentée en mauve) : eau déconseillée pour toutes les catégories de population, la potabilisation est impossible.

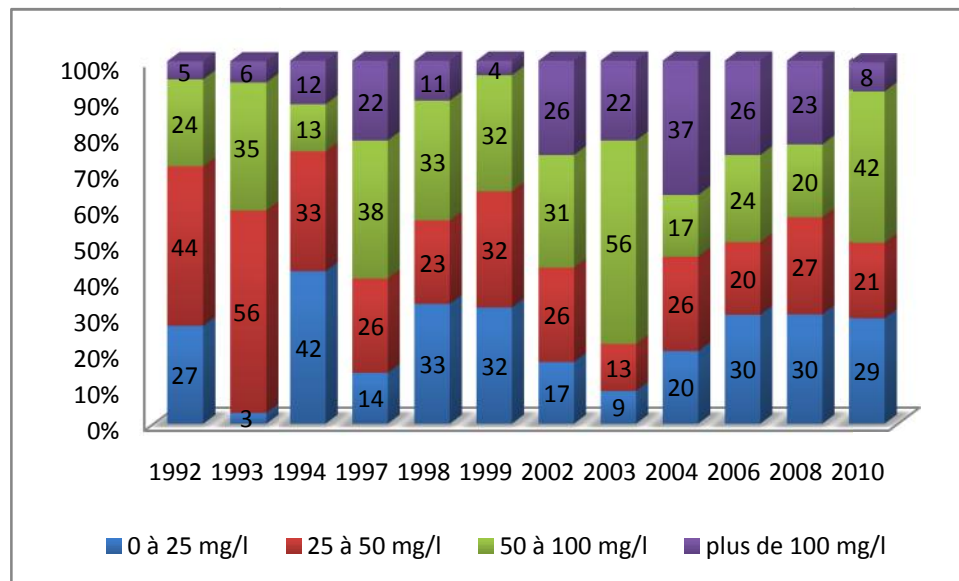


Fig. n° 36 : Proportions de points de prélèvements par classe de concentration en nitrates

Il apparaît nettement qu’au début des années quatre vingt dix, plus de la moitié et jusqu’au deux tiers des puits échantillonnés offraient des eaux de qualité optimale à acceptable pour la consommation.

A la fin de cette décennie, les pourcentages de puits appartenant aux deux premières classes se sont rétrécis au profit de la troisième classe en particulier (qui représentait plus de 34% au moyenne) et d’une façon moindre de la dernière (11% environ).

Le rétrécissement des plages de bonne qualité pour la consommation s’accroît davantage pendant les années 2000 pour faire apparaître nettement la classe de teneurs en nitrates supérieures à 100 mg/l avec un pourcentage de puits assez significatif (autour de 25% au moyenne). Le nombre de puits offrant des eaux non potables (> 50 mg/l) est donc important et s’élève à 60 % au moyenne de l’ensemble des puits échantillonnés.

Il est clair d’après ce constat que la tendance globale de l’évolution des concentrations en nitrate des eaux de la nappe alluviale de la plaine de Boukadir traduit une dégradation temporelle progressive de la qualité de ces eaux destinées pour la consommation et/ou pour l’irrigation.

4- Les teneurs en Nitrates de l’année 2010 :

La description de l’état actuel de la qualité des eaux de la nappe s’avère aussi importante. A cet effet, une répartition spatiale des teneurs en nitrate est établie pour

l'année d'étude (2010), pour appréhender la situation des captages et pour mieux connaître l'exposition des populations aux situations les plus défavorables.

Les teneurs en nitrates des 24 points d'eau souterraine pour l'année 2010 sont représentées sur le tableau annexe 03 :

Ces teneurs en nitrates se répartissent de la manière suivante:

- le nombre de points dont la teneur est supérieure à 25 mg/l est de 16, soit 71 %,
- le nombre de points dont la teneur est supérieure à 50 mg/l est de 12, soit 50%,
- le nombre de points dont la teneur est supérieure ou égale à 100 mg/l est de 1, soit 8 %.

4-1- Répartition spatiale des teneurs en nitrates :

Les résultats obtenus pour les analyses des nitrates en juillet 2010 nous ont permis de tracer une carte de la répartition spatiale des nitrates dans la nappe alluviale du secteur étudié (Fig. n° 37)

La répartition des teneurs en nitrates dans la plaine de Boukadir est liée aux facteurs polluants signalés précédemment, et en particulier à l'activité agricole.

La cartographie des concentrations montre que la majorité des points d'eau de nature puits présentent des teneurs élevées en nitrates ; car les ions nitrates s'infiltreront rapidement et atteignent la surface de la nappe en période de lessivage.

L'ensemble des points d'eau de nature forages présentent des concentrations très faibles en nitrates ; ceci s'explique par la présence du toit argileux qui fixe les ions nitrates et protège ainsi la nappe profonde. En outre, la teneur de l'oxygène dissous diminue avec la profondeur, ce qui entraîne la réduction des nitrates en nitrites et en ammonium.

La majorité des points d'eau présentant des teneurs en nitrates élevées sont situés dans des zones de maraîchage (Oued Sly et Boukadir) ; la culture des maraîchages utilise environ 32 Qts/ha d'engrais azotés. Ce qui montre l'importance de l'influence des engrais azotés sur la pollution des eaux souterraines par les nitrates.

Dans le sens d'écoulement principal des eaux souterraines, les nitrates croient progressivement (Fig. n°38). Le secteur Nord Est en amont correspond à des terrains faiblement cultivés, alors que le secteur de Oued Sly à Boukadir correspond à des zones agricoles, des maraichages en particulier, où l'utilisation des engrais azotés est très accentuée.

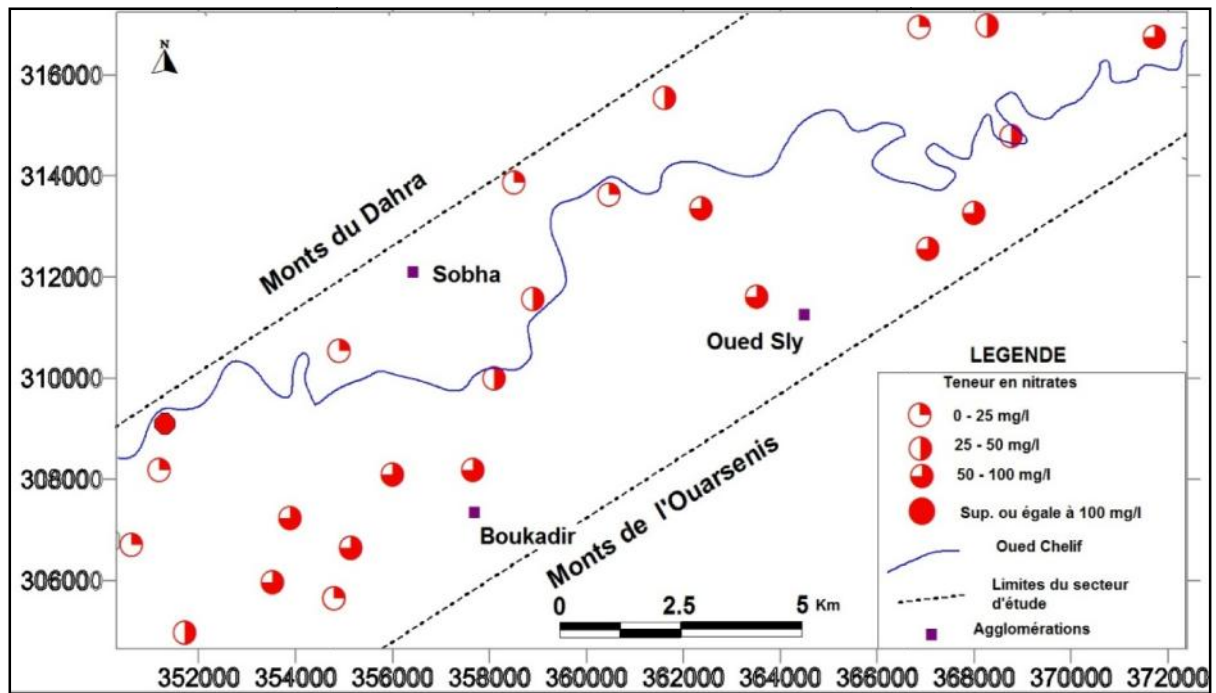


Fig. n° 37 : Répartition spatiale des teneurs en nitrates (année 2010).

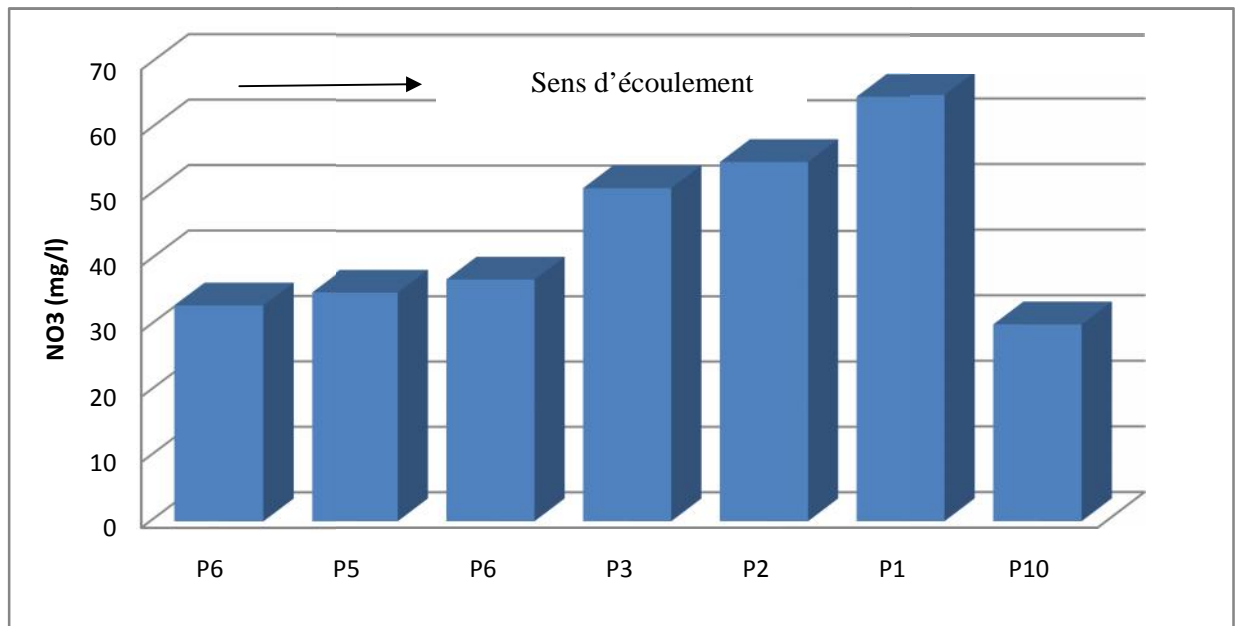


Fig. n° 38 : Evolution des nitrates dans le sens d'écoulement

5 - Evolution des nitrates en fonction de paramètres physico-chimiques :

