



REPUBLIQUE ALGERIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE DE BATNA
FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE
Laboratoire de recherche en hydraulique appliquée
LARHYA



MEMOIRE

**PRÉSENTÉ POUR OBTENIR LE DIPLÔME DE MAGISTÈRE
EN HYDRAULIQUE
OPTION : MOBILISATION DES RESSOURCES HYDRIQUES
ET LEUR IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT**

THEME

**ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDROCHIMIQUE DU
BASSIN VERSANT DU BARRAGE DE BABAR SUR OUED
EL ARAB REGION EST DE L'ALGERIE**

Présenté par:
GAAGAI AISSAM
Ingénieur d'état en hydraulique

Soutenu : 2009

Devant le jury composé de :

Président : Dr. KADID ABDELKRIM	M.C. Université de Batna
Rapporteur : Pr. BOUDOUKHA ABDERRAHMANE	Pr. Université de Batna
Examineur : Dr. BOUMAZBARE ABDERRAHMANE	M.C. Université de Tébessa
Examineur : Dr. NEMOUCHI ABDELMALEK	M.C. Université de Constantine

Année Universitaire 2008 / 2009

Remerciements

Je remercie Dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il ma donné durant toutes ces années d'étude.

Au terme de ce travail, il m'est agréable de remercier tous ceux qui ont contribué à sa réalisation et en particulier :

✚ Mr. Le Professeur Boudoukha Abderrahmane, qui a accepté de diriger ce travail, je lui exprime ici toute ma gratitude.

✚ Dr. Kadid Abdelkrim, qui a en la bienveillance d'accepter de juger ce travail et de présider le jury de soutenance.

✚ Dr. Boumazbare Abderrahmane, pour sa participation au jury.

✚ Dr. Nemouchi abdelmalek, d'avoir accepter de juger ce travail.

Mes remerciements vont également à :

Mes Enseignants, et doctorants du département d'hydraulique, pour leur soutien moral et leur accueil chaleureux.

Mes collègues et amis pour leur soutien et leur aide durant ce travail.

Je n'oublie pas, enfin, d'exprimer ma profonde reconnaissance à :

Ma mère, mes frères et sœurs que Dieu les garde.

TABLE DES MATIERES

Introduction Générale 1

CHAPITRE I : GEOLOGIE

1.1. Situation Géographique..... 02
1.2. Cadre géologie régional..... 02
1.3 Stratigraphie générale 02
 1.3.1. Le Crétacé supérieur..... 02
 1.3.2. Crétacé moyen..... 04
 1.3.3. Crétacé inférieur 06
 1.3.4. Le Quaternaire 06
1.4. La tectonique 07
 1.4.1. Les structures 07
1.5. La paléogéographie..... 08
1.6. La lithologie 08
 1.7. Les zones perméables du bassin versant de oued El Arab..... 09
Conclusion 12

CHAPITRE II : GEOMORPHOLOGIE

Introduction 13
2.1. Le milieu physique..... 13
2.2. Caractéristiques géomorphologiques du bassin versant de Oued El Arab..... 14
2.3. Répartition des tranches d'altitudes et Courbe hypsométrique 16
2.4. Le réseau hydrographique..... 19
2.4. Profil en long des principaux cours d'eau du bassin versant de Oued El Arab 22
Conclusion 24

CHAPITRE III : HYDROCLIMATOLOGIE

Introduction 25
 3.1. Réseau hydroclimatique de la zone d'étude 25
 3.2. Étude des paramètres climatologiques 27
 3.2.1. Les précipitations 27
 3.2.1.1. Comblement des lacunes d'observations..... 27
 3.2.1.3. Evaluation de la lame d'eau précipitée sur le bassin versant 35
 3.2.2. Les températures 40
 3.2.3. Le régime climatique du bassin 41
 3.2.4. L'évaporation..... 44
 3.2.5. Bilan hydrologique 50
 3.2.6. Estimation du bilan d'eau..... 52
3.3. Hydrologie..... 54
 3.3.1. L'écoulement moyen annuel 55
 3.3.3. Estimation des Apports..... 58
 3.3.4. Etude des crues..... 59
Conclusion 61

CHAPITRE VI : HYDROCHIMIE

Introduction 62

4.1 prélèvement.....	62
4.2. méthode d'échantillonnage.....	63
4.3. Les facies chimiques	64
4.3.1. Détermination des faciès chimiques selon PIPER	64
4.3.2. Détermination des faciès chimiques selon SCHOELLER-BERKALOFF.....	65
4.4. Evolution des éléments physicochimiques en fonction du temps.....	67
4.4.1. Les paramètres physiques.....	68
4.4.2. les Eléments de la pollution.....	69
4.4.2.3. Les éléments toxiques	76
4.4.4. Les éléments nutritifs	80
4.5. Analyse en composantes principales.....	83
4.5.1.1. ACP 1 période octobre2007/avril2008.....	85
4.6. Indice d'échange de base (i.e.b)	92
4.7. Qualité des eaux pour l'A.E.P	93
4.8. Qualité des eaux pour l'irrigation	95
4.8.1. La salinité	95
4.8.2. Classification de Richard	96
4.8.3. Classification de WILCOX.....	97
4.9. Evolution des éléments chimiques en fonction des précipitations.....	98
Conclusion	105
CONCLUSION GENERALE	106
BIBLIOGRAPHIE	108

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I :

Figure 1 : Carte de situation géographique	03
Figure 2 Carte géologique.....	05
Figure 3 : Carte lithologique.....	10
Figure 4 : Carte des zones perméables et imperméables.....	12

CHAPITRE II :

Figure5 : Courbe hypsométrique.....	17
Figure6 : Réseau hydrographique du bassin de Oued El Arab	20
Figure 7 : Profil en long des principaux cours d'eau du bassin versant de Oued El Arab.....	23

CHAPITRE III :

Figure 8 : Position géographique des différentes stations pluviométriques.....	26
Figure 9: Homogénéisation des données pluviométriques par la méthode du double cumul (1969-2005).....	29
Figure 10 : Variation interannuelle des précipitations au niveau des stations pluviométriques.....	31
Figure11 : Variation mensuelle des précipitations au niveau des stations pluviométriques.....	34
Figure 12 : Répartition saisonniere des pluies en (mm) et en (%)......	35
Figure 13 : Découpage de la surface du sous bassin versant de Oued El Arab selon la méthode de Thiessen.....	37
Fig. n°14 : La carte des isohyètes du sous bassin de Oued El Arab (1969-2005).....	39
Figure 15 : Variation des températures à la station de Babar.....	40
Figure 16: Abaque de l'indice d'aridité (MARTONNE)	42
Figure 17 : Climagramme de L. EMBERGER	43
Figure 18: Diagramme Ombrothermique (BAGNOULS-GAUSSSEN)	44
Figure 19 : Abaque de WUNDT modifié par COUTAGNE.....	47
Figure 20 : Abaque pour le calcul du déficit d'écoulement en Algérie (d'après P. VERDEIL, 1988)	48
Figure 21 : Bilan de l'eau selon Thornthwaite.....	52

CHAPITRE IV :

Figure 30 : Schéma synoptique de la distribution spatial des différents rejets sur oued el Arab.....	64
Figure 31 : Représentation graphique des analyses d'eau à Oued El Arab selon PIPER.....	65
Figure 32 : Représentation graphique des analyses d'eau d'après Schoeler-Berkaloff à l'amont de Oued El Htiba.....	66
Figure 33 : Représentation graphique des analyses d'eau d'après Schoeler- Berkaloff à l'aval d'Oued El Htiba.....	67
Figure 34 : Représentation graphique des analyses d'eau d'après Schoeler- Berkaloff à Oued Tamagra.....	68
Figure 35 : Représentation graphique des analyses d'eau d'après Schoeler- Berkaloff à l'exutoire du barrage.....	69
Figure 36 : Evolution de la température en fonction du temps au niveau des quartes stations.....	70
Figure 37 : Evolution de la conductivité électrique en fonction du temps au niveau des quartes stations.....	71
Figure 38 : Evolution de Potentiel d'hydrogéné en fonction du temps au niveau des quartes stations.....	72
Figure 39 : Evolution de calcium en fonction du temps au niveau des quatre stations... ..	73
Figure 40 : Evolution de la magnésium en fonction du temps au niveau des quatre stations	74
Figure 41 : Evolution de Potassium en fonction du temps au niveau des quatre stations	75
Figure 42 : Evolution de sodium en fonction du temps au niveau des quatre stations	76

Figure 43 : Evolution de chlorure en fonction du temps au niveau des quatre stations.....	77
Figure 44 : Evolution de Bicarbonate en fonction du temps au niveau des quatre stations	78
Figure 45 : Evolution des Sulfates en fonction du temps au niveau des quatre stations	79
Figure 46 Evolution de plomb en fonction du temps au niveau des quatre stations	80
Figure 47 : Evolution de fer en fonction du temps au niveau des quatre stations	81
Figure 48 : Evolution de zinc en fonction du temps au niveau des quatre stations	82
Figure 49 : Evolution de cuivre en fonction du temps au niveau des quatre stations	83
Figure 50 : Evolution de cuivre en fonction du temps au niveau des quatre stations	84
Figure 51 : Evolution des nitrates en fonction du temps au niveau des quatre stations	85
Figure 52 : Evolution des nitrites en fonction du temps au niveau des quatre stations	86
Figure 53 : Cercle des corrélations de l'ACP1	90
Figure 54 : Diagramme de classification des eaux d'irrigation en fonction de S.A.R.....	95
Figure 55 : Diagramme de classification des eaux d'irrigation (WILCOX).....	97
Figure 56 : Evolution des éléments minéralisés en fonction des précipitations à l'amont de Oued El Htiba	98
Figure 57: Evolution des éléments toxiques en fonction des précipitations à l'amont de Oued El Htiba	99
Figure 58 : Evolution des éléments polluants en fonction des précipitations à l'amont de Oued El Htiba	99
Figure 59 : Evolution des éléments minéralisés en fonction des précipitations à l'aval de Oued El Htiba	100
Figure 52 : Evolution des éléments toxiques en fonction des précipitations à l'aval de Oued El Htiba	100
Figure 53 : Evolution des éléments polluants en fonction des précipitations à l'aval de Oued El Htiba	101
Figure 54 : Evolution des éléments minéralisés en fonction des précipitations sur Oued Tamagra...	103
Figure 55 : Evolution des éléments toxiques en fonction des précipitations sur Oued Tamagra.....	104
Figure 56 : Evolution des éléments polluants en fonction des précipitations sur Oued Tamagra.....	104

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I :

Tableau 1 : les formations lithologiques du bassin versant	09
Tableau 2 : répartitions de la perméabilité	11

CHAPITRE II :

Tableau 3 : surface et périmètre du sous bassin versant de oued El Arab.....	14
Tableau 4 : Représentation des différentes tranches d'altitude	17
Tableau 5 : classification de l'ORSTROM.....	19
Tableau 6 : Récapitulatif des paramètres morphométriques	24

CHAPITRE III :

Tableau 7 : caractéristiques statistiques des séries pluviométriques (1969-2005)	25
Tableau n°8 : La correction faite pour la période (2002-2005).....	28
Tableau n° 9 : Les valeurs du coefficient de corrélation des différentes stations.....	28
Tableau n°10 : Les valeurs du coefficient de corrélation critique d'après (A. Mangin 1984).....	30
Tableau n°11: caractéristiques statistiques des séries pluviométriques.....	33
Tableau 12 : Répartition saisonnière des précipitations.....	34
Tableau13: Calcul de la lame d'eau tombée sur le B.V selon la méthode de la moyenne arithmétique	36
Tableau n°14 : Estimation de la lame d'eau moyenne précipitée sur le bassin versant de Oued El Arab par la méthode des isohyètes.....	38
Tableau 15 : Températures moyennes mensuelles et annuelles (période : 1986-2003)	40
Tableau 16 : Les valeurs de Q_2	42
Tableau 17 : Calcule de l'ETP selon C. W. Thornthwaite à la station de Babar	46
Tableau n°18 : coefficient d'évaluation des durées théoriques d'insolation pour la de formule l'ANRH.....	47
Tableau n°19: Calcul de l'ETP selon l'ANRH à la station de Babar.....	47
Tableau 20 : Calcule du bilan hydrologique à la station de Babar.....	51
Tableau 21 : La lame d'eau ruisselé à la station de Babar	53
Tableau 22 : La lame d'eau infiltrée estimée à l'aide du bilan hydrologique.....	54
Tableau 23: Les différentes composantes du bilan hydrologique	54
Tableau 24 : Débit moyen annuel.....	55
Tableau 25 : Bilan hydrologique moyen.....	56
Tableau n°26 : récapitulatif des résultats empiriques de L_e et A obtenu.....	58
Tableau n°27 : les résultats calculés par les méthodes empiriques de la (Ds).....	59
Tableau n°28 : des débits maximums de l'Oued El Arab.....	60

CHAPITRE IV

Tableau 29 : Les coordonnées des stations des prélèvements.....	62
Tableau 30: Analyses chimiques moyennes des eaux de surface du bassin versant de Oued El Arab.....	64
Tableau 31 : Faciès chimiques des eaux selon la méthode de SCHOELLER-BERKALOFF	65
Tableau 32 : variation de la température en fonction du temps au niveau des quatre stations	70
Tableau 33: variation de la conductivité électrique en fonction du temps au niveau des quatre stations.....	71
Tableau 34 : variation du Potentiel d'hydrogéné en fonction du temps au niveau des quatre	72

stations.....	
Tableau 35 : variation du calcium en fonction du temps au niveau des quatre stations.....	73
Tableau 36 : variation du magnésium en fonction du temps au niveau des quatre stations.....	74
Tableau 37 : variation du Potassium en fonction du temps au niveau des quatre stations.....	75
Tableau 38 : variation du sodium en fonction du temps au niveau des quatre stations.....	76
Tableau 39 : variation des chlorures en fonction du temps au niveau des quatre stations.....	77
Tableau 40 : variation des Bicarbonates en fonction du temps au niveau des quatre stations.....	78
Tableau 41 : variation des Sulfates en fonction du temps au niveau des quatre stations.....	79
Tableau 42 : variation du plomb en fonction du temps au niveau des quatre stations.....	80
Tableau 43 : variation du fer en fonction du temps au niveau des quatre stations.....	81
Tableau 44: variation du zinc en fonction du temps au niveau des quatre stations.....	82
Tableau 45 : variation du cuivre en fonction du temps au niveau des quatre stations.....	83
Tableau 46 : variation de la DBO en fonction du temps au niveau des quatre stations.....	84
Tableau 47 : variation de nitrates en fonction du temps au niveau des quatre stations.....	85
Tableau 48: variation de nitrites en fonction du temps au niveau des quatre stations.....	86
Tableau 49 : Matrice de corrélation des paramètres chimiques	89
Tableau 50 : Pourcentage de variance exprimée	89
Tableau 51 : étude des variables	90
Tableau 52 : Echange de base pendant les septes compagnes.....	92
Tableau 53 : Normes de l'O.M.S pour l'AEP.....	93
Tableau 54 : Etude de la salinité.....	94
Tableau 55 : Résultat d'après l'interprétation de WILCOX.....	96

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION

L'eau est l'un des éléments essentiels du développement durable à cause de son importance dans la vie et sans cet élément la vie serait impossible car est un facteur prépondérant pour toute activité socio-économique, depuis l'aube de l'humanité. Les dernières décennies sont caractérisées par une industrialisation galopante et par une sécheresse intense qui touche l'Algérie du Nord d'une manière générale.

En Algérie, la demande en eau que sa soit pour l'AEP, l'agriculture ou l'industrie ne cesse de croître et devient de plus en plus difficile à la satisfaire à cause de l'accroissement de la population et l'insuffisance de l'eau. Ceci obligé les décideurs à construire des ouvrages hydrauliques pour stocker les eaux des précipitations, mais pour satisfaire les besoins des déferents secteurs, il est impératif de protège cette eau contre toutes formes de pollution (industrielle, agricole...).

L'Algérie dispose d'une grande capacité de réception avec seize grands bassins versants, comme le sous bassin versant de Oued El Arab qui appartient au bassin de Chott Melrhir. Le barrage de Babar a été construit pour satisfaire la demande en eau pour alimenter les villes de Babar, Checher, Ain Djerbaou, Bouhmama et Tamza, de même que pour l'irrigation en aval du barrage. Actuellement, le barrage est utilisé uniquement pour l'irrigation pour des raisons que nous ignorons, mais probablement à cause de la pollution urbaine qui l'affecte suite aux rejets des agglomérations limitrophes.

Dans cette étude nous chercherons à connaître le type de pollution qui affecte le barrage qui a une origine domestique, industrielle, agricole et peut être naturelle.

Pour réaliser cette étude, nous avons adopté la méthodologie suivante :

- Ø Dans la première partie nous avons abordé la géologie à fin de voir l'influence de la lithologie sur la qualité des eaux de surface;
- Ø Dans la deuxième partie nous avons essayé d'étudier les caractéristiques morphologiques du bassin versant qui jouent un rôle important sur le ruissèlement et donc sur le volume d'eau stocké et sur le comportement hydrologique;
- Ø Dans la troisième partie nous avons abordé le coté hydroclimatologique à fin de déterminer les facteurs climatiques qui influent sur les débits instantanés au niveau des stations de prélèvement d'eau destinée à l'analyse physico-chimique;
- Ø Nous avons achevé notre travail par une étude approfondie de la qualité des eaux du barrage de Babar et celle des Oueds qui l'alimentent.

CHAPITRE 01

GEOLOGIE

1. Géologie

1.1 La Situation Géographique

La région étudiée est située à l'Est algérien dans les confins Est de l'Atlas saharien et précisément au niveau de la chaîne montagneuse de Djebel Djehfa appartenant aux monts de Nementcha. (Fig. n° 01). Le barrage a été construit sur Oued El Arab et son bassin versant a une surface de 567km² environ qui fait partie du grand bassin versant de Chott Melghir. Il est délimité par: les montagnes des Aurès dont les principaux sont Dj-Chentgomma et Dj-Aidel au Nord-Ouest. Dj-Tadliste et Dj-Bougendag à l'Est et Sud-Est. La plaine de Khenchela au Nord et au Nord-Est. Entre les deux ensembles physiques des montagnes s'intercale une vaste plaine appelée haute plaine de Djahfa, qui est drainée par des Oueds secondaires (O.Tamagra et O. El Htiba) qui se rejoignent pour former O.El-Arab juste avant le site du barrage.

1.2 Cadre géologique régional

La géologie est une partie très importante dans toute étude hydrologique et hydrochimique. Ainsi, la lithologie, la tectonique et la structure géologique jouent un rôle primordial sur la qualité des eaux suite à la dissolution des minéraux se trouvant dans la roche et sur la quantité d'eau qui ruissèle ou s'infiltre selon le type du terrain (perméable ou imperméable). R.Laffitte (1939) a remarqué que depuis le Trias, la région est formée par des dépôts épicontinentaux de faciès divers d'épaisseur variable. Dans cette période, la région présaharienne représentait une plate-forme qui se caractérisait par l'accumulation de différents sédiments.

Du point de vue tectonique, la région présaharienne se rapporte à l'Atlas tunisien séparé de l'Atlas saharien par le massif des Aurès avec un point culminant à 2328 m.

1.3 Stratigraphie

Les formations représentent dans la zone d'étude Fig n° (2) sont :

1.3.1. Le Crétacé supérieur

1.3.1.1. Maestrichtien supérieur

C'est un assise constante et homogène de calcaires massifs blanchâtres grumeleux, en bancs décimétriques ou métriques, à large stratification oblique avec les empreintes d'inocérames ; il contient des modules de silex et des testes de lamellibranches. Les principaux affleurements constituent le Djebel Tadleste et Djebel Bouzendag et aussi le sommet de Djebel Djahfa. L'épaisseur de ces formations ne dépasse pas les 95m.

1.3.1.2. Maestrichtien inférieur

Il est constitué par une alternance de marnes beiges et de calcaires ocres ou beiges avec une épaisseur de 40 m.

1.3.1.3. Campanien

Il comporte à sa base une barre de marnes crayeuses, en bancs décimétriques ou métriques. A la fin on a un passage de marnes avec une épaisseur de 65m. Au dessus se développe 150m de marnes noires à microfaune comparable qui est bien visible dans les différentes parties du bassin versant surtout sur les limites Sud.

1.3.1.4. Santonien et Coniacien

Ils s'agissent des marnes avec à la base et au sommet quelque barres de marno-calcaires, il se trouve essentiellement sur le flanc Sud de Djebel Djehfa. Il ne dépasse pas les 100m.

1.3.2. Le Crétacé moyen

1.3.2.1. Turonien (moyenne et supérieur)

Il est formé par une alternance de marnes grises et des calcaires zoogéniques noduleux. La prédominance des intercalations calcaires crée une barre bien visible dans la morphologie au Nord-Ouest du bassin, avec une épaisseur de 150m.

1.3.2.2. Turonien basal

La base de cet ensemble est constituée par quelques mètres de marno-calcaires blanchâtres en plaquettes fines à cassures noirâtres bitumineuses. L'épaisseur de cette formation est de 200m.

1.3.2.3. Cénomaniens supérieur

Le sommet de cet étage est formé par des calcaires sous forme d'une barre avec des cassures écailleuses ayant un aspect bitumineux et à films centimétriques de marnes gris-bleu. Au sommet, on retrouve un niveau de nodules de pyrite qui constitue un repère constant dans la région. La formation a une épaisseur de 30 m.

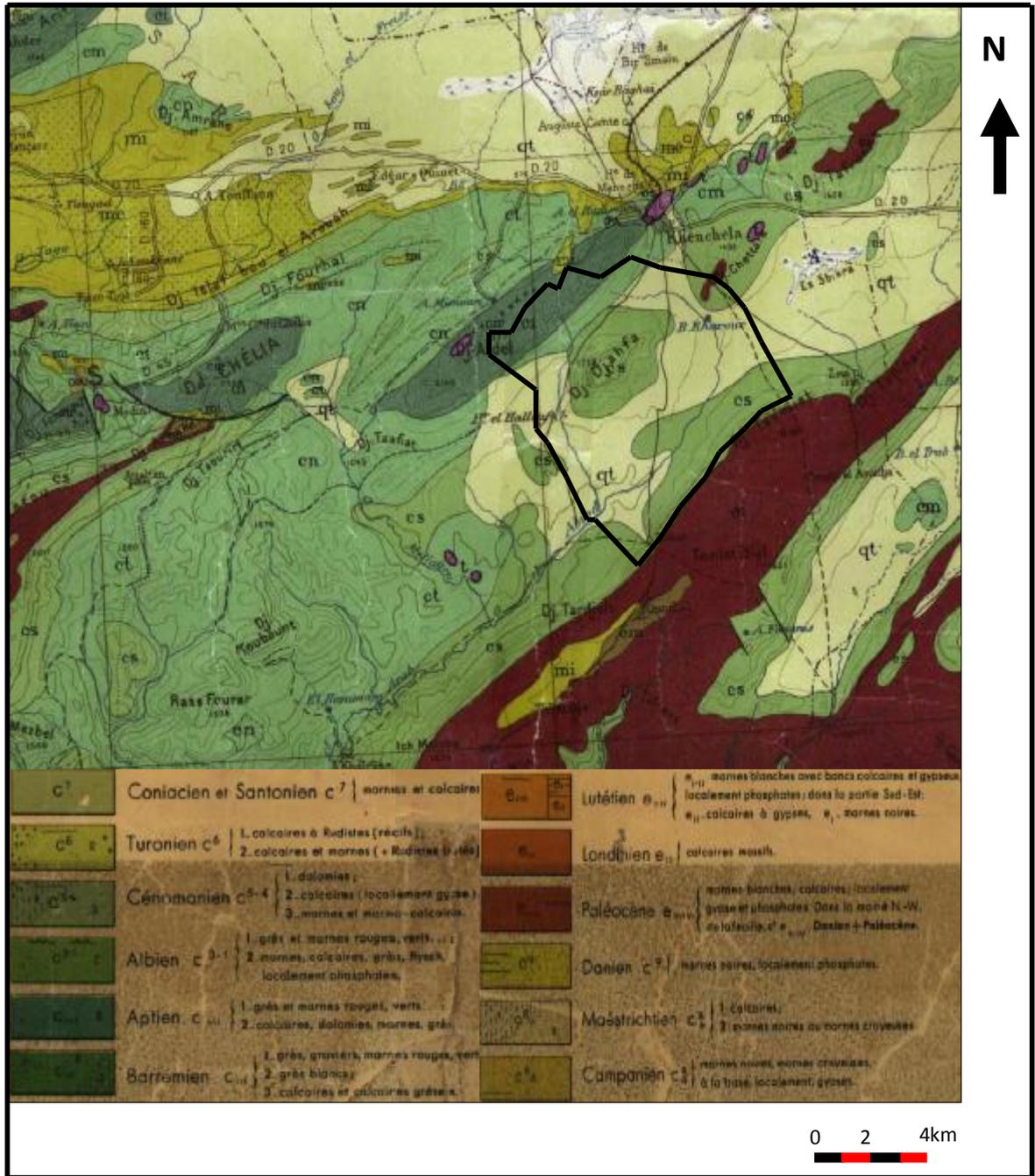


Fig. n° 02: La géologie du bassin versant de Oued EL Arab (Laffitte 1939)

1.3.2.4. Cénomaniens moyen

C'est une puissante formation qui débute par 650m de marne grise accompagnée sporadiquement de micrites gris blanchâtres à fins tests de lamellibranches.

1.3.2.5. Cénomaniens inférieur

IL s'agit de marne grise accompagnée de biomicrite argileuse grise avec des niveaux de glauconies et des empreintes d'ammonites, sur une épaisseur de 100m.

1.3.3. Le Crétacé inférieur

1.3.3.1. Le Barrémien

Il affleure au Nord Ouest du bassin versant à (Dj.Aidel) sous forme d'une petite bande locale. Sa lithologie est constituée essentiellement de matériaux détritiques (grés, calcaires, gréseux, grés quartzeux, conglomérat et marnes vertes ou rouges.)

1.3.3.2. Albien

Il entoure régulièrement l'anticlinal de Khenchela en formant une ceinture plus au moins continue au dessus de l'Aptien. Il s'agit d'une alternance de grés et de marne grise, des dolomies et d'argiles grises. La limite inférieure correspond à une surface minéralisée dans les limites Nord-Ouest du bassin à Djebel El Aidel et Tadlist avec une épaisseur totale de 160m.

1.3.3.3. Aptien

Il est formé essentiellement de bas à haut par:

- Ø Une alternance d'oomicrite, d'oosparite et de calcaire marneux;
- Ø Une alternance de grés blancs et d'oosparites grises;
- Ø Une alternance de marne grise et d'oomicrite.

Cet étage est caractérisé par des calcaires dolomitiques fortement minéralisés (fer, azurite, malachite, barytine) largement développés au sommet des montagnes au N-W avec une épaisseur totale est de 330m.

1.3.4. Le Quaternaire

Il couvre une très vaste surface de (60%) de la surface totale du bassin avec une épaisseur assez limitée. Ce ci est du au processus d'érosion intensif qui provoque l'arrachement des formations superficielles sur les pentes raides.

Le Quaternaire se développe sur les pentes douces entre les deux chaînes de montagne qui limitent le bassin versant par le Nord-Ouest et le Sud-Est. En général, il est représenté par des alluvions qui forment deux terrasses: inférieure et supérieure

A. Terrasse supérieure

Les alluvions de la terrasse supérieure sont limitées et sont représentées par des terrains argileux et graveleux. Leur épaisseur totale ne dépasse pas les 5 m.

B. Terrasse inférieure

Les alluvions de la terrasse moyenne sont représentées en grande partie par des terrains argileux et plus rarement par des galets, des graviers, des limons sableux et argileux. L'épaisseur de ces dépôts est en générale de 5 à 7 m. Dans les dépressions, l'épaisseur de cette formation peut atteindre 8 à 10 m.

1.4. La tectonique

Du point de vue tectonique la région se rapporte à l'Atlas tunisien séparé de l'Atlas saharien par le massif des Aurès avec le plus haut sommet à 2328 m où la direction des grands plis change du NE au NNE.

A partir de la carte géologique de Khenchela, on peut remarquer une opposition entre deux secteurs:

- Ø A l'Ouest de la région étudiée le style tectonique ressemble à celui des Aurès;
- Ø A l'Est de la région, l'organisation plissée perd sa prédominance et les structures sont compliquées par la présence de diapirs triasiques.

1.4.1. Les structures

A. Les grands plis de l'Ouest:

Du Nord-Ouest au Sud-Est se succèdent :

- Ø l'anticlinal de Djebel Chelia dont la voûte est visible à l'Est, un peu au Sud-Est du Djebel Tirkabine, précisons qu'il ne s'agit pas d'une terminaison périclinale. cet anticlinal paraît effondré et son extrémité Sud-Est est affecté par des accidents cassants orientés selon une direction NW-SE qui peuvent être d'anciens coulissements alpins;
- Ø le synclinal de Djebel Aures qui s'enfonce sous le Miocène gréseux sans terminaison périclinale visible;
- Ø l'anticlinal de Khenchela, puissamment fracturé par des failles directionnelles ou sensiblement E-W.

B. Les diapirs de l'Est et du Nord-Est

Ce sont des zones en forme d'anticlina. Il s'agit:

- Ø du diapir de Khenchela qui a une forme très allongée. Le Trias recoupe des terrains allant du Cénomaniens inférieur au Coniacien;
- Ø du diapir de Djebel El-Kroume et Knif qui possèdent une forme plus complexe qui peut être induite par la présence des corps récifaux et des compartiments bousculés par la phase Alpine. Le Trias découpe des terrains allant de l'Albien au Maestrichtien supérieur;
- Ø du diapir d'El-Mahmal qui est le plus développé malgré le recouvrement Quaternaire qui empêche d'évaluer son tracé et ses dimensions. Le Trias n'est en contact qu'avec le Crétacé supérieur. Entre ces diapirs, les terrains ont gardé une disposition Subtabulaire ou faiblement synclinale comme Djebel Djehfa.

1.5. La Paléogéographie

Les premiers mouvements enregistrés dans la sédimentation, si l'on accepte une lacune de l'Aptien inférieur, sont liés au diapirisme Sénonien. Les nombreux éléments triasiques remaniés avec des débris de quelques formations, montrent que le Trias était déjà organisé en diapire affleurant à cette époque.

Les formations rouges de l'Aquitano-Burdigalien montrent qu'il faut attendre la phase atlastique pour avoir une première phase tectonique véritable qui a engagé les grands plis anticlinaux Auresiens

La microfaune pélagique oligocène remaniée dans le Miocène marin montre que cette période correspond à une sédimentation de mer ouverte.

Les formations rouges de l'anticlinal de Khenchela correspondent à la phase Eocène supérieure. Il est probable que la genèse des plis Atlastiques a dû accentuer le diapirisme triasique ancien.

La présence du Miocène marin discordant sur les diapirs montre qu'à partir de cette époque, leur fonctionnement est achevé. Cette discordance générale sur toutes les structures est le seul héritage de la phase alpine.

1.6. La lithologie

Du point de vue lithologique on peut classer les formations en quatre catégories (Tableau 01 et Fig. n°3):

- ✓ Les marnes qui prédominent avec une stratification moyenne à forte. Ces marnes évoluent du vert clair au vert foncé et grise avec des teneurs variables de calcaire. Les marnes faiblement déformées s'alternent avec des couches calcaires à épaisseur variable ce qui leur donne le caractère de flysch.
- ✓ Les grès se présentent sous forme de petites taches qui affleurent surtout au Nord-Ouest de bassin et au Sud.
- ✓ Les calcaires fissurés se manifestent au Sud-Est, et au Nord-Ouest sous forme de bande qui s'étend de l'extrémité Sud vers l'extrémité Est.
- ✓ Les formations du Quaternaire occupent une surface très vaste, elles se développent entre les deux chaînes de montagne qui limitent le bassin. Elles sont constituées essentiellement de marnes, de graviers, d'argiles, de sables et de limons.

Tableau n° 01 : les formations lithologiques du bassin versant de Oued El Arab

Formations	perméabilité	Surface (km ²)	Surface (%)
Marnes	imperméable	75	13
Grés	perméable	15	03
calcaires fissurés	perméable	56	10
Marno-calcaires	perméable	40	07
Alluvions	perméable	381	67

1.7. La perméabilité du bassin versant de Oued El Arab

La diversité lithologie et tectonique du bassin versant de Oued El Arab conditionnent le ruissellement et la capacité de rétention. Il en résulte donc une dynamique variable de lessivage des roches et une diversité de la nature des éléments chimiques contenus dans les eaux de ruissellement et dans les aquifères du bassin versant de Oued El Arab. Ainsi, l'exploitation de l'ensemble des données géologiques de notre bassin versant a permis de distinguer trois classes de formations ayant des perméabilités différentes (Tableau 02, Fig n° 4). :

1.7.1. Classe des formations à perméabilité élevée

Cette classe représente 13 % de la superficie totale du bassin versant, elle est constituée par des calcaires fissurés et des grés. Elles se situent au Sud-Est et au Nord-Ouest du bassin versant sous forme de bandes parallèles aux chaînes de montagne formant les limites du bassin versant.

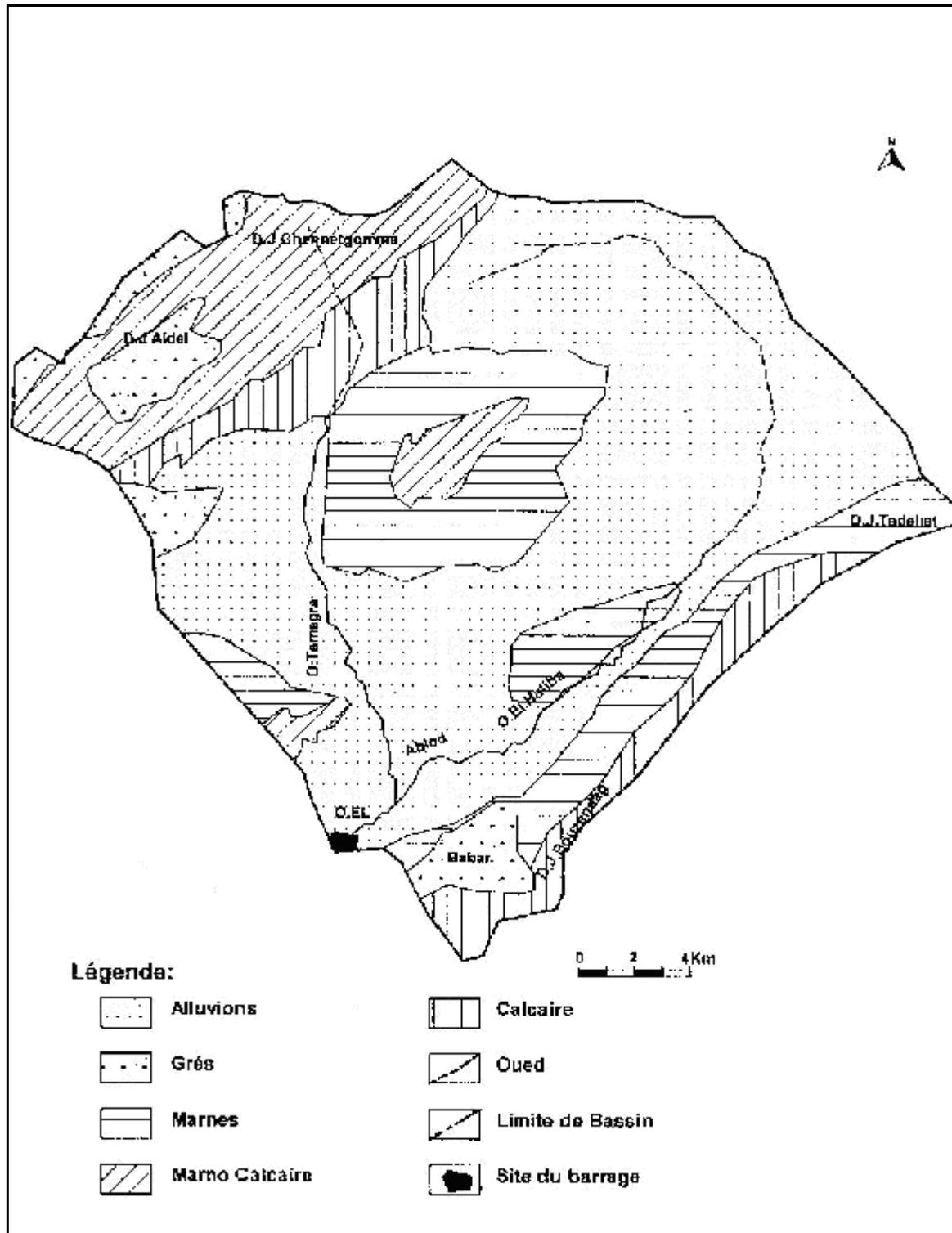


Fig. n° 03 : Carte lithologique du bassin versant de Oued El Arab

1.7.2. Classe des formations à perméabilité moyenne

Elle est formée essentiellement par des dépôts quaternaires qui occupent la majorité de la surface du bassin versant surtout au centre. Elle représente 67% de la surface totale du bassin versant.

1.7.3. Classe des formations à perméabilité faible à moyenne

Elle est constituée par des formations marno-calcaires et des marnes à moyennes, elle représente 20% de la surface totale du bassin, et se manifestent au Nord-Ouest et Sud-Est du bassin versant et au sommet de Dj-Djahfa

Tableau n°02: Répartitions de la perméabilité au niveau du bassin versant de Oued EL Arab

Classes de perméabilité	lithologie	Surface (%)
Perméabilité Élevée	Grés, calcaires fissurés	13
Perméabilité Moyenne	Alluvions	67
Perméabilité Faible à Moyenne	Marno-calcaires, marnes	20

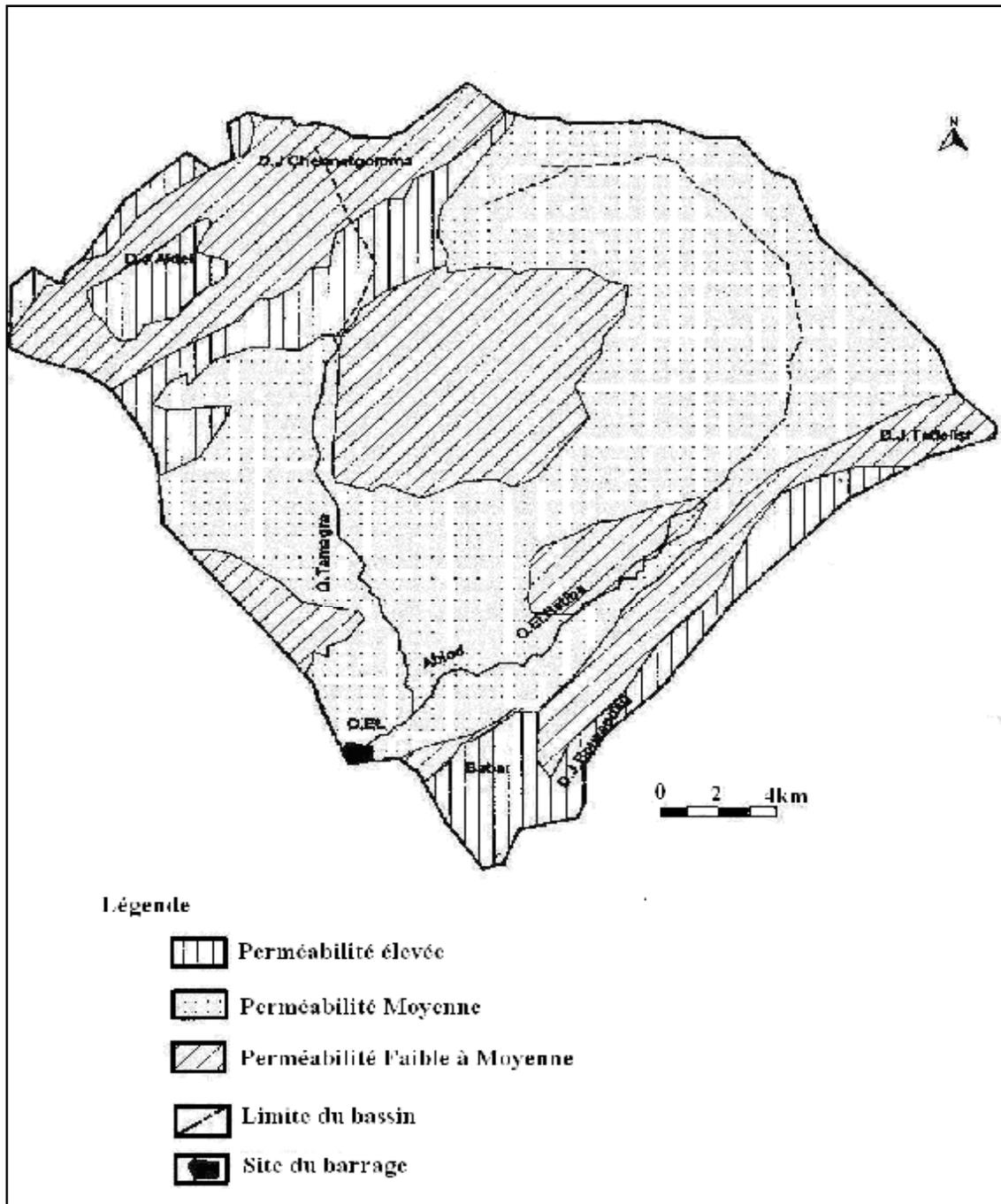


Fig n°04 : La carte de perméabilité du bassin versant de Oued El Arab

CONCLUSION

Les formations prédominantes sont celle du Quaternaire avec une épaisseur assez limitée; ce qui explique que la zone d'étude a une perméabilité moyenne mais l'action de l'érosion reste importante sur la majorité de la surface du bassin. Cette action est surtout active sur les fortes pentes dépourvues de végétation.

CHAPITRE 2- GEOMORPHOLOGIE

Introduction

L'étude des caractéristiques morphologiques associée à une analyse hydrologique d'un bassin versant constitue une plate-forme très importante pour la compréhension du comportement hydrologique.

2.1. Le milieu physique

2.1.1. Les montagnes

Ces reliefs on les retrouve au Nord-Ouest sur le massif des Aurès représentés par: DJ-Aidel (2092m), Dj-Chentgomma (2115m), Dj-Bezez (2141m) et à l'Est dans les massifs de Nememcha représentés par Dj –Bouzendag (1390m), Dj-Sguiguine (1453m), Dj-Tedliste (1507m). Au centre du bassin, on retrouve les massifs de Djebel Djahfa (1707m). L'ensemble ne constitue que 14% de la surface totale du bassin versant.

2.1.2. Les piedmonts

C'est une zone de translation entre les montagnes et la plaine; ils se situent au Sud-Est et au Nord-Ouest entre les altitudes 1200m-1400m avec une pente moyenne de 9%. Ces zones sont occupées par les forêts et ne représentent que 17% de la surface totale du bassin versant.

2.1.3. La plaine

Elle occupe la grande partie du bassin avec 60% de la surface totale du bassin versant. Elle se situe entre les deux chaînes montagneuses du bassin versant sur des altitudes inférieures à 1200m. Ces zones sont occupées par des céréalicultures (orge, blé) et drainées par Oued El Htiba à l'Est et Oued Tamagra à l'Ouest.

2.2. Le couvert végétal

Le bassin versant de Oued El Arab est caractérisé par un couvert végétal moyen à faible. Il ne dépasse pas les 12% de la surface totale ce qui favorise l'action d'érosion. Le couvert végétal est bien conservé sur les monts qui portent des forêts de pins, de chênes verts et du cèdre. Les zones basses sont couvertes par des steppes à Halfa quand elles ne sont pas livrées à la culture des céréales.

2.3. Caractéristiques géomorphologiques du bassin versant de Oued El Arab

Les caractéristiques morphométriques du sous bassin versant de Oued El Arab ont été déterminés à partir de la carte topographique (1/200000).de Khenchela

2.3.1 La surface du bassin versant

La superficie a été mesurée par un Planimètre, elle est égale à 567km² environ. (Tableau 03)

2.3.2. Le périmètre du bassin versant

Le périmètre du bassin versant peut être mesuré directement sur la carte topographique au moyen d'un Curvimètre. Elle a été estimée à 95km. (Tableau 03)

Tableau°03 : surface et périmètre de sous bassin versant d'oued El Arab

Superficie (km ²)	périmètre (km)
567	95

2.3.3. Indice de compacité K_c

Cet indice est obtenu à l'aide de la formule suivante :

Avec

P : Périmètre du B.V, P=95km

S : surface du bassin versant

A.N :

$$K_c = \frac{95}{2\sqrt{3,14*567}} \longrightarrow K_c = 1,12$$

Si:

$K_c \leq 1$ \longrightarrow Bassin versant de forme circulaire.

$K_c = 1,12$ \longrightarrow Bassin versant de forme carrée.

$K_c > 1,12$ \longrightarrow Bassin versant allongé.

Dans notre cas $K_c = 1,12$ donc le bassin versant de Oued El Arab à une forme carrée.

2.4. Répartition de l'altitude et Courbe hypsométrique

Les fréquences altimétriques sont présentées dans le tableau (4) et par la courbe hypsométrique de la figure (5) Ces représentations montrent l'importance et la distribution de chaque tranche d'altitude dans notre bassin. Ceci a permis de dire que 70.6% de la surface du

bassin se situent entre les cotes (900 et 1400), alors que 13.14 % de la surface totale se trouvent à une altitude supérieure à 1400 m.

2.4.1. Les altitudes caractéristiques

2.4.1.1. Les altitudes minimale et maximale

Elles sont obtenues à partir des cartes topographiques. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale représente le point le plus bas, généralement à l'exutoire.

Ces données deviennent importantes lors des développements de certaines relations faisant intervenir des variables climatologiques telles que la température, la précipitation et le couvert neigeux. Elles déterminent l'amplitude altimétrique du bassin versant et interviennent aussi dans le calcul de la pente. Ces caractéristiques sont respectivement égales à :

- $H_{\max} = 2326\text{m}$
- $H_{\min} = 900\text{m}$

2.4.1.2. L'altitude moyenne

L'altitude moyenne se déduit de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique. On peut la définir en divisant le volume montagneux (V) par la surface du bassin versant (S);

$$H_{\text{moy}} = \frac{V}{S}$$

Le volume V est obtenu comme suit :

$$V = \frac{S_i(H_1 + H_2)}{2}$$

S_i : Surface partielle en km^2 entre deux courbes de niveau.

$$H_{\text{moy}} = \frac{\sum S_i \cdot h_i}{S}$$

$$\emptyset H_{\text{moy}} = 1190\text{m}$$

L'application des formules précédentes a permis de dresser le tableau 4

Tableau (n°4) : Répartition de l'altitude en fonction de la surface

Altitude (m)	Surfaces partielles		Surfaces cumulées	
	Km ²	%	Km ²	%
2000	1.00	0.18	1.00	0.18
2000-1900	5.70	1.00	6.70	1.18
1900-1800	9.80	1.73	16.50	2.91
1800-1700	11.70	2.06	28.20	4.97
1700-1600	14.20	2.50	42.40	7.47
1600-1500	15.20	2.68	57.60	10.20
1500-1400	18.50	3.26	76.10	13.14
1400-1300	44.72	5.61	107.90	19.00
1300-1200	80.00	14.20	188.70	33.20
1200-1100	140.40	24.80	329.10	58.00
1100-1000	196.00	34.60	525.10	92.60
1000-900	41.90	7.38	567.00	100.00

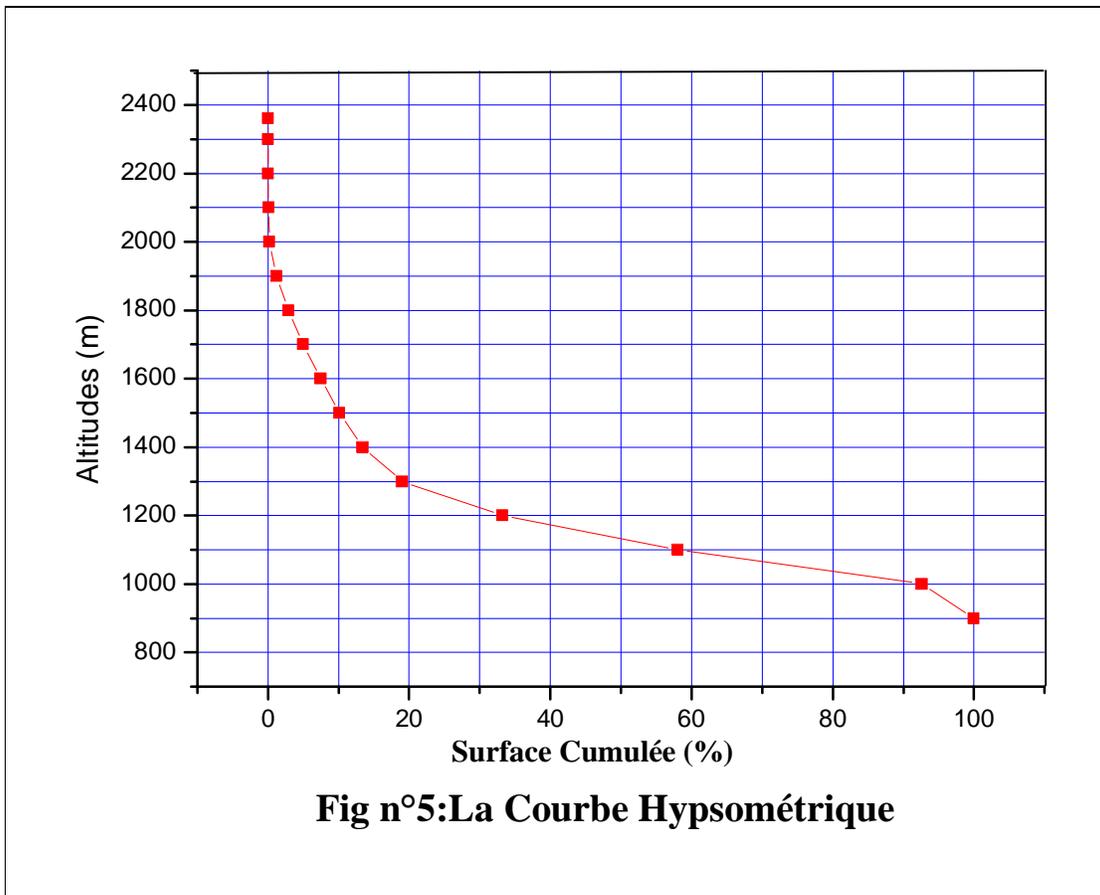


Fig n°5:La Courbe Hypsométrique

2.3.2. Indice de pente moyenne (I_m)

Il est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$I_m = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{\sqrt{S}}$$

H_{\max} : Altitude maximale observée sur le bassin versant; $H_{\max}=2326$ m

H_{\min} : Altitude minimale observée sur le bassin versant; $H_{\min}=900$ m

S : surface du bassin versant ; $S=567$ km²

A.N :

$$I_m = \frac{2326 - 900}{\sqrt{567}} = 59,89 \text{ m / km}$$

$$I_m = 59,89 \text{ m / km}$$

2.3.3. Indice de pente globale (I_g)

Il est calculé de la manière suivante: sur la courbe hypsométrique, on prend les deux points de tel sorte que la surface supérieure et inférieure soit égale à 5% de la surface totale (S), on aura les altitudes $H_{5\%}$ et $H_{95\%}$ avec lesquelles on calcule l'indice de pente globale à l'aide de la formule suivante:

$$I_g = \frac{D}{L}$$

D : la dénivelée entre $H_{5\%}$ et $H_{95\%}$

$$\Rightarrow D = H_{5\%} - H_{95\%}$$

L : longueur du rectangle équivalent ; $L=23.81$ km

A partir de la courbe hypsométrique on tire:

$$H_{5\%} = 1695 \text{ m}$$

$$H_{95\%} = 975 \text{ m}$$

D'où

$$\Rightarrow D = H_{5\%} - H_{95\%} = 1695 - 975 = 720 \text{ m}$$

Ce qui nous permet de calculer l'indice de pente globale.

$$I_g = \frac{720}{23.81} = 30.24 \text{ m / km}$$

2.3.4. Dénivelée spécifique (D_s)

Elle est définie comme étant le produit de l'indice de pente globale (I_g) par la racine carrée de la surface du bassin versant.

$$D_s = I_g \sqrt{S}$$

A.N:

$$D_s = 30.24 \sqrt{567}$$

Soit $D_s = 720.07m$

D'après la deuxième classification de l'ORSTOM (Office de Recherche Scientifique de Territoire d'Outre Mer), la dénivelée spécifique du bassin de Oued Al Arab se trouve dans la classe R7 (Tableau n°05), donc on a un relief très fort.

Tableau n°05 : classification de l'ORSTOM

classe	Type de relief	Interval de D_s
R1	Relief très faible	05 à 10m
R2	Relief faible	010 à 25m
R3	Relief assez faible	025 à 50m
R4	Relief modéré	050 à 100m
R5	Relief assez fort	100 à 250m
R6	Relief fort	250 à 500m
R7	Relief très fort	500 à 750m

2.4. Le réseau hydrographique

La région étudiée est caractérisée par un réseau hydrographique bien développé (Fig. n°6). Il est constitué de plusieurs cours d'eau comme Oued El Htiba et Oued Tamagra qui se rejoignent pour former Oued El Arab.

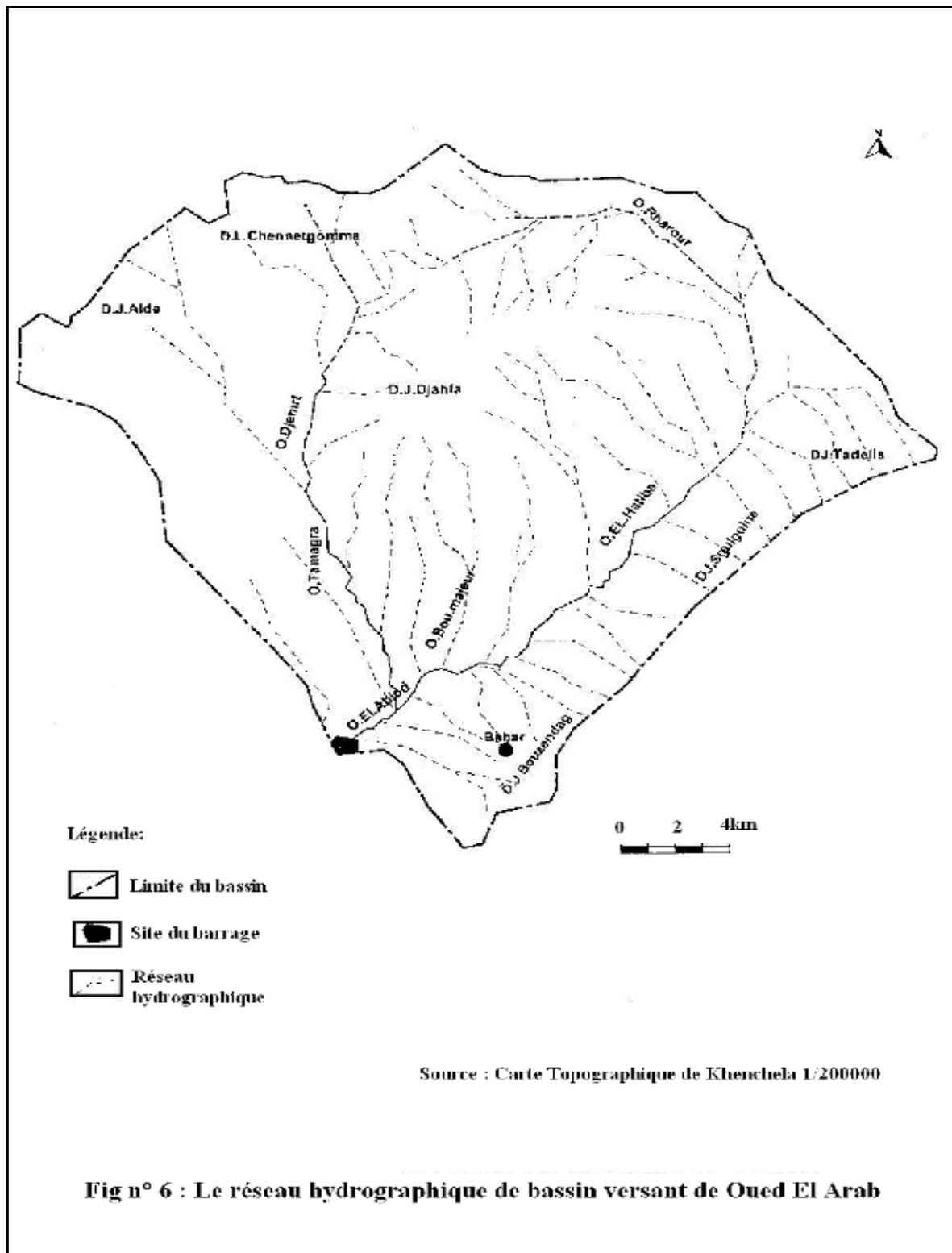
2.4.1. Caractéristiques du réseau hydrographique

La longueur totale de l'ensemble du chevelu hydrographique est mesurée par le curvimètre à partir de la carte topographique au (1/200000) de Khenchela.

2.4.1.1. Densité de drainage D_d :

Elle est déterminée comme étant le rapport entre la longueur totale des cours d'eau de tout ordre (L_x) sur la surface du bassin versant (S).

La longueur des thalwegs est mesurée à l'aide du curvimètre pour chaque ordre séparément. La densité de drainage est donnée par l'équation suivante:



$$D_d = \frac{\sum_{x=1}^7 L_x}{S}$$

Où:

D_d : densité de drainage en (km/km²)

L_x : longueur totale cumulée de l'ensemble des talwegs

S : superficie du bassin versant; $S = 567\text{km}^2$

Soit:

$$D_d = \frac{27216}{567} \Rightarrow D_d = 4,8\text{km}/\text{km}^2$$

2.4.1.2. Coefficient de torrentialité

C'est le produit de la densité de drainage par la fréquence des talwegs élémentaires.

$$C_t = D_d \cdot \frac{N_l}{S}$$

Où:

C_t : coefficient de torrentialité.

D_d : densité de drainage ; $D_d=4,8\text{km}/\text{km}^2$

N_l : nombre de talwegs d'ordre « 1 » $N_l= 4123$

S : surface du bassin versant $S=567\text{km}^2$

Soit:

$$C_t = 4,8 \times \frac{4123}{567} \Rightarrow C_t = 34,9$$

2.4.1.3. Temps de concentration

C'est le temps que met une goutte d'eau tombée au point hydrauliquement le plus éloigné pour arriver à l'exutoire. On va utiliser la formule de GIANDOTTI pour déterminer ce paramètre

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L_p}{0,8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

Où:

T_c : temps de concentration (heures)

S : superficie du bassin versant, $S=567\text{km}^2$

L_p : longueur du talweg principal, $L_p= 51\text{km}$

H_{moy} : altitude moyenne du bassin versant ; $H_{moy}=1190\text{m}$

H_{min} : altitude moyenne du bassin versant ; $H_{min}= 900\text{m}$

Soit:

$$T_c = \frac{4\sqrt{567} + 1,5 \times 51}{0,8\sqrt{1190 - 900}}$$

$$T_c = 12,6 \text{ heures}$$

On remarque que ce temps de concentration est lent ce qui permet de prendre les précautions nécessaires en cas de crue exceptionnelle.

2.4.1.4. Vitesse de concentration :

C'est la vitesse moyenne de propagation de la crue, elle est calculée par la formule suivante :

$$V_c = \frac{L_p}{T_c}$$

Où:

V_c : vitesse de concentration ; (km/h)

L_p : longueur du talweg principal ; $L_p = 51 \text{ km}$

T_c : temps de concentration ; $T_c = 12,6 \text{ h}$

A.N:

$$V_c = \frac{51}{12,6} = 4,048 \text{ km/heure}$$

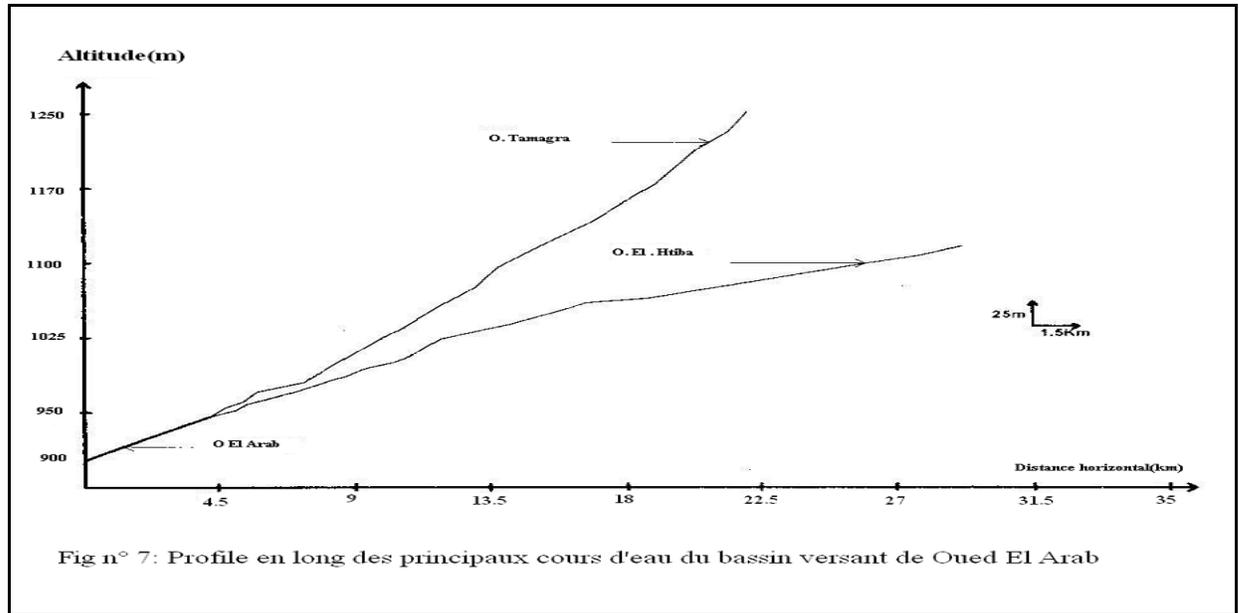
2.4. Profil en long des principaux cours d'eau du bassin versant de Oued El Arab

Oued El Arab et ses affluents ont des tracés avec des ruptures de pentes très fortes ce qui augmente la vitesse d'écoulement et surtout dans des crues exceptionnelles. L'étude du profil en long (Fig.7) montre des ruptures de pente très fortes dues à l'existence de seuils rocheux particulièrement résistants. Notamment à l'Oued Tamagra qui présente des pentes fortes. A ce niveau on peut distinguer les ruptures suivantes:

ü La première rupture importante sur Oued Tamagra est observée à l'altitude de 1095m.

ü La deuxième rupture est observée sur Oued El Htiba à l'altitude de 1050m, où la pente est plus accentuée faisant augmenter la vitesse d'écoulement.

Ü La troisième sur Oued El Htiba à l'altitude de 1025m, et Oued Tamagra à l'altitude de 970m, qui se stabilise et donnée l'occasion à l'eau de s'infiltrer.



L'ensemble des caractéristiques de ce bassin versant ont été représentées dans le tableau 06

. Tableau n° 06: récapitulatif des caractéristiques du bassin versant

caractéristiques	Unités	Symboles	Valeurs
Surface	Km ²	S	567
Périmètre	km	P	95,24
Altitude maximale	m	H _{max}	2326
Altitude minimale	m	H _{min}	900
Altitude moyenne	m	H _{moy}	1190
H5%	m	H _{5%}	1695
H95%	m	H _{95%}	975
Indice de compacité	-	K _c	1,12
Longueur du rectangle équivalent	km	L	23,81
Largeur du rectangle équivalent	km	l	23,81
Indice de pente globale	m/km	I _g	30,24
Indice de pente moyenne	m/km	I _m	59,89
Altitude médiane	m	H _{50%}	1130
Dénivelée spécifique	m	D _s	720,07
Longueur du talweg principal	km	L _p	51
Densité de drainage	Km/km ²	D _d	4,8
Coefficient de torrencialité	-	C _t	34,9
Temps de concentration	heurs	T _c	12,6
Vitesse de concentration	Km/heurs	V _c	4,04

CONCLUSION

Le bassin versant de Oued El Arab est situé dans une zone entourée par les reliefs avec une superficie de 567km² et de forme carré.

La distribution des altitudes du bassin versant de Oued El Arab montre que la majeure partie de ce bassin (70.6%) est située entre les cotes (1000-1300m).

Le réseau hydrographique de ce bassin versant est bien développé avec une densité de drainage (D_d=4.8km/km²) où dominant les formations du Quaternaire à perméabilité moyenne ce qui favorise le phénomène d'érosion.

Le profil en long des oueds principaux montre que la densité de drainage et la pente des oueds sont très fortes ce qui favorise le ruissellement.

CHAPITRE 3
HYDROCLIMATOLOGIE

Introduction

Le sous bassin de Oued El Arab appartient au grand bassin versant de Chott Melrhir, il possède un climat semi aride, peu pluvieux en hiver et très chaud et sec en été avec des vents parfois violents. L'étude des données climatiques permettant d'analyser les facteurs du climat de cette zone qui nous renseignera sur :

- Le type du climat
- le comportement hydroclimatologique du bassin versant.
- le bilan hydrologique.

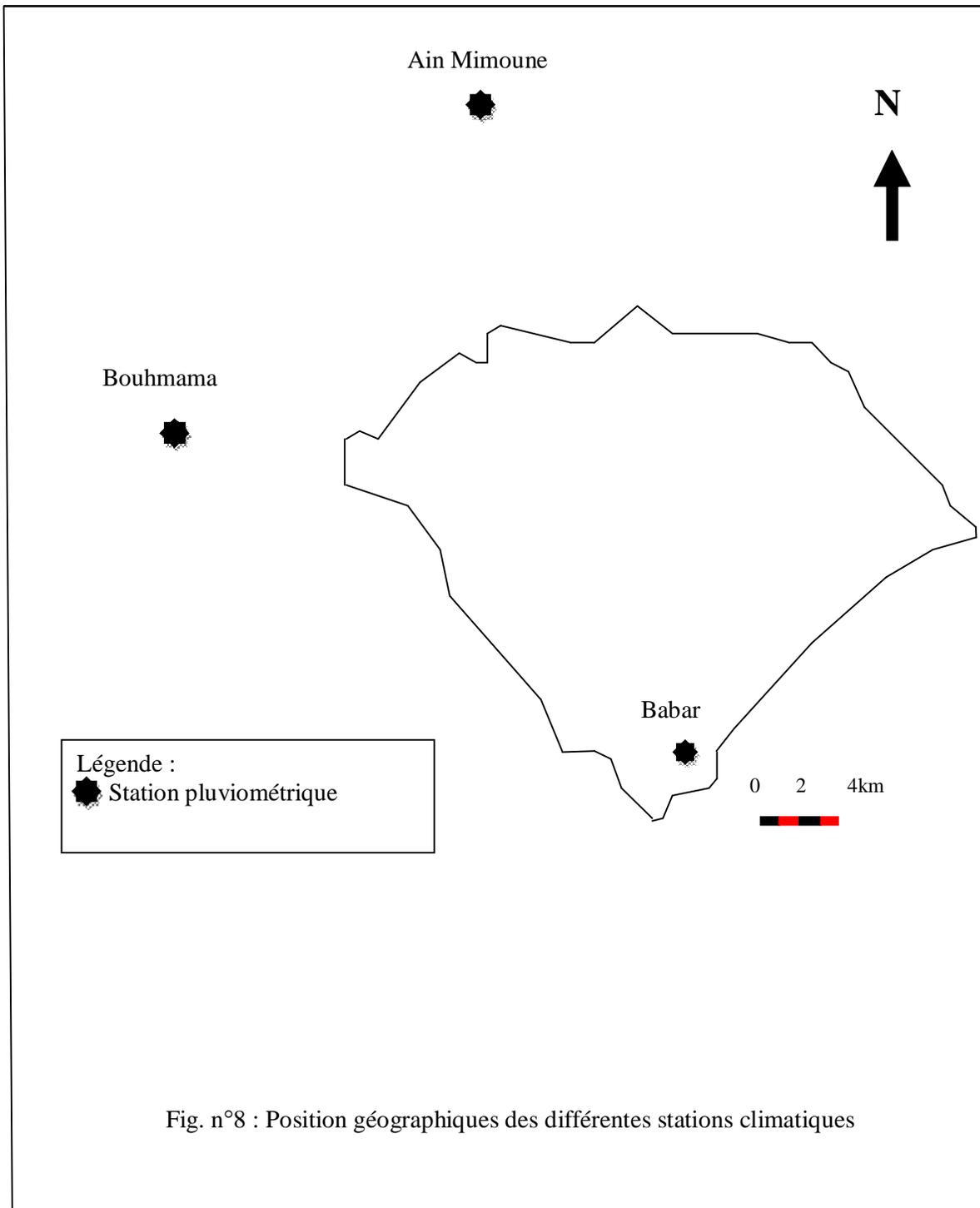
Ces paramètres sont soit mesurés sur le terrain (précipitations, températures, évaporation) soit calculés par des formules (ETP, ETR, R, I).

3.1. Réseau hydroclimatique de la zone d'étude

Pour La région étudiée, nous avons trois stations pluviométriques (Tableau n° 07, Fig. n° 8), dont les données s'étalent sur la période allant de 1969 à 2005. L'une de ces stations se trouve à l'intérieur du bassin versant et les deux autres stations sont situées à l'extérieur du bassin. Toutes ces stations sont gérées par l'ANRH.

Tableau n° 07: caractéristiques des stations pluviométrique du bassin versant de Oued El Arab

Stations	latitude	longitude	Altitude (m)	Bassin versant
Babar	35°10N	7°09E	1145	Oued El Arab
Bouhmama	35°16N	6°44E	1098	Oued El Abiod
Ain Mimoun	35°23N	6°57E	1056	Foum El Gais



3.2. Études des paramètres climatologiques

3.2.1. Les précipitations

On entend par précipitations la hauteur de la lame d'eau recueillie par le pluviomètre, quelque soit l'origine de cette eau, pluie, neige, grêle, ou autres formes de condensation. Nous

intéresserons dans cette étude uniquement aux précipitations liquides (pluies), qui constituent le facteur primordial dans le comportement hydrologique de la région.

3.2.1.1. Le contrôle de la fiabilité des données: méthode de double cumulée

Avant l'analyse proprement dite des précipitations, il faut au préalable procéder au contrôle de la qualité de ces données et détecter les erreurs systématiques qui peuvent les affecter. La méthode du double cumulée permet de faire ressortir les hétérogénéités qui peuvent exister à l'intérieur des séries de précipitations annuelles et de les corriger.

Cette méthode simple consiste à comparer les totaux pluviométriques de chaque poste avec le totale cumulé d'une station de base se trouvant dans la même région climatique de longue durée et ne présentant pas une rupture d'homogénéité. La méthode suppose implicitement que la pluviométrie annuelle à un poste se déduit de la pluviométrie de la même année à un autre poste par un coefficient multiplicateur qui est une variable dépendante de la liaison entre les stations. L'application de cette méthode suppose une liaison positive significative entre les deux totaux annuels. La courbe des valeurs cumulées est obtenue en portant:

- ▼ En abscisse les totaux annuels cumulés de la station de base supposée homogène.
- ▼ En ordonnées les totaux annuels cumulés de la station à contrôler.

Si les séries sont homogènes, les points forment une ligne droite avec évidemment une certaine dispersion des points, si au contraire on a plusieurs segments de droite de pente m et m' , la station à vérifier présente une anomalie. On procédera alors à une correction des données de cette station, en multipliant les valeurs erronées par le rapport de pentes m/m' ou m'/m . Les totaux cumulés annuels pluviométriques des 3 stations sont donnés dans l'ANNEXE I. La station de Babar semble être la plus représentative à cause de son personnel qualifié et sa longue série d'observation.

L'examen de la figure n°09 montre que la station de Bouhmama s'alignent suivent une seule direction sans cassure apparente, ce qui suppose que la série est homogène, et ne présente pas d'erreurs systématiques importantes sur la période considérée. Par contre pour la station de Ain Mimoune, il apparaît une cassure en l'année 2001 pour La correction de ces données nécessite une multiplication des années de la période (2002-2005) par le rapport (m/m'). Tableau 08 et figure 09

Tableau n°8 : La correction faite pour la période (2002-2005)

Poste pluviométrique	Période corrigé	Rapport m/m'	Précipitation observée (mm)	Précipitation corrigée (mm)
Ain-Mimoune	2002	1,23	415,4	510,942
	2003		459,6	565,308
	2004		472,5	581,175
	2005		576,7	709,341

3.2.1.1.1. Etude de la corrélation :

En tenant compte de la spécificité de chaque station, des conditions climatiques, nous avons essayé de voir la relation qui existe entre les stations. Pour cela nous avons calculé le coefficient de corrélation annuel, à l'aide de la formule suivante :

$$r = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x_i^2 \sum y_i^2}}$$

Plus la valeur de r est proche de l'unité, plus l'hypothèse d'une corrélation est envisageable. Le coefficient de corrélation entre chaque station et la station référence (Babar), est significatif donc le choix de la station de base est conforme. Les résultats de calcul sont donnés dans le tableau n° 9.

Tableau n° 9 : Les valeurs du coefficient de corrélation des différentes stations :

Poste pluviométrique	Le coefficient de corrélation
Ain mimoun et Babar	0.94
Bouhmama et Babar	0.98

D'après le tableau n°10 (seuil 5%) on remarque que le coefficient de corrélation des différentes stations du bassin, est supérieur au coefficient critique ($r = 0.56$) pour 37 couples de valeurs. Donc on peut dire que nos échantillons ont une corrélation significative.

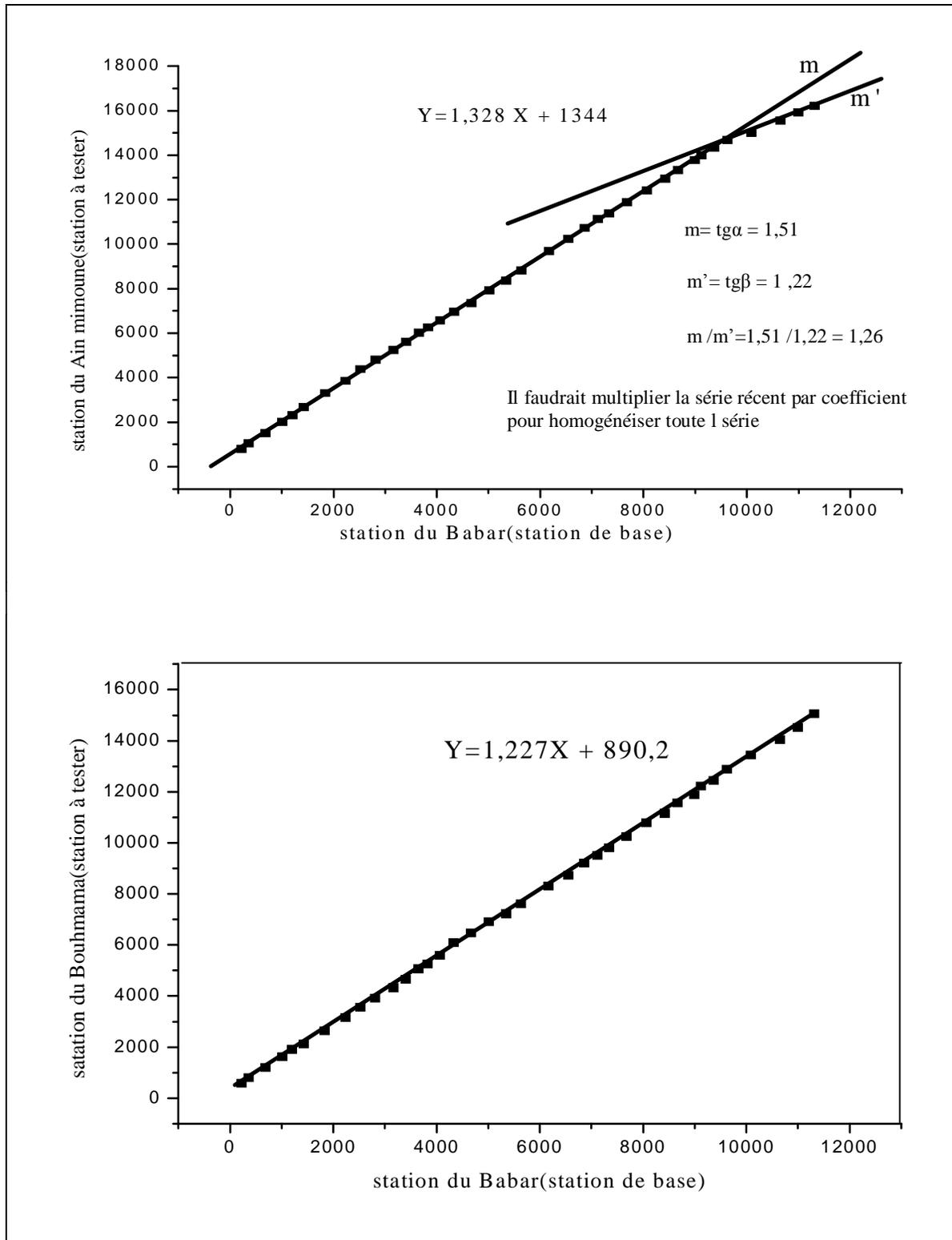


Fig. n°09 : teste d'homogénéisation des données pluviométriques par la méthode de double cumulée.