5-1- Relation Nitrate – Profondeur d'eau (Fig. n°39) :

Les nitrates évoluent inversement avec la profondeur de l'eau, puisque l'oxygène diminue en profondeur, ceci pourrait conduire à la réduction de la forme du nitrate vers la forme nitrite. Cependant, des points situés à des profondeurs relativement importantes (plus de 40 m) du sol ont enregistré de fortes teneurs en nitrate. Ceci correspond à des zones où l'utilisation des engrais chimiques est intensive sur les cultures maraîchères et l'arboriculture. De plus, les sols de ces domaines (sols de piémont Nord de l'Ouarsenis) sont caractérisés par les plus fortes perméabilités de fissures, ce qui permet aux nitrates de s'infiltrer en profondeur.

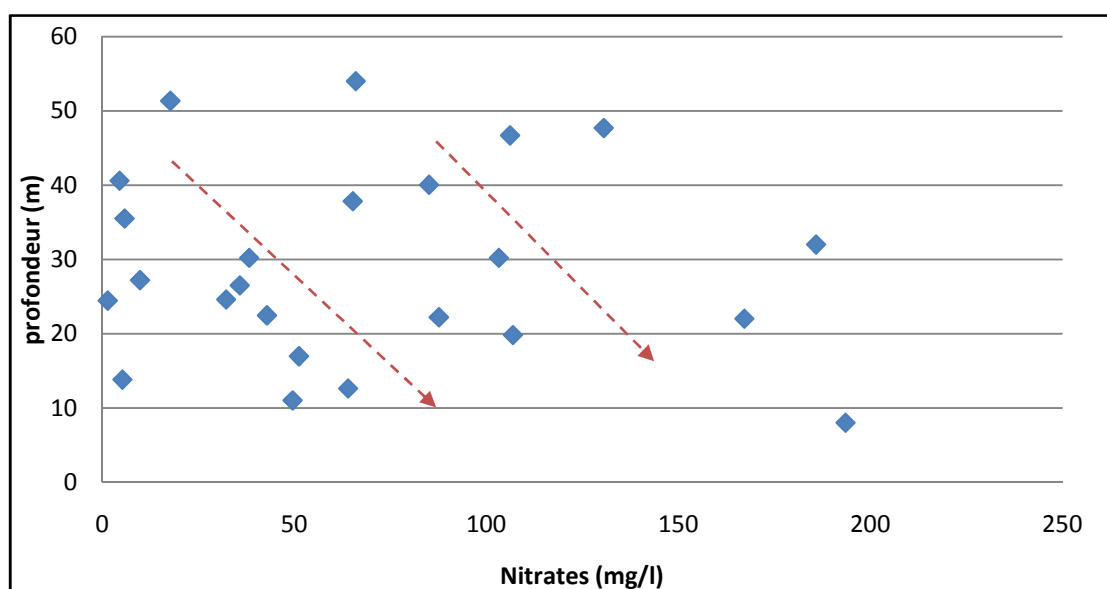


Fig. n° 39 : Evolution des nitrates en fonction de la Profondeur

5-2- Relation Nitrate – Nitrite (Fig. n° 40) :

La forme nitrite suit une évolution inverse aux teneurs en nitrates vu leur caractère opposé. Les nitrites représentent la forme réduite de l'azote alors que les nitrates représentent la forme oxydée de ce dernier. Cependant, quelques points ne suivent pas cette évolution et montrent des teneurs élevées en nitrites (0,20; 0,21 et 0,22 mg/l) dûes probablement à des pollutions organiques au voisinage immédiat des points.

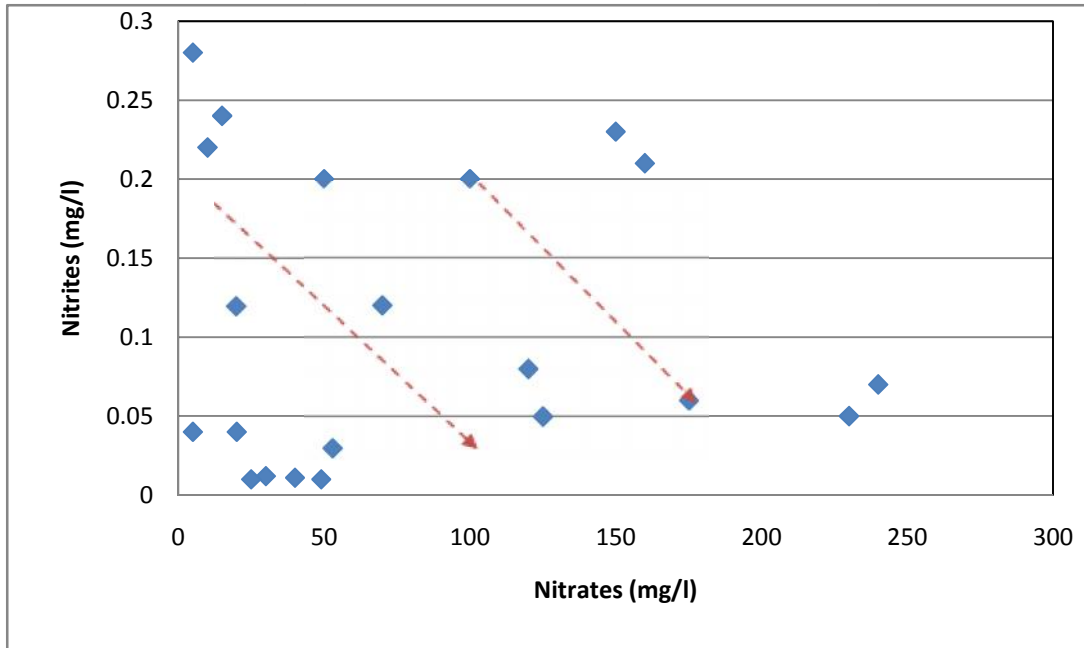


Fig.n°40 : Evolution des nitrates en fonction de Nitrites

5 -3- Relation Nitrates – Chlorures :

Après l'élaboration de l'évolution des nitrates en fonction des chlorures, on a remarqué une certaine corrélation entre les nitrates et les chlorures (Fig. n°41). En fait, les chlorures peuvent avoir plusieurs origines naturelles et anthropiques.

On pense qu'une partie des chlorures tire son origine des eaux usées domestiques qui constituent, en même temps une source de nitrates d'origine organique.

5-4- Relation Nitrates – Phosphates :

Le phosphore est nécessaire à la croissance des plantes. Il est présent dans le sol sous forme de phosphates : soit dissous dans l'eau, soit fixé sur les particules du sol, soit dans les minéraux ou encore sous forme organique. Au fur et à mesure que les racines prélèvent les phosphates dissous dans l'eau, les molécules fixées sont progressivement libérées.

L'évolution des phosphates est semblable à celle des nitrates (Fig. n° 42). Ce qui laisse penser que leur origine commune est anthropique résultant ainsi de l'activité agricole et non pas d'une origine naturelle.

Les teneurs en phosphates enregistrées varient de 0.18 mg/l à 1.39 mg/l, elles sont inférieures à la norme de potabilité.