Tableau n°10 : Les valeurs du coefficient de corrélation critique d’après (A. Mangin 1984) :

N° de couple de valeurs	Seuil de 5 %	Seuil de 1%	N° de couple de valeurs	Seuil de 5 %	Seuil de 1%
5	0.992	0.977	19	0.754	0.818
6	0.979	0.991	20	0.741	0.804
7	0.961	0.981	25	0.684	0.760
8	0.943	0.969	30	0.638	0.705
9	0.925	0.955	35	0.600	0.667
10	0.903	0.941	40	0.563	0.634
11	0.883	0.926	45	0.541	0.606
12	0.864	0.912	50	0.518	0.580
13	0.846	0.898	60	0.477	0.539
14	0.828	0.883	70	0.445	0.505
15	0.814	0.868	80	0.419	0.476
16	0.797	0.854	90	0.397	0.449
17	0.782	0.843	100	0.373	0.429
18	0.766	0.828	125	0.341	0.391

3.2.1.2. Répartition interannuelle des précipitations

Pour étudier ces données, nous nous sommes basés sur une série de mesures s’étalant sur la période allant de 1969 à 2005. Cette série représentée dans l’ANNEXE II et la figure n° 11, permettent de dire que pour:

Ø la station de Babar

Le maximum de la pluviométrie a été observé en 2003 avec 563 mm et alors que le minimum a été enregistré en 1970 avec 140 mm. Le module pluviométrique interannuel est égal à 310 mm.

Ø la station d’Ain Mimoune

Pendant la période d’observation, le maximum de la pluviométrie a été observé en 1969 avec 790 mm alors que le minimum est de 145 mm qui a été enregistré en 1996. Le module pluviométrique interannuel est égal à 457mm.

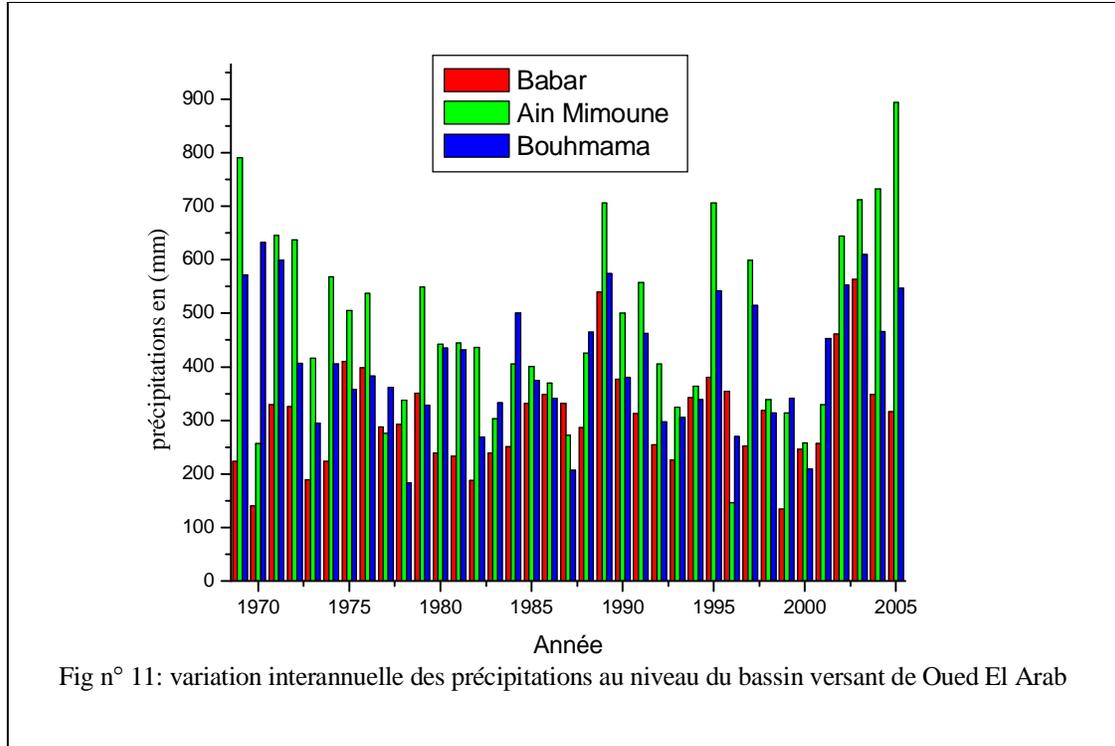
Ø la station de Bouhmama

Pendant la période d’observation, le maximum de la pluviométrie a été observé en 1970 avec 632 mm alors que le minimum a été enregistré en 1978 avec 182 mm. Le module pluviométrique interannuel est égal à 406 mm.

En générale :

- Ø Les modules pluviométriques sont généralement faibles, ils varient entre 310 mm et 457 mm.
- Ø La variation de la pluviométrie interannuelle pour les trois stations est identique, le coefficient de variation varie entre 0,29 et 0,32.

L'allure de la répartition interannuelle des précipitations est pratiquement identique, pour les trois stations.



3.2.1.3. Les précipitations mensuelles et saisonnières :

L'étude des précipitations mensuelles et saisonnières s'avère déterminante sur l'écoulement fluvial et sur le comportement hydrologique de l'oued.

A. Répartition moyenne mensuelle

Pour caractériser le régime des pluies à une station exploitée depuis de nombreuses années, il est de tradition d'établir la courbe des hauteurs des pluies moyennes mensuelles en fonction du temps. Pour une station météorologique donnée, la pluviométrie mensuelle est très variable, et n'offre pas des courbes régulièrement croissantes. Les mois où la pluviométrie est inférieure à la moyenne mensuelle de l'année ne se succèdent pas (Fig. n°12).

L'analyse des graphes relatifs à la variation des précipitations mensuelles montre que le début des précipitations est enregistré durant le mois de Aout, avec un maximum soit au mois de mars soit au mois de novembre, alors que le minimum est enregistré au mois de Juillet pour toutes les stations. La précipitation moyenne mensuelle est obtenue de la manière suivante:

$$\bar{p} = \sum \frac{P_i}{N}$$

Où :

P_i : la hauteur de pluie mensuelle exprimée en mm

N : nombre de mois au cours de l'année

B- Ecart type

Il s'obtient de la manière suivante, et il exprime la variabilité du paramètre en question autour de la moyenne.

$$s = \sqrt{\sum \frac{(P_i - \bar{P})^2}{n - 1}}$$

C- Coefficient de variation

Ce paramètre traduit l'ampleur de variation du paramètre entre le minimum et le maximum, il est défini à l'aide de la formule suivante :

$$C_v = \frac{s}{\bar{P}}$$

D- Ecart à la normale

Le calcul de l'écart à la normale donne une idée sur la sécheresse ou l'humidité d'une période considérée par rapport au module pluviométrique moyen à l'aide de la formule suivante:

$$e_i = \frac{P_i - \bar{P}}{\bar{P}} 100$$

Avec:

P_i : Module pluviométrique moyen exprimé en mm.

\bar{P} : Précipitation moyenne mensuelle

Les valeurs des paramètres cités (les précipitations moyennes mensuelles, annuelles, écart type, coefficient de variation et écart à la normale) sont indiqués dans le tableau n° 11 et la Figure.12

Tableau n°11: caractéristiques statistiques des séries pluviométriques

Station	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	
Babar	\bar{P}	35	29	26	29	27	25	37	26	36	23	9	22
	S	30.92	25.65	24.70	20.31	15.35	23.06	26.9	16.54	37.27	18.89	15.6	27.68
	C_v	0.87	0.85	0.93	0.93	0.89	0.89	0.73	0.62	1.02	0.80	1.66	1.24
	e_i	Année sèche extrême P_i (1968-1969) = -57%											
	e_i	Année humide extrême P_i (1988-1989) = 93%											
	P	Moyenne annuelle (1969-2005) = 310 mm											
Ain mimoune	\bar{P}	40	40	41	43	36	37	51	44	46	26	11	25
	S	35.36	37.84	31.35	43.76	35.16	33.2	39.9	36.24	34.17	27.70	12.88	26.37
	C_v	0.88	0.94	0.75	1	0.95	0.87	0.77	0.80	0.73	1.03	1.11	1.01
	e_i	Année sèche extrême P_i (1976—1997) = - 67 %											
	e_i	Année humide extrême P_i (2004-2005) = 76 %											
	P	Moyenne annuelle (1996-2005) = 474 mm											
Bouhmama	\bar{P}	40	36	42	38	37	35	39	34	36	25	16	20
	S	37.99	30.56	38.50	40.78	37.28	27.13	26.4	31.6	31.83	25.44	26.45	26.44
	C_v	0.93	0.84	0.91	1.05	0.98	0.76	0.67	0.92	0.86	0.99	1.56	1.28
	e_i	Année sèche extrême P_i (1987-1988) = - 48 %											
	e_i	Année humide extrême P_i (1970-1971) =56 %											
	P	Moyenne annuelle (1973-2004) = 406 mm											

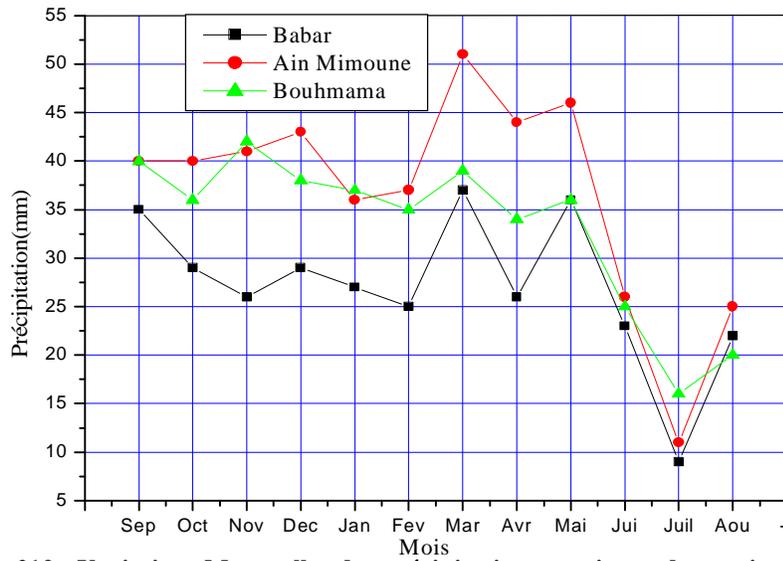


Fig n°12 : Variations Mensuelles des précipitations au niveau des stations de Babar Ain Mimoune et Bouhmama

B. Répartition saisonnière des précipitations

Pour distinguer les pluies saisonnières survenant dans des conditions de température et à des phases de développement de la végétation différentes, nous avons calculé le pourcentage des précipitations de chaque saison par rapport au total annuel (Tableau n 12).

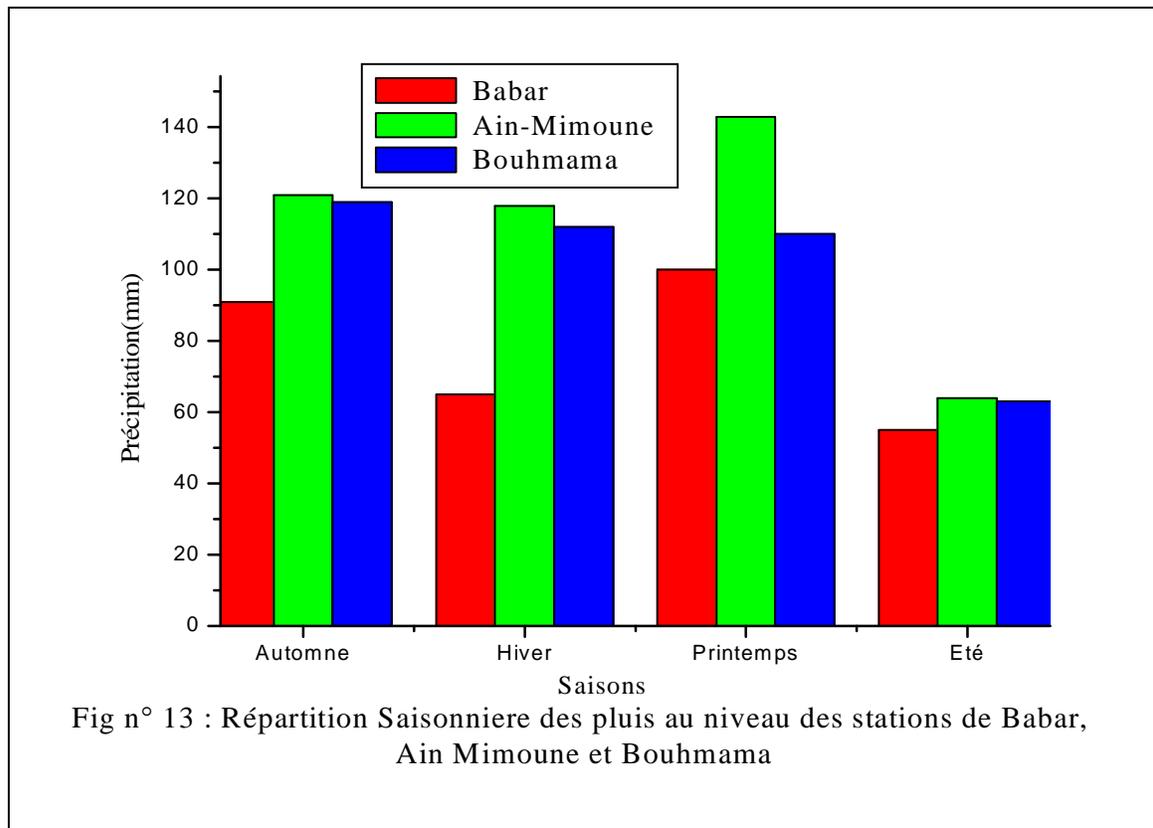
Le graphe traduit clairement les variations saisonnières de la distribution des précipitations à l'échelle annuelle et permet de distinguer deux grandes périodes. (Fig. 13). La première où les précipitations sont maximales alors que la deuxième est caractérisée par de faibles valeurs de précipitations.

Tableau n° 12: Répartition saisonnière des précipitations

Saison	Automne		Hiver		Printemps		Eté	
stations	Sep - Oct - Nov		Déc - Jan - Fev		Mar – Avr - Mai		Jui - Juil – Aou	
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
Babar	91	29.35	65	20.96	100	32.25	55	17.74
Ain mimoune	121	27.19	118	25.16	143	32.13	64	14.38
Bouhmama	119	29.31	112	27.58	110	27.03	63	15.51

La répartition saisonnière des pluies montre que le niveau des pluies tombent est accumulé dans la saison automne, en hiver et au printemps, par contre l'été est la saison la moins arrosée. Les stations de Ain Mimoune, Bouhmama, le maximum des précipitations est enregistré pendant l'automne, l'hiver et le printemps alors que le minimum est enregistré en été.

Par contre pour la station de Babar, le maximum est enregistré uniquement pendant l'automne et le printemps. Par contre le minimum est enregistré en plus de l'été, en hiver.



3.2.1.4. Evaluation de la lame d'eau précipitée sur le bassin versant

L'analyse des précipitations sur l'ensemble d'un bassin repose sur l'hypothèse selon la quelle la pluie observée sur une station est répartie de manière homogène sur toute une surface plus ou moins étendue autour de cette station. Pour évaluer la lame d'eau moyenne annuelle précipitée dans le bassin versant de Oued El Arab pendant une période de 1969 à 2005. Nous avons utilisée trois méthodes qui sont la méthode arithmétique, la méthode de Thiessen et la méthode des isohyètes.

A. Méthode de la moyenne arithmétique

La méthode la plus simple consiste à calculer la moyenne arithmétique des hauteurs des précipitations relevées dans le même interval de temps aux diverses stations du bassin. Cette méthode peut être adoptée tant que l'écart entre les différentes valeurs n'est pas assez important (Tableau n°13). Elle s'obtient à partir de la formule suivante:

$$\bar{P} = \sum \frac{P_i}{n}$$

Avec :

P_i : Pluviométrie moyenne annuelle de chaque station en mm;

n : Nombre de stations utilisées.

Tableau n°13 : Les précipitations moyennes annuelles des différentes stations (1969-2005)

Stations pluviométriques	Precipitations moyenne en (mm)
Babar	310
Ain mimoune	457
Bouhmama	406

Donc:

$$\bar{P} = \frac{1173}{3}$$

$$\bar{p} = 391 \text{ m}$$

B. Méthode de Thiessen

C'est l'une des méthodes les plus rapides et les plus utilisées, elle consiste à diviser la surface du bassin en polygones, dans lesquels on attribue à chaque poste pluviométrique un poids proportionnel à une zone d'influence; Un point situé dans cette zone est soumis à la même précipitation que celle du poste pluviométrique. (Fig. 14). La précipitation moyenne est calculée à l'aide de la formule suivante:

$$\bar{P} = \frac{\sum (S_i * P)_i}{\sum S_i}$$

Avec:

P_i : la pluie moyenne sur la surface élémentaire qui est égale à celle de la station située à l'intérieur de cette surface élémentaire.

S_i : surface élémentaire du polygone en question.

S_t : surface totale du bassin versant.

Pour le bassin versant de Oued Al Arab cette méthode donne une hauteur pluviométrique moyenne annuelle de 361 mm.

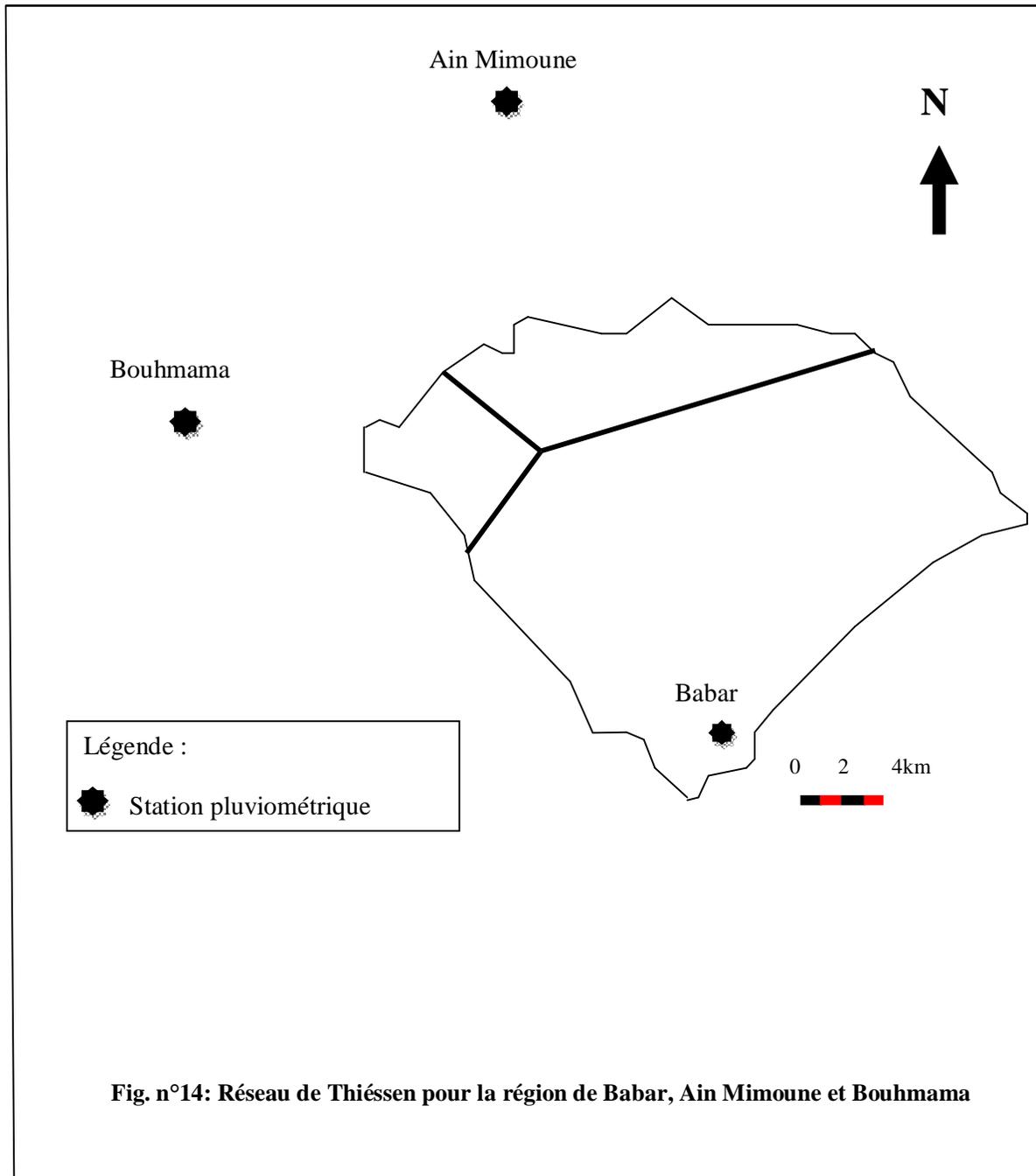


Fig. n°14: Réseau de Thiessen pour la région de Babar, Ain Mimoune et Bouhmama

c. Méthode des isohyètes

L'estimation de la lame d'eau par cette méthode est la plus fiable, car elle tient compte non seulement de la variation de la pluie avec l'altitude, mais aussi de la variation de la pluie liée à l'exposition aux vents. En partant de la carte des isohyètes de la Fig. n°15, tracée pour la période (1969-2005) on mesure les surfaces comprises entre deux courbes isohyètes successives, en supposant que la hauteur de pluie tombée sur cette surface est égale à la moyenne des valeurs des deux isohyètes qui la délimitent (tableau n°14). La lame d'eau tombée sur le bassin versant de Oued El Arab est calculée par la formule suivante:

$$P_{moy} = \frac{\sum P_i A_i}{A}$$

Où :

A_i : surface inters- isohyètes en km².

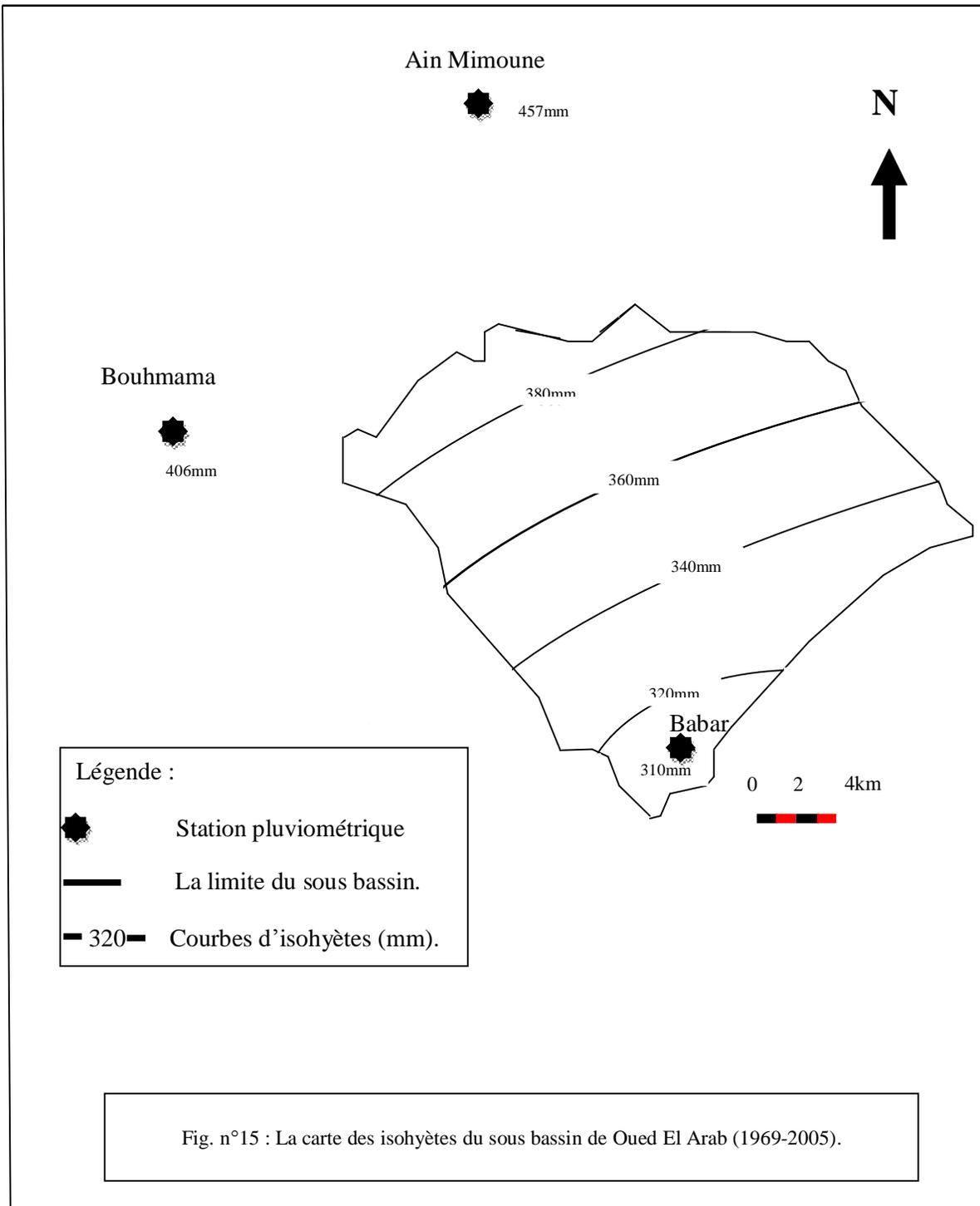
P_i : Pluviométrie moyenne inter- isohyète en (mm).

A : surface totale du bassin en km².

Tableau n°14 : Estimation de la lame d'eau moyenne précipitée sur le bassin versant de Oued El Arab par la méthode des isohyètes

Courbes d'isohyètes	Précipitation moy (mm)	Superficie (km ²)	Le volume (m ³)
300-320	310	50	15500
320-340	330	120	39600
340-360	350	162	56700
360-380	370	155	57350
380-400	390	80	31200

$$\Rightarrow P_{moy} = \frac{192470}{567} \Rightarrow P_{moy} = 354mm$$



3.2.2. La température

La température de l'aire agit directement avec les autres facteurs météorologiques (précipitation, insolation, etc....). Sur le bilan et le climat d'une région. On remarque que seule la station de Babar dispose de données de température qui s'échelonnent entre 1980 et 2005

Notre région est caractérisée par un été chaud et sec et un hiver relativement doux, (Tableau n°15, Figure. 16). Le mois le plus froid est janvier avec une température moyenne de (06°C) et un minimum de 1°C.

Le mois le plus chaud est juillet avec une température moyenne de (26.09°C) et qui peut atteindre (35.74°).

Tableau n°15 : Températures moyennes mensuelles et annuelles à la station de Babar pour la période (1980-2005)

Station	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Aou
T°C min	13,05	5,93	2,5	1,02	1	1,75	3,28	5,4	9,02	14,11	17,03	15,06
T°C moy	21.15	13,87	9,55	6.05	6	7.12	10.17	13,69	19,52	24.20	26.09	24,11
T°C max	29,1	21,82	16,51	11,08	11	12,07	17,06	23,08	30,02	34,09	35,06	34,05

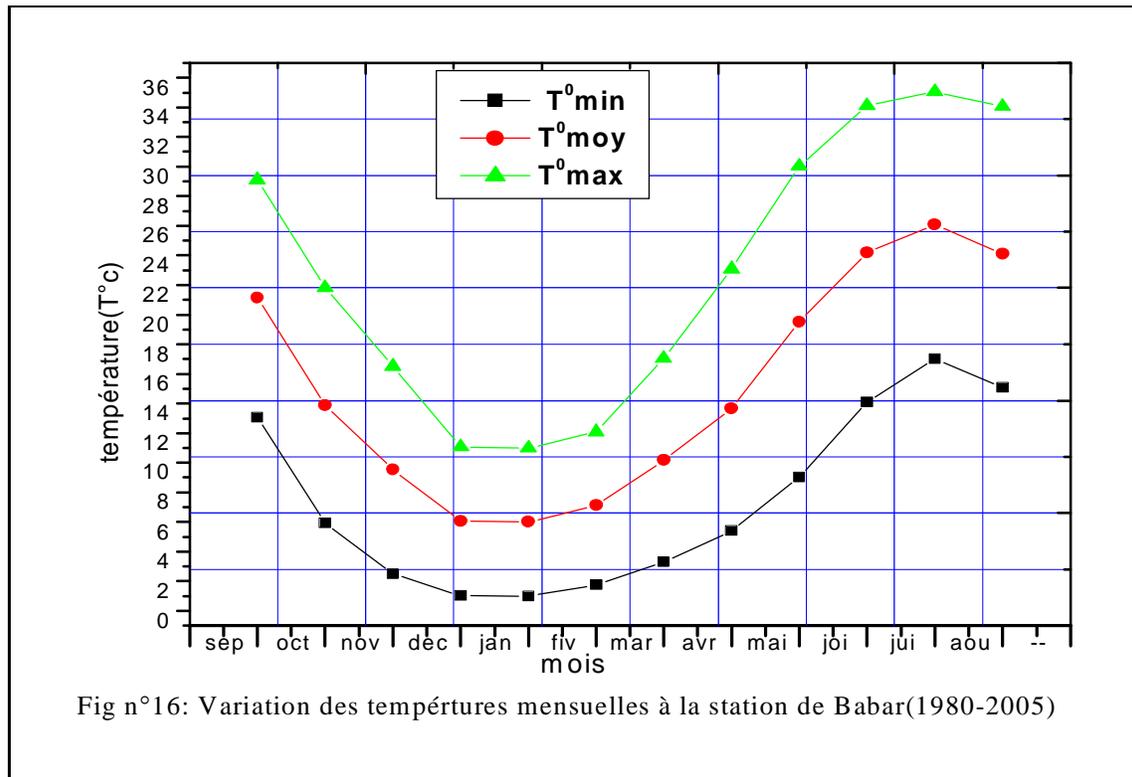


Fig n°16: Variation des tempértures mensuelles à la station de Babar(1980-2005)

3.2.3. Le régime climatique du bassin versant

3.2.3.1. Indice d'aridité

En 1925 Emmanuel De Martonne a proposé une formule climatologique permettant le calcul d'un indice dit indice d'aridité (I_a). Cet indice est fonction de la température (T en °C) et des précipitations (P en mm) et permet de déterminer le type de climat qui caractérise la zone d'étude. Ce paramètre se calcule selon la formule suivante:

$$I_a = \frac{P}{T+10}$$

Avec :

I_a : indice d'aridité

P : précipitations moyennes annuelles (mm).

T : températures moyennes annuelles (°C).

Les valeurs de l'indice permettent déterminer le climat selon le classement suivant:

Quand

- $I < 5$ —————> le climat est hyperaride
- $5 < I < 7.5$ —————> le climat est désertique
- $7.5 < I < 10$ —————> le climat est steppique
- $10 < I < 20$ —————> le climat est semi-aride
- $20 < I < 30$ —————> le climat est tempéré
- $I > 30$ —————> le climat est humide.

Pour la station de Babar, cet indice est égale à: $I_a = 12.35$, ce qui permet de dire que le climat est de type semi aride avec un écoulement temporaire. Figure n° 17

3.2.3.2. Le diagramme de L. Emberger

Pour préciser le climat de la région, nous employons le Climagramme de L. Emberger (Fig.18) sur lequel nous avons reporté les données relatives à la station de Babar avec en abscisse la moyenne de la température minimale (en °C), et en ordonnée Q_2 donné par la formule suivante:

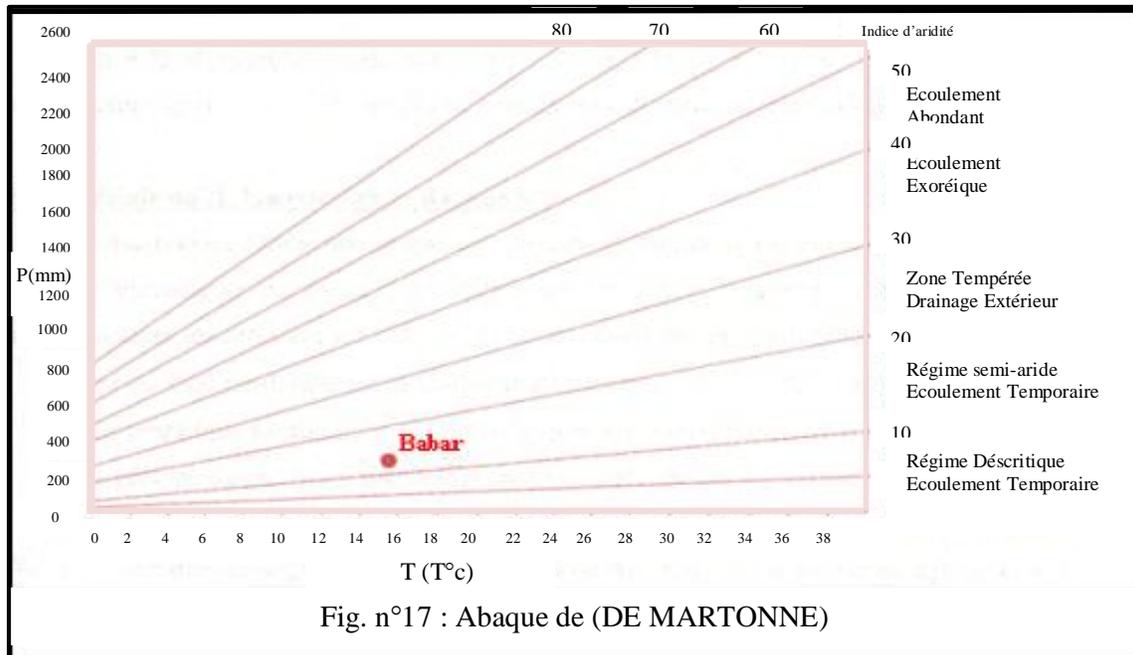
$$Q_2 = \frac{2000 P}{M^2 - m^2} \quad \text{Avec :}$$

P : Précipitations annuelles en mm ;

M : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en degré absolu (°k) ;

m : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid en degré absolu (°k),

($T^0k = T^0c + 273,2$);



Après le calcul, nous obtenons les résultats qui ont été reportés dans le tableau n°16 :

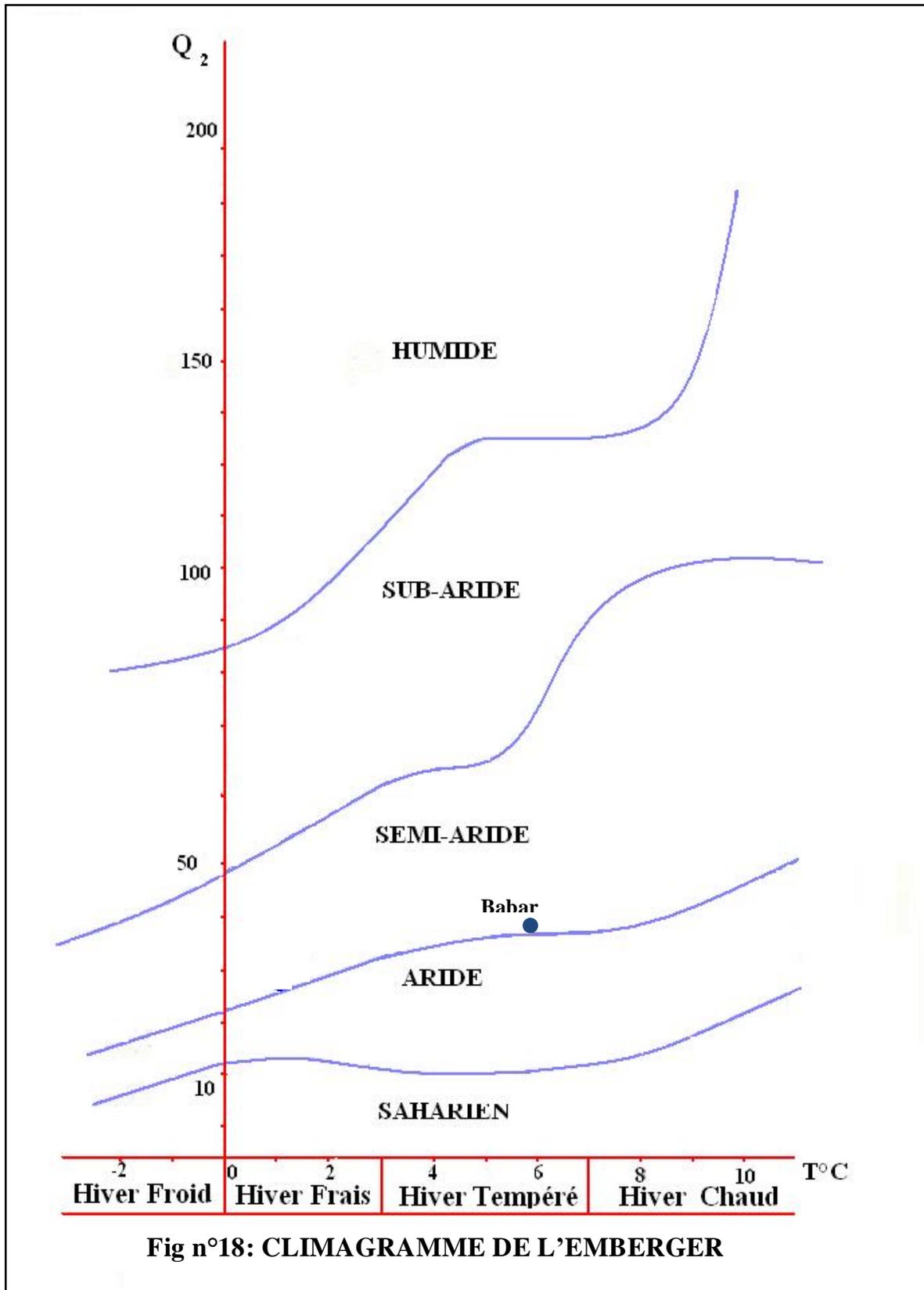
Tableau n°16 : Les valeurs de Q₂

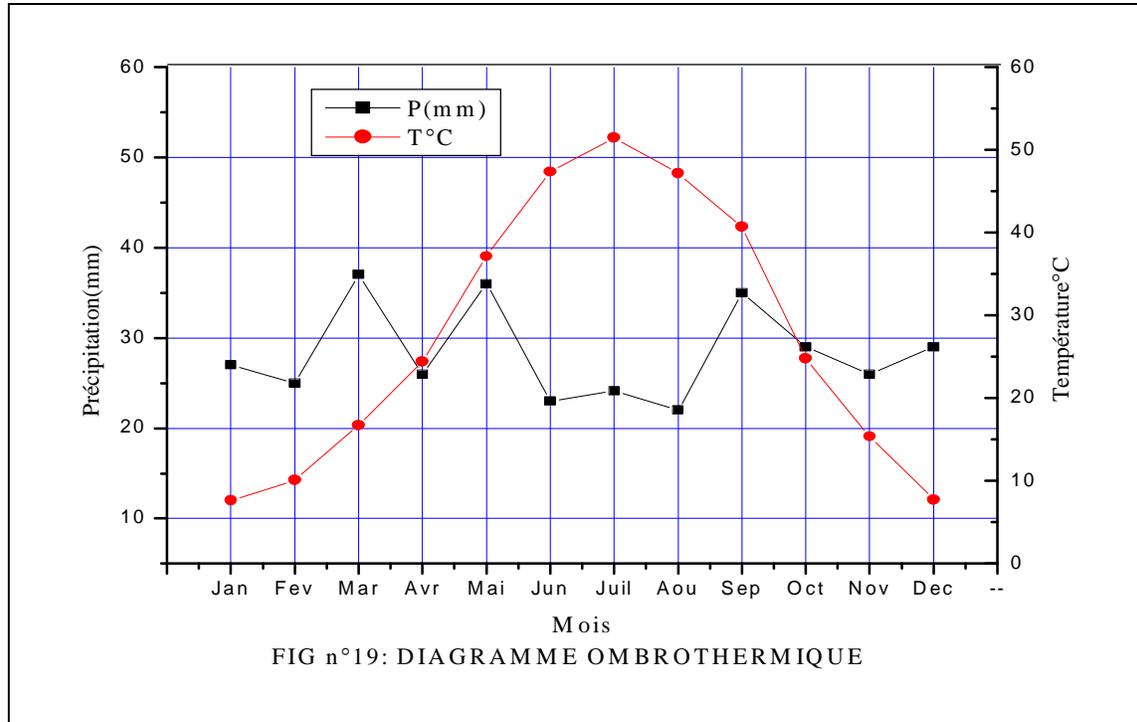
Stations	P (mm)	M		M		Q ₂
		⁰ C	⁰ k	⁰ C	⁰ k	
Babar	310	35.06	308.26	1	274.2	31.29

D’après les valeurs du tableau 16, le Climagramme de L. Emberger, permet de dire que la région étudiée a un climat aride à semi-aride.