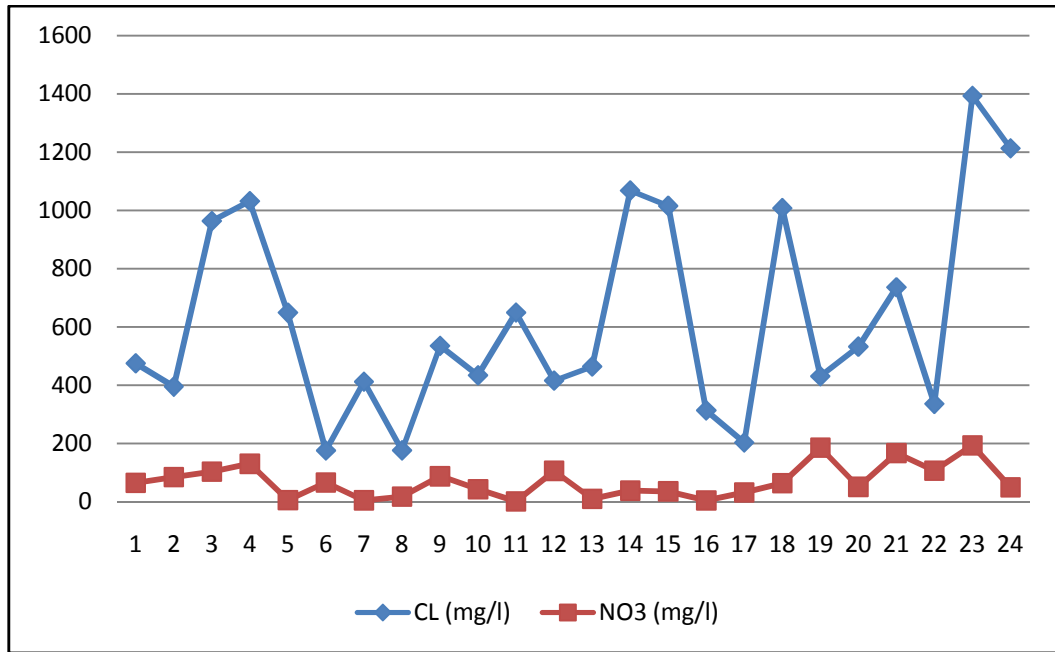


Fig. n° 41 : Evolution des nitrates en fonction des Chlorures

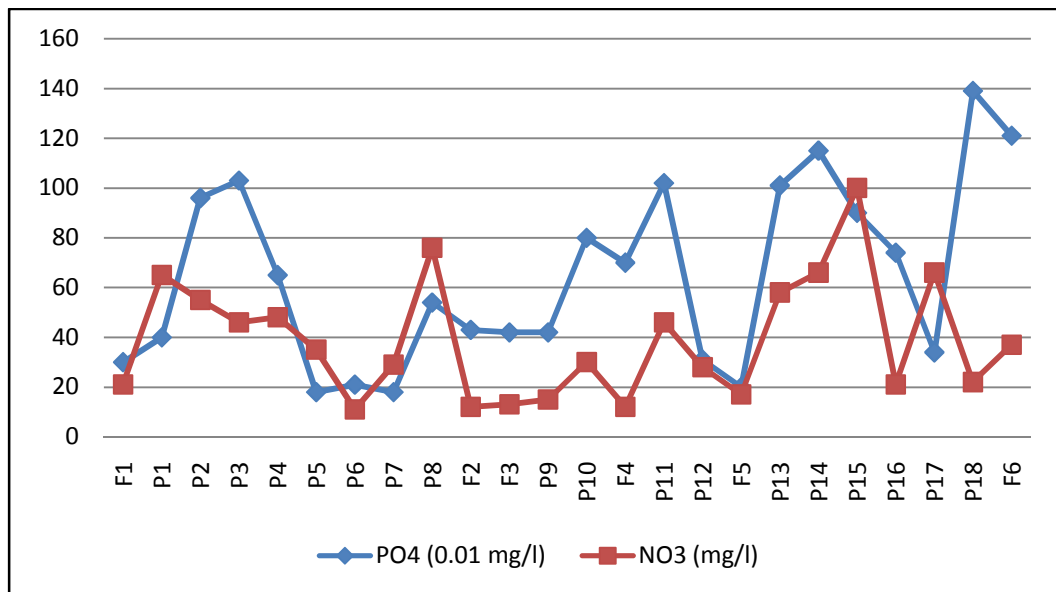


Fig. n° 42 : Evolution des nitrates en fonction des Phosphates

5-5- Relation Nitrates – Bicarbonates :

La présence de l'ion bicarbonate dans les eaux souterraines est principalement liée à la nature géologique de la zone d'étude (calcaires à lithothamnium). Elle pourrait être aussi liée, même si c'est faiblement, à une activité biologique (oxydation de la matière organique dans les décharges). Les bicarbonates peuvent se retrouver aussi dans le lixiviat de ces dernières (Bettahar et al., 2008a).

L'évolution des bicarbonates est similaire à celle des nitrates (Fig.n° 43). Ce qui laisse penser qu'ils pourraient avoir une origine commune résultant ainsi de l'oxydation de la matière organique dans les décharges.

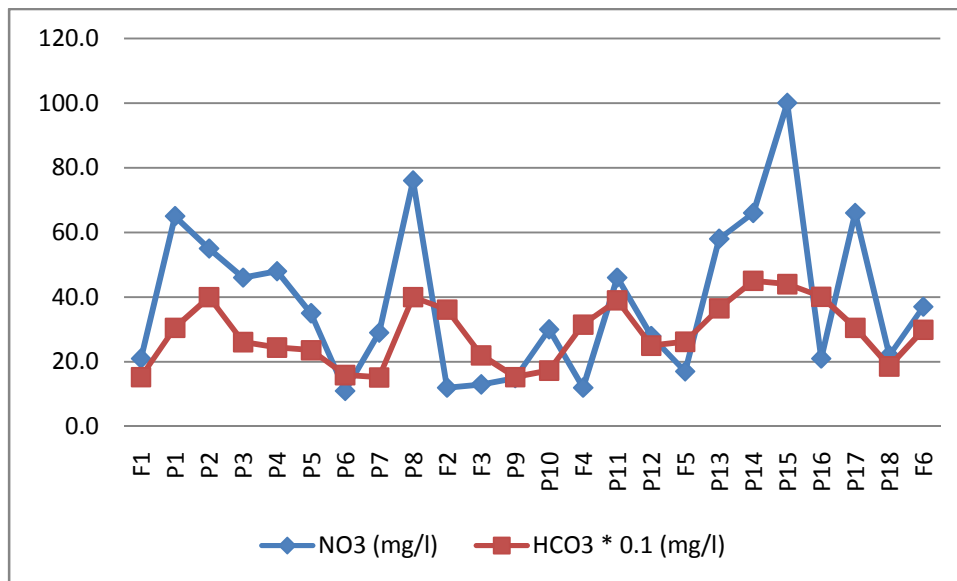


Fig. n° 43 : Evolution des nitrates en fonction des Bicarbonates.

5-6- Relation Nitrates – Potassium :

Le cycle du potassium dépend d'une part de son origine mixte, liée surtout à l'hydrolyse de l'illite présente dans la fraction fine des alluvions (Boulaïne, 1957) et à la fertilisation minérale (engrais NPK) (Bettahar et al. 2008a). D'autre part, il dépend de sa perte par rétrogradation par les argiles interstratifiées dans les sols de la plaine (Daoud et Robert, 1992) et enfin de son assimilabilité par les cultures.

L'origine géologique de cet élément n'est pas à exclure ; en effet, il peut provenir de la dissolution de la Sylvine (KCl) présente dans les formations triasiques (Achour, 1997).

L'évolution du potassium est presque identique à celle des nitrates (Fig. n° 44). Ce qui nous laisse penser que les nitrates et le potassium pourraient avoir une origine

commune liée à l'activité agricole et notamment des engrais NPK qui sont largement utilisés dans la vallée du Chéelif.

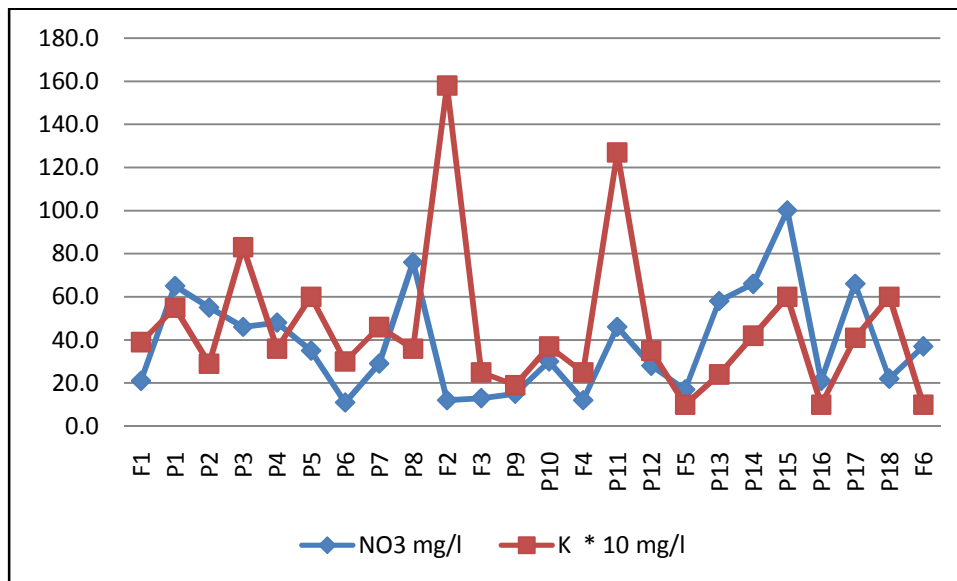


Fig.n° 44 : Evolution des nitrates en fonction du Potassium

V-NOTION DU BILAN D'AZOTE

1-Définition :

De nombreuses recherches ont élaboré ou amélioré des méthodes de bilans des éléments nutritifs pour développer une agriculture durable (Parris, 1998). Toutefois, les principes qui fondent ces bilans sont très variables, tant au niveau de la précision recherchée (choix des flux et des paramètres pris en compte et hypothèses simplificatrices), des échelles de l'étude (pays, exploitation, assolement, parcelle), ou encore la durée d'observation (saison, année, etc.) (Van Bol, 2000).

La méthode des bilans azotés proposée par le COMIFER (1996) et le CORPEN (1988), détaillé dans Ruiz et al. (2002a), permet le calcul des excédents azotés dont la formule générale peut être donnée par l'équation suivante :

$$ENTREES - SORTIES = Apports naturels + apports anthropiques - A - V - D - L$$

avec :

A = absorption par les plantes, V = volatilisation, D = dénitrification et L = lessivage.

Les excédents d'azote constituent la quantité d'azote restant disponible dans le sol, pouvant être entraînés par lessivage.

1- Apports d'azote sur le périmètre de la zone d'étude

1-1- Apports naturels

1-1-1- Apport d'azote atmosphérique

Ce sont les apports issus des précipitations. Selon les analyses effectuées par l'ADE-Ain Defla en 2003, le taux de nitrate des précipitations tombant sur la plaine du Haut Chéelif ne dépasse pas 2 mg/l (Ikhlef, 2008). Ce taux, assez faible n'influençant pas les entrées, devrait être de même ordre de grandeur pour la plaine du Moyen Chéelif Occidental, caractérisée par le même régime pluviométrique.

1-1-2- Apport d'azote par minéralisation

Bien que le rapport C/N (carbone/azote) pour les différents types de sols de la vallée du Chéelif (entre 8 et 13) dénote d'une bonne minéralisation, l'apport d'azote par minéralisation reste faible, à cause de la faible teneur en matière organique (< 2%) (Bettahar, 2008).