3.2.3.4. Diagramme Ombrothermique de Gausse

La combinaison des deux principaux facteurs climatiques, la température et les précipitations est intéressante dans la mesure où elle permet de déterminer les mois véritablement secs. Cette relation permet d’établir un graphe dit Ombrothermique sur le quel les températures sont portées à l’échelle double des précipitations (Fig. 19). Nous constatons que la station de Babar est caractérisée par une période sèche qui s’étale sur plus de quatre mois, et qui s’étend à la fin de mois de Mai jusqu’au mois de Aout. La détermination de cette période est d’une grande importance pour l’hydrologie à fin de pouvoir estimer les besoins en eau.





3.2.3.5. Régime des vents

Le vent est un déplacement d'air à peu près horizontalement qui agit surtout sur la pluviométrie, l'évaporation, la température et l'humidité de l'air, il est donc un élément déterminant pour le climat.

Dans cette région, les vents dominants au cours de l'année ont une direction Nord Est. Ils sont fréquents pendant l'automne, et l'hiver. Ils ont généralement un caractère pluvieux et une vitesse assez impotente. Les vents du Sud Ouest ont une vitesse qui s'échelonne entre 15m/s et 29m/s, sont secs et chauds, ils soufflent fréquemment pendant le mois de Juillet rarement pendant le printemps.

3.2.4. L'évaporation

L'évaporation est la restitution de l'eau par l'atmosphère sous forme de vapeur à partir de la surface du sol, quelle que soit sa nature (Sol, végétaux, eau libre). Elle est donc un élément très important pour l'établissement du bilan hydrologique, et dépend de plusieurs paramètres : la température, les précipitations, l'humidité de l'air, le couvert végétal. On distingue : d'évapotranspiration potentielle (ETP) et l'évapotranspiration réelle (ETR).

A. Evapotranspiration potentielle (ETP)

L'évapotranspiration potentielle est la consommation d'eau, sous l'action conjuguée de l'évaporation de l'eau du sol et de la transpiration de la plante. Il s'agit de la perte

d'eau d'un couvert végétal en plein développement sous les conditions optimum d'alimentation en eau sans l'influence d'aucun facteur limitant.

B. Evapotranspiration réelle (ETR)

L'évapotranspiration réelle c'est la quantité d'eau réellement évaporée

3.2.4.1 Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP)

Pour estimer l'évapotranspiration potentielle, on utilise des méthodes basées sur des variables climatiques. Cependant le choix dépend principalement du type de données climatiques disponibles et du type de climat de la région. Les formules empiriques qu'on utilise sont : THORNTHWAIT et ANRH₂₀₀₂.

a) La formule de THORNTHWAIT

. Cette formule a été établie en 1948 et tient compte de l'indice thermique et de la température moyenne mensuelle.

La formule de l'ETP est la suivante:

$$ETP = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a * K, \text{ (en mm).}$$

Où:

ETP: Evapotranspiration potentielle mensuelle en mm

T: température moyenne mensuelle du mois considéré en °C

a: Coefficient calculé par la formule suivante:

$$a = 1,6 \left(\frac{I}{100} \right) + 0,5$$

I : Indice thermique annuel qui est égal à la somme des douze valeurs de l'indice thermique mensuel. Cet indice est calcule par la formule suivante:

$$i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1,5}$$

K : Coefficient de correction, qui dépend de la latitude.

Les résultats de calcul de l'ETP par cette méthode sont présentés dans le tableau n° 17.

Tableau n°17: Calcul de l'ETP selon C.W. Thornthwaite à la station de Babar

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Jun	Jull	Aou	Anne
T(°C)	21.15	13.87	9.55	6.05	6	7.12	10.17	13.69	19.52	24.2	26.09	24.11	15.12
I	8,7	4,6	2,6	1,3	1,3	1,6	2,9	4,5	7,7	10,6	11,91	10,5	/
ETP c	123	112,7	112	117	114	112	113	120	129	130	134	129	/
K	1,03	0,97	0,86	0,85	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	/
ETP r	126,69	109,319	96,32	99,45	99,18	95,2	116,39	130,8	156,09	157,3	164,82	149,64	1501,199

B) la formule de l'ANRH₂₀₀₂

Cette formule empirique. Elle arrive souvent que les données climatiques ne soient pas disponibles pour permettre le calcul de l'ETP. Dans ce cas, on peut utiliser la formule ETP de l'ANRH, qui permet d'évaluer l'évapotranspiration potentielle mensuelle à partir de la seule mesure de température moyenne mensuelle correspondant à la position géographique (ANRH Juin 2002)

$$ETP_{ANRH} = Kr Km (H- 189) (0,032 T + 0,077)$$

Avec:

ETP: l'évapotranspiration potentielle

Kr: coefficient régional qu'on peut lire sur le tableau n°19

Km: coefficient mensuel dont ses valeurs sont données à la figure n°20

T: la température moyenne mensuelle pour le mois considéré (°C)

H: la durée théorique mensuelle d'insolation (heure/mois) et elle exprimée en fonction de l'ordonnée (Y) de lambert souvent la formule suivent:

$$Hi = aiY+bi$$

Avec:

Y: coordonnées de lambert de la zone (Km)

ai, bi : sont données dans le tableau n°18

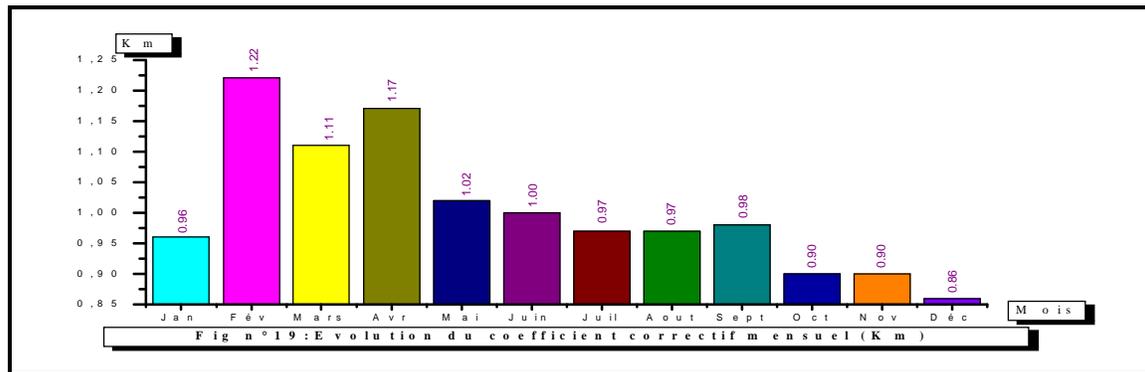


Figure n°20 : Evolution du coefficient correctif mensuel

Tableau n°18 : coefficient d'évaluation des durées théoriques d'insolation pour la formule de l'ANRH

Station	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
ai	-0,0218	-0,011	-0,0012	-0,0098	-0,0201	-0,0248	-0,023	-0,0144	-0,0031	-0,0031	-0,0081	-0,0246
bi	315	307	371	389	429	429	436	414	370	351	311	308

Les résultats de cette formule ont été représentées dans le tableau 19

Tableau n°19: Calcul de l'ETP selon l'ANRH à la station de Babar

Station	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
T°C moy	6,0	7,1	10,2	13,7	19,5	24,2	26,1	24,1	21,2	13,9	9,6	6,1
Kr	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Kc	1,0	1,2	1,1	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9
ai	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
bi	315,0	307,0	371,0	389,0	429,0	429,0	436,0	414,0	370,0	351,0	311,0	308,0
Y	216,8	216,8	216,8	216,8	216,8	216,8	216,8	216,8	216,8	216,8	216,8	216,8
Hi	310,3	304,6	370,7	386,9	424,6	423,6	431,0	410,9	369,3	350,3	309,2	302,7
ETPanrh	15	21	41	60	85	100	107	92	67	38	21	13

3.2.4.2. Calcul de l'évapotranspiration réel (ETR)

Pour le calcul de l'ETR, nous appliquerons plusieurs méthodes, mais l'ETR s'écarte plus ou moins de l'ETP, selon le climat et la nature des surfaces évaporantes.

A. Méthode de Turc

Cette méthode est applicable à tous les climats et elle est fonction des précipitations et des températures moyennes mensuelles. La formule est la suivante :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}$$

Où:

ETR: Evapotranspiration réelle annuelle en mm.

P: Précipitation moyenne annuelle, en mm;

$L = 300 + 25 T + 0,05 T^3$: pouvoir évaporant de l'atmosphère;

T: Température moyenne annuelle, (en °C);

Station de Babar

$P = 310\text{mm}$, $T = 15,12^\circ\text{C}$, $L = 849.65$, $\text{ETR} = 306\text{mm}$. Soit 98% des précipitations.

B. Méthode de M. Coutagne

Cette méthode fait intervenir les températures et les précipitations. Elle s'écrit de la manière suivante :

$$\boxed{\text{ETR} = P - IP^2} \quad \text{Avec : } I = \frac{1}{0,8 + 0,14T}$$

P: Précipitation moyenne annuelle en mm pour l'application numérique et en (m) pour la condition d'utilisation de la formule;

T: Température moyenne annuelle, (en °C);

Cette formule ne sera valable qu'après la vérification de la condition suivante:

$$\boxed{\frac{1}{8I} < P < \frac{1}{2I}}$$

AN

$$I = \frac{1}{0,8 + 0,14 * 15.12} \Rightarrow I = 0.34$$

Donc

$$0.36 < P < 1.46$$

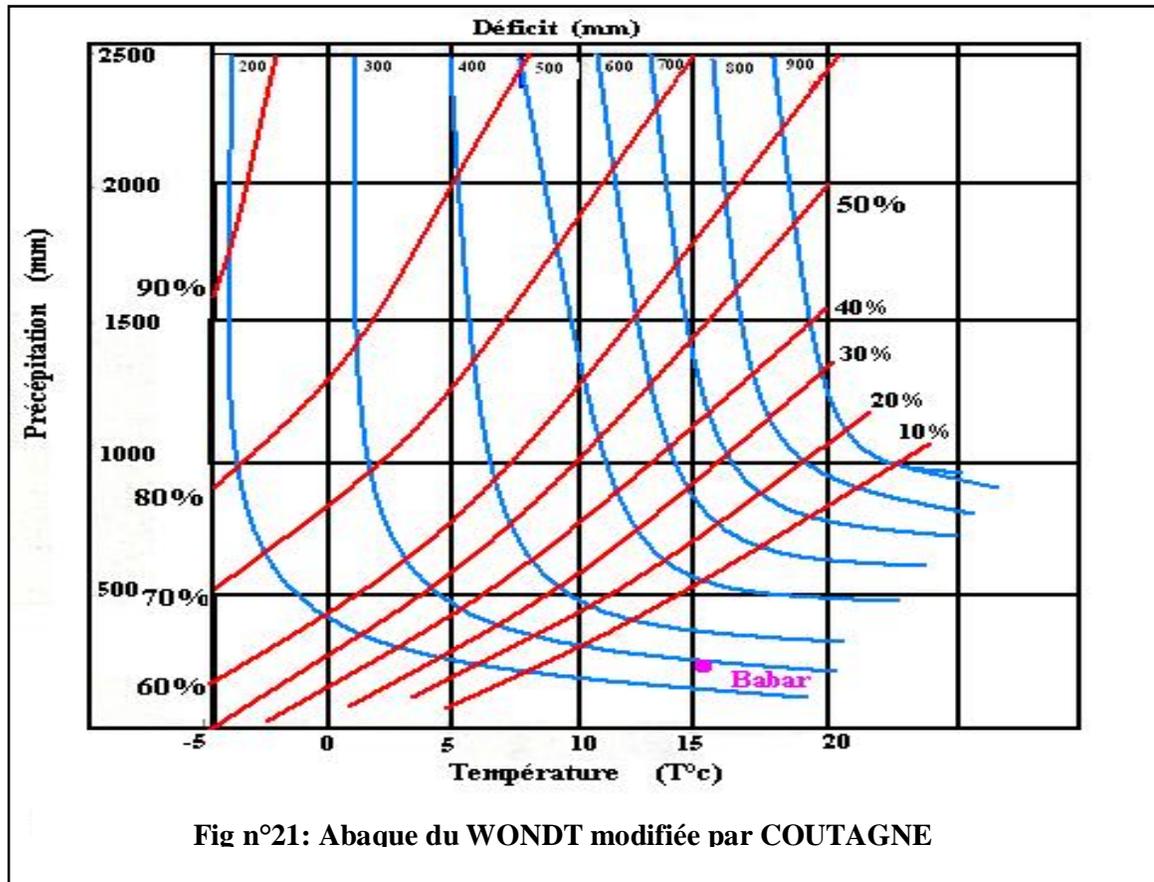
Remarque

La méthode de M. Coutagne n'est pas applicable pour notre région parce que les précipitations n'appartiennent pas à l'intervalle $1/8\lambda \leq P \leq 1/2\lambda$.

C. Méthode de Wundt

L'abaque de Wundt modifié par Coutagne permet de déduire la valeur de l'ETR en prenant en considération la température moyenne annuelle ($T=15.12^\circ\text{C}$) et les précipitations annuelles ($P=310 \text{ mm}$) (Fig. 19).

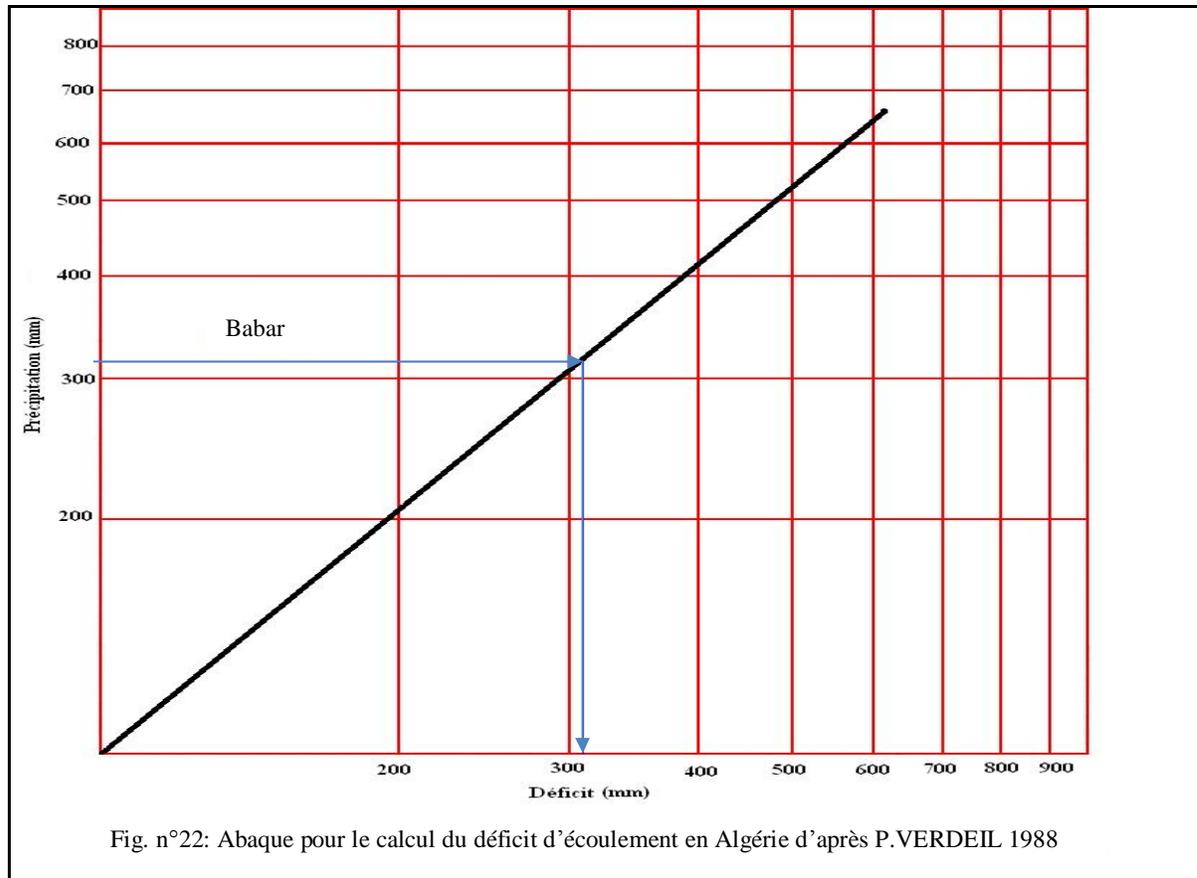
Ø **Station de Babar** : $\text{ETR} = 288\text{mm}$, soit 92% des précipitations



D. Méthode de P. Verdeil (1988)

A fin d'estimer les valeurs de l'évapotranspiration réelle ou du déficit d'écoulement, P. Verdeil a établi un abaque Bilogarithmique pour les régions semi-arides en tenant compte uniquement des précipitations annuelles (Fig. n° 22).

- ✚ **A la Station de Babar:** où les précipitations annuelles sont égales à 310mm, on a une ETR=308mm, soit 99% des précipitations.



Remarque

Les différentes valeurs de l'évapotranspiration réelle sont récapitulatives dans (l'Annexe)

3.2.5. Bilan hydrologique Selon la méthode de C.W. Thornthwaite

Cette méthode fait ressortir quatre paramètres: ETP, ETR, déficit agricole (DA) et l'excédent(EX). A partir de ce dernier paramètre on aboutira au ruissellement et à l'infiltration. Tous ces paramètres, reposent sur l'estimation de la réserve facilement utilisable (RFU).

La RFU est la qualité d'eau emmagasinée dans la couche pédologique et qui est facilement utilisable par les plantes, pour son bon fonctionnement physiologique. Richard en 1979 a proposé une formule pour le calcul de la RFU, dans la partie Nord- Est de l'Algérie qui est la suivante:

$$RFU = \frac{1}{3} D_a H_e P$$

Avec :

RFU: réserve facilement utilisable en (mm).

Da: densité apparente du sol, (Hallaire propose de prendre $D = 0,9$).

H_e : Capacité de rétention:

$H_e = 5\%$ → pour un sol sablo limoneux

$H_e = 10\%$ → pour un sol limoneux

$H_e = 20\%$ → pour un sol argilo limoneux

Pour notre cas et vu la nature du sol, on a adopté le dernier cas.

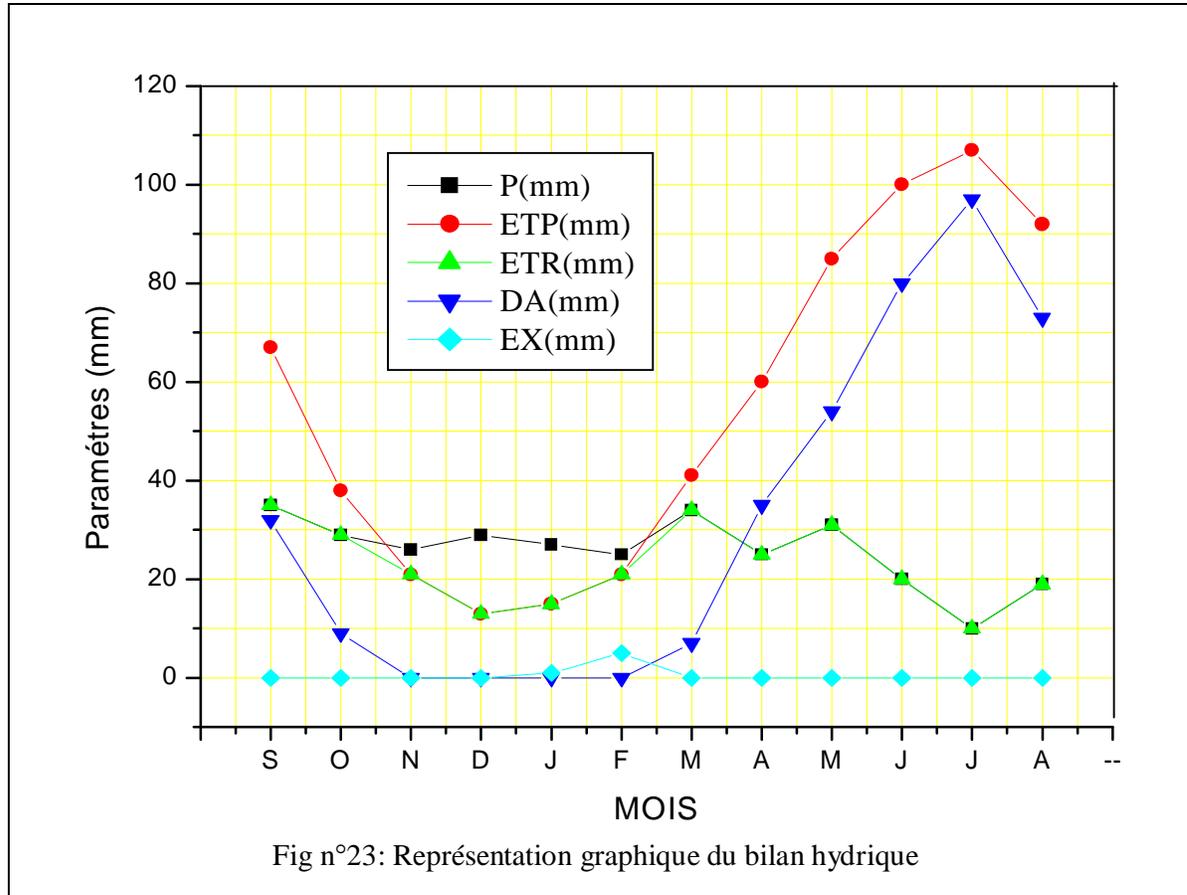
Ø $H_e = 20\%$ soit 0.20%

P: Profondeur de la terre parcourue par les racines en (m).

$P = 0.5\text{m}$. La RFU maximale calculée est égale à 30 mm et la $RFU_{\min} = 0$. L'application de la méthode de Thornthwaite a donné les résultats qui ont été consignés dans le tableau n°20, et la Fig.n°23.

Tableau 20: Calcul du bilan hydrologique à la station de Babar

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Ann.
paramètres													
T(C°)	21.15	13.87	9.55	6.05	6	7.12	10.17	13.69	19.52	24.2	26.09	24.11	/
ETP(mm)	67	38	21	13	15	21	41	60	85	100	107	92	660
P(mm)	35	29	26	29	27	25	34	25	31	20	10	19	310
P-ETP(mm)	-32,0	-9,0	5,0	16,0	12,0	4,0	-7,0	-35,0	-54,0	-80,0	-97,0	-73,0	/
RFU(mm)	0	0	0	19	30,0	30	28	0	0	0	0	0	/
ETR(mm)	35	29	21	13	15	21	34	25	31	20	10	19	273
DA(mm)	32	9	0	0	0	0	7	35	54	80	97	73	395
EX(mm)	0	0	0	0	1	5	0	0	0	0	0	0	6



Pour la station de Babar, l'examen de cette figure montre que:

- A l'échelle annuelle, l'ETP dépasse largement les précipitations, elle représente le double des précipitations.
- l'examen de l'ETP à l'échelle mensuelle, montre l'existence de deux saisons bien distinctes : l'une pendant laquelle les précipitations sont supérieures ou égales à l'ETP (novembre - Février), et la seconde où l'inverse a lieu allant de Mars à Octobre.
- Pendant la saison froide, les précipitations couvrent les besoins de l'évapotranspiration potentielle et permettent la formation de la RFU.
- A partir du mois de Mai on assiste à un épuisement de la RFU, ce qui se traduit par un déficit agricole. A partir du mois de Décembre on assiste à une reconstitution du stock, qui atteint son maximum au mois de Janvier et demeure ainsi jusqu'au mois de Février où la réserve commence à diminuer jusqu'à l'épuisement du stock.

3.2.6. Estimation du bilan d'eau

La formule générale du bilan d'eau donne l'égalité des apports et des pertes évaluées sur de grandes périodes. La formule du bilan est la suivante:

$$P = ETR + R + I + \Delta W$$

P: La hauteur de la précipitation annuelle en (mm).

R: Le ruissellement de surface annuel en (mm).

ETR: L'évapotranspiration réelle annuelle en (mm).

I: L'infiltration annuelle (mm).

ΔW : La variation de réserves en (mm), souvent négligeable.

3.2.6.1. Les différentes composantes du bilan

3.2.6.1.1. Le ruissellement

Le ruissellement correspondant à la part des précipitations qui s'écoule directement sur le sol lors des précipitations. Il peut donc être connu d'une façon générale par analyse de l'hydrogramme d'un cours d'eau où à l'aide des méthodes empiriques qui donnent une valeur approchée. Parmi les méthodes empiriques on peut citer celle de Tixeront et Berkaloff. Ces auteurs ont établi une formule qui permet d'étudier le ruissellement moyen annuel. Cette formule tant qu'elle ne tient pas compte de la nature lithologique des terrains et l'influence de la perméabilité sur le ruissellement, elle reste toujours discutable. Elle s'écrit de la manière suivante:

$$R = P^3 / 3ETP^2$$

Avec :

R: Le ruissellement moyen annuel en (mm).

P: La hauteur des précipitations annuelles en (mm).

ETP: L'évapotranspiration potentielle annuelle en (mm).

L'application de la dite formule a donné des résultats qui ont été consignés dans le tableau n°21.

Tableau n°21: La lame d'eau ruisselée pour la station de Babar

Station	Station
Parameters en (mm)	Babar
P	310
R	23

3.2.6.1.2. Estimation de la lame d'eau infiltrée

L'infiltration désigne le mouvement de l'eau pénétrant dans les couches superficielles du sol et du sous-sol, sous l'action de la gravité et effets de la pression. La lame d'eau infiltrée est souvent déduite à partir des autres paramètres à l'aide de la formule suivante:

$$I = P - (ETR + R)$$

A partir des données du tableau 21, nous avons abouti aux résultats du tableau 22

Tableau n°22: La lame d'eau infiltrée estimée à l'aide du bilan hydrologique.

Station	Babar
Parameters	
I (mm)	14

Les différentes composantes du bilan hydrologique sont reportées dans le tableau n°23.

Tableau n°23: Les différentes composantes du bilan hydrologique pour la station de Babar.

station	Babar
Paramètres en (mm)	
P	310
ETR	273
R	23
I	14

3.3. Hydrologie

Les caractéristiques physico-géographiques des bassins versants et des réseaux hydrographiques qui les parcourent sont les éléments déterminants des processus hydrologiques et de la distribution spatio-temporelle de l'écoulement. L'évaluation des ressources en eau des bassins ne peut se limiter à la seule connaissance des volumes qui transitent annuellement, mais elle doit aussi mettre en relief les variations de ce volume dans les différentes échelles de temps possible, donc l'étude du déroulement concret de l'écoulement sur un bassin versant.

L'interaction des facteurs météorologiques et des facteurs physico-géographiques du bassin versant gèrent la distribution temporelle et spatiale de l'écoulement de surface. Ce dernier est donc la réponse différenciée du bassin versant aux impulsions pluviométriques. Le débit qui en résulte est donc variable, l'étude de ces variations est très importante, car elle conditionne les disponibilités réelles en eau des bassins versants.

3.3.1. L'écoulement moyen annuel

L'écoulement de l'eau dans un bassin versant prend différentes formes selon le lieu où il se produit : Sur les versant, l'écoulement peut être superficiel (ruissellement) ou de subsurface, en profondeur, il alimente les nappes, et fluviale constituant un Oued. Il peut revêtir plusieurs formes selon les conditions météorologiques.

L'écoulement fluvial est un écoulement qui s'enchaîne dans le temps et dans l'espace, traduisant le comportement hydrologique du bassin versant. Ce comportement peut être observé à l'aide de l'analyse du volume d'eau s'écoulent à l'exutoire du système.

3.3.1.1 Evaluation de l'écoulement par la Formule de Samie

Le débit estimé par la formule de Samie est donné dans le Tableau 24

$$L_e = P^2 (293 - 2,2S^{1/2})$$

$$Q = \frac{L_e \cdot S}{31.536} 10^{-3}$$

où :

L_e : la lame d'eau annuelle écoulée en mm

Q : débit moyen annuel en m^3/s

S : superficie du bassin versant en km^2

P : pluie moyenne annuelle en mm

Les résultats sont indiqués dans le tableau 24

Tableau 24 : Débit moyen annuel

Bassin versant	$Q(m^3/s)$
El Arab	0,43

3.3.2 Bilan hydrologique et le déficit d'écoulement

Le bilan hydrologique moyen annuel permet d'estimer les proportions suivant lesquels les eaux météorologiques se divisent; il comporte les entrées représentées par les précipitations

(P) et les entrées souterraines(W), les sorties aussi bien superficielle(Q), atmosphérique (E) et le stock souterrain(R). Ce dernier, pour une période s'étalant sur plusieurs années, il y a compensation entre les années humides et les années sèches qui s'établit de sorte que la marge d'erreur tend vers zéro. de même que pour les entrées et les sorties souterraines (+/-W) qui sont très difficiles à évaluer sur les bassins versant qui sont hétérogène. De ces faits, le bilan pluriannuel moyen peut être traduit par l'équation suivant :

$$P(mm) = Q(mm) + E(mm)$$

Avec :

P : lame d'eau annuelle précipitée (mm)

Q : lame d'eau annuelle écoulée (mm)

E : déficit annuel d'écoulement qui est assimilé à l'évapotranspiration réelle (ETR).

Son établissement pour le bassin versant étudié est consigné dans le tableau n°25

3.3.2.1 Coefficient d'écoulement

Le coefficient d'écoulement est le quotient de la lame d'eau écoulée sur la lame d'eau précipité, bien que son intérêt est limité car il varie beaucoup d'une année à l'autre mais il reflète néanmoins l'impact des facteurs physico-géographiques de chaque bassin versant, notamment la perméabilité des terrains et l'importance des facteurs thermiques et leur influence sur l'écoulement à l'aide de la formule suivante.

$$CE = \frac{L_e}{P} \cdot 100$$

CE : le coefficient d'écoulement exprimé en %

L_e : la lame d'eau écoulée

P : les précipitations

Les résultats sont consignés dans le tableau 25

Tableau 25 : Bilan hydrologique moyen

Bassin versant	P(mm)	Q(m ³ /s)	E(mm)	CE (%)
El Arab	310	0.43	288	7,7

A travers le tableau représenté ci dessus qui expriment les variations des différents paramètres dans l'espace on a pu dégager les observations suivantes :

- Ø Le déficit d'écoulement est plus important vu que les températures sont très élevées, ce qui est entraîné un débit moins important, du fait de l'importance de l'évaporation.
- Ø Le coefficient de l'écoulement est très faible sur le bassin versant de Oued El Arab (7,7%) ce qui traduit des conditions d'alimentation et d'écoulement très défavorable notamment une forte évaporation.

3.3.3. Estimation des Apports

En raison de l'absence des données hydrométriques du barrage de Oued El Arab, on a fait appel aux relations mathématiques qui relient entre les paramètres externes.

3.3.3.1. Les Apports Liquides

Compte tenu de l'absence d'observations directes sur le régime hydrologique de Oued El Arab à l'endroit du barrage, on a utilisé les formules empiriques et pour déterminer l'apport annuel théorique.

1. Formule de Samie

Elle donnée sous forme :

$$A = L_e \times S \times 10^3$$

$$L_e = P^2(293 - 2,2S^{1/2})$$

Avec

S : surface du bassin (567km²)

P : pluie moyenne annuelle (310mm)

L_e : lame d'eau écoulée en (mm)

2. Formule de Mallet

$$L_e = 0,6P(1 - 10^{-0,26 \times P^2}) \times 10^3$$

$$A = L_e \times S \times 10^{-3}$$

3. Formule de J.Dery

$$A = 0,915 \times P^{2,68} \times S^{-0,188} \times 10^{-3}$$

4. Formule de Goutagne

$$L_e = P_{moy} (0,164 - 0,00145 \times S^{1/2})$$

$$A = L_e \times S \times 10^3$$

Les résultats obtenus par ces différentes méthodes sont représentés dans le tableau 26.

Tableau n°26 : récapitulatif des résultats empiriques de L_e et A obtenu

Formul	Le(mm)	A(hm ³)
Samie	23	13,1
Mallet	14,88	8,4
Goutagne	40	22,9
j.Dery	14,2	8

Suivant les résultats obtenus par ces différentes méthodes, on s'aperçoit que les valeurs de l'apport liquide différent d'une méthode à l'autre, cela est justifié par leur utilisation dans des milieux et des conditions différents. Seule la valeur estimée aux apports liquides par la formule de Samie est proche de la réalité des conditions du milieu étudié.

3.3.3.2. Les apports solides

Les dépôts solides sont constitués d'une part, des matériaux grossiers charriés sur les fonds des lits et qui s'accumulent en amont du barrage et d'autre part, les éléments fins transportés en suspension qui se déposent par décantation près de la retenue. L'estimation de l'apport solide, nous mène à évaluer le volume du barrage envasé.

A. Formule de Fournier

Elle est basée sur le coefficient orographique, et de la disponibilité des pluies :

$$D_s = \frac{1}{36} \times C^{2,63} \times \left(\frac{h^2}{S}\right)^{0,46}$$

Ca pendant :

D_s : dégradation spécifique (t/km²/an).

h^2/s : coefficient orographique ($h=h_{moy}=h_{min}$).

p^3 : pluie moyenne du mois pluvieux de l'année (37mm).

P_{an} : pluie annuelle moyenne (300,02mm).

C : indice de Fournier.

B. Formule de Tixeront :

Comme notre bassin est situé dans l'Est Algérien, Tixeront a mis pour le calcul des apports solides fluviaux, la relation suivante, appliquée à l'Est Algérien :

$$A = 92R^{0,41}$$

Avec :

R : lame d'eau écoulée annuelle (23mm)

A : dégradation spécifique (t/km²/an)

C. Formule de l'ANRH

Elle donnée par la relation suivant :

$$D_s = 4,49Ct + 7,32C - 144,28$$

Avec

Ct : coefficient de torrentialité (34,9)

C : indice de fournier (p'/p_{an})

Les résultats obtenus par les quatre formules sont illustrés dans le tableau n° 27

Tableau n°27 : les résultats calculés par les méthodes empiriques de la (Ds)

Formule	Ds (t/km ² /an)
Fournier	9,9
Tixeront	177
ANRH	13,3

La comparaison entre ces formules n'est pas facile du point de vue de leurs conditions d'application :

La formule de fournier et la formule de l'ANRH sont la plus faible. Elles ne reflètent pas la réalité de la dégradation spécifique du bassin, seulement la formule de tixeront qui est proche à la réalité de l'état de notre région étudiée (lithologie, perméabilité moyenne.....)

3.3.4. Etude des crues

L'écoulement dans le sous bassin versant de Oued El Arab est caractérisée par des crues exceptionnelles, le module annuelle est dépendant dans large mesure des débits extrêmes. De ce fait, l'étude de ces deux formes d'écoulement est très importante, car elle conditionne le module annuel. L'impact de cet écoulement extrême est important notamment pour la connaissance du potentiel hydrologique et de ses variations, mais aussi leur conséquence sur les phénomènes de turbidité, de salinité, et des dégâts qu'ils engendrent.

L'intérêt de la détermination des débits maximums probable d'un cours d'eau est évident en raison des effets bien connus de ces événements hydrologiques. Lorsqu'on projette la construction d'un ouvrage hydraulique, il faut déterminer le débit maximum

probable de la crue au quel l’ouvrage devra faire face. A l’absence d’observations réelles sur le régime des crues. Les valeurs maximales de débits et d’apports des crues au niveau du site du barrage ont été définies à l’aide des formules empiriques tout en tenant compte des particulières régionales.

1. Formule de prancu-rodier

Elle donnée par la relation suivant :

$$Q_{1\%} = 40S^{0.55}$$

Q_{1%} : débit max, m³/s ;

S : superficie du bassin versant, km² ;

2. Formule de Mallet et Gautier

$$Q_{1\%} = 2k \log(1 + AP) \frac{S}{\sqrt{L}} \sqrt{1 + 4 \log T - \log S}$$

avec

Q_{1%} : débit max, m³/s ;

S : superficie du bassin versant, km² ;

L : longueur de l’Oued, km ;

T : période de fréquence, année ;

P : précipitation moyennes annuelles, m ;

K et A : coefficients dépendant des coordonnées géographiques (K=1.5, A=20)

Les résultats de calcul des débits maximums de l’Oued El Arab par les formules empiriques sont récapitulatifs dans le tableau n°28

Tableau n°28 : des débits maximums de l’Oued El Arab

Formule	Q _{1%} (m ³ /s)
Prancu-Rodier	1307
Mallet et Gautier	1305

Les résultats des calculs des débits maximums de Oued El Arab sont définis d’après les méthodes déferents. On remarque que ces méthodes ont la même valeur de débit max. L’étude des valeurs extrêmes de l’écoulement sur Oued El Arab à permet de confirmer le caractère d’irrégulière qu’on a déduit précédemment dans l’analyse des régimes.

Conclusion:

La zone d'étude fait partie du grand bassin versant de Chott Melrhir, elle est caractérisée par un climat aride à semi-aride avec un hiver froid, et un été chaud et sec. L'examen de la série des précipitations pour la période (1969-2005) a révélé une pluviométrie moyenne de 310 mm pour le bassin d'Oued El Arab. L'examen des précipitations et des températures des différents postes pluviométriques a donné des résultats spécifiques au bassin de Oued El Arab avec :

- Ø Une précipitation moyenne annuelle (Babar) de l'ordre de 310mm
- Ø Une température moyenne annuelle de l'ordre de 15.12 C°.
- Ø Une évapotranspiration potentielle de l'ordre de 660mm.
- Ø La valeur de l'ETR de Wundt de l'ordre 288 mm soit (92% de précipitations), est sous estimée, car on trouve à la fin que l'infiltration tend vers zéro ce qui est invraisemblable et pose le problème d'alimentation de la nappe.
- Ø Un déficit agricole de l'ordre de 395 mm. Notons que le bilan hydrique est déficitaire, et l'alimentation se fait latéralement soit par les bassins voisins, soit par drainance.
- Ø Un ruissellement et une infiltration respectivement de 23 mm et 14 mm ce qui représente respectivement 8%, 5% des précipitations. Cette dernière contribue à l'alimentation de la nappe superficielle à partir de la surface.
- Ø Le coefficient de l'écoulement est très faible sur le bassin versant de Oued El Arab (7,7%) ce qui traduit des conditions d'alimentation et d'écoulement très défavorable notamment une forte évaporation.

CHAPITE 04

HYDROCHIMIQUE

Introduction

L'étude hydrochimique a porté sur l'analyse et l'interprétation de 7 campagnes hydrochimiques (Octobre 2007 jusqu'à Avril 2008) des eaux superficielles. Dans la région étudiée, le terrain naturel contient des sels plus ou moins solubles, certains minéraux s'altèrent au contact de l'eau. Ainsi le chimisme des eaux de surface dépend essentiellement de la composition géologique des milieux traversés et du temps de séjours. Dans ce chapitre, on va étudier la qualité chimique des eaux superficielles du bassin versant de Oued El Arab a fin de comprendre le mécanisme d'acquisition du chimisme des eaux des oueds. Pour atteindre ce but nous nous sommes intéressés aux relations éventuelles pouvant exister entre les précipitations et les éléments chimiques.

4.1. Prélèvement

Le choix du lieu de prélèvement a été fixé sur la base de la répartition spatiale de différentes sources des charges polluantes (eau usée et rejets industriels). Tous les prélèvements sont faits soit à l'aval de chaque rejet, soit à l'amont. Tableau 29, Figure 24

Tableau n°29: les coordonnées des stations des prélèvements

Stations	latitude N	longitude E	Altitude(m)
Station N° 1 à l'amont de Oued El Htiba	35° 17.41 N	7° 11.80 E	1011
Station N° 2 à l'aval de Oued El Htiba	35° 14.80 N	7° 9.06 E	941
Station N° 3 au niveau de Oued Tamagra	35° 15.19 N	7° 8.2 E	983
Station N° 4 sur la cuvette du Barrage	35° 13.98 N	7° 7.81 E	925

- Ø La station 1 et 2 permettent de comparer et contrôler la qualité de l'eau en amont et en aval de la ville de Babar.
- Ø La station 3 permet d'analyser la qualité chimique de l'eau de la partie Ouest du bassin versant sachant qu'elle est indemne de toute pollution.
- Ø La station 4 se trouve au niveau de la cuvette où toutes les eaux seront emmagasinées avant leur utilisation

4.2. Méthode d'échantillonnage

Les analyses ont été effectuées au laboratoire de chimie du département des sciences de la terre de l'université de Constantine. La période d'observation s'étale sur sept mois du 01/10/ 2007 jusqu'au 01/ 04/2008, ce qui nous permet de suivre progressivement l'évolution de la qualité des eaux pendant les deux périodes (basses et hautes eaux).

4.2.1 Suivi chimique

30 échantillons sont prélevés et analysés afin de comprendre l'origine et l'évolution de la qualité d'eau. Nous nous sommes intéressés aux paramètres physicochimiques suivants :

a) paramètres physiques

Quatre (04) éléments ont été mesurés, la température de l'eau, le pH, la conductivité électrique et le résidu sec. Les trois premiers paramètres ont été mesurés sur le terrain alors que la quatrième a été déterminé au laboratoire.

b) Eléments chimiques majeurs

Une analyse complète des éléments chimiques a été effectuée lors de cette étude :

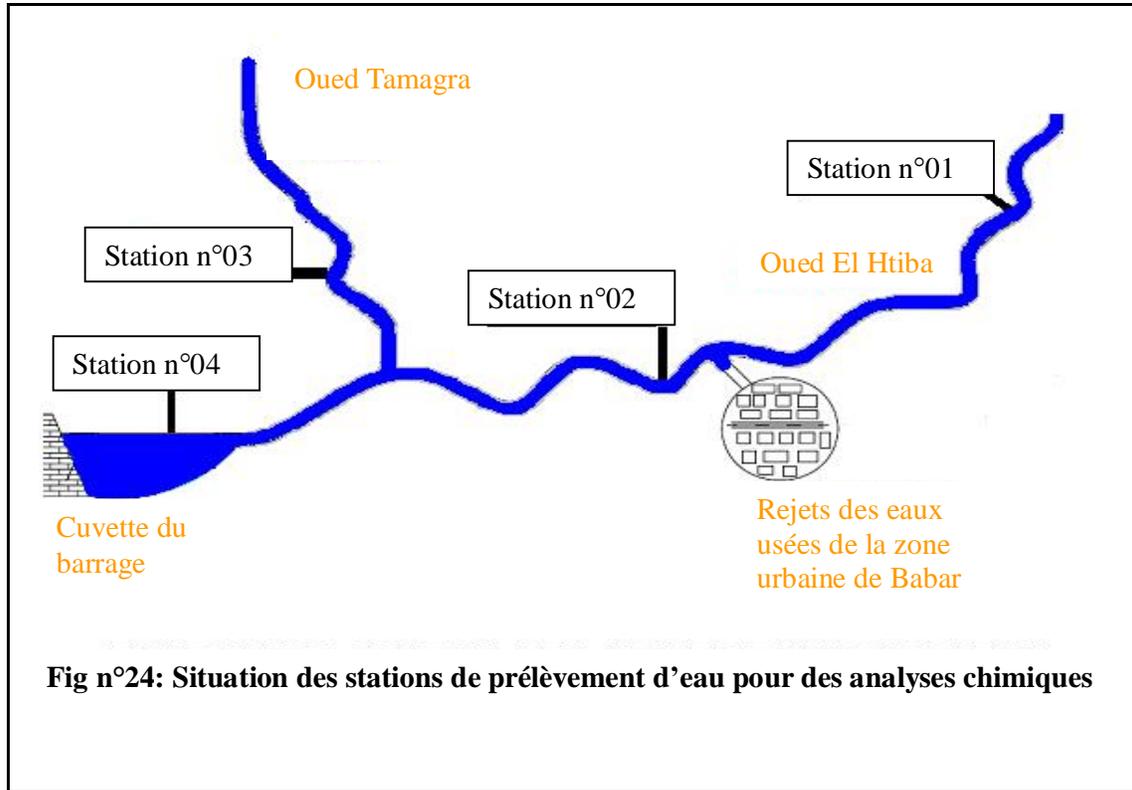
- Cations : Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+
- Anions: Cl^- , HCO_3^- , SO_4^-

c) Métaux lourds:

- Pb^{++} , Fe^{++} , Zn^{++} , Cu^{++} .

d).Éléments indicateurs de pollution

- la DBO_5 , NO_3^- et NO_2^- .



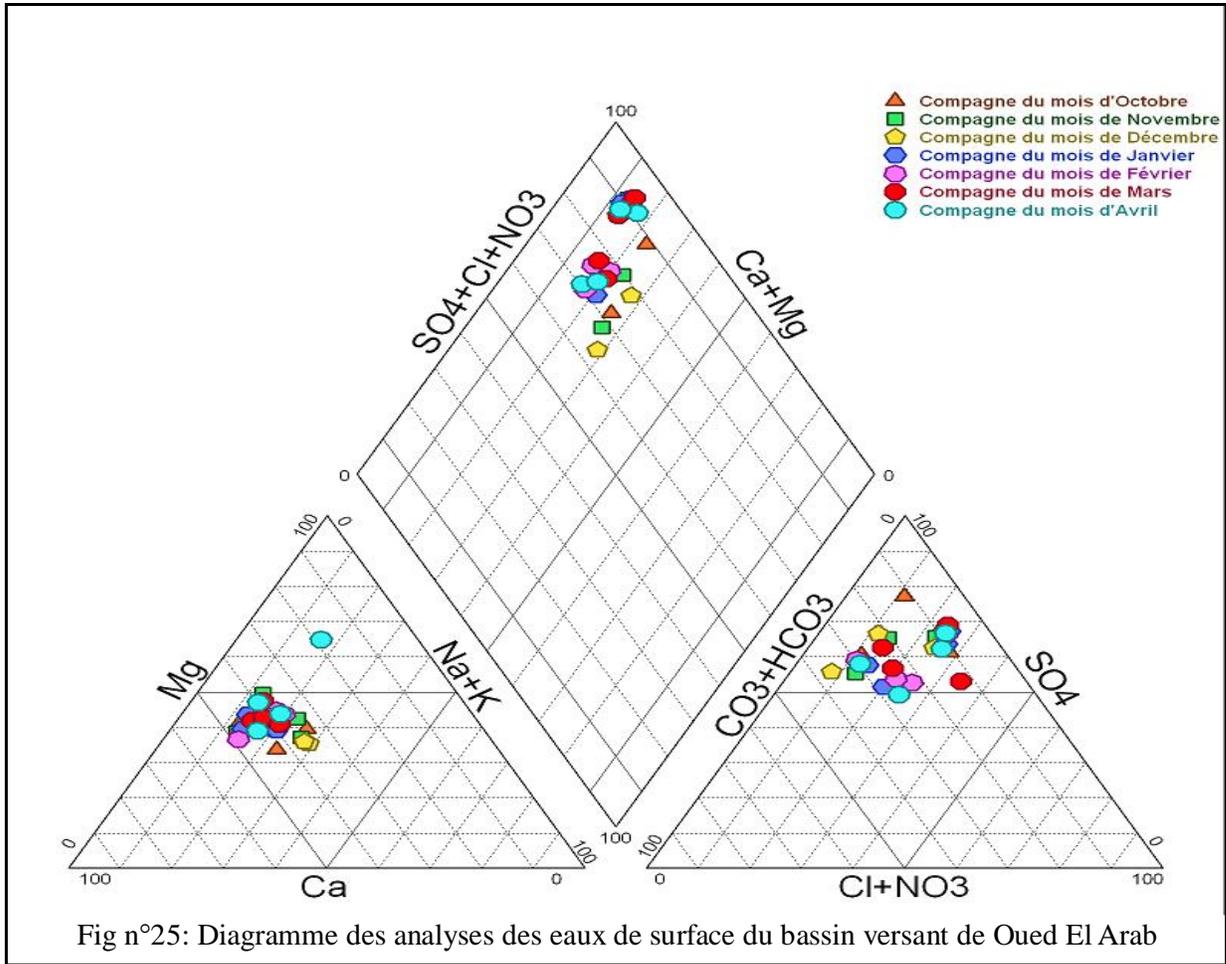
4.3. Les facies chimiques

A partir des résultats des analyses chimiques (Tableau n°30) des différentes campagnes, le diagramme de Piper (Fig. n°25) permet d'avoir une approche globale de la composition chimique des eaux superficielles. Il montre que les eaux pour les quatre stations présentent une seule famille:

- ▼ Sulfatée calcique.

Tableau n°30: Analyses chimiques moyennes des eaux de surface du bassin versant de Oued El Arab

Elément	CN ms/c	CL mg/l	HCO mg/l	So4 mg/l	No3 mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	No2 mg/l	DBO mg/l	Pd ppm	Fe ppm	Cu ppm	Zn ppm	C°	PH	Rs
Station N° 01	3,14	308,33	191,00	1184	14,21	325,63	164,46	110,16	8,78	0,02	19,29	0,09	0,47	0,91	0,18	12,06	7,79	3,11
Station N° 02	3,08	278,86	230,90	866,1	0,49	247,19	164,00	90,80	7,75	0,03	41,43	0,08	0,93	0,90	0,10	10,93	7,77	2,69
Station N° 03	1,1	57,79	248,0	388,5	2,43	96,37	72,46	64,75	5,6	0,01	8,57	0,07	0,31	0,48	0,58	10,67	7,93	0,92
Station N° 04	1,71	129,82	288,79	597,7	1,41	147,41	93,16	88,28	7,58	0,01	38,57	0,08	0,39	0,44	0,12	10,94	7,69	1,36

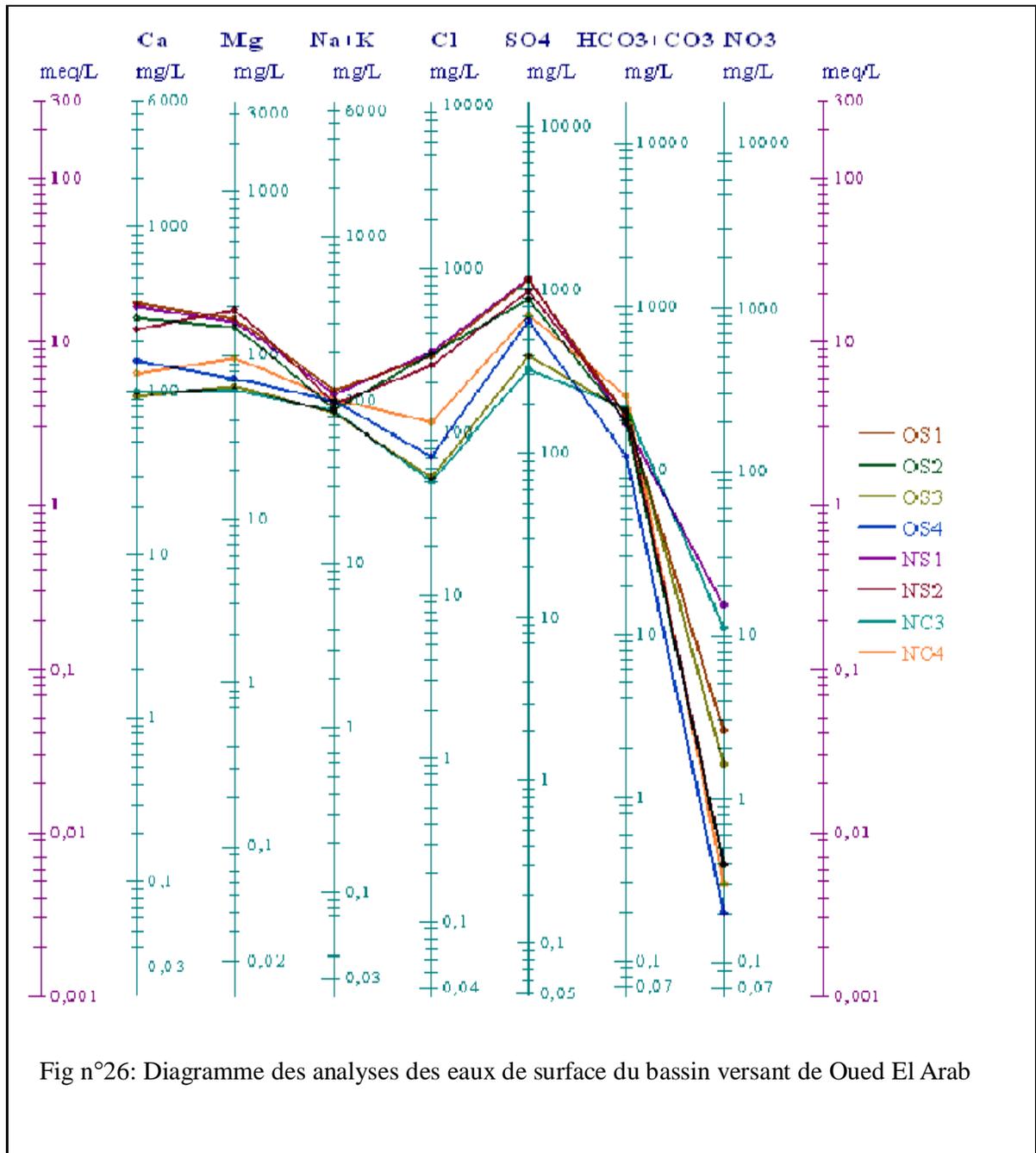


Le diagramme de H. SCHOELLER BERKALOFF montre une seule famille d'eau, sulfatée calcique et magnésium (tableau 31, Fig. 26 à 29).

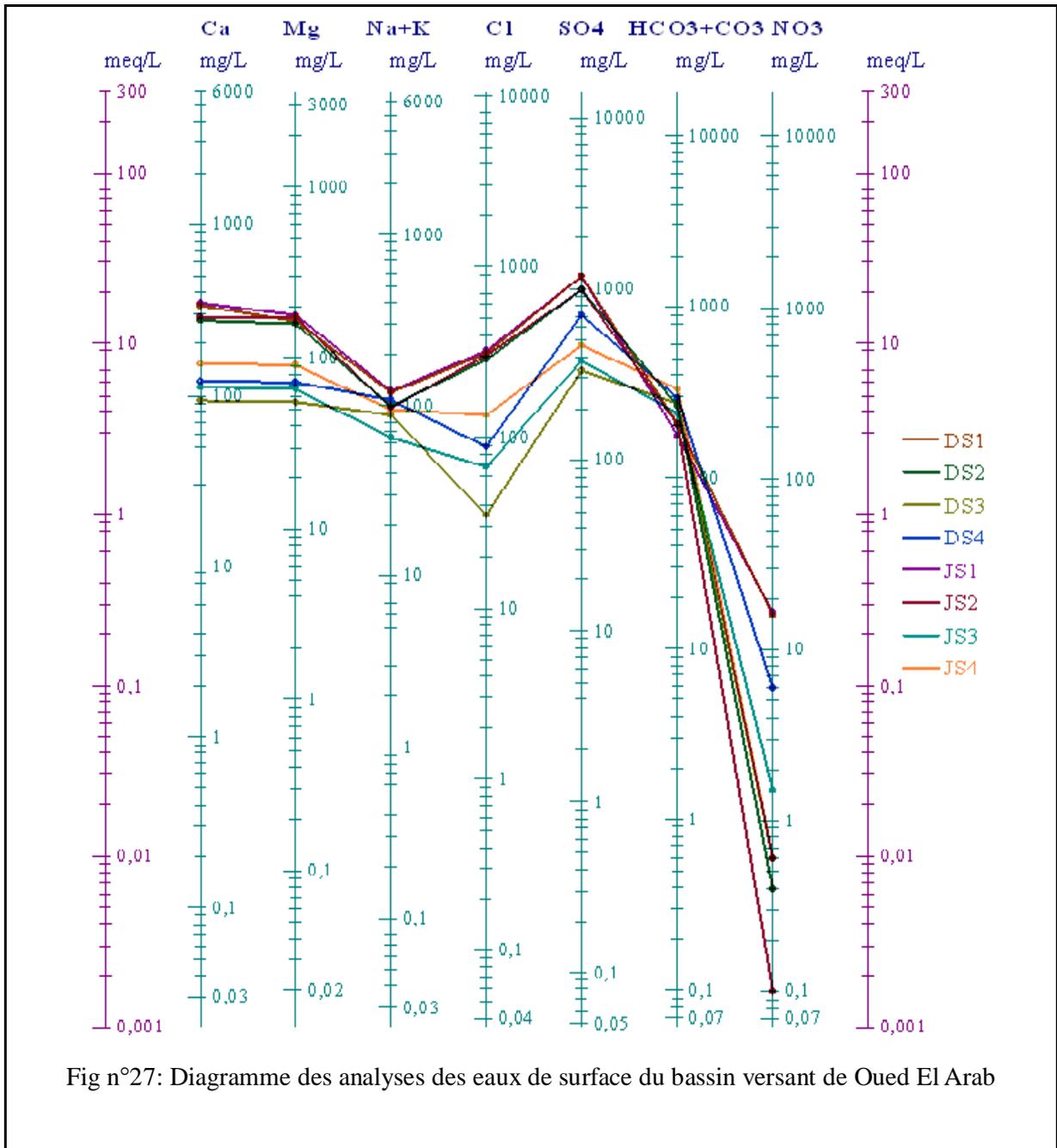
Tableau n°31: Classification des eaux selon SCHOELLER-BERKALOFF

Station	Formules caractéristiques		Faciès chimiques
S1 : à l'amont de Oued El Htiba	$SO_4^{2-} > Cl^- > HCO_3^- > NO_3^-$	$Ca^{++} > Mg^{++} > Na^+ + K^+$	Sulfate Calcique
S2 : à l'aval de Oued El Htiba	$SO_4^{2-} > Cl^- > HCO_3^- > NO_3^-$	$Mg^{++} > Ca^{++} > Na^+ + K^+$	Sulfate magnésium
S3 : dans Oued Tamagra	$SO_4^{2-} > Cl^- > HCO_3^- > NO_3^-$	$Ca^{++} > Mg^{++} > Na^+ + K^+$	Sulfate Calcique
S4 : dans la Cuvette Du Barrage	$SO_4^{2-} > Cl^- > HCO_3^- > NO_3^-$	$Mg^{++} > Ca^{++} > Na^+ + K^+$	Sulfate magnésium

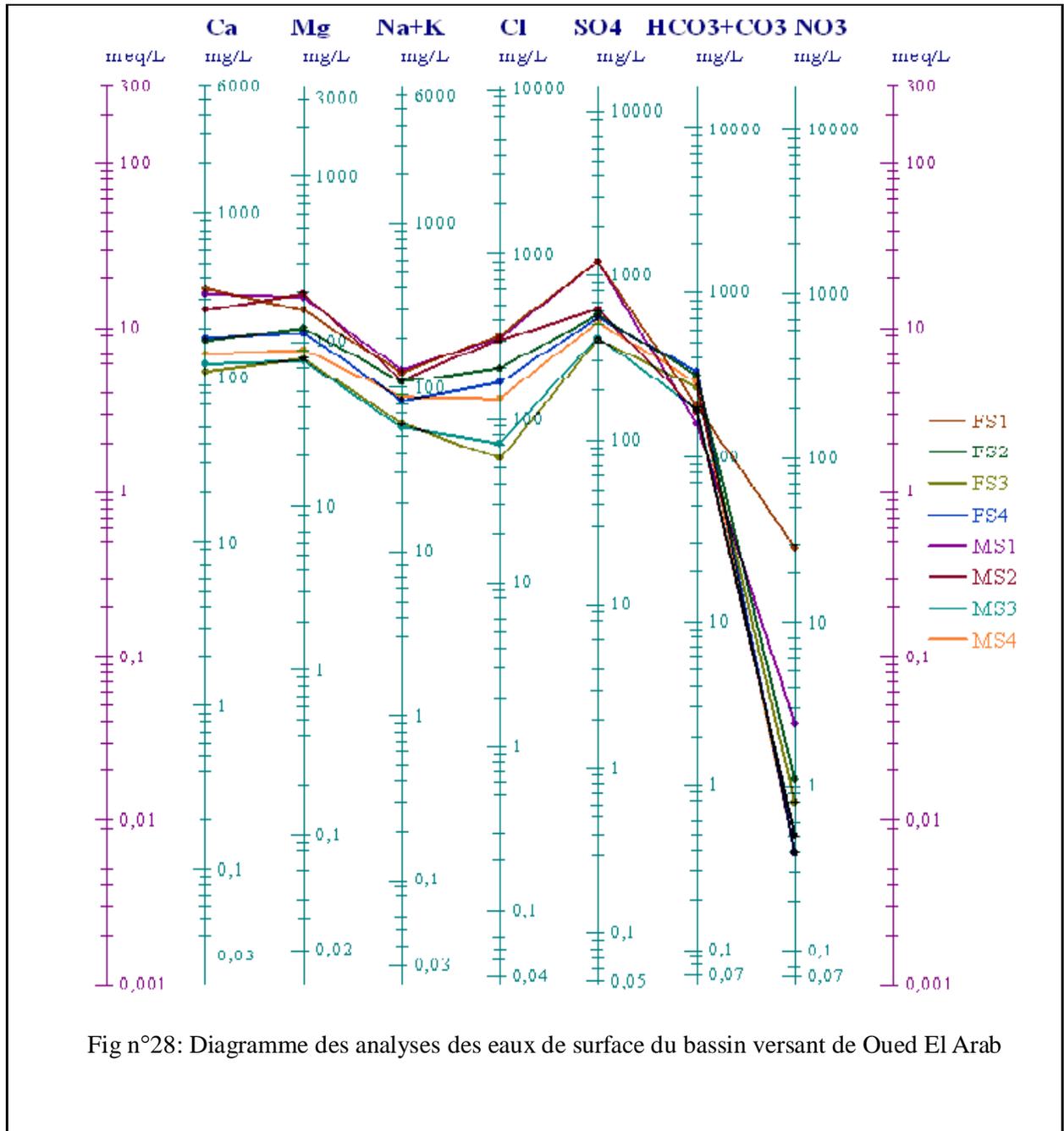
Selon ces deux diagrammes (PIPER et SCHOELLER BAKALOFF) on peut dire que les eaux du bassin versant de Oued El Arab sont marquées par les sulfates qui s'accompagnent tantôt de calcium tantôt de magnésium, ce ci est en liaison directe avec la présence des marnes gypseuses et des formations carbonatées notamment les calcaires et les dolomies de l'Albien.



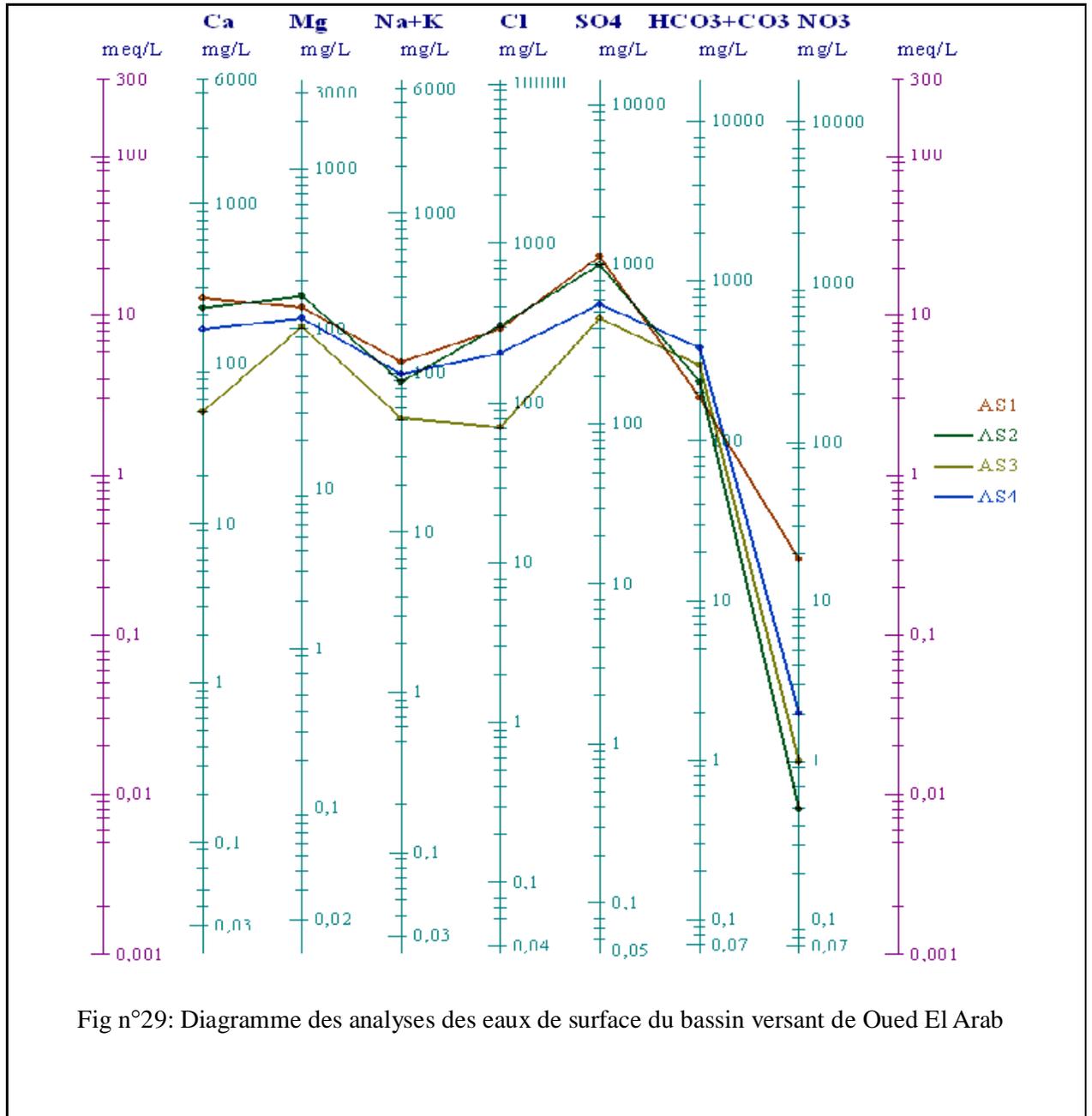
- OS1: Analyses du mois d'Octobre à la station 1
- OS2: Analyses du mois d'Octobre à la station 2
- OS3: Analyses du mois d'Octobre à la station 3
- OS4: Analyses du mois d'Octobre à la station 4
- NS1 : Analyses du mois de Novembre à la station 1
- NS2 : Analyses du mois de Novembre à la station 2
- NS3 : Analyses du mois de Novembre à la station 3
- NS4 : Analyses du mois de Novembre à la station 4



- DS1: Analyses du mois de Décembre à la station 1**
- DS2: Analyses du mois de Décembre à la station 2**
- DS3: Analyses du mois de Décembre à la station 3**
- DS4: Analyses du mois de Décembre à la station 4**
- JS1: Analyses du mois de Janvier à la station 1**
- JS2: Analyses du mois de Janvier à la station 2**
- JS3: Analyses du mois de Janvier à la station 3**
- JS4: Analyses du mois de Janvier à la station 4**



- FS1: Analyses du mois de Février à la station 1
- FS2: Analyses du mois de Février à la station 2
- FS3: Analyses du mois de Février à la station 3
- FS4: Analyses du mois de Février à la station 4
- MS1: Analyses du mois de Mars à la station 1
- MS2: Analyses du mois de Mars à la station 2
- MS3: Analyses du mois de Mars à la station 3
- MS4: Analyses du mois de Mars à la station 4



AS1: Analyses du mois d'Avril à la station 1

AS2: Analyses du mois d'Avril à la station 2

AS3: Analyses du mois d'Avril à la station 3

AS4: Analyses du mois d'Avril à la station 4

4.4. Evolution des paramètres physiques en fonction du temps

4.4.1. Les paramètres physiques

4.4.1.1. La température (T C°)

La température joue un rôle primordial dans la solubilité des sels et des gaz, donc sur la conductibilité. Elle permet de différencier entre les eaux qui circulent en profondeur et celles qui circulent près de la surface, c'est l'un des facteurs qui influe sur la vitesse des réactions chimiques. La température moyenne mensuelle de l'air dans la région d'étude est de l'ordre de 11.21C°. La température maximale de l'eau (Tmax=20.7) est enregistrée pendant le mois de Avril à Oued El Htiba. Tableau 32

Tableau 32: variation de la température dans le temps au niveau des quatre stations

Station	Température (C°)			écarte type
	min	moy	max	
S1 : à l'amont de Oued El Htiba	5	12,15	20,7	4.89
S2 : à l'aval de Oued El Htiba	5,5	10,82	20,7	5.17
S3 : dans Oued Tamagra	3	10,81	20,6	5.65
S4 : dans la Cuvette Du Barrage	4	11,08	20,6	5.34
Norme de potabilité ≤ 25mg/l				

On remarque que la température de l'eau suit celle de l'aire, elle a atteint un minimum de 5 °C au mois de janvier et un maximum au mois d'avril ce qui nous semble logique Fig n°30

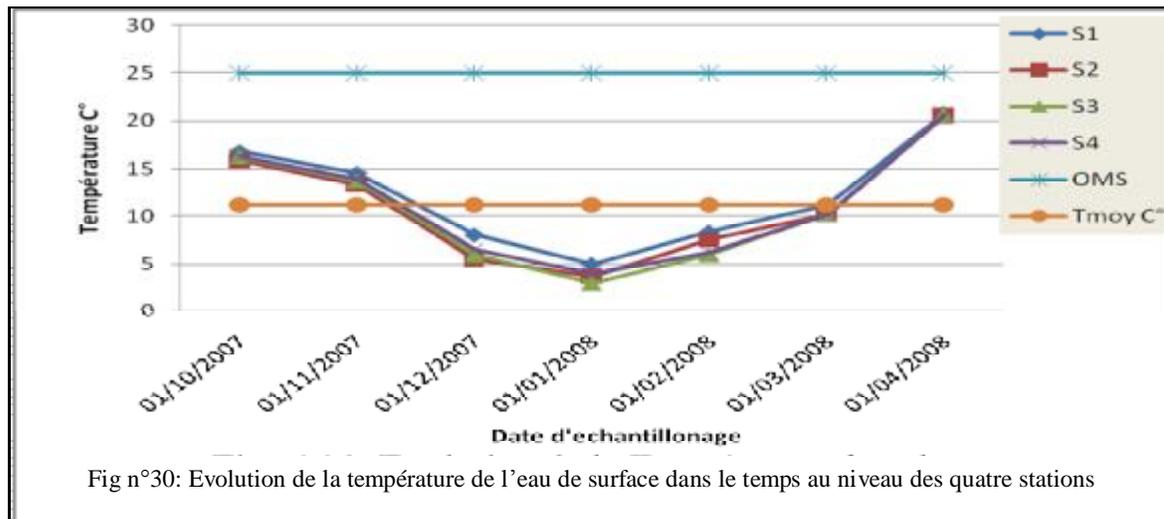


Fig n°30: Evolution de la température de l'eau de surface dans le temps au niveau des quatre stations

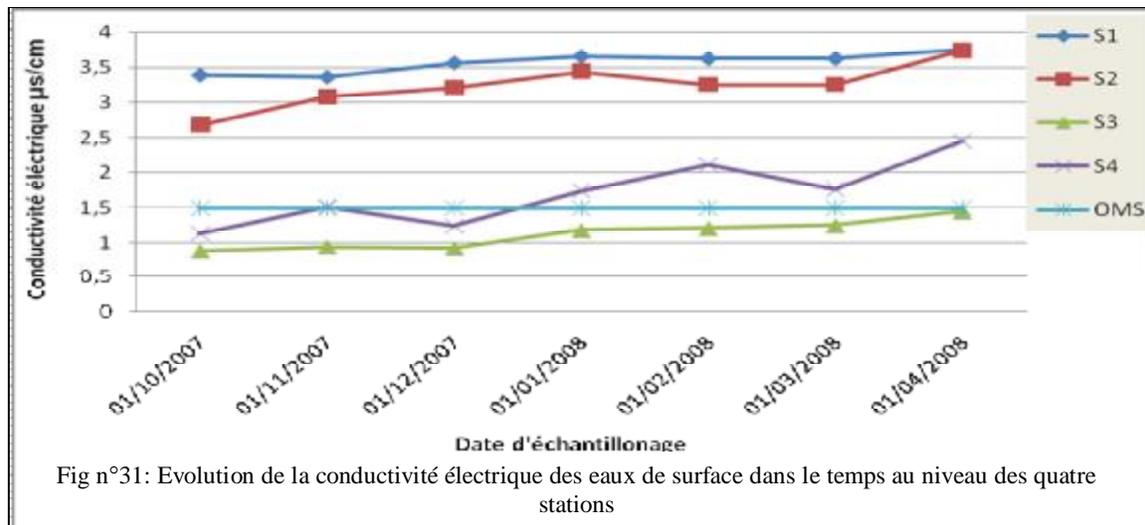
4.4.1.2. Conductivité électrique (CND)

A partir de la conductivité électrique on peut évaluer le degré de la salinité de l'eau, elle est aussi fonction de la température ; elle augmente avec la concentration des ions en solution et la température. Les résultats obtenus permettent de dire que la conductivité électrique au niveau de Oued El Htiba est de 3750 *m*s/cm, puis elle chute progressivement pour atteindre une valeur de 2000 *m*s/cm au niveau du barrage. Les résultats obtenus sont résumés au tableau n°33

Tableau n°33: variation de la conductivité électrique en fonction du temps au niveau des quatre stations

Paramètres	Min	Moy	Max	écarte type
Station				
S1 : à l'amont de Oued El Htiba	3360	3130	3750	1,11
S2 : à l'aval de Oued El Htiba	2680	3210	3740	0,52
S3 : dans Oued Tamagra	880	1110	1450	0,21
S4 : dans la Cuvette Du Barrage	1130	1700	2450	0,46
Norme de potabilité OMS ≤ 1500 <i>m</i> S/cm				

Pendant la période d'étude on remarque que les valeurs de la conductivité électrique sont comprises entre (880-3750 *m*s/cm). Pour les stations (S1-S2) qui sont situées sur Oued El Htiba (Fig n°31) les conductivités sont très élevées, elles sont supérieures aux normes de l'OMS. Cette forte minéralisation est liée à la présence des marnes gypsifères dans cette région. Les eaux de Oued Tamagra (S₃) à l'Ouest du bassin sont faiblement minéralisées. Au niveau de la cuvette on assiste à une dilution de toutes ces eaux où on assiste à une chute de la conductivité électrique.