En absence d'apport de matière organique sur les sols de la zone d'étude, cette dernière continuera à diminuer dans le temps en parallèle avec une augmentation de la vitesse de minéralisation par effet du climat semi-aride. Les deux phénomènes diminuent donc la capacité du sol à fournir de l'azote par minéralisation (Bettahar, 2008).

Ces deux apports (précipitation et minéralisation) semblent négligeables dans la zone d'étude et n'auraient donc pas d'effet sur l'apport des nitrates fourni.

1-2- Apports anthropiques

1-2-1- Impact de l'activité agricole

L'azote est l'élément nutritif le plus déficient dans les systèmes de production agricole. La croissance de la plupart des cultures exige l'apport d'azote, particulièrement les variétés modernes à haut rendement. Les sources d'azote pour ces cultures peuvent être :

- les amendements organiques comme le fumier et les autres déchets ;
- les engrais azotés.
- les eaux d'irrigation

Ces derniers donnent naissance aux nitrates par les processus de nitrification qui correspondent à l'oxydation biologique de l'azote ammoniacal en azote nitrique NO_3^- (figure cycle d'azote).

a- L'élevage :

Dans la plaine de Boukadir, l'élevage des animaux (ovins, bovins et volailles) produit environ 750.000 kg/an d'azote (Tab. n°14). Cette quantité est majoritairement utilisée par les agriculteurs comme fertilisants.

L'estimation des quantités d'azote organique produit par l'élevage pour l'année d'étude (2010) est déduite des normes COPREN 1988, 1999 et 2001 (Circulaire PMPOA N° 5010 du 15 mai 2003) présentées dans l'annexe 05.

Tab. n° 14 : Apport annuel en azote à partir de l'élevage (année 2010).

Cheptel	Effectif	Coef Azote Kg/tête/an	Azote produit Kg/an
Vaches laitières	2386	85	202810
Bovins viandes	1824	72	131328
Ovins	28430	10	284300
Caprins	5040	9.6	48384
Poulets	184867	0.45	8390.15
Total Azote en kg/an			75012.15

b- 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 de sol.

Les engrais azotés les plus utilisés dans la zone d'étude sont :

- *Les NPK* : Ces engrais apportent, dans des proportions bien définies, les éléments nécessaires à la fertilisation des surfaces cultivables. Ils ont toujours été utilisés dans le périmètre d'étude, en arboriculture et au maraîchage comme engrais de fond. Leur composition est précisée en général sous forme de trois nombres représentant les teneurs en azote, acide phosphorique et potasse. Les NPK les plus utilisés dans le périmètre sont le 12-12-18 et le 15-15-15 (utilisé à ce jour)

- *Urée 46 % ou le sulfate d'ammonium 21%* : Cet engrais ((NH₄)₂SO₄) contient 21% d'azote ammoniacal. Il est utilisé comme engrais de couverture dans l'arboriculture.

- *L'ammonitrate 33.5%* : Relativement plus riche en nitrates, cet engrais (NH₄ NO₃) contient 33,5% d'azote constitué d'azote ammoniacal et d'azote

nitrique. Il n'a plus été utilisé après 1994 dans le périmètre d'étude pour des raisons de sécurité.

Apportés au sol, et en présence des eaux d'irrigation, les principaux engrais azotés subissent des réactions pour donner des nutriments.

Le Moyen Chélif Occidental est soumis à un découpage en trois périmètres irrigués établi par l'ONIDC (Ex : OPIC). Notre secteur d'étude constitue le troisième périmètre avec une superficie cultivable d'environ 6020 ha. Selon la DSA, seule 3272 ha du terrain agricole sont cultivés.

Dans le tableau n° 15, nous présentons les types des cultures pratiquées dans la plaine de Boukadir avec les superficies correspondantes.

Tab.n° 15 : Cultures pratiquées dans la plaine de Boukadir (DSA ; 2010).

Type de culture	Superficie de Culture (ha)
Céréales	500
Maraîchage	587
Légumes	270
Arboricultures	1915
Total	3272

b-1- Quantité d'azote fournie par les engrais azotés :

Les quantités d'engrais réellement épandues sont récoltées auprès des agriculteurs et des fournisseurs d'engrais (de l'INPV) par les services de la DSA.

Les quantités d'azote apportées au sol et qui peuvent se transformer facilement en nitrates, déduites par un simple calcul à partir des doses épandues, culminent 686.61 T/an en azote minéral. Les quantités d'azote obtenues pour chaque type d'engrais sont reportées dans le tableau n°16.

Tableau n° 16: Apport annuel d'azote minéral apportés au sol à partir d'engrais azotés.

Type d'engrais azotés	Quantité d'engrais azotés en T/an	quantité de l'azote minérale en T/an
Ammonitrate 33.5 %	3356	112.2
NPK 15.15.15	2168	325.2
NPK 12.18.18	1935	232.2
Urée 46 % ou Sulfates d'ammonium 21%	81	17.01
Total		686.61

C- Le fumier :

Compte tenu du manque de bases de données se rapportant à la fertilisation par l'utilisation des engrais organiques, on s'est adressé aux agriculteurs pratiquant les différentes cultures (maraîchères et céréalières) pour estimer la quantité de fumier utilisée. Cette dernière est de l'ordre de 280 Kg/ha/an.

D- Apports par l'eau d'irrigation :

Les surfaces maraîchères et céréalières sont irriguées à partir des eaux de puits chargés en nitrate et peuvent de ce fait enrichir les sols de ces surfaces en azote.

Dans la plaine de Boukadir, la pomme de terre constitue 70% des cultures maraîchères et est irrigué à raison de 3000 m³/ha/an. Les cucurbitacées constituent le reste et sont irrigués à raison de 2500 m³/ha/an. Quant aux céréales, ils sont irrigués à raison de 1000 m³/ha/an (DSA, 2010). Si on admet seulement une teneur de 50 mg/l de l'eau de puits, nous pourrions estimer la quantité d'azote apportée par cette eau (Tab. n°17) en utilisant la formule ci-après (Martin, 2003):

$$X_N = \frac{[NO_3^-] \times Q_{\text{irrig}}}{4,43 \times 10^2}$$

X_N = la quantité d'azote annuelle apportée par l'eau d'irrigation (kgN.ha⁻¹.an⁻¹),

$[NO_3^-]$ représente la concentration en nitrate de l'eau de puits (mg/l)

et Q_{irrig} = quantité annuelle d'eau d'irrigation (mm.an⁻¹).

Le chiffre 4,43 correspond au rapport de masses molaires NO_3^-/N .

L'apport en nitrate par l'eau d'irrigation pourrait représenter une économie importante en fertilisants azotés pour l'agriculteur qui devrait profiter au maximum des nitrates gratuits présents dans cette eau.

Tab. n°17 : Quantités d'azote minéral apportées au sol à partir d'eau d'irrigation

	Cultures			Quantité totale d'azote (T/an)
	Pomme de terre	Cucurbitacées	Céréales	
Superficie irriguée	410	177	500	24,52
Taux d'irrigation (m ³ /ha/ an)	3000	2500	1000	

1-2-2-L'influence des la pollution d'origine domestique et urbaine

La région d'étude compte plusieurs agglomérations de plus de 142.000 habitants, dont la quasi-totalité possède un réseau d'assainissement de type unitaire où chaque habitant utilise en moyenne 150 litres d'eau par jour pour les rejeter après dans ces réseaux. Les agglomérations qui ne sont pas raccordées à un réseau d'assainissement utilisent des fosses sceptiques individuelles ou collectives.

L'Oued Chélif constitue le principal cours d'eau drainant les eaux de pluie et ces eaux usées domestiques, et tous les rejets urbains y déversent une charge polluante considérable. Ce collecteur naturel possède des échanges hydrauliques permanents avec la nappe d'eau souterraine, ce qui permet la migration des contaminants vers cette dernière.

Les rejets urbains, qui se déversent dans la plaine sans subir de traitement préalable, sont chargés de matières organiques et produisent des nitrates. Les eaux usées domestiques regroupent les eaux " ménagères " qui représentent les deux tiers du total des eaux usées domestiques contenant notamment des graisses, des savons, des détergents, des matières en suspension et des matières dissoutes organiques ou minérales.

Chapitre III Pollution et processus d'enrichissement en nitrates des eaux souterraines

Suite aux analyses effectuées sur les eaux usées des différents rejets d'agglomérations appartenant à notre secteur d'étude, et après la détermination des débits journaliers de ces rejets (valeurs estimées par l'ABH-CZ), on a pu estimer l'apport annuel de nitrates qui se déverse dans la plaine de Boukadir (Tab. n°18). Cet apport est estimé à 56.434 T/an (sans tenir compte des agglomérations non raccordés aux réseaux d'assainissement).

Tab. n° 18 : Apport annuel en nitrates provenant des eaux usées domestiques

Agglomération	Taux de Raccordement (%)	[C] moy de NO_3^- (T/m ³)	Débit (m ³ /j)	Volume annuel (m ³)	Apport annuel de NO_3^- en T/an
Boukadir	90	$0,12 \cdot 10^{-3}$	2528	922720	11.073
Oued Sly	90	$0,14 \cdot 10^{-3}$	7776	2838240	39.735
Sobha	60	$0,125 \cdot 10^{-3}$	1233	450045	5.626
Total apport NO_3^- en T/an					56.434

1-2-3- Impact de l'industrie

Il ya lieu à signaler que sur notre plaine d'étude est installée une grande zone industrielle : celle de Oued Sly. Le volume des eaux usées provenant de cette zone est estimé à 1369.95 m³/j. Selon les types des industries pratiqués au sein de la zone, l'apport d'azote produit est très infime (ABH-CZ, 2010).

1-2-4-Décharges d'ordures ménagères

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

Au niveau de la zone d'étude, le centre d'enfouissement technique de « Mekkassa » est la plus importante décharge destinée aux déchets solides urbains de la ville de Chlef.

Géographiquement, la décharge de Meknassa se situe à huit (08) kilomètres au Sud-Ouest du chef-lieu de la wilaya de Chlef, sur une plate-forme appartenant à la commune d'Oued-Sly (Fig. n°45).

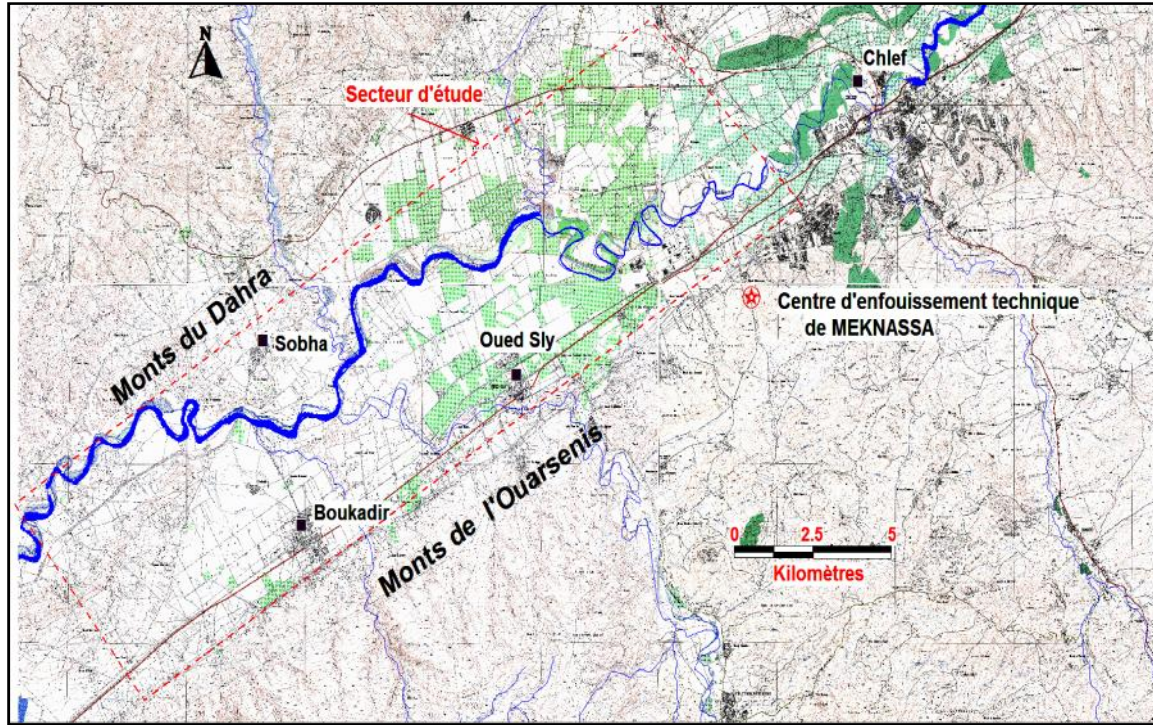


Fig. n° 45 : Situation du centre d'enfouissement technique de Meknassa

Une étude expérimentale a été menée au sein de la décharge, dans le cadre de la préparation d'une thèse de Magistère au niveau du département de Génie des Procédés par Tahraoui Douma (2006), dont le but est d'analyser le lixiviat produit par percolation dans les déchets de la décharge par détermination de ses caractéristiques physiques et chimiques.

La présence de l'azote, sous ses différentes formes polluantes (NH_4^+ et NO_3^-) a été mise en évidence dans le lixiviat. Leurs teneurs moyennes respectives moyennes sont 9,5 mg/l et 317,5 mg/l. Ce sont des indices révélateurs de leur forte mobilité pour être entraînés vers les nappes, car elles dépassent de loin les concentrations maximales admissibles (CMA) de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) ou des directives du comité européen (CEE).

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

En sus, la valeur très élevée de DBO5 obtenue (2285 mg/l) reflète la quantité importante de matières organiques contenues dans les déchets solides.

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

1-3-Quantification de l'apport total en azote

Les quantités totales d'azote produit par épandage d'engrais minéraux, eau d'irrigation, élevage et rejets domestiques pour l'année 2010 sont représentées sur le tableau ci-dessous.

Tab. n° 19 : Apport total en azote pour l'année 2010

Sources d'apport	Engrais minéraux	Eau d'irrigation	Elevage	Rejets domestiques	Total (T/an)
Quantité d'azote fournie (T/an)	686.61	24.52	75.01	56.43	842.57
Pourcentage %	81	3	9	7	100

L'azote apporté par l'agriculture (engrais et eau d'irrigation) en année 2010 constitue 84 % du total d'azote apporté aux sols de la plaine de Boukadir (figure n° 46). 81% de ce dernier est attribué aux fertilisants azotés utilisés d'une manière intensive dans les cultures maraîchères, de la pomme de terre en particulier.

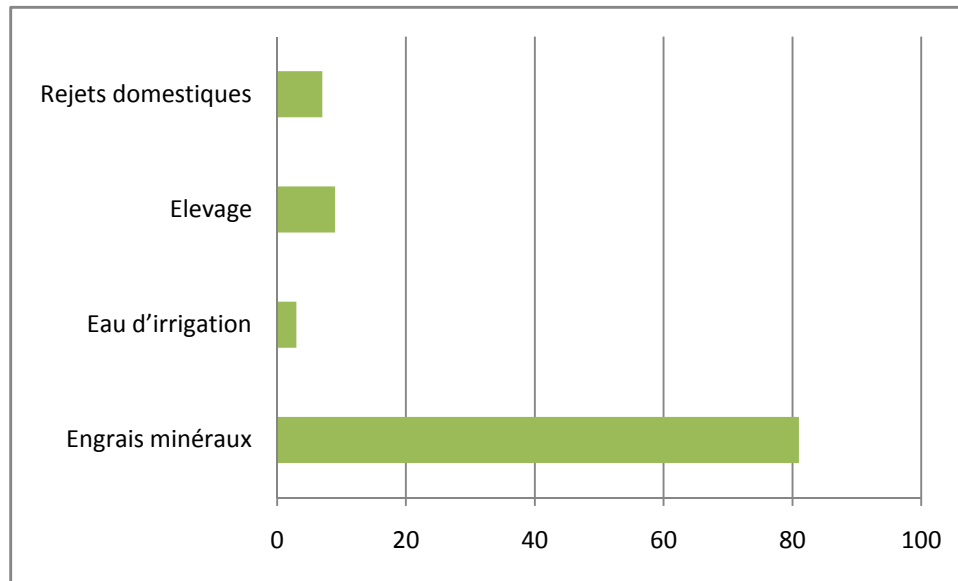


Fig. n° 46 : Taux d'azote annuel (minéral et organique) pour l'année 2010.

2-Les pertes d'azote sur le périmètre de la plaine de Boukadir

2-1-Absorption

Si on retient le seuil inférieur du taux d'absorption (60%) de l'azote contenu dans l'engrais épandu, reconnue par Tremblay et al. (2001), les quantités d'azote absorbé à l'échelle du périmètre à partir des différents engrais appliqués seraient de l'ordre de 412 tonnes pour l'année 2010. Cependant, ce chiffre devra être pris à titre indicatif puisque les facteurs qui conditionnent ce processus sont nombreux et rendent le calcul de la fraction d'azote absorbée très complexe.

En effet, la diversité des spéculations sur le périmètre et donc de leur stade de croissance, la période de l'année (temps chaud ou froid), la teneur des autres éléments nutritifs dans le sol (non disponibles dans cette étude) ainsi que les mécanismes de drainage qui diffèrent d'une zone à une autre ne permettent pas de généraliser l'application d'un résultat avancé par des études antérieures. Le taux d'absorption doit être calculé pour chaque culture en différentes périodes de l'année, en procédant à une analyse foliaire avant et après épandage de l'engrais. Ceci serait plus crédible encore à l'échelle d'une petite parcelle où le contrôle des différents facteurs serait mieux assuré.

2-2-Volatilisation

Les pertes par volatilisation sont particulièrement très courantes sur les sols recevant une fertilisation azotée à base d'urée ou de sulfate d'ammonium et peuvent dans certains cas atteindre 40% à 50% de l'azote appliqué.

Les températures élevées caractérisant le périmètre du Moyen Chélib Occidental et la nature de ses sols favoriseraient certainement des pertes importantes d'azote par ce processus. Le sulfate d'ammonium qui est appliqué sur les cultures maraîchères et les céréales comme engrais de recouvrement est reconnu comme étant l'engrais qui libère les plus fortes quantités d'ammoniac dans l'atmosphère. La quantité d'azote volatilisé à partir de cet engrais, pour un seuil de 40%, serait d'environ de 7 tonnes pour l'année 2010).

2-3- Dénitrification

La dénitrification qui se produit dans les sols pauvres en oxygène, est très favorisée dans des conditions de température élevée ($> 15^{\circ}\text{C}$). La fraction d'azote dénitrifiée émise sous forme de N_2O se concentre en particulier sur les sols mal aérés à pH basiques. Ceci pourrait être aussi fortement accru en cultures irriguées qui permettent de rassembler plusieurs conditions favorables: la présence de fertilisants, le niveau d'humidité élevé, l'apport de produits organiques à des périodes où la température est favorable à l'activité microbienne.

Si nous retenons le seuil moyen (20%) avancé par les travaux de Trembley et al. (2001), la fraction d'azote minéral appliqué pouvant être sujet à la dénitrification dans le périmètre de la plaine de Boukadir serait près de 137 tonnes pour l'année 2010.

2-4-Etablissement du bilan d'azote

L'établissement du bilan d'azote qui rend compte des flux d'azote entrant et sortant de la plaine de Boukadir sur la période d'une année (année 2010) permet de déterminer, parfois de manière approximative, même si c'est approximativement, la quantité d'azote pouvant lessiver vers la nappe.

Si la somme des entrées a été réduite aux seuls apports anthropiques et particulièrement ceux liée à la fertilisation minérale, vu que les apports naturels semblent

trop faibles pour être pris en compte, la somme des sorties a englobé les différentes pertes d'azote à travers divers processus tels que l'absorption, la dénitrification et la volatilisation.