4.4.1.3. Potentiel d'hydrogène (pH)

Les valeurs du PH mesurées au niveau des différentes stations et lors des différentes campagnes varient entre (7.4 et 8.3). Ces valeurs se trouvent dans l'intervalle des normes de potabilité de l'OMS Tableau n°34 et Fig. 32

Les valeurs de pH sont identiques pour l'ensemble du bassin versant et pratiquement stable dans le temps et dans l'espace

Tableau n° 34: variation de Potentiel d'hydrogéné en fonction du temps au niveau des quatre stations

Paramètres	Min	Moy	Max	Ecarte Type
Station				
S1 : à l'amont de Oued El Htiba	7,4	7,78	8	0.211
S2 : à l'aval de Oued El Htiba	7,5	7,77	8,1	0.249
S3 : dans Oued Tamagra	7,5	7,92	8,3	0.249
S4 : dans la Cuvette Du Barrage	7,4	7,68	8,1	0.241
Norme de potabilité (6.2 - 9.22)				

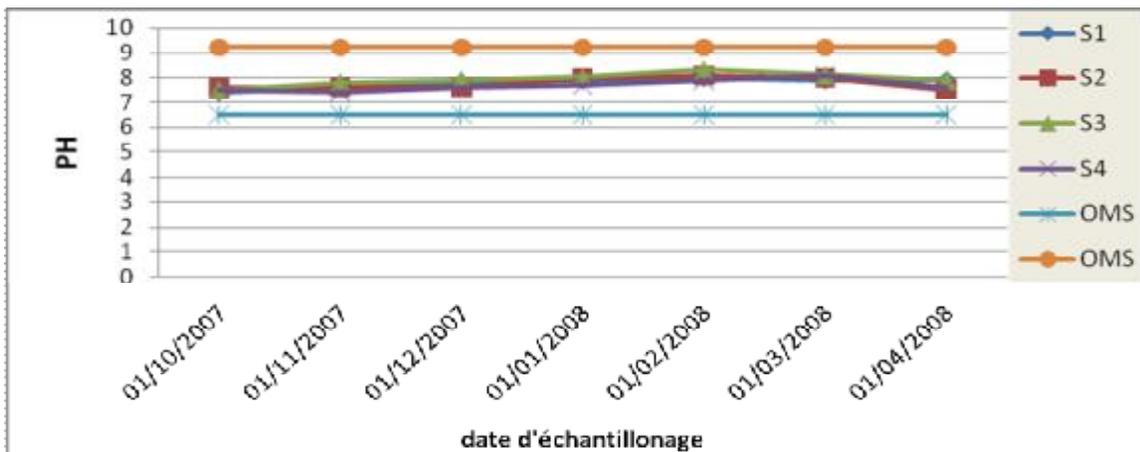


Fig n°32: Evolution du pH des eaux de surface dans le temps au niveau des quatre stations

4.4.2. Les Eléments chimiques

4.4.2.1. Les cations

4.4.2.1.1 Le calcium (Ca⁺⁺)

Le calcium est un élément alcalinoterreux, il se trouve dans les eaux thermo-minérales circulant en milieu calcaire et aussi en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonate. Le calcium peut provenir également des formations gypsifères (Ca SO₄, 2H₂O), qui

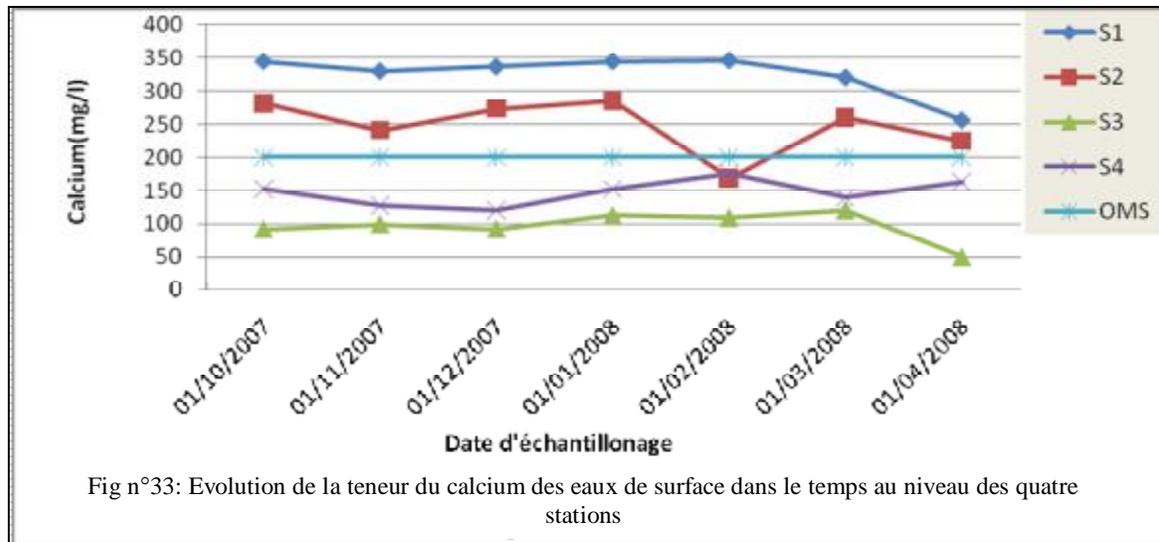
sont facilement solubles. La teneur du calcium varie entre 49.69 mg/l dans Oued Tamagra à 346.29 mg/l dans Oued El Htiba. Tableau 35.

Tableau n°35: variation de la teneur du calcium au niveau des quatre stations (mg/l)

Paramètres	Min	Moy	Max	Ecarte Type
Station				
S1 : à l'amont de Oued El Htiba	256,5	325,66	346,29	31.87
S2 : à l'aval de Oued El Htiba	168,33	247,21	284,56	41
S3 : dans Oued Tamagra	49,69	96,4	120,24	23.11
S4 : dans la Cuvette Du Barrage	120,24	147,44	176,35	19.59
Norme de potabilité 200mg/l				

On remarque que les plus fortes teneurs sont enregistrées au niveau de Oued El Htiba et dépassent les Normes de potabilités de l'OMS par contre dans les autres stations on a enregistré de faibles valeurs Fig 33.

La station 04 au niveau de la cuvette du barrage est caractérisée par une dilution des eaux



4.4.2.1.2. Magnésium (Mg⁺⁺)

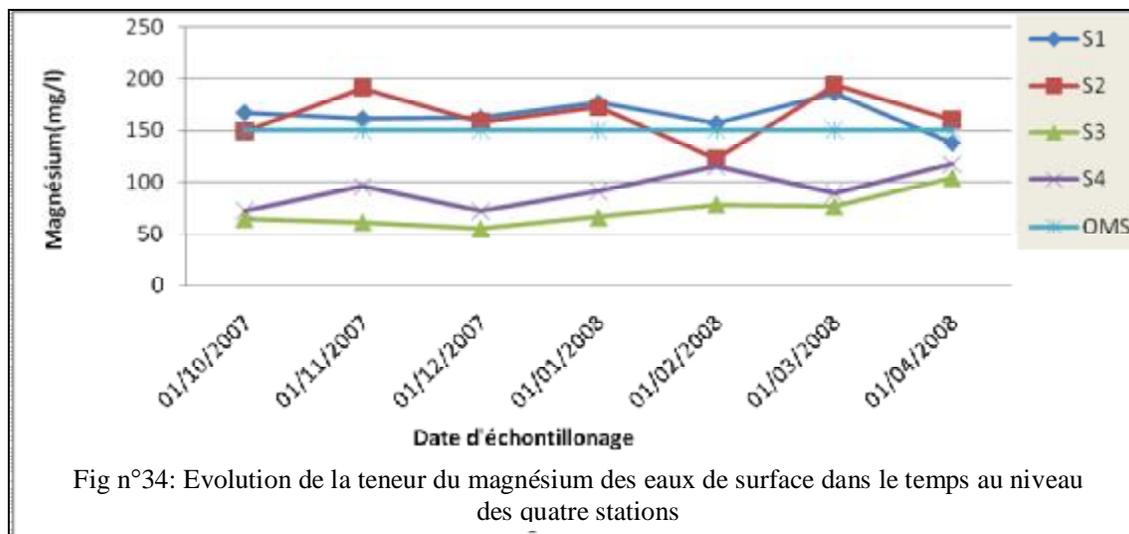
C'est un élément qui accompagne souvent le calcium, et provient de la dissolution des dolomies, des calcaires dolomitiques et des minéraux ferromagnésiens. On remarque que la variation des concentrations du magnésium est similaire à celle du calcium. La teneur

minimale du Mg⁺⁺ est enregistrée dans Oued Tamagra avec 55.2 mg/l, et la teneur maximale est enregistrée dans Oued El Htiba avec 194.64 mg/l. Tableau n°36

Tableau n°34: variation de la teneur du magnésium en fonction du temps au niveau des quatre stations(mg/l)

Paramètres				
Station	Min	Moy	Max	Ecarte Type
S1 : à l'amont de Oued El Htiba	138	164,5	186,84	15.48
S2 : à l'aval de Oued El Htiba	121,8	164,04	194,64	25.29
S3 : dans Oued Tamagra	55,2	72,46	104,4	16.29
S4 : dans la cuvette du Barrage	71,88	93,17	117,12	18.17
Norme de potabilité 150mg/l				

Comme pour le calcium, les plus fortes teneurs sont enregistrées au niveau des stations 1 et 2 de Oued El Htiba alors que les faibles teneurs sont enregistrées au niveau de la station 3 de Oued Tamagra puis toutes les eaux se mélangent dans la cuvette du barrage pour donner une eau faiblement minéralisée. Fig. 34



4.4.2.1.3. Potassium (K⁺)

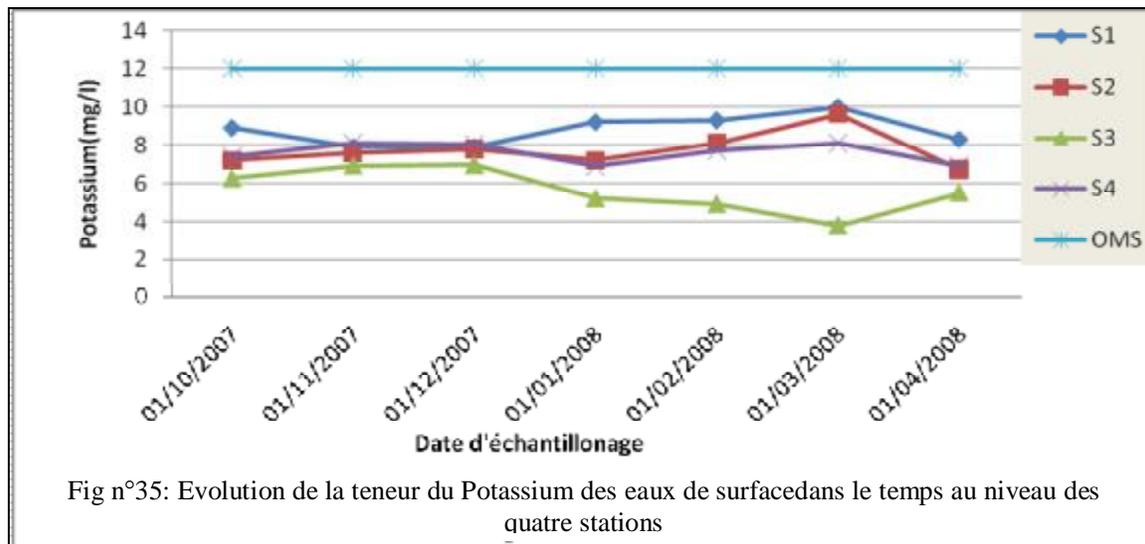
C'est un élément alcalin, très réactif avec l'eau, on le retrouve dans les roches ignées et dans la nature sous forme de chlorure double dans de nombreux minerais. Il se trouve aussi dans la végétation sous forme de carbonate. Les teneurs maximales du potassium varient entre 9.99mg/l au niveau de Oued El Htiba et 8.1mg/l dans la cuvette du barrage par contre la

concentration de potassium diminue à 6.97mg/l au niveau de Oued Tamagra. Les concentrations enregistrées au cours des prélèvements sont présentées sur le tableau n°37

Tableau n°37 : variation de la teneur du Potassium en fonction du temps au niveau des quatre stations (mg/l)

Paramètres	Min	Moy	Max	EcarteType
Station				
S1 : à l'amont de Oued El Htiba	7,9	8,78	9,99	0.78
S2 : à l'aval de Oued El Htiba	6,7	7,74	9,63	0.94
S3 : dans Oued Tamagra	3,8	5,65	6,97	1.15
S4 : dans la cuvette du Barrage	7,4	7,58	8,07	0.53
Norme de potabilité 12mg/l				

Les plus faibles teneurs sont enregistrées au niveau de Oued Tamagra alors que les fortes teneurs sont enregistrées au niveau de Oued El Htiba (S1 et S2), l'ensemble est mélangé au niveau de la cuvette du barrage. Fig. 35



4.4.2.1.4. Sodium (Na⁺⁺) :

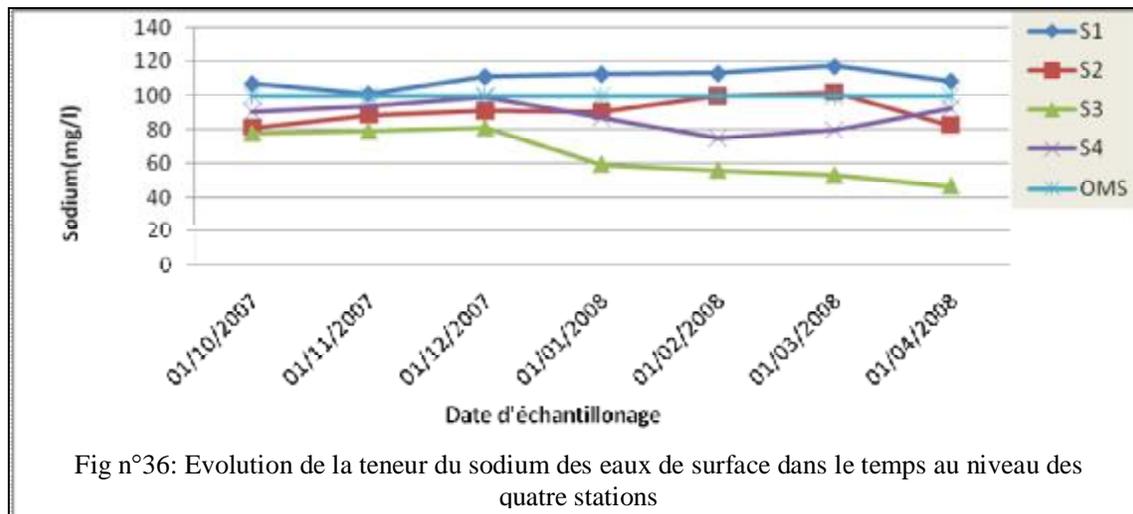
C'est un élément qui existe dans la totalité des eaux car la solubilité des ses sels est très élevée. En agriculture, le composé du sodium le plus important est le chlorure de sodium. Le sodium constitue un élément de maintien de la perméabilité du sol. Les teneurs maximales du sodium varient entre 117.1mg/l au niveau de Oued El Htiba et 99.17mg/l dans la cuvette du

barrage par contre la concentration la plus faible (80.83mg/l) est enregistrée au niveau de Oued Tamagra. Tableau n°38

Tableau n°38: variation de la teneur du sodium en fonction du temps au niveau des quatre stations (mg/l)

Paramètres	Min	Moy	Max	Ecarte Type
Station				
S1 : à l'amont de Oued El Htiba	101,2	110,16	117,1	5.09
S2 : à l'aval de Oued El Htiba	81,19	90,8	101,9	7.88
S3 : dans Oued Tamagra	46,8	64,74	80,83	14.04
S4 : dans la cuvette du Barrage	74,98	88,28	99,17	8.4
Norme de potabilité 100mg/l				

Selon le tableau n°38 et la Figure n°36 en remarque que la concentration du sodium à l'amont d'Oued El Htiba dépasse les Normes de potabilité selon l'OMS (100mg/l) par contre les autres stations sont caractérisées par des teneurs plus faibles.



4.4.2.2. Les Anions

4.4.2.2.1. Chlorures (Cl⁻)

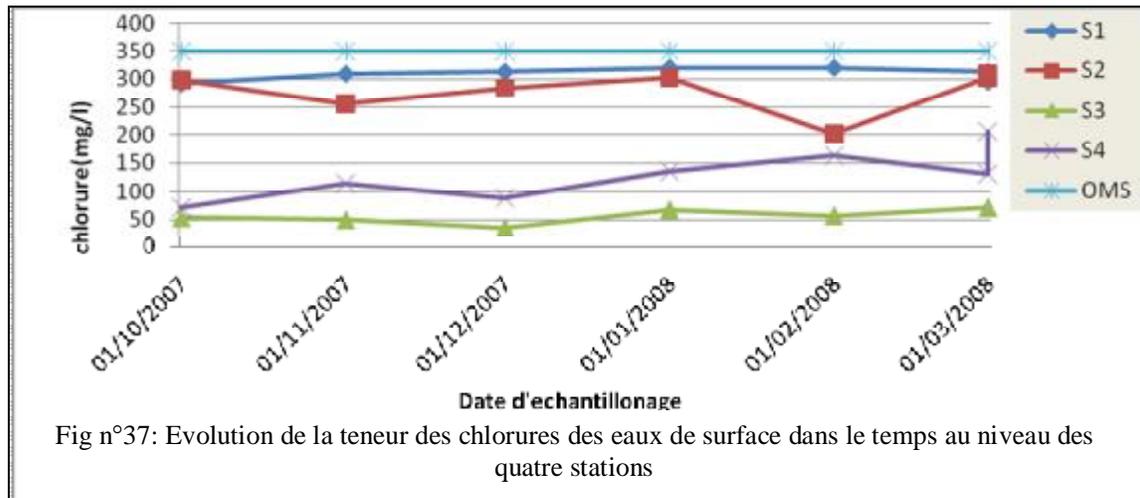
Les chlorures peuvent avoir plusieurs origines .et sont liés principalement à la dissolution des terrains salifères. La dissolution des ces sels étant très faciles d'où leurs présences en fortes concentrations dans les eaux ayant traversées les formations argilo - sableuses ou argileuses. Ainsi, ils peuvent provenir également de l'action humaine à partir du

soulage des routes, ou par contamination par les eaux usées. Les chlorures donnent un goût désagréable et posent le problème de la corrosion dans les canalisations et les réservoirs à partir de 50 mg/l (norme de l'O.M.S). Les teneurs varient entre 319.5mg/l à l'amont de Oued El Htiba et 49.7 mg/l au niveau de Oued Tamagra. Tableau 39

Tableau n°39: variation de la teneur des chlorures en fonction du temps au niveau des quatre stations (mg/l)

Paramètres	Min	Moy	Max	Ecarte Type
Station				
S1 : à l'amont de Oued El Htiba	291.5	308.34	319.5	11.3
S2 : à l'aval de Oued El Htiba	255.6	278.88	308.85	38.14
S3 : dans Oued Tamagra	49.7	57.78	71	13.13
S4 : dans la cuvette du Barrage	71	129.82	205.9	45.36
Norme de potabilité 350mg/l				

On remarque que toutes les concentrations des chlorures pour toutes les stations sont inférieures aux normes. Leur évolution spatio-temporelle est identique à celle des autres éléments. Fig 37



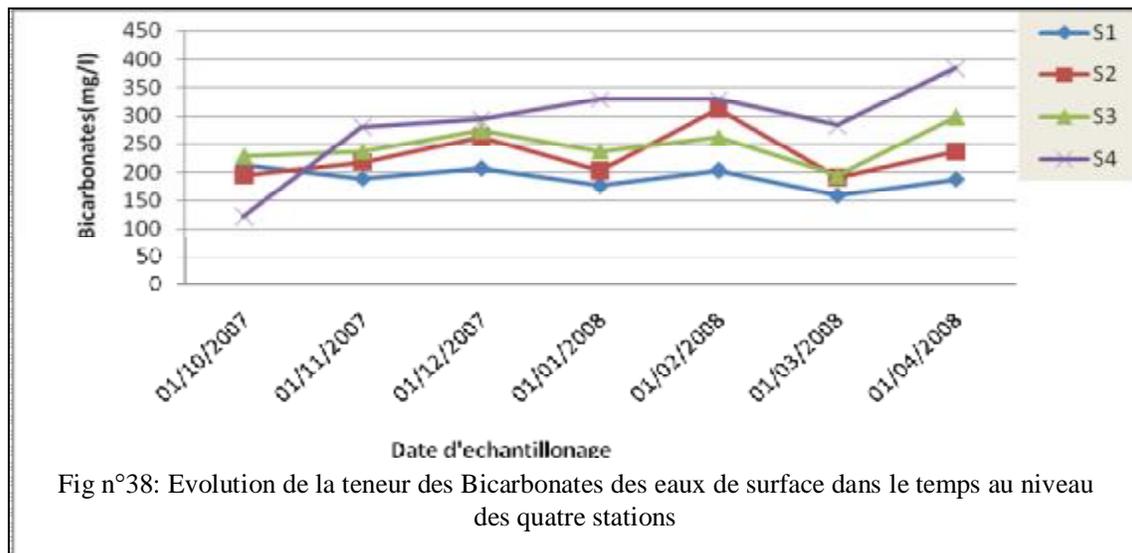
4.4.2.2.2. Bicarbonate (HCO₃⁻):

Les bicarbonates se trouvent dans les eaux naturelles, leur présence dans l'eau est dû à la dissolution des formations carbonatées tel que les calcaires et les dolomies. Les concentrations enregistrées au cours des prélèvements sont présentées sur le tableau n°40.

Tableau n°40: variation de la teneur des Bicarbonates en fonction du temps au niveau des quatre stations (mg/l)

Paramètres	Min	Moy	Max	Ecarte Type
Station				
S1 : à l'amont de Oued El Htiba	158.6	191.1	213.5	17.72
S2 : à l'aval de Oued El Htiba	190.32	230.92	312.32	40.64
S3 : dans Oued Tamagra	195.2	248	298.9	31.25
S4 : dans la cuvette du Barrage	122	188.79	384.3	75.95

Selon le tableau n° 40 et la Figure n°38 la concentration maximale est enregistrée sur la cuvette du barrage avec une forte teneur de 384.3mg/l. Pour Oued El Htiba, les fortes teneurs se localisent dans la station n°2 qui se trouve à l'aval de la ville de Babar, alors que les faibles teneurs se trouvent à l'opposé, dans la station n°1, donc on constate qu'il dépend essentiellement à des rejets urbains. La Figure 38



4.4.2.2.3. Sulfates (SO_4^{2-}):

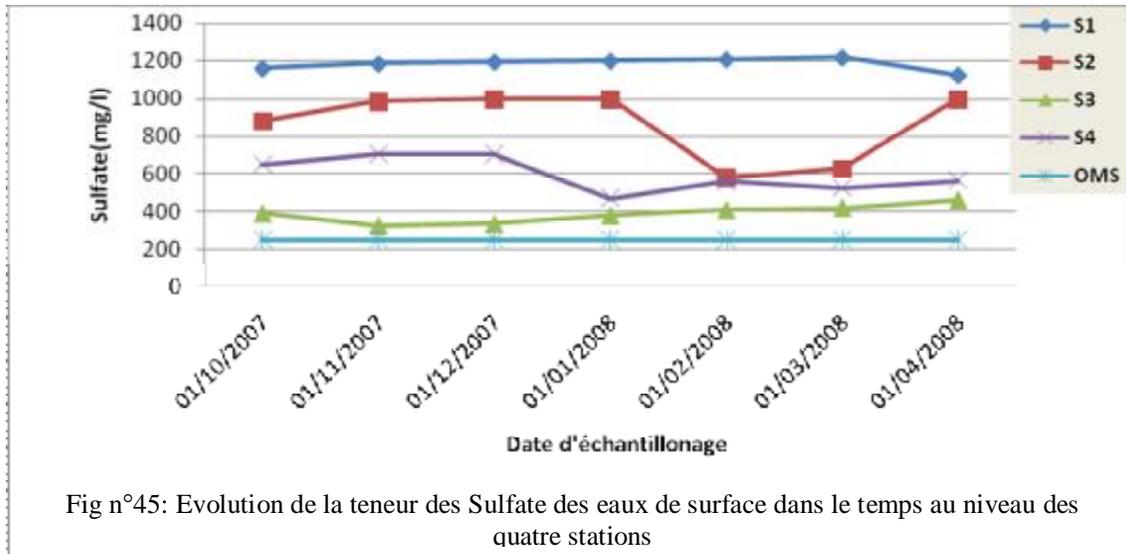
Ils sont présents dans les eaux naturelles à des teneurs très variables et Ils peuvent provenir de La dissolution du gypse. Ce dernier peut être triasique, comme il peut être associé à des formations plus récentes comme les argiles du Mio-Plio-Quaternaire. Ils dépendent aussi des rejets industriels. Les résultats des analyses chimiques, donnent des valeurs qui varient de

470 mg/l au niveau de la cuvette de barrage à 1218 mg/l à l’amont de Oued El Htiba. Tableau n°41

Tableau n°41: variation de la teneur des Sulfate en fonction du temps au niveau des quatre stations (mg/l)

Paramètres	Min	Moy	Max	Ecarte Type
Station				Type
S1 : à l’amont de Oued El Htiba	1125	1184.42	1218	29.67
S2 : à l’aval de Oued El Htiba	580	866.14	998	170.10
S3 : dans Oued Tamagra	725	388.57	460	43.97
S4 : dans la cuvette du Barrage	470	597.18	705	84.38
Norme de potabilité 250mg/l				

Pour notre région d’étude, les origines de cet élément sont liées aux formations géologiques comme les argiles, les marnes et le gypse. Figure 39. On assiste au même schéma pour les autres éléments



4.4.2.3. Les éléments traces métalliques (ETM)

4.4.2.3.1. Plomb (Pb⁺⁺):

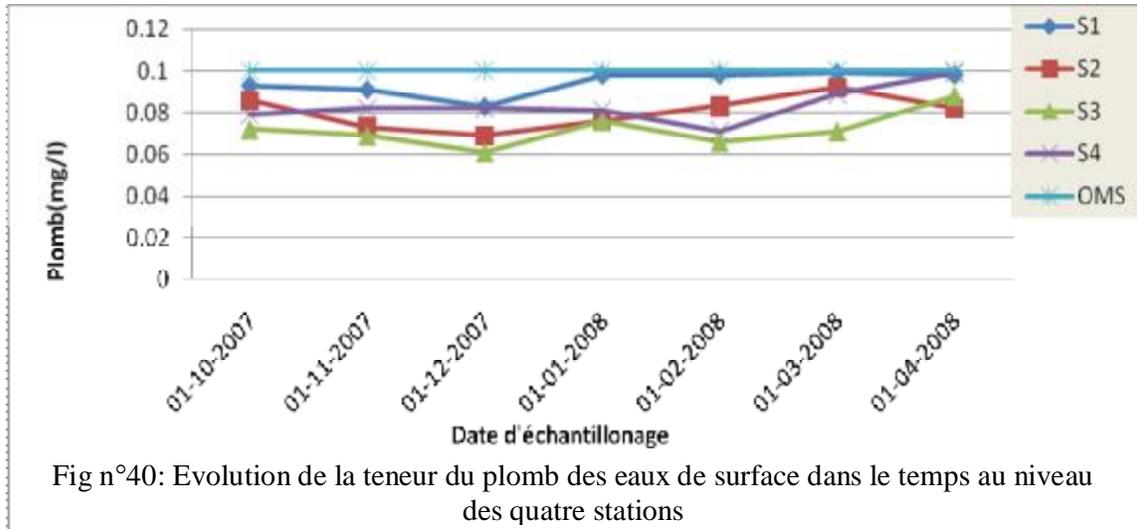
Le plomb est un élément lourd, métallique, dense, de mauvaise conductivité électrique. Il peut être présent sous forme de carbonate, et de phosphates. Il est associé généralement au

zinc dans la galène. Les eaux de surface non contaminées leur teneur en plomb ne dépasse pas une dizaine de microgramme par litre. Le plomb brut est obtenu à partir des procédés d'extraction, il contient des impuretés des métaux tels que le cuivre et le zinc. Les résultats des analyses chimiques montrent des valeurs qui varient de 0.069 mg/l au niveau de Oued Tamagra à 0.099 mg/l à l'amont de Oued El Htiba. On remarque que les teneurs en plomb des quatre stations des prélèvements sont inférieures aux normes prescrites par l'OMS soit 0.1µg/l. Les plus fortes valeurs sont observées à l'amont de Oued El Htiba et dans le barrage avec 0.099mg/l par contre les plus faibles teneurs sont enregistrées au niveau de Oued Tamagra et à l'aval de Oued El Htiba avec 0.069mg/l. Tableau 42

Tableau n°42: variation de la teneur du plomb au niveau des quatre stations (mg/l)

Paramètres				
Station	Min	Moy	Max	Ecarte Type
S1 : à l'amont de Oued El Htiba	0.083	0.094	0.099	0.005
S2 : à l'aval de Oued El Htiba	0.069	0.08	0.092	0.007
S3 : dans Oued Tamagra	0.069	0.071	0.088	0.008
S4 : dans la cuvette du Barrage	0.071	0.083	0.099	0.008
Norme de potabilité d'OMS 0.1µg/l				

La variation spatio-temporelle au niveau des quatre stations montre le même schéma d'évolution avec les plus fortes teneurs aux niveaux des stations 1 et 2 alors que Oued Tamagra présente de faible teneur. Les eaux du barrage présentent des teneurs moins fortes que les eaux de Oued El Htiba et plus fortes que celle de Oued Tamagra. Ce ci est le résultat d'un mélange d'eau mais on a enregistré une forte teneur au mois d'avril probablement suite à une augmentation de la teneur pendant la même période au niveau de Oued Tamagra Fig 40



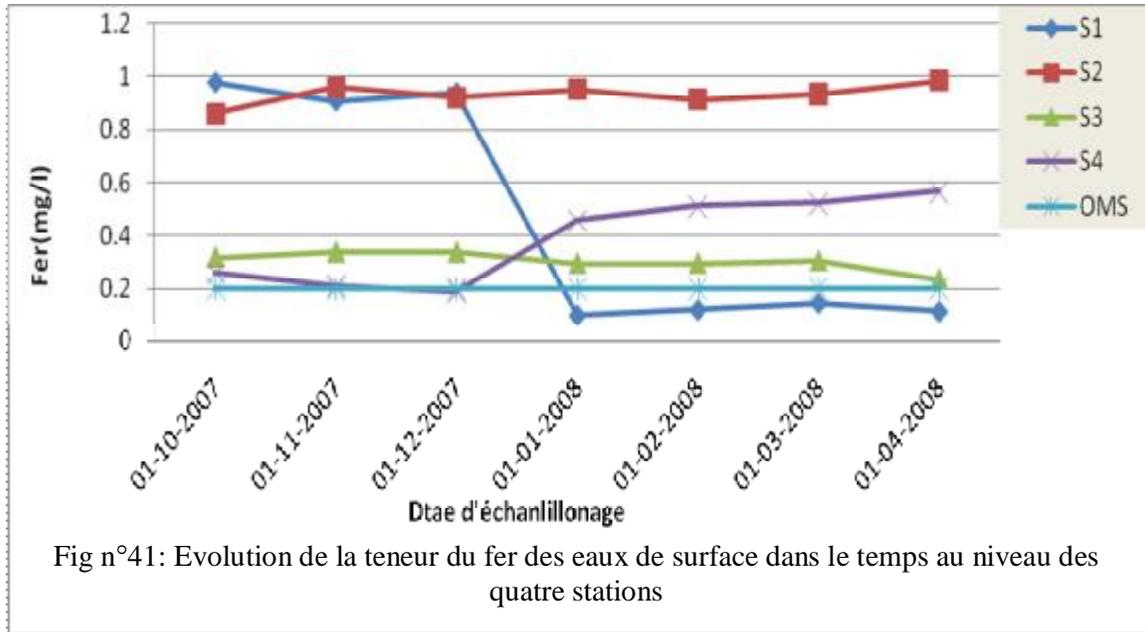
4.4.2.3.2. Fer (Fe⁺⁺):

Le fer est un élément lourd, toxique, il peut avoir une origine naturelle provenant des terrains traversés ou une origine industrielle. Les résultats des analyses chimiques donnent des valeurs qui varient de 0.19 mg/l au niveau de la cuvette de barrage à 0.98 mg/l à l'aval d'Oued El Htiba. Tableau n°43

Tableau n°43: variation de la teneur du fer en fonction du temps au niveau des quatre stations (mg/l)

Paramètres	Min	Moy	Max	Ecarte Type
Station				
S1 : à l'amont de Oued El Htiba	0.91	0.47	0.147	0.44
S2 : à l'aval de Oued El Htiba	0.86	0.93	0.98	0.04
S3 : dans Oued Tamagra	0.23	0.3	0.34	0.035
S4 : dans la cuvette du Barrage	0.19	0.38	0.56	0.161
Norme de potabilité d'OMS 0.2mg/l				

On remarque que les teneurs en fer au niveau de toutes les stations sont supérieures aux normes admises par l'OMS (< 0,2 mg/l). L'évolution au cour du temps est complexe au niveau de la station 1 par contre pour les autres stations l'évolution du fer est similaire à celle des autres éléments avec toujours un mélange au niveau de la cuvette du barrage. Fig. 41



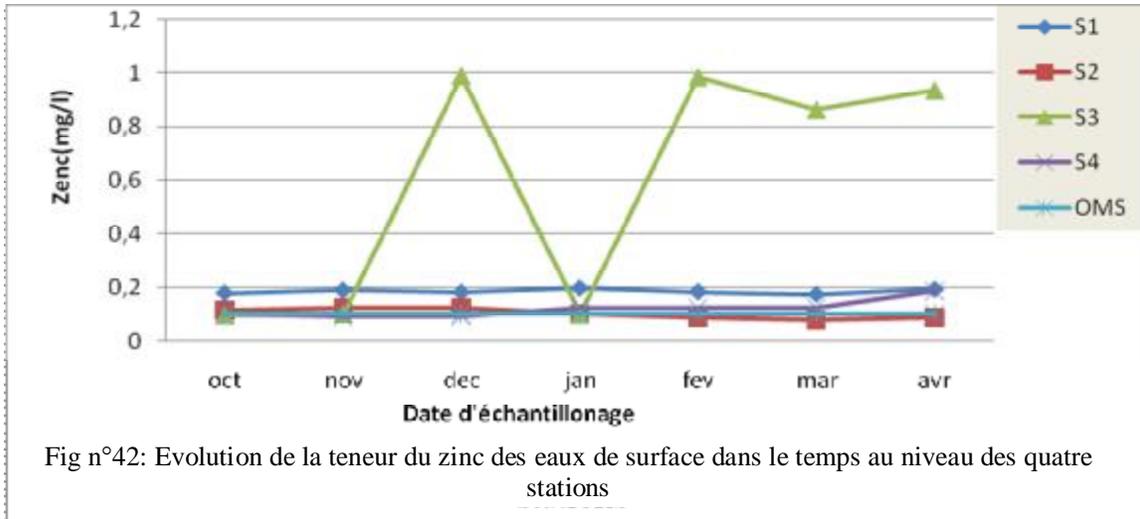
4.4.2.3.3. Le zinc (Zn⁺⁺):

Le zinc est un élément lourd, toxique, les résultats des analyses chimiques donnent des valeurs qui varient de 0.077 mg/l au niveau d'Oued El Htiba à 0.99 mg/l au niveau de Oued Tamagra. Tableau n°44

Tableau n°44: variation de la teneur du zinc en fonction du temps au niveau des quatre stations (mg/l)

Paramètres	Min	Moy	Max	Ecarte Type
Station				
S1 : à l'amont de Oued El Htiba	0.173	0.18	0.157	0.0083
S2 : à l'aval de Oued El Htiba	0.077	0.1	0.121	0.018
S3 : dans Oued Tamagra	0.096	0.58	0.99	0.45
S4 : dans la Cuvette Du Barrage	0.099	0.11	0.185	0.032
Norme de potabilité d'OMS 0.1 mg/l				

On remarque que les teneurs du zinc pour Oued El Htiba sont très élevés, par rapport à les autres stations. Cette augmentation des teneurs en Zn⁺⁺ est due probablement à l'influence des formations géologiques. Fig. 42



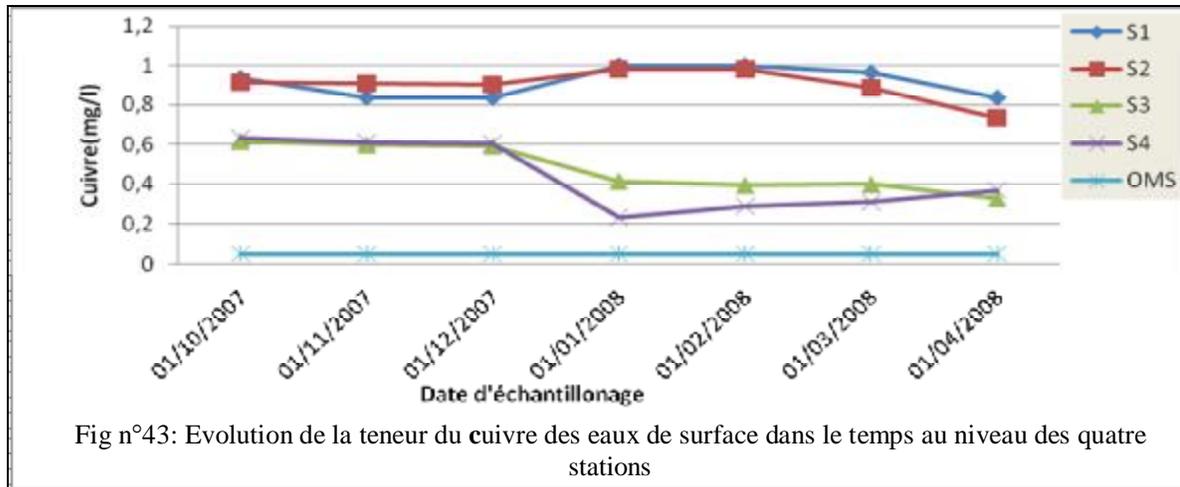
4.4.2.3.4. cuivre (Cu⁺⁺):

Les résultats des analyses chimiques donnent des valeurs qui varient de 0.233mg/l dans la cuvette du barrage à 0.997 mg/l au niveau de Oued El Htiba. Tableau n°45

Tableau n°45: variation de la teneur du cuivre en fonction du temps au niveau des quatre stations (mg/l)

Paramètres	Min	Moy	Max	Ecarte Type
Station				
S1 : à l'amont de Oued El Htiba	0.834	0.91	0.997	0.076
S2 : à l'aval de Oued El Htiba	0.735	0.9	0.983	0.083
S3 : dans Oued Tamagra	0.33	0.47	0.599	0.119
S4 : dans la Cuvette Du Barrage	0.233	0.43	0.631	0.172
Norme de potabilité d'OMS 0.05mg/l				

L'examen de la figure 43 montre que la totalité des échantillons ont des teneurs en Cu⁺⁺ supérieures à la teneur maximale admissible définie par l'OMS. Le même schéma d'évolution que précédemment est appliqué au cuivre.