Donc, l'équation du bilan donne un pourcentage d'environ 20% du total d'azote qui pourrait atteindre la nappe, soit 130.5 T/an. Ceci correspondrait à qui représentent l'excédent azoté pour l'année 2010. Les résultats de cette estimation sont néanmoins fonction des incertitudes sur les valeurs utilisées. En effet, de nombreuses incertitudes pèsent sur le calcul de l'excédent azoté annuel, liées aux paramètres difficilement quantifiables : quantités apportées, flux internes au cycle de l'azote (absorption, dénitrification, volatilisation).

VI- Conclusion :

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

Les points d'eau échantillonnés sont implantés pour la majorité des cas, dans des zones à cultures céréalières et parfois à cultures maraîchères ou arboricole qui rend possible la contamination des eaux souterraines par les nutriments déposées au sol comme fertilisant.

La majorité des points d'eau faisant objets d'échantillonnage présentent des teneurs élevées en nitrates dépassant les normes de potabilités (50 mg/l).

L'évolution des concentrations en nitrate pour la période 1990-2010 des eaux de la nappe alluviale de la plaine de Boukadir traduit une dégradation temporelle progressive de la qualité de ces eaux destinées pour la consommation et/ou pour l'irrigation.

L'évaluation des quantités d'azote déposées au sol selon différentes sources de pollution a montré l'importance de l'influence des engrais azotés et des fertilisants organiques utilisés dans la contamination de la nappe par les nitrates. Les quantités d'engrais azotés apportées semblent irrationnelles.

L'absence de stations d'épuration en aval des unités industrielles et au niveau des points de rejet ne fait qu'accentuer les apports en azote dans les eaux souterraines et superficielles.

Conclusion Générale & Recommandations

CONCLUSION GENERALE:

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

- La plaine de Boukadir est soumise à un climat méditerranéen de type semi-aride à la limite d'un régime désertique, avec un hiver froid et pluvieux et un été chaud et sec, avec des précipitations annuelles de l'ordre de 304 mm. La température moyenne interannuelle est de 19°C.

- L'étude géologique et l'étude géophysique ont pu mettre en évidence l'extension des formations alluvionnaires d'âge Plio-Quaternaire à l'intérieur de la plaine. Ces formations sont composées de galets, de cailloutis, de graviers, de sables et de limons. Ces dépôts de remplissage sont très hétérogènes et intercalés de couches conductrices constituées par des marnes et des argiles. Cet ensemble constitue la nappe du remplissage alluvial de la plaine de Boukadir.

- L'activité tectonique a provoqué la formation de plis. Près de trois quarts du bassin du Moyen Chélif Occidental sont occupés par des formations plissées. La tectonique cassante est marquée par de nombreuses failles dont deux failles assez importantes sont à signaler : le pli faille de Boukadir et la faille de Relizane.

- Du point de vue hydrogéologique, les calcaires d'âge Missinien bordant partie Sud de la plaine (Monts de l'Ouarsenis) pourraient être d'importants réservoirs d'eau. Les assises marneuses constitueraient un substratum imperméable.

- La cartographie piézométrique de la campagne de septembre 2010 a montré que la nappe d'eau souterraine est de type radial à écoulement convergent qui suit globalement la direction de l'Oued Chélif (E-W). L'alimentation se fait essentiellement à partir des bordures calcaires de l'Ouarsenis au Sud.

- Les valeurs de la transmissivité déduites par l'interprétation des courbes représentatives de pompage d'essai varient $0,25 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ à $7,06 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Ces valeurs obtenues mettent également en évidence l'hétérogénéité du réservoir.

- L'étude hydrochimique a été réalisée afin de caractériser la qualité des eaux souterraines, donc les facteurs naturels et anthropiques qui influent sur cette qualité.

- Plusieurs modes et outils d'interprétation ont été utilisés (cartographie, diagrammes, statistiques, informatique, etc.), qui ont montré :

-La présence de trois faciès chimiques. En effet, on peut signaler la prédominance du faciès chloruré sodique, traduisant l'influence des intercalations argileuses au sein des formations alluvionnaires et celle du substratum marneux.

-La répartition spatiale des éléments chimiques a confirmé que l'origine de ces faciès est fortement liée à la nature lithologique des formations aquifères.

-Le calcul de l'indice de saturation des minéraux carbonatés et gypsifères a montré que les eaux de la nappe étudiée sont sursaturées par rapport à la calcite, la dolomite et l'aragonite. Elles sont par contre sous-saturées par rapport au gypse et à l'anhydrite.

- L'étude statistique, par analyse en composante principale (ACP), fait apparaître un bon regroupement des échantillons selon leur minéralisation.

- Quant à l'aspect environnemental, les investigations sur les sources de pollution de la plaine de Boukadir ont fait apparaître une forte contamination de celle-ci par les nitrates. Ces derniers sont essentiellement d'origine agricole.

- La contamination de la nappe d'eau souterraine par les nitrates est très accentuée à de faibles profondeurs et l'éventualité de la contamination des eaux profondes est envisageable sérieusement, surtout avec l'exploitation systématique actuelle de cette nappe. Le pompage intensif et régulier des eaux de la nappe dans les zones profondes pourrait augmenter significativement la circulation des eaux souterraines, par appel d'eau, et accélérer la contamination des eaux de la nappe à partir de la surface.

- L'évaluation des quantités d'azote apporté au sol de différentes sources de pollution a montré l'importance de l'influence directe des engrais azotés et des fertilisants organiques utilisés dans la contamination de la nappe par les nitrates. Les quantités d'engrais azotés apportées semblent irrationnelles.

- La répartition anarchique des décharges ménagères et l'absence de station d'épuration à l'aval des unités industrielles et au niveau des points de rejet ne font qu'accroître les apports en azote dans les eaux souterraines et superficielles.

RECOMMANDATIONS :

Pour parer au risque sanitaire présenté par la consommation humaine d'eaux souterraines contenant des quantités élevées en nitrates, certaines actions et mesures de protection devraient être prises par les autorités publiques :

- l'installation d'un réseau d'assainissement efficace sur l'ensemble des secteurs non encore équipés. Le raccordement de l'ensemble des habitations devrait se faire parallèlement à l'éradication des fosses perdues existantes,

- Pour les eaux des puits présentant des quantités élevées en nitrates, il est préférable qu'elles soient destinées à d'autres usages que la consommation humaine,

- la mise en œuvre des périmètres de protection des captages dans les secteurs où cela reste possible.

- Encourager les agriculteurs à améliorer leurs pratiques agricoles, puisqu'un lien significatif a été établi entre la présence de nitrates dans l'eau des puits et la zone d'agriculture intensive. Ce résultat est en soi un avertissement, puisque le seuil qui a été révélé atteste de l'influence indéniable des activités anthropiques.

- Maîtriser le stockage et l'utilisation des matières organiques résultant de l'élevage animal.

- Arrêter le déversement direct des rejets urbains et industriels au niveau de l'Oued Chélif et ses affluents, en réalisant un traitement préalable de ces effluents avant qu'ils atteignent les oueds et surveiller en permanence la qualité des eaux au niveau de l'oued.

- Réétudier l'emplacement des décharges ménagères des agglomérations en les installant loin des zones vulnérables à la pollution, et ce pour éviter leurs effets sur les ressources hydriques.

- Réaliser une étude de modélisation des écoulements souterrains pour connaître les mécanismes de transfert des polluants, ce qui peut beaucoup contribuer à la protection de la nappe contre la pollution.

- Comme la nappe Mio-Plio-Quaternaire de Boukadir constitue une importante réserve hydrique actuelle pour la région, il est recommandé de la recharger artificiellement avec les eaux de surface. Ceci pourrait parer au risque de pompes intensifs qui favorise le transfert des nitrates des eaux de la nappe phréatique vers la nappe profonde.

Références Bibliographiques

- ABH-CZ (2004).** Cadastre hydraulique du bassin hydrographique du Chéelif-aval du barrage de Boughzoul. Première partie : Haut et Moyen Chéelif, 62 p.
- ABH-CZ (2004).** Cadastre hydraulique du bassin hydrographique du Chéelif-aval du barrage de Boughzoul. Deuxième partie : bas Chéelif et mina, 52 p.
- ANRH (2004).** Annuaire hydrogéologique de la nappe alluviale du Haut et Moyen Chéelif.
- Achour F. (1997).** Conditions hydrologiques et disponibilité en eau en région semi-aride. Thèse de doct. Univ. de Franche Comté, France.
- Ameur R. (1979).** Biochronologie des formations continentales du Néogène et du quaternaire de l'Oranie. Contribution des microforaminifères. Thèse Doct. 3^{ème} cycle. Univ. D'Oran. 77 p. 45 Fig.
- Bartholomew B. et Hill M.J. (1984).** The pharmacology of dietary nitrate and the origin of urinary nitrate. *Food Chem Toxicol.*, 22(10), 789-795.
- Bettahar N., Hennia k., Kettab A. et Koudri-Mostefa S. (2008a).** Origine de la minéralisation des eaux de la nappe alluviale du moyen Cheliff occidental. *Algerian Journal Of Technology -AJOT, ISSN 1111-357X, Number Special – An International Publication of Engineering Sciences*, 1, 307-313.
- Bettahar N., Kettab A., Ali Benamara A. et Douaoui A. (2008b).** Effet des conditions pédoclimatiques sur le bilan d'azote. Cas de la vallée du moyen Cheliff occidental. *Algerian Journal Of Technology -AJOT, ISSN 1111-357X, Number Special – An International Publication of Engineering Sciences*, 1, 441-447.
- Bettahar N., Ali Benamara A., Kettab A. et Douaoui A. (2009).** Risque de pollution nitraté dans les zones semi-arides. Cas de la vallée du Moyen Cheliff Occidental. *Rev. Sci. Eau*, 22(1), pp.69-78.
- Boulaine J. (1957).** Etude des sols des plaines du Chéelif. Thèse Doct. Es-Sci. Univ. D'Alger.
- Broitman S.A., Velez H. et Vitale J.J. (1981).** A possible role of iron deficiency in gastric cancer in Colombia, *Adv Exp Med Biol*, 135, pp. 155-181.
- Bradaï A. (2005).** Evaluation de la qualité des eaux souterraines de la plaine du Moyen Chéelif Occidental. Application de la géostatistique. Mémoire de Mag., C.U. Khemis-Miliana, 125 p.
- Castany G. (1982).** Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Ed. Dunond, Paris .
- Castany G. et Margat J. (1977).** Dictionnaire français d'hydrogéologie. Ed BRGM. France.
- CEPA (1997).** *Public health goal for nitrate and nitrite in drinking water*, California Environmental Protection Agency, 9 p.
- C.G.G. (1967).** Prospection géophysique dans la plaine de Mouafkia.

- C.G.G. (1972).** Prospection géophysique par sondage électriques du Moyen Chélif Occidental.
- C.G.G. (1966).** Etude Hydrologique par prospection électrique et sismique dans l'oued Sly.
- COMIFER (1996).** *Calcul de la Fertilisation Azotée Des Cultures Annuelles*. Comité Français d'Etude et de développement de la Fertilisation Raisonnée.
- CORPEN (1988).** *La fertilisation raisonnée*. Comité d'Orientation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'Environnement.
- CORPEN (1988, 1999 et 2001)** *Normes CORPEN pour l'estimation de l'azote produit sur l'exploitation*. Circulaire des Programmes de Maîtrise des Pollutions Agricoles (PMPOA) n° 5010.
- Daoud Y. et Robert M. (1992).** Influence of particle size and clay organisation on hydraulic conductivity and moisture retention of clays from saline soils. *Applied Clay Science*, 6, 293-299.
- De Larminat G. (1987).** L'élimination des nitrates dans les eaux potables – Principe et application industrielle- *Journée « Azote »* organisée par Groupe Action Rég. Nord-Picardie, Arras, France, 18 p.
- DPAT (2010).** *Unités industrielles de la wilaya de Chélif*. Direction de la Planification et de l'Aménagement de Territoire, Wilaya de Chélif.
- DRASS (2001).** *La qualité des eaux destinées à la consommation humaine*, Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales de Poitou-Charente, France, 27 p.
- DSA (2010).** *Rapport agricole annuel de la vallée de Chélif* . Direction des Services Agricoles, Wilaya de Chélif.
- Duchemin J., Dufils J. et Paris M. (1988).** Nitrate et santé : la situation en Normandie. Actions de prévention en matière d'eau d'alimentation. *Tech. Sci. Méth.-L'eau*, A.G.H.T.M. édit., Paris, France, 4, 181-191.
- Eisenbrand G., Spiegelhalder B. et Preussmann R. (1980).** Nitrate and nitrite in saliva, *Oncology*, 37(4), 227-231.
- Elmeddahi Y. (2009).** Contribution à l'étude hydrogéologique des réservoirs aquifères du bassin du Moyen Chelif. Mémoire de Mag., Univ. Chlef, 137 p.
- El Tabach E. (2005).** *Etude de l'impacte d'une pollution accidentelle et d'une pollution agricole sur les ressources en eau souterraine*. Thèse de Doctorat. Ecole Polytechnique Universitaire de Lille, 240 p.

- Fan A.M., Willhite C.C. et Book S.A. (1987).** Evaluation of the nitrate drinking water standard with reference to infant methemoglobinemia and potential reproductive toxicity, *Regul Toxicol Pharmacol.*, 7(2), 135-148.
- Gaucher G. (1968).** *Traité de pédologie agricole. Le sol et ses caractéristiques agronomiques.* Ed. Dunod, Paris, 578 p.
- Hebert J. (1990).** *Maîtriser l'acidité des sols. Les amendements calcaires et magnésiens.* Encyclopédie Agricole Pratique. Ed. Agri-Nathan, Paris, 96 p.
- Hennia K. (2006)** Contribution à la gestion qualitative des eaux souterraines dans les zones semi-arides. Mémoire de Mag., Univ. Chlef, 125 p.
- Ikhlef S. (2008).** *Etude de la pollution de la nappe alluviale du haut Cheliff par les nitrates.* Mémoire de Mag., Univ. HBB Chlef, 145 p.
- Khahlal A. (1984).** Etude Hydrogéologique de la plaine de Boukadir. (Moyen Chélif Occidental). Mem. d'ing. Univ. D'Alger. 95p. ,70 Fig.
- Kireche D. (1977).** Eude géologique et structurale des massifs à schistosités de l'Ouarsenis (Tell centro-occidental). Thèse Doct. 3^{ème} cycle Univ. De Paris VIII. 147p.
- Kloppmann (2003).** Etude isotopique de la pollution azotée de la nappe d'Alsace entre Sierentz et Ottmarsheim. Rapport BRGM/RP-52331-Fr, 69 p, 18 fig.
- Lacherez S. (1997).** *Examen des conditions d'exploitation du champ captant d'Airon-Saint-Vaast. Etude de la zone non saturée et de la nappe de la craie.* Rapport du bureau d'étude SOREG.
- Mariotti A., Landreau A et Simon B. (1988).** 15 N isotope biogeochemistry and natural denitrification process in groundwater: Application to the chalk aquifer of northern France. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 52, 1869-1878.
- Martin C. (2003).** *Mécanismes hydrologiques et hydrochimiques impliqués dans les variations saisonnières des teneurs en nitrate dans les bassins versants agricoles. Approche expérimentale et modélisation.* Thèse Doctorat, Ecole de Renne 1- France, 269 p.
- Mattauer M. (1958).** Etude géologique de l'Ouarsenis oriental (Algérie). Thèse Es-science Paris. pp 296 – 313.
- McKnight G.M., Duncan C.W., Leifert C. et Golden M. (1999).** Dietary nitrate in man: friend or foe? *British Journal of Nutrition*, 81(5), 349-358.
- Meghraoui M. (1988).** Géologie des zones sismiques du nord de l'Algérie : Paléosismologie, tectonique active et synthèse sismo-tectonique. Thèse doct. Es-sci. Univ. de paris VIII

Menesguen A. et Piriou J.Y. (1995). Nitrogen loading and macroalgal (*Ulva sp.*) mass accumulation

NRC (1995). National Research Council. *Nitrate and nitrite in drinking water*, National Academy of Sciences, 63 p.

OMS (1986). Organisation Mondiale de la Santé. *Ammonia*, Genève (Suisse). Critères d'hygiène de l'environnement, 209 p.

OMS (2000). Organisation Mondiale de la Santé. Nitrates et nitrite, In *Directives de qualité pour l'eau de boisson* ; Volume 2 –Critères d'hygiènes et documentation à l'appui, Genève, pp. 324-336.

Parris K. (1998). Agricultural nutrient balances as agri-environmental indicators: an OECD perspective. *Environmental Pollution*, 102, 219-225.

Perrodon A. (1957) - Etude géologique des bassins néogènes sublittoraux de l'Algérie nord occidentale.

Philippeau G. (1986). *Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales?* – Collection STA-ITCF, 63 p.

Pinheiro A. (1995). *Un outil d'aide à la gestion de la pollution agricole : le modèle POLA.* Thèse Doctorat, INP – Toulouse, 344 p.

Polvêche J. (1960). Contribution à l'étude géologique de l'Ouarsenis Oranaie. Pub.serv.carte géol. n°24. 577p.

Pradines D. (1977). Etude hydrogéologique du Moyen Cheliff occidental ; compte rendu de forage.

Richard Y. et Leprince A. (1980). L'azote dans le traitement des eaux potables – Les traitements biologique. *Tech. Sci. Méth.* – *L'eau*, A.G.T.M. édit., Paris, France, 4, 167-181.

Rodier G. (1978). *L'Analyse de l'eau*. Sixième édition. Bordas, Paris.

Rodier G. (1996). *L'Analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer.* 8^{ème} édition Dunod, Paris, 1365 p.

Sardin M., Schweich Len F.J. et Van Genuchten M.Th. (1991). Modeling the nonequilibrium transport of linearly interacting solutes in porous media: a review. *Water Resour. Res.*, 27(9), 2287-2307.

SCET – ARG1 (1). (1985). Hydrologie – Hydrogéologie et bilan des ressources, Etude duraménagement et de l'extension du périmètre du moyen Chéiff : Rap A1.1. 2. Pub. Ministère de l'Hydraulique. 72 p.

SCET – ARG I (2). (1985). Bilan des ressources hydriques, Etude du réaménagement et de l'extension du périmètre du moyen Chélif Rap A1.1. Pub. Ministère de l'Hydraulique. pp 4- 28.

SCET – ARG I (3). (1985). Rapport de synthèse, Etude du réaménagement et de l'extension du périmètre du moyen Chélif. Pub. Ministère de l'Hydraulique. 75p.

Schrambach M. (1966). Exploitation et conservation des nappes souterraines des plaines du haut, moyen, le bas Cheliff et la Mina inférieure

Shuval H.I. et Gruener N. (1972). Epidemiological and toxicological aspects of nitrates and nitrites in the environment, *Am J Public Health*, 62(8), 1045-1052.

Somlette L. (1998). *Contribution à l'étude hydrogéologique de la distribution et du devenir des nitrates dans les nappes de fissures, de l'échelle du périmètre expérimental à celle du bassin versant côtier.* Thèse de Doctorat, université de Bretagne, France, 340 p.

Spiegelhalder B., Eisenbrand G. et Preussmann R. (1976). Influence of dietary nitrate on nitrite content of human saliva: possible relevance to *in vivo* formation of N-nitroso compounds, *Food Cosmet Toxicol.*, 14(6), 545-548.

Tahraoui Douma N. (2006). *Analyse des Déchets Ménagers Solides de la Ville de Chlef. Méthodes de Traitement* – mémoire de Magister, Université de Chlef, 149 p.

Thomas. G. (1985) - Géodynamique d'un bassin intramontagneux. Le bassin du Bas Chélif Occidental (Algérie) durant le mio-plio-quaternaire. Thèse Doct. Es-Sci. Univ. Pau. 594p.