4.4.4. Les éléments indicateurs de la pollution urbaine

L'analyse la plus fréquente des éléments indicateurs de la pollution urbaine comprend les mesures de la DBO₅ et les éléments nutritifs.

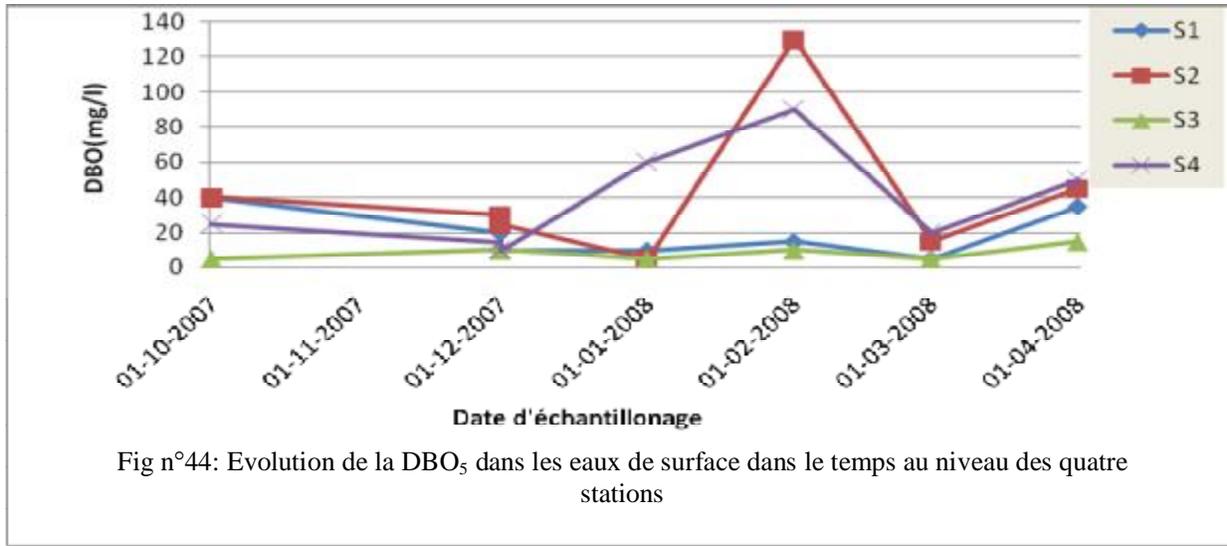
4.4.4.1. La demande biochimique en oxygène en cinq jours (DBO₅)

La DBO₅ représente la charge polluante organique biodégradable. Elle donne donc une indication importante pour juger de la qualité de l'eau et son degré de pollution. C'est un teste reconnu trop peu précisé pour qualifier les eaux naturelles mais très utilisé pour surveiller l'efficacité des stations d'épuration. Tableau n°46

Tableau n°46: variation de la DBO₅ en fonction du temps au niveau des quatre stations (mg/l)

Paramètres	Min	Moy	Max	Ecarte Type
Station				
S1 : à l'amont de Oued El Htiba	5	19.28	40	13.3
S2 : à l'aval de Oued El Htiba	5	41.42	130	41.4
S3 : dans Oued Tamagra	5	8.57	15	3.77
S4 : dans la cuvette du Barrage	15	38.57	90	29.25
Norme de potabilité d'OMS classe bonne 5mg/l				

D'après le tableau n° 46 et la Figure 44 en remarque que la plupart des valeurs de la DBO₅ sont supérieures à la norme de potabilité de l'OMS au niveau des quatre stations. Le maximum est enregistré au niveau de la station n° 2 avec une valeur de 130 mg/l, par contre la station n°3 au niveau de Oued Tamagra a une qualité passable (5 à 15mg/l).



4.4.4. Les éléments nutritifs:

Les formes azotées organiques, ammoniacales, nitrites sont susceptibles d’être à l’origine de formation des nitrites par un processus soit d’oxydation biologique des nitrates, soit par réduction des nitrates sous l’influence d’une action bactérienne (phénomène de dénitrification). Ces formations azotées peuvent être d’origine agricole.

4.4.4.1. Les nitrates (NO₃⁻):

C’est une forme très soluble, et sa présence dans l’eau est liée à des engrais. Nos analyses montrent que la teneur maximale des nitrates est enregistrée sur Oued El Htiba (28.5mg/l), alors que les faibles teneurs sont enregistrées dans la cuvette du barrage et dans Oued Tamagra. Tableau 47

Tableau n°47: variation de la teneur des nitrates en fonction du temps au niveau des quatre stations (mg/l)

Paramètres	Min	Moy	Max	Ecarte Type
Station				
S1 : à l’amont de Oued El Htiba	2.4	14.21	28.5	1.18
S2 : à l’aval de Oued El Htiba	2.4	0.48	1.1	0.3
S3 : dans Oued Tamagra	0.5	2.42	1.6	3.8
S4 : dans la cuvette du Barrage	0.2	1.41	6	2.11
Norme de potabilité d’OMS 40 mg/l				

Les résultats obtenus montrent que la zone étudiée est caractérisée par des teneurs en nitrates inférieures à la norme admissible et seule la station 1 est caractérisée par de fortes teneurs. Fig 45

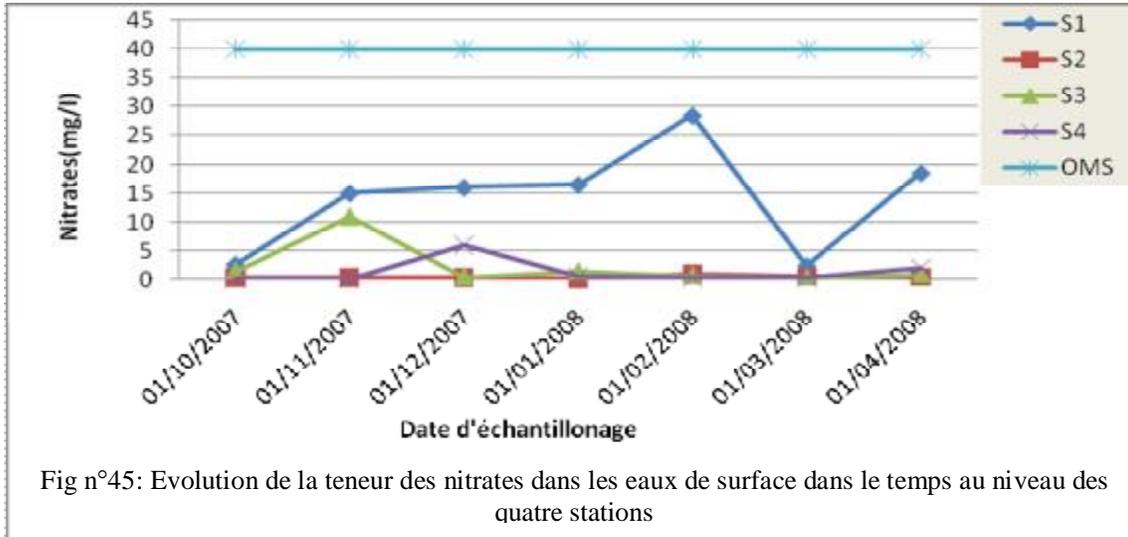


Fig n°45: Evolution de la teneur des nitrates dans les eaux de surface dans le temps au niveau des quatre stations

4.4.4.2. Les nitrites (NO₂⁻) :

Elle représente une forme de passage entre les nitrates et l'ammonium, les résultats obtenus montrent que les concentrations sont très faibles (≤ 0.1 mg/l). Tableau n°48 et Fig 46

Tableau n°48: variation de la teneur des nitrites en fonction du temps au niveau des quatre stations (mg/l)

Paramètres	Min	Moy	Max	Ecarte Type
Station				
S1 : à l'amont de Oued El Htiba	0.003	0.015	0.059	0.019
S2 : à l'aval de Oued El Htiba	0.003	0.026	0.121	0.042
S3 : dans Oued Tamagra	0	0.007	0.019	0.006
S4 : dans la Cuvette Du Barrage	0.0009	0.01	0.051	0.01
Norme de potabilité d'OMS 0.1mg/l				

Ces faibles teneurs en éléments azotés témoignent de la faible activité agricole et de l'absence d'une pollution d'origine urbaine

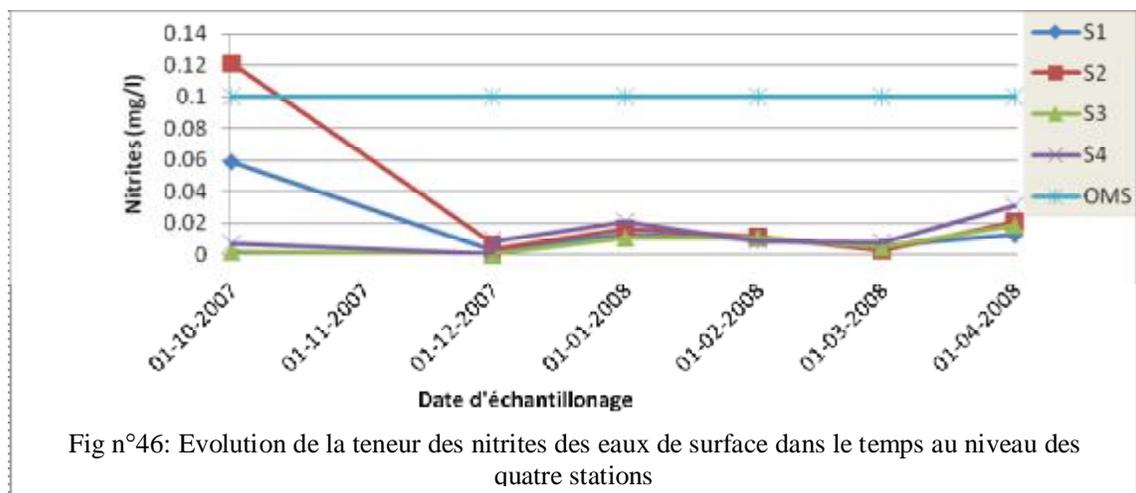


Fig n°46: Evolution de la teneur des nitrites des eaux de surface dans le temps au niveau des quatre stations

4.5. Analyse en composantes principales(ACP)

L'ensemble des procédures et techniques utilisées sert à identifier et quantifier la liaison entre les différents échantillons prélevés sur plusieurs sites .L'analyse statistique par composantes principales permet de déterminer les différentes liaisons entre plusieurs variables et de mettre en évidence les associations possibles. Elle est descriptive et l'objectif est de présenter sous forme graphique, le maximum d'information contenu dans un tableau de données. Ce tableau est constitué, en lignes par des « individus » sur lesquels sont mesurées des « variables quantitatives » (CE, teneurs en Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{--} et NO_3^-) disposées en colonnes. Le but recherché est de déterminer la structure des variables (familles) ainsi que la répartition de ces dernières

Après l'élaboration des matrices de corrélations, il s'ensuit une diagonalisation basée sur :

- Ø Une matrice de « vecteurs propres » qui contient des combinaisons linéaires des (P) variables initiales actives ;
- Ø Une matrice de « valeurs propres » qui représente les variances des individus sur les axes principaux correspondants.

Pour un axe donné, les variables qui ont les plus forts coefficients (en valeurs absolues) sont celles qui contribuent le plus à la formation de cet axe. Une variable est d'autant mieux représentée sur le plan qu'elle est proche du cercle. Le choix du nombre de composantes est exprimé en fonction des « valeurs propres » ou « des pourcentages de variation expliqués par chaque composante principale ».

Sur chaque plan retenu, on regarde :

- Ø La structure des variables à partir de leurs corrélations avec les axes principaux, représentée par des « cercles de corrélation » ;
- Ø la répartition des individus, à partir de leurs coordonnées sur les axes principaux et d'indices.

4.5.1. Application de l'A.C.P aux données chimiques des eaux de surface d'Oued El Arab:

4.5.1.1. ACP 1

L'analyse effectuée est une A.C.P centrée réduite qui a concerné 10 variables (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^{++} , K^+ , Cl^- , SO_4^{--} , HCO_3^- , NO_3^- , CND et NO_2^-).

4.5.1.1.2. Matrice de corrélation:

Le tableau 49 représente les différentes corrélations entre les variables deux à deux. Nous avons 28 couples de valeurs ce qui nous permet d'avoir un coefficient de corrélation égale à $r = 0,638$, ce qui permet de dégager les associations suivantes:

Cl^- avec SO_4^{--} , Ca^{++} , Mg^{++} , k^+ et Na^+

HCO_3^- avec SO_4^{--} , Ca^{++}

SO_4^{--} avec NO_3^- , Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , k^+ , HCO_3^- , Cl^-

NO_3^- avec Ca^{++} , Na^+ , SO_4^{--}

Ca^{++} avec Mg^{++} , Na^+ , k^+ , HCO_3^- , NO_3^- , Cl^-

Mg^{++} avec Na^+ , k^+ , Ca^{++} , Cl^-

Na^+ avec k^+ , NO_3^- , Cl^- , Mg^{++} , Ca^{++}

k^+ avec Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , k^+ , SO_4^{--} , Cl^-

Ces liaisons mettent en évidence des phénomènes de dissolution des formations carbonatées type calcaire et dolomie et des formations salifères. La liaison des nitrates avec le calcaire et le sodium permet de dire que les nitrates peuvent avoir une origine géologique.

Tableau n° 49: Matrice de corrélation des paramètres chimiques

Variables	CND (ms/cm)	CL (mg/l)	HCO (mg/l)	So4 (mg/l)	No3 (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	No2 (mg/l)
CND (ms/cm)	1									
CL (mg/l)	0.848	1								
HCO (mg/l)	-0.300	-0.366	1							
So4 (mg/l)	0.745	0.892	-0.508	1						
No3 (mg/l)	0.098	0.401	-0.317	0.537	1					
Ca (mg/l)	0.750	0.940	-0.519	0.927	0.504	1				
Mg (mg/l)	0.849	0.946	-0.378	0.831	0.253	0.878	1			
Na (mg/l)	0.536	0.706	-0.317	0.753	0.525	0.758	0.610	1		
K (mg/l)	0.479	0.652	-0.247	0.646	0.383	0.674	0.623	0.896	1	
No2 (mg/l)	0.200	0.279	-0.031	0.165	-0.149	0.245	0.201	-0.021	-0.001	1

4.5.1.1.3. Etude des variables:

L'analyse a été poussée jusqu'à deux facteurs et 79.068% de la variance ont pu être exprimés. Tableau n° 50. Le facteur 1 exprime près de 61% de la variance alors que le facteur 2 n'exprime que 11% de la variance.

Tableau n°50: Pourcentage de variance exprimée

Facteurs	F1	F2
Valeurs propres	6.051	1.377
% variance exprimée	60.512	13.773
% variance cumulée	60.512	74.285

4.5.1.1.4. Interprétation

Le facteur 1 est déterminé par l'ensemble des variables Ceci nous permet de dire que le facteur F₁ est le facteur de la minéralisation qui oppose les bicarbonates aux reste des éléments. Donc on a une opposition entre les eaux d'origine carbonatées aux eaux d'origine salifère. Par contre le F₂ est déterminé par les éléments nutritifs où on a une opposition entre les nitrates et les nitrites. Donc c'est un facteur de la pollution beaucoup plus urbaine contrairement au facteur F₁. Tableau n°51 Fig. n° 47

Tableau n°51 : Etude des variables

Paramètres chimiques	F1		F2	
	c	R ²	c	R ²
CND(ms/cm)	0.805	0.805	0.365	0.365
CL(mg/l)	0.955	0.955	0.192	0.192
HCO(mg/l)	-0.503	-0.503	0.149	0.149
So4(mg/l)	0.948	0.948	-0.021	-0.021
No3(mg/l)	0.506	0.506	-0.631	-0.631
Ca(mg/l)	0.968	0.968	0.049	0.049
Mg(mg/l)	0.905	0.905	0.246	0.246
Na(mg/l)	0.835	0.835	-0.324	-0.324
K(mg/l)	0.773	0.773	-0.257	-0.257
No2(mg/l)	0.183	0.183	0.743	0.743

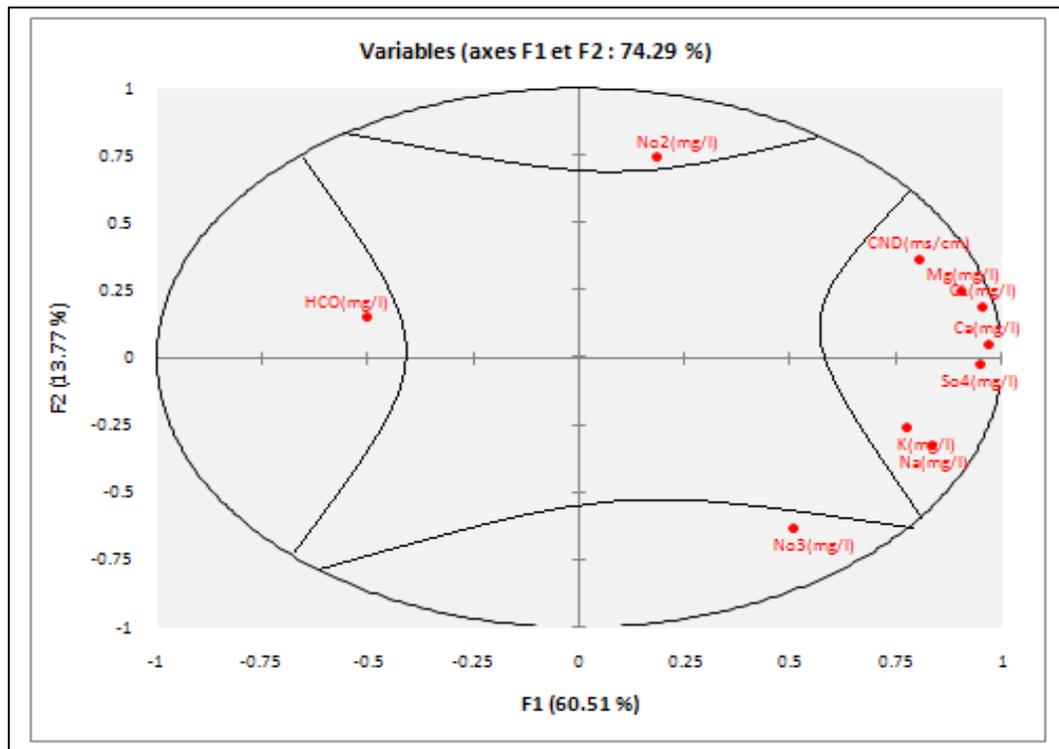


Fig n° 47: espace des variables selon le plan factoriel F1/F2

4.6. Indice d'échange de base (i.e.b):

Schoeler en 1934 a défini l'indice d'échange de base comme étant le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existants dans l'eau. Cet indice est obtenu par la relation suivante:

$$i.e.b1 = \frac{rCl^- - r(Na^+ + K^+)}{rCl^-}$$

Dans le cas où l'indice d'échange de base est négatif on a un échange des alcalino-terreux de l'eau contre les alcalins des permutolites, donc il est préférable de calculer l'indice d'échange de base par la formule suivante:

$$i.e.b2 = \frac{rCl^- - r(Na^+ + K^+)}{rSO_4^{--} + rHCO_3^- + rNO_3^-}$$

4.6.1. Interprétation des résultats:

On remarque sur toutes les analyses ont des i.e.b positifs à l'exception de quelques valeurs qui soit négatives Tableau (n° 52).

4.7. Qualité des eaux pour l'A.E.P

Afin de définir la potabilité des eaux superficielles, nous nous sommes basés sur les normes de l'O.M.S qui a défini la concentration maximale admissible est la quantité maximale de substance tolérée. Les teneurs supérieures peuvent être dangereuses pour la santé (Tab 53).

La comparaison de nos analyses aux normes de potabilités montre que tous les échantillons dépassent les teneurs acceptables à l'exception des nitrates.

Tableau n°52: l'indice d'échange de base au niveau du bassin versant de Oued El Arab

Stations	échantillons	compagne	I E B ¹	I E B ²
S ₃ Oued Tamagra	1	15/10/2007	0.601	0.127
	2	15/11/2007	0.646	0.145
	3	15/12/2007	0.618	0.138
	4	15/01/2008	0.618	0.144
	5	15/02/2008	0.616	0.14
	6	15/03/2008	0.593	0.135
	7	15/04/2008	0.602	0.135
S ₁ à l'amont de Oued El Htiba	8	15/10/2007	0.704	0.195
	9	15/11/2007	0.623	0.132
	10	15/12/2007	0.652	0.147
	11	15/01/2008	0.676	0.106
	12	15/02/2008	0.467	0.232
	13	15/03/2008	0.63	0.178
	14	15/04/2008	0.712	-0.05
S ₂ à l'aval de Oued El Htiba	15	15/10/2007	-0.58	-0.02
	16	15/11/2007	-0.73	-0.06
	17	15/12/2007	-1.49	0.09
	18	15/01/2008	0.04	0.004
	19	15/02/2008	-0.07	-0.01
	20	15/03/2008	0.196	0.023
	21	15/04/2008	0.263	0.025
S ₄ La cuvette du barrage	22	15/10/2007	-0.38	-0.03
	23	15/11/2007	0.101	0.012
	24	15/12/2007	-0.21	-0.02
	25	15/01/2008	0.303	0.051
	26	15/02/2008	0.494	0.091
	27	15/03/2008	0.331	0.054
	28	15/04/2008	0.519	0.112

Tableau n°53: Normes applicables aux destinées à l'A.E.P d'après l'O.M.S

éléments chimiques	Concentration maximale acceptable (mg/l)	Concentration maximale admissible (mg/l)	Valeurs des échantillons			
			Oued Tamagra	à l'amont de Oued El Htiba	à l'aval de Oued El Htiba	La cuvette Du barrage
Mg ⁺⁺	75	200	72,44	164,5	164,04	93,17
Ca ⁺⁺	50	150	96,4	325,66	247,2	147,44
Cl ⁻	200	400	57,78	308,3	278,88	129,82
SO ₄ ⁻	200	600	388,6	1184,42	866,14	597,14
NO ₃ ⁻	50	100	2,42	14,21	0,48	1,41

4.8. Qualité des eaux pour l'irrigation:

La rareté des précipitations et la forte évaporation, on contraint les agriculteurs à utiliser les eaux du barrage dans l'irrigation des terres agricoles. C'est Pour cette raison que la qualité de l'eau utilisée dans l'agriculture doit présenter les meilleurs paramètres physicochimiques. Les eaux chargées en sels minéraux posent des problèmes pédologiques et agronomiques entraînant une influence sur la croissance des plantes. Parmi ces sels, on peut citer le cas des sulfates et du sodium, qui avec de fortes teneurs influent sur la structure physique du sol et sur le développement de la plante.

Pour mettre en évidence de phénomène nous allons utiliser trois méthodes qui sont:

- la Salinité CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$)
- la Classification de RICHARD (SAR)
- la Classification de WILLOX

4.8.1. Salinité:

Les sels dissous arrivent donc à la zone racinaire des plantes sur lesquelles l'action est directe soit sur l'évolution de la plante soit sur la production. La connaissance des concentrations de ces sels est importante pour la détermination des effets sur la récolte et sur les sols car la présence des sels dessous en forte concentration influe sur la qualité de l'eau qui engendre principalement des problèmes de salinité et de toxicité. Selon la conductivité électrique, l'eau peut être classée en trois catégories. Tableau 54

Tableau n°54 : Qualité de l'eau pour l'irrigation selon la conductivité électrique

Restriction pour la salinité	Salinité CE (µs/cm)	Pourcentage des échantillons aux différentes stations			
		Oued Tamagra	À l'amont d'Oued El Htiba	À l'aval d'Oued El Htiba	Cuvette Barrage
Aucune	700 >	/	/	/	/
Légère à modéré	700-3000	100	/	28.57	100
Forte	> 3000	/	100	71.43	/

On remarque que pour:

- Oued Tamagra, l'ensemble des échantillons de l'eau présente une restriction légère à modérée.
- Oued El Htiba, l'ensemble de l'eau à l'amont présente une restriction forte puis vers l'aval, suite à des phénomènes de précipitation (que nous venons plus loin) et de dilution, 71% de l'eau ont une restriction forte et 29% ont une restriction légère à modérée.
- Le barrage, l'eau stockée dans la cuvette présente une restriction légère à modérée pour l'irrigation.

4.8.2. Classification de Richard:

La qualité de l'eau pour l'irrigation a été étudiée par l'USSL (1954) puis complétée par DURANT (1958). Cette étude s'est basée sur la concentration du sodium par rapport à celle du calcium et du magnésium selon la relation suivante qui définit le rapport du sodium absorbé.

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

Avec :

Na : concentration de l'eau en ions sodium en méq/l

Ca : concentration de l'eau en ions calcium en méq/l

Mg : concentration de l'eau en ions magnésium en méq/l

Trois classes de risque alcalin ont été définies en relation avec le risque salin. Fig n°48

SAR ≤ 10 —————> Risque faible

10 ≤ SAR ≤ 18 —————> Risque moyen

SAR ≥ 18 —————> Risque élevé

L'examen du diagramme du SAR permet de dire que le danger d'alcalinisation est faible mais le danger de salinité est élevé.
 Dans le détail on peut dire que

- Ø Pour Oued Tamagra et la cuvette du barrage, l'eau convient à l'irrigation des cultures tolérant le sel mais sur des sols bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée ;
- Ø Pour Oued El Htiba, l'eau est fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien qui tolèrent le sel et sur des sols bien drainés et lessivés.

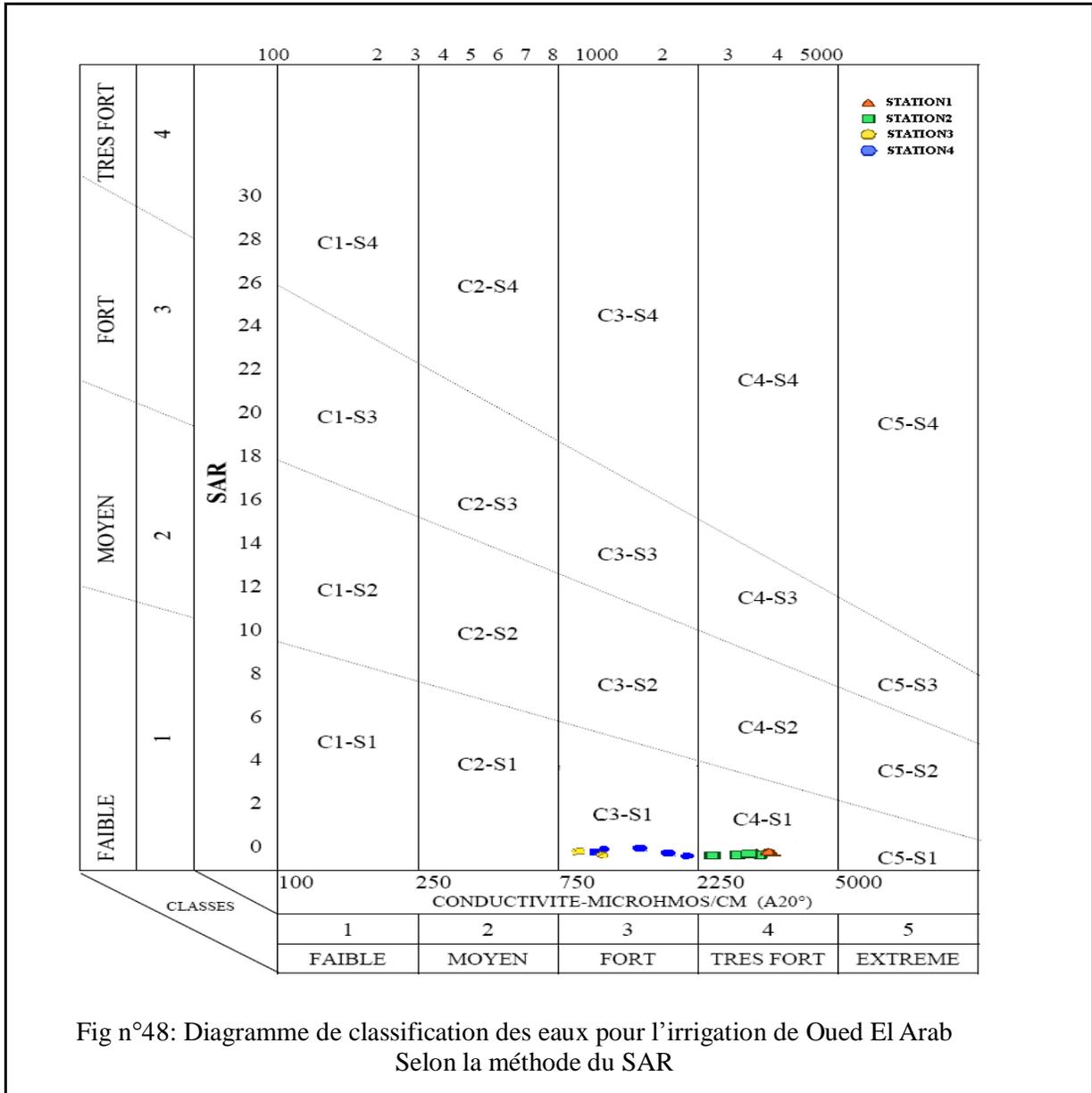


Fig n°48: Diagramme de classification des eaux pour l'irrigation de Oued El Arab Selon la méthode du SAR

4.8.3. Classification de WILCOX

Le diagramme de Wilcox est une représentation graphique du pourcentage du sodium (%Na) en fonction de la conductivité électrique, permettant de déterminer le risque de salinité des eaux. La classification définit cinq classes d'eau excellente, bonne, admissible, médiocre et mauvaise. L'augmentation de la charge en Na^+ influence négativement le développement des plantes. Tableau n°55, Fig49. Cette classification est définie par la formule suivante:

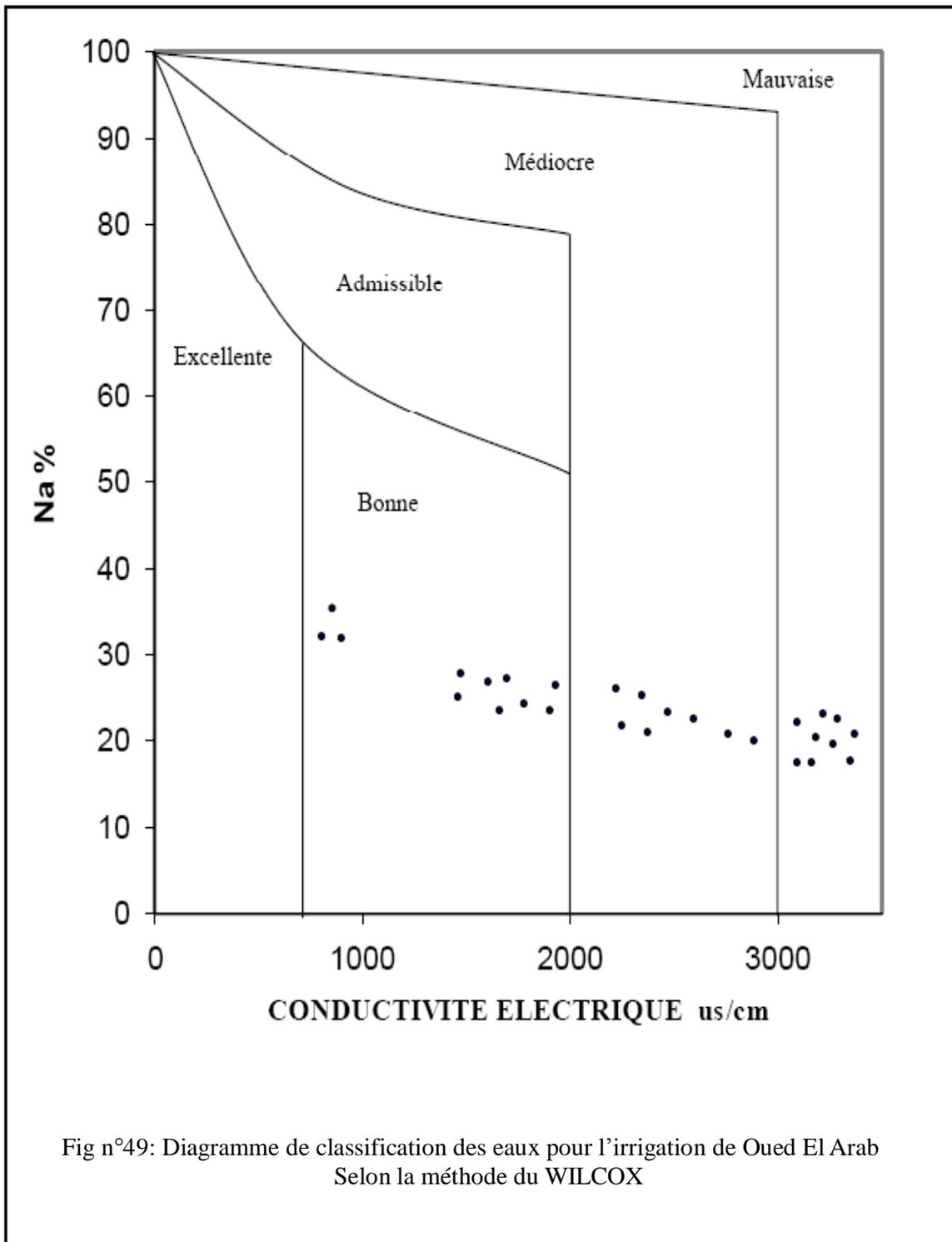
$$\%Na^+ = \frac{Na^+}{Ca^{++} + Mg^{++} + Na^+ + K^+} \times 100$$

Tableau n°55: Résultats de l'utilisation du diagramme de WILCOX

classification	Pourcentage des échantillons aux différentes stations			
	Oued Tamagra	À l'amont de Oued El Htiba	À l'aval de Oued El Htiba	Barrage
Bonne	100%	/	/	14.28%
Médiocre	/	/	28.57%	85.71%
mauvaise	/	100%	71.42%	/

On constate donc que les deux méthodes semblent donner globalement les mêmes résultats, et d'une manière générale l'eau de barrage peut convenir à pour l'irrigation.

On remarque que les eaux de Oued Tamagra sont toujours de bonne qualité alors que celle du barrage sont de mauvaise à bonne qualité mais celles de Oued El Htiba sont de qualité mauvaise à médiocre.