161 Fig.

Tindall J.A., Petrusak R.L. et McMahon P.B. (1995). Nitrate transport and transformation processes in unsaturated porous media. *J. Hydrol.*, 169, 51-94.

Tremblay N. Scharpf H.C., Weier U., Laurence H. et Owen J. (2001). *Régie de l'azote chez les cultures maraîchères, Guide pour une fertilisation raisonnée*, Agriculture et Agroalimentaire, Canada, 70 p.

Vachier P., Cambier P. et Prost R. (1979). Structure d'un milieu poreux : la craie. *Ann. Agron.*, 30(2), 247-267.

Van Bol V. (2000). *Azote et agriculture durable. Approche systématique en fermes-pilotes.* Thèse Doctorat de l'Université catholique de Louvain, 157 p.

Van Leewen J.A., Waltner-Toews D., Abernathy T. et Shoukri M. (1999). Associations between stomach cancer incidence and drinking water contamination with atrazine and nitrate in Ontario (Canada) agroecosystems. *International Journal of Epidemiology*, 28(5), 836-840.

Vermeer I.T., Pachen D.M., Dallinga J.W., Kleinjans J.C. et Van Maanen J.M. (1998). Volatile N-nitrosamine formation after intake of nitrate at the ADI level in combination with an amine-rich diet, *Environ Health Perspect.*, 106(8), 459-463.

Weyer P.J., Cerhan J.R., Kross B.C., Hallberg G.R., Kantamneni J., Breuer G., Jones M.P., Zheng W. et Lynch C.F. (2001). Municipal drinking water nitrate level and cancer risk in older women: the Iowa Women's Health Study, *Epidemiology*, 12(3), 327-338.

Yahiaoui A. et Zaghtou A. (2007)- Etude hydrochimique des eaux de la nappe alluviale du Moyen Chélif Occidental. Mémoire d'ingénieur, Uni d'Oran, 107 p.

Annexes

Annexe 01 : les différents paramètres physiques.

Points d'eaux	Nature	pH	Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm} \cdot 1000$)	RS (mg/l)	T (°C)	Turbidité (NTU)	Dureté °F	TAC °F
F1	FORAGE	7,9	1,79	1115	20	1,9	42	12
P1	PUITS	7,8	4,62	3089	19.2	3,3	64	25
P2	PUITS	8	3,8	2558	21		66	32
P3	PUITS	8	2,21	1708	20	1,87	57	21
P4	PUITS	7,8	1,94	1373	19,3	2	34	20
P5	PUITS	7,8	5,87	4612	20	-	163	19
P6	PUITS	8,1	1,44	809	22.3		17	13
P7	PUITS	7,9	1,53	861	21.3	4	35	12
P8	PUITS	7,9	1,65	1072	23	-	45	17
F2	FORAGE	7,7	10,92	6697	23	3,62	266	29
F3	FORAGE	7,7	11,2	6143	19	3,44	208	25
P9	PUITS	8	0,86	568	19	3	21	12
P10	PUITS	7,9	1,14	748	18	-	24	14
F4	FORAGE	7,8	3,17	2154	20	-	80	25
P11	PUITS	8,1	1,34	762	21.2	-	20	16
P12	PUITS	8	3,85	2950	20.5	3,9	114	31
F5	FORAGE	7,8	3,75	2866	20	-	109	21
P13	PUITS	7,9	2,83	1942	19.2	2,83	77	29
P14	PUITS	7.2	3.31	2323	21	.....	97	20
P15	PUITS	7.3	7.90	4532	20.4	.....	116	36
P16	PUITS	7.4	6.78	4477	22	2.47	267	32
P17	PUITS	7.5	3.35	2171	20.1	.....	87	25
P18	PUITS	7.5	5.34	3525	20.5	16.3	125	15
F6	FORAGE	7.5	4.83	3154	21.1	4	119	24

Annexe 02 : La Balance ionique

Le contrôle de la qualité des analyses chimiques est assuré par la balance ionique qui permet de comparer la somme des cations et la somme des anions. Le calcul de la balance ionique est donné par la formule suivante :

$$e \% = \frac{r \text{ cations} - r \text{ anions}}{r \text{ cations} + r \text{ anions}} \times 100 \quad \text{avec } e\% \text{ est le pourcentage d'erreur.}$$

On peut considérer une analyse comme :

- Très bonne si $e\% < 2$;
- Acceptable si $2 < e\% < 5$;
- Mauvaise si $e\% > 5$.

Les points d'eaux	r anions	r cations	e%	L'analyse
F1	16.21	17.5	3.83	acceptable
P1	52.24	47.78	4.46	acceptable
P2	42.65	38.87	4.64	acceptable
P3	20.28	21.83	3.68	acceptable
P4	16.69	18.25	4.46	acceptable
P5	71.64	65.43	4.53	acceptable
P6	11.51	12.67	4.80	acceptable
P7	12.99	14.16	4.31	acceptable
P8	16.79	16.73	0.18	bonne
F2	122.88	111.82	4.71	acceptable
F3	106.72	110.43	1.71	bonne
P9	7.82	8.26	2.74	acceptable
P10	9.5	10.53	5.14	mauvaise
F4	31.2	34.34	4.79	acceptable
P11	11.34	11.99	2.79	acceptable
P12	42.56	42.25	0.37	bonne
F5	38.75	41.95	3.97	acceptable
P13	28.9	28.87	0.05	bonne
P14	32.95	31.2	2.73	acceptable
P15	62	67.12	3.97	acceptable
P16	71.46	68.07	2.43	acceptable
P17	30.21	28.99	2.01	bonne
P18	48.28	52.43	4.12	acceptable
F6	39.17	42.22	3.75	acceptable

Annexe 03: Présentation des résultats de l'analyse physico-chimique.

points d'eau	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
F1	101	41	177	4	249	367	153	21
P1	96	95	910	2	1 425	74	305	65
P2	99	98	680	3	1 000	155	400	55
P3	142	51	202	8	408	255	261	51
P4	68	41	226	4	356	165	244	53
P5	409	145	900	6	1 365	1 080	236	35
P6	28	25	182	6	232	161	159	33
P7	76	38	137	5	218	243	152	29
P8	121	36	177	4	314	156	207	76
F2	532	320	1600	16	2 740	1 365	361	12
F3	500	200	1500	3	2 900	1 125	305	13
P9	53	18	84	2	131	88	153	64
P10	55	25	107	2	192	86	173	30
F4	169	91	350	3	625	545	315	12
P11	40	24	162	13	215	95	195	60
P12	288	101	455	4	705	748	387	28
F5	266	102	390	5	895	583	262	17
P13	166	86	310	2	437	463	365	58
P14	242	88	314	0	610	423	252	66
P15	148	189	895	6	1 840	307	440	100
P16	503	339	425	1	1 128	1 410	401	21
P17	213	80	298	0	498	428	305	66
P18	242	155	537	6	1 000	1 000	186	22
F6	230	147	357	1	808	670	299	37

Annexe 04 : Analyse en composantes principales

a)- Diagonalisation :

1^{er} ligne : Valeurs propres (variances sur les axes principaux).

2^{ème} ligne : Contribution à la variation totale (pourcentage expliqué par les axes principaux).

5,8372 1,710

58,84 % 17,10 %

Tab. n°11 : Vecteurs propres (coefficient des variables centrées réduites dans l'équation linéaire des axes principaux).

variables	AXE 1	AXE 2
Ca ⁺²	0,38	-0,10
Mg ⁺²	0,39	0,02
Na ⁺	0,37	-0,05
K ⁺	0,10	-0,43
Cl ⁻	0,38	-0,02
SO ₄ ⁻	0,36	-0,19
HCO ₃ ⁻	0,26	0,37
RS	-0,05	0,64
PH	0,40	0,01
NO ₃ ⁻	-0,22	-0,46
cond.	0,38	-0,10

b) - Etude des variables :

1^{er} colonne : Corrélacion entre les variables et les axes principaux.

2^{ème} colonne : Corrélacion au carré.

Tab. n°12: Etude des variables.

VARIABLES	COMPOSANTES PRINCIPALES			
	AXE 1		AXE 2	
Ca	0,91	0,83	-0,13	0,02
Mg	0,94	0,89	0,02	0,00
Na	0,88	0,78	-0,07	0,00
K	0,24	0,06	-0,57	0,32
Cl	0,93	0,86	-0,02	0,00
SO4	0,87	0,75	-0,25	0,06
HCO3	0,63	0,40	0,48	0,23
NO3	-0,13	0,02	0,84	0,71
CE	0,98	0,95	0,01	0,00
pH	-0,54	0,29	-0,60	0,36

C- Etudes des individus :

Tab. n°13 : Etude des individus.

Points d'eau	Axe 1		Axe 2	
F1	-2,01	0,71	-1,00	0,18
P1	0,06	0,00	1,18	0,27
P2	-0,25	0,01	0,87	0,15
P3	-1,49	0,52	-0,61	0,08
P4	-1,85	0,93	0,43	0,05
P5	2,08	0,64	-0,98	0,14
P6	-2,60	0,67	-1,72	0,30
P7	-2,29	0,84	-0,80	0,10
P8	-2,12	0,66	0,81	0,10
F2	6,30	0,81	-2,42	0,12
F3	4,97	0,82	-0,86	0,02
P9	-2,89	0,81	-0,94	0,08
P10	-2,64	0,92	-0,29	0,01
F4	-0,33	0,05	-0,33	0,05
P11	-2,46	0,46	-1,49	0,17
P12	0,46	0,06	-0,30	0,02
F5	0,16	0,02	-0,83	0,56
P13	-0,66	0,14	0,97	0,30
P14	-0,12	0,00	2,32	0,62
P15	2,38	0,28	3,07	0,46
P16	3,85	0,62	0,69	0,02
P17	-0,40	0,03	1,98	0,84
P18	1,18	0,27	-0,73	0,10
F6	0,67	0,16	0,95	0,32

Annexe 05 : Normes CORPEN pour l'estimation de l'azote produit sur l'exploitation Source: CORPEN 1988, 1999 et 2001 (circulaire PMPOA n° 5010 du 15 mai 2003)

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