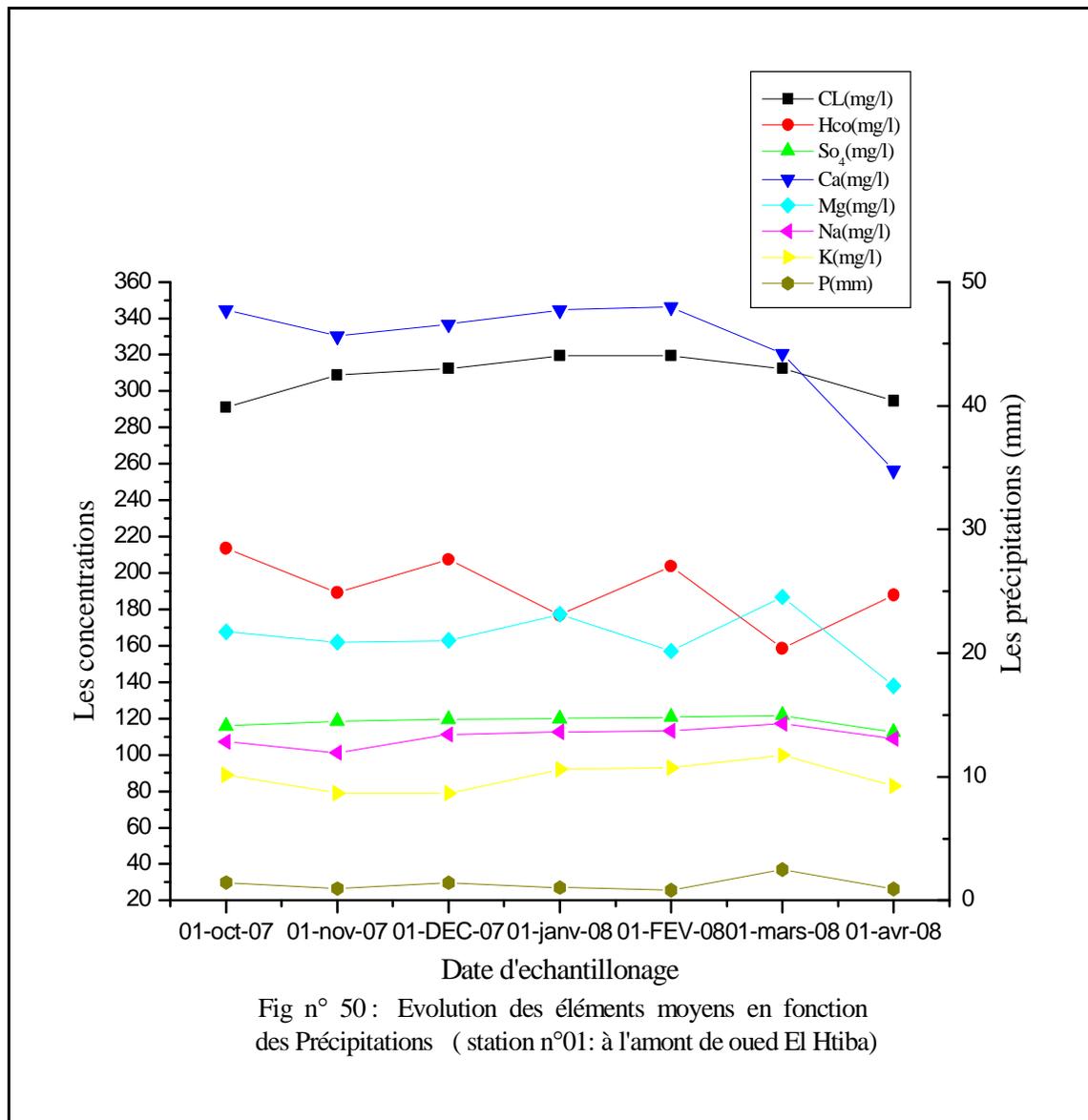


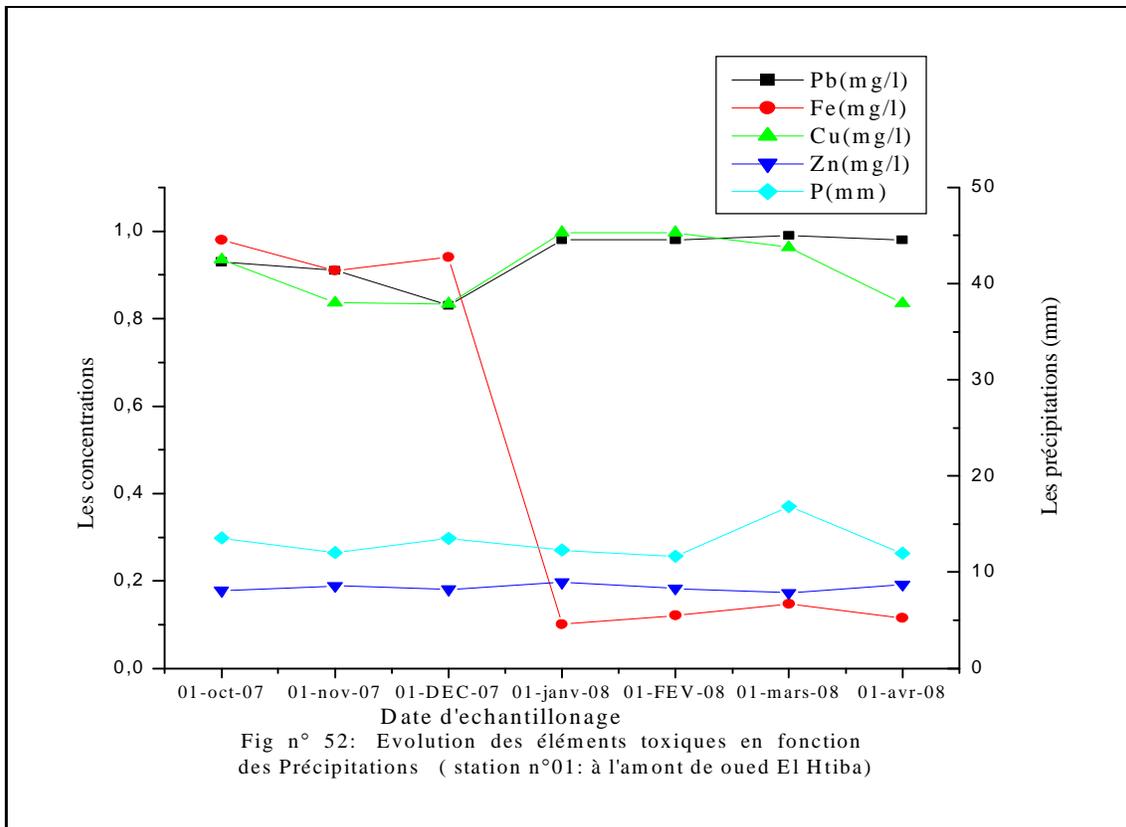
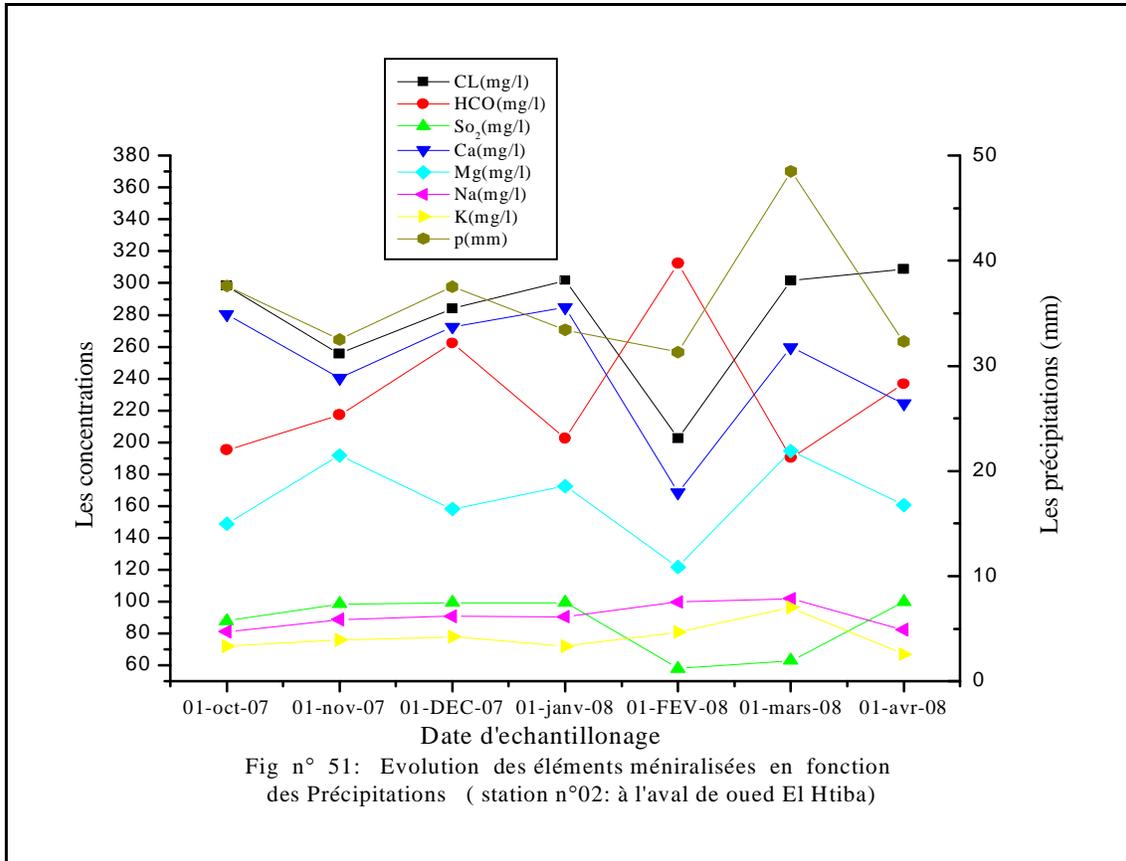
4.9. Evolution des éléments chimiques en fonction des précipitations entre Octobre 2007 et Avril 2008

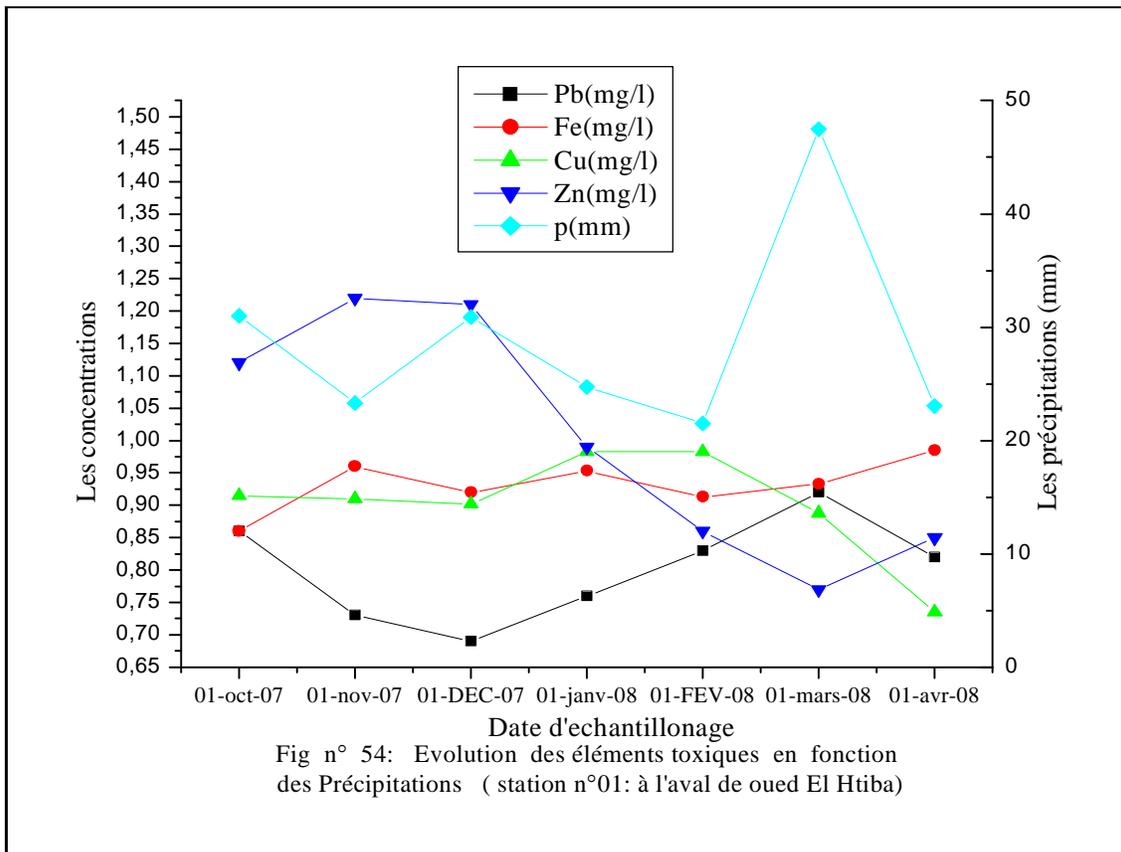
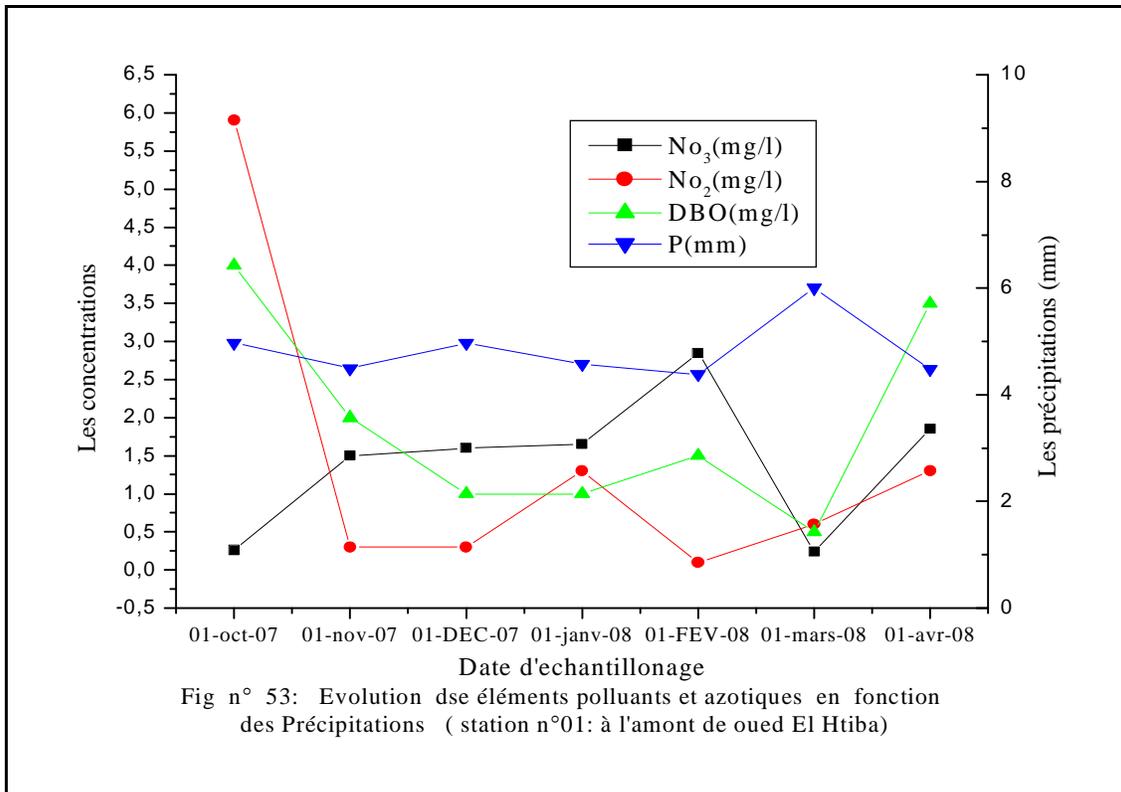
Pour cerner le problème de qualité posé au niveau des Oueds, on a étudié l'évolution des éléments chimiques en fonction des précipitations au niveau des stations de prélèvements.

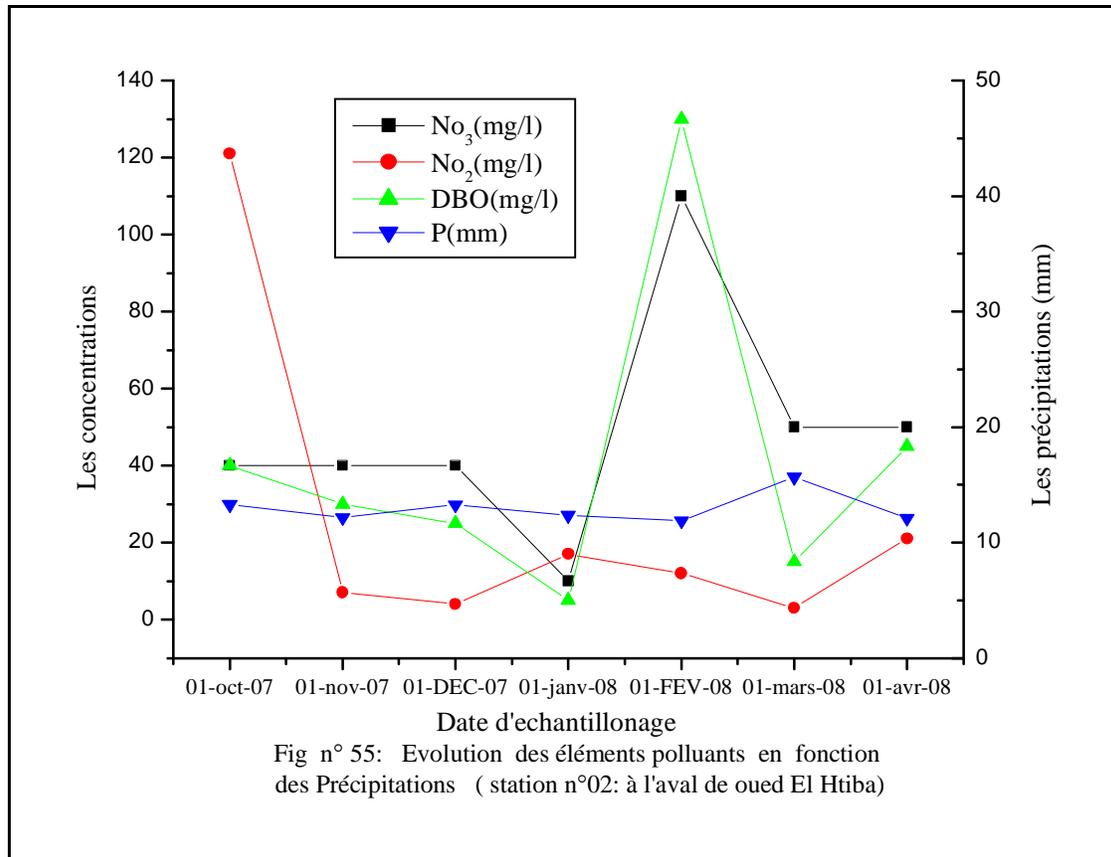
4.9.1. Oued El Htiba

On remarque que pour K^+ , Na^+ , SO_4^{2-} sont restes stables dans le temps et dans l'espace (Figure 50 et 52) par contre le reste des éléments majeurs et mineurs, leurs teneurs sont fortement influencées par les précipitations (Figure 53 à 55).









4.9.2. Oued Tamagra

Ø Les chlorures (Fig 56)

Les chlorures évoluent inversement aux : précipitation et au potassium et évolue dans le même sens avec le sodium ce qui favorise la formation des Seles de chlorure de sodium. Les chlorures atteignent des teneurs maximales au mois d'avril (71 mg/l).

Ø Les bicarbonates (Fig 56)

La relation (bicarbonate-précipitations) pendant les quatre premiers mois et inverse par la suite on retrouve une situation analogue, ce qui suppose que les eaux de Oued Tamagra sont très riches en bicarbonate.

Ø Les sulfates (Fig 56)

Les sulfates évoluent inversement proportionnelle aux précipitations, ils évoluent avec les chlorures et le magnésium, ils atteignent leurs valeurs maximales pendant la période sèche (460mg/l au mois de avril) et minimales durant la période humide.

Ø Le sodium (Fig 56)

Le sodium évolue d'une manière inverse aux sulfates et ne semble pas avoir de relation avec les précipitations, La concentration de sodium atteint sa valeur max (80,83mg/l) pendant les hautes eaux.

Ø Le potassium (Fig 56)

Le potassium suit la même évolution que le sodium, ce qui montre que les deux éléments ont la même origine.

Ø Le calcium (Fig 56)

La concentration en calcium n'est pas très élevée, de l'ordre de 120,24mg/l au mois de mars avec une concentration pendant les trois derniers mois.

Ø Le magnésium (Fig 56)

L'évolution de magnésium se fait en sens inverse avec les précipitations, le potassium et le sodium et avec une grande liaison avec les sulfates et les chlorures. Ce ci montre que ces éléments permet avoir la même origine.

Ø Le plomb (Fig 57)

Le plomb évolue d'une manière symétrique avec le cuivre et inversement proportionnelle avec les précipitations et admet un max au mois d'avril (0,088mg/l) où les précipitations sont faibles.

Ø Le fer (Fig 57)

L'évolution de fer est liée aux précipitations et à celle du cuivre.

Ø Le cuivre (Fig 57)

La courbe de cuivre évolue d'une manière opposée aux: précipitations et le plomb et d'une manière analogique avec le fer pendant les deux périodes humides et sèches. Il atteint une valeur max au mois de janvier (0,34 mg/l).

Ø Le zinc (Fig 57)

Le zinc évolue d'une manière brisée dans les deux périodes humide et sèche et avec aucune relation liée avec les précipitations, et admet une valeur maximale au mois d'avril (1,25mg/l) supérieure à la limite admissible.

Ø DBO (Fig 58)

Les concentrations de la demande biochimique en oxygène sont très faibles durant la période sèche et la période humide, cela est expliqué par la relation inverse avec les précipitations.

Ø Les nitrates (Fig 58)

La courbe des nitrates évolue inversement proportionnelle avec celle des précipitations. Les concentrations des nitrites ont des valeurs faibles et inférieures aux limites admissibles.

Ø Les nitrites (Fig 58)

Ils évoluent d'une manière inverse avec les nitrates et les précipitations. La valeur maximale est enregistrée au mois d'avril (0,019mg/l).

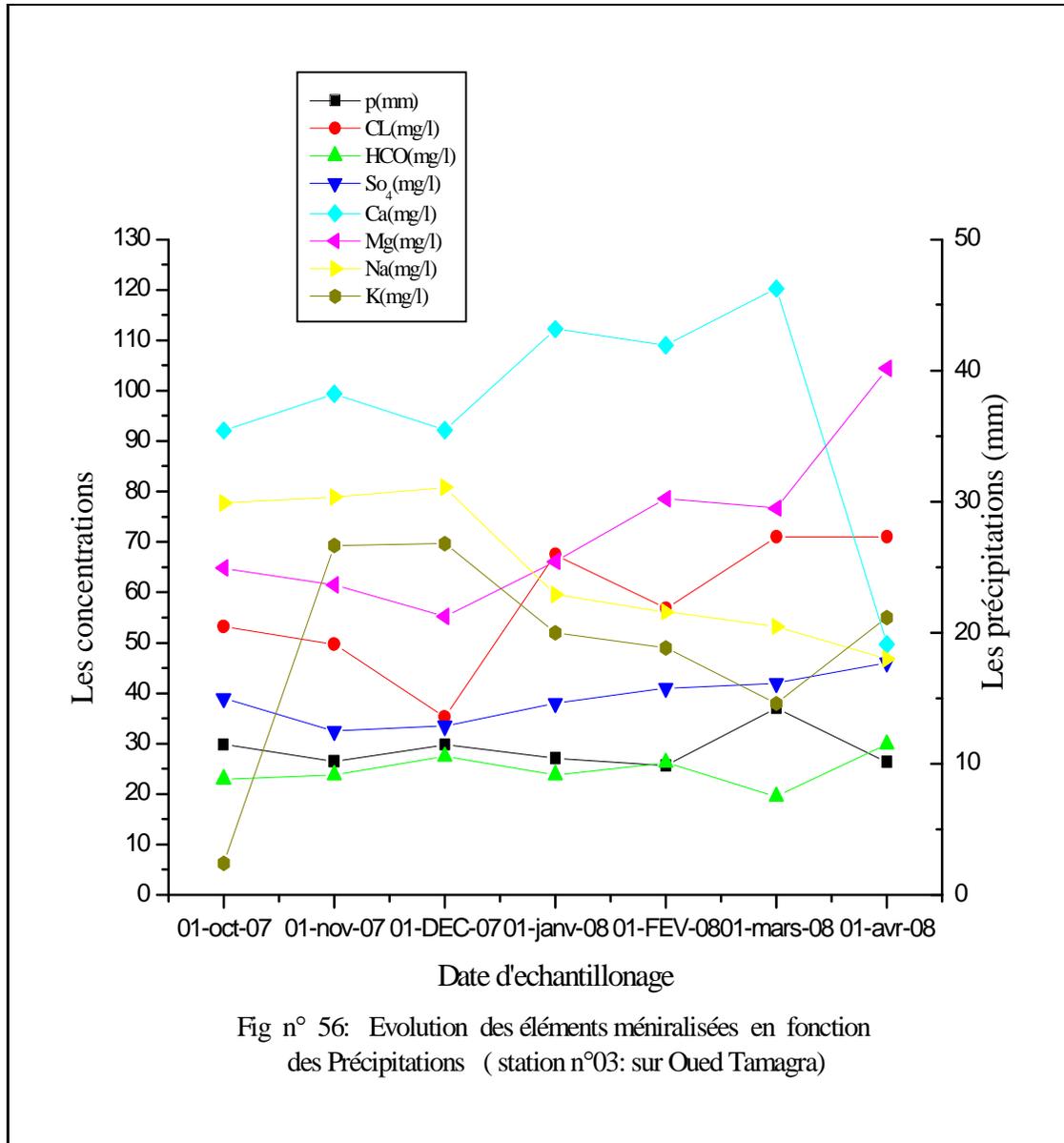
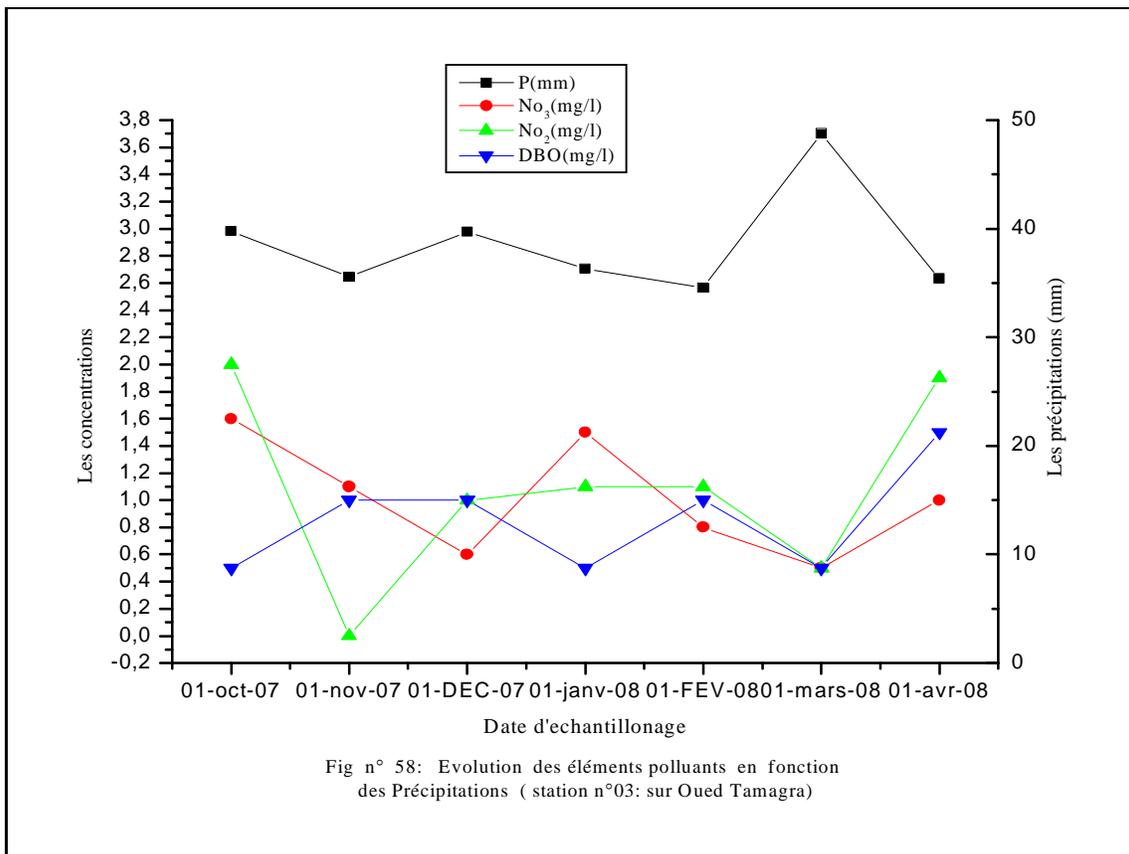
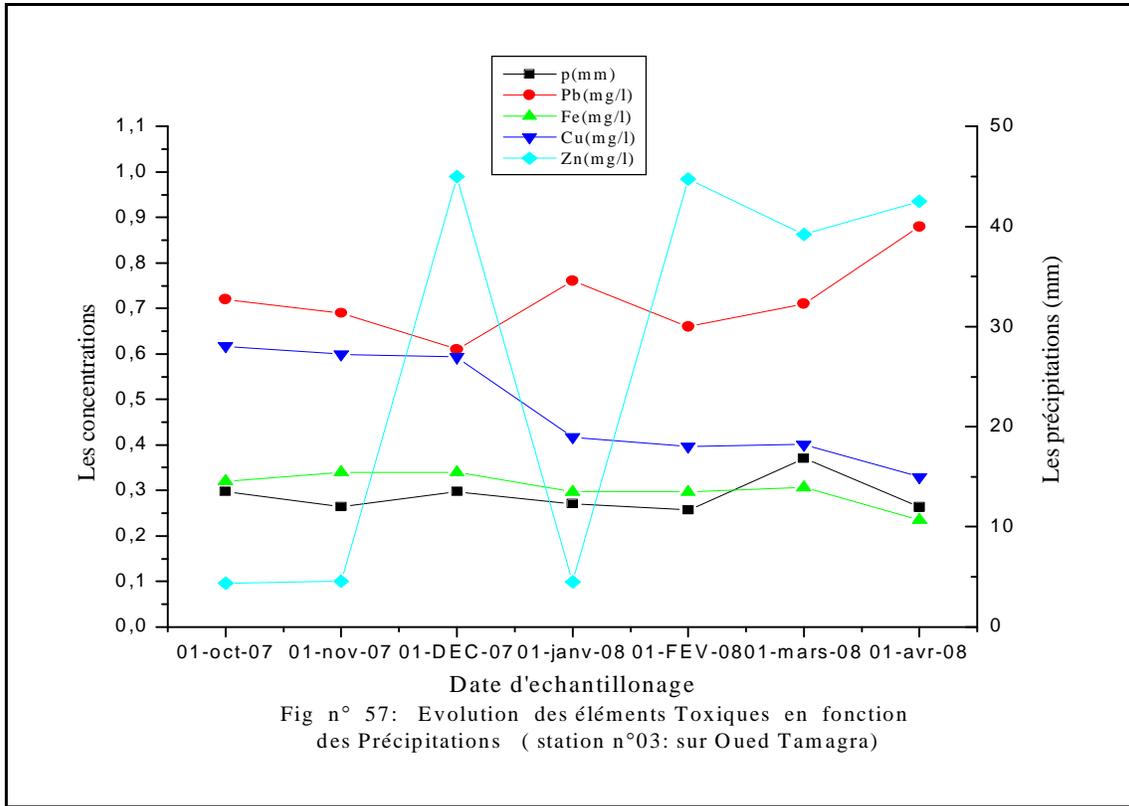


Fig n° 56: Evolution des éléments minéralisés en fonction des Précipitations (station n°03: sur Oued Tamagra)



Conclusion

Les résultats des analyses physicochimiques montrent que:

- ✓ Les terrains géologiques et la pluviométrie ont une influence sur les concentrations des éléments chimiques.
- ✓ Les diagrammes de PIPER, et SCHOELLER-BERKALOFF ont montré que les sulfates dominent et s'accompagnent soit de calcium soit de magnésium au niveau des quatre stations. Selon les analyses chimiques on a remarqué que les fortes concentrations de sulfate sont liées aux marne-gypseuses.
- ✓ L'analyse en composantes principales a mis en évidence des liens significatifs entre les éléments.
- ✓ Les eaux de la région étudiée ont des teneurs inférieures aux normes maximales admissibles (selon l'OMS) pour Cl^- , NO_3^- , Ca^{++} et Mg^{++} . par contre la teneur des sulfates dépasse les normes.
- ✓ L'étude des éléments physicochimiques en fonction de temps montre que la région étudiée est polluée par le Fer, le Cuivre, et le Zinc.
- ✓ La variation des éléments chimiques en fonction des précipitations montre que la majorité des éléments suivent une évolution inverse aux précipitations suite à des phénomènes de dilution.
- ✓ Les eaux usées ont une influence sur la concentration de certains éléments lourds.

**CONCLUSION
GENERALE.**

CONCLUSION GENERALE

L'étude hydrologique et hydrochimique du bassin versant de Oued El Arab au barrage de Babar, nous a permis d'avoir un aperçu sur l'état quantitatif et qualitatif sur la réserve en eau de la région . Ainsi, cette étude a permis de dire que d'après:

- ✓ L'étude géomorphologique de la région, le bassin versant de Oued El Arab a une superficie de 567km² et une forme carré. Le temps de concentration est estimé à 12,6 heures avec une vitesse de concentration de 4,04m/s. La densité de drainage (Dd=4.8km/km²) caractérise un réseau hydrographique bien développé.

- ✓ L'étude géologique, les formations prédominantes sont d'âge Quaternaire avec une épaisseur assez limitée. Ceci nous permet de dire que la zone d'étude a une perméabilité moyenne mais l'action de l'érosion reste importante sur la majorité de la surface du bassin surtout sur la zone à forte pente et dépourvue de végétation.

- ✓ Les données climatiques de la région étudiée, cette dernière a un climat semi-aride. Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 310 mm pour une température moyenne annuelle de 15,12 °C. L'évolution annuelle de ces deux paramètres permet de distinguer une période chaude et sèche et une période froide et humide. L'évapotranspiration réelle moyenne est de l'ordre de 288 mm soit 92 % des précipitations moyennes annuelles. Le déficit agricole est de l'ordre de 395 mm pour la station de Babar.

- ✓ Le suivi du chimisme des eaux de surface pendant la période allant du mois d'Octobre 2007 jusqu'au mois d'avril 2008, a permis de dire que les eaux du barrage restent polluées du moment que les concentrations de certain éléments chimiques dépassent les normes admissibles.

- ✓ L'interprétation des différents diagrammes a montré que dans la région étudié les sulfates dominant et s'accompagnent soit de calcium soit de magnésium au niveau des

quarte stations de prélèvement. L'évolution des éléments chimiques en fonction de temps fait ressortir que de fortes concentrations de sulfate et de calcium sont liées aux formations évaporitiques ou salifères comme le gypse. Les eaux de Oued Tamagra et la cuvette du barrage ont des teneurs inférieures aux normes maximales admissibles pour SO_4^- , Cl^- , NO_3^- , Ca^{++} et Mg^{++} . Par contre les eaux de Oued El Htiba ont des teneurs supérieures aux normes maximales admissibles pour SO_4^- et Ca^{++} .

- ▼ L'étude de l'évolution des éléments en fonction des précipitations montre que la majorité des éléments suivent une évolution inverse des précipitations.

- ▼ L'étude des éléments trace montre que les eaux de la région étudiée sont polluées par certains éléments comme le fer, le cuivre et le zinc et par un degré moindre par les nitrates et les nitrites.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- BELHADJ. M. Z 2006 : Etude de la pollution du barrage de Zit-Emba
Commune de Bekkouche Lakhdar Wilaya de Skikda
Mémoire Magister, départ d'hydraulique –Univ. Batna. 107 pages.
- BELKHIRI. L 2005: Etude hydrogéologique et problème de la qualité
des eaux souterraines de la plaine d'Ain Azal
Mémoire magister, départ d'hydraulique –Univ. Batna. 165pages.
- BOUDOUKHA .A. 1988 : Etude hydrogéologique et modélisation du système
Aquifère ferme d'El Eulma - Ain Lahdjar (région Est de Sétif)
Thèse de Doctorat, Univ de Franche - Comte en France. 167 pages.
- BOUDOUKHA .A. 1998 : Etude hydrogéologique des hautes plaines setifiennes et qualité des
eaux souterraines
Thèse de doctorat D'état. Institut de chimie, Univ. Annaba 230pages.
- BOUGUARNE .A 2001 : Etude comparative par analyse hydrologique
et hydrochimique des eaux de surface du bassin
versant de oued boussalem, Oued Rhumel
Mémoire Magister, départ d'hydraulique –Univ. Batna. 184 pages.
- CHAPUT.J (1997) : Initiation à la géomorphologie. Ellipses, 143 pages.
- DERCOURT.J ET P.J (1978) : Géologie objet et méthodes, 3^e ed Dunod.Paris, 329 pages.
- DJABRI L 1996 : Pollution des eaux de la vallée de La Seboue - régions
Guelma - Bouchegouf - Annaba, ses origines
Géologiques, Industrielles, Agricoles Et Urbaines.
Thèse de doctorat D'état. Univ. Annaba 274pages.
- DEBIECHE.T.H 2002 : Evolution de la qualité des eaux (Salinité, Azote, Métaux Lourds)
sous l'effet de La pollution salin agricole et industrielle
Thèse doctorat Univ De Franche.Comte-france 199 pages.
- GASMI I 2004 : Dégradation de la qualité de l'eau dans le bassin versant d'Oued
Medjerda- Souk Ahras
Mémoire Magister, départ d'hydraulique -Univ .Batna. 155 pages.
- GUECHI S 2004 : impacte de la pollution agricole et industrielle sur la nappe aquifère
De la région Boumaiza (Ben-Azzouz, Skikda)
Mémoire magister, départ Science de la terre -Univ. Annaba 105pages.

- GHACHIA Z (1986) : Hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie, OPU, 508pages.
- _KHEMOUDJ.K 2001: Impact de la pollution industrielle, urbaine et agricole Sur les eaux de la nappe superficielle de la région D'El Eulma. W de Sétif : Mémoire de magister, Dept chimie Univ de Bedji mokhtar. Annaba, 195 pages.
- LAHONDERE.J.C1987 La série ultra tellienne d'Algérie Nord-orientale et formation Environnantes dans leur cadre structurale Thèse de doctorat d'état, Univ. paul Sabatier – Toulouse. 238 pages.
- LIER.J(1982) L'analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaire, eau de mer. 8^{ième} édition, DUNOD, Paris France.1383 pages.
- MEKAOUSSI.H 2003: Etude hydrochimique du bassin versant du barrage du « Fontaine des Gazelle ». Mémoire de magister, départ d'hydraulique-univ.Batna, 120 pages.
- MUSY et Al, 1998. Cours d'hydrologie appliquée. Edition HGA, Bucarest, 1998.
- ROCHE M . 1963 : Hydrologie de surface. Gautier - Villars Paris. 430pages.
- RODIER.J 1984 : Analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduelles, Eau de mer : Physico-chimie, bactériologie, Biologie, 7^{ed} Dunod. Paris, 1365 pages.
- SAIBI H. 2003 : Analyse qualitative des ressources en eaux de la vallée du Souf Et impact sur l'environnement, région aride à semi – aride d'El Oued. Mémoire de magister en hydrogéologie. IST. USTHB. 165 pages.
- TAHA.H 2002 Evolution de la qualité des eaux (salinité, Azote et Métaux lourds) Sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la basse plaine de la Seybouse Nord-est Algérien Thèse de Doctorat, Univ de Franche - Comte en France. 167 pages.
- TIRI .A 2005 : Etude Spatiotemporelle du bassin versant du barrage de Codait El Mdora Wilaya de Batna Est Algérien Mémoire magister, départ d'hydraulique -Univ.Batna 128pages.
- VILA J. M. 1980 : La chaîne Alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens. Thèse de doctorat es-sc. Nat. Univ-Paris VI. 665 pages.
- WOTLING G 2000 caractéristique et modélisation de l'aléa hydrologique à tahiti Thèse de doctorat d'état, Univ. Montpellier II.308P.

Les cartes utilisées :

ü INC: La carte topographique de Khenchela au 1/200000.

Ministère des ressources en eau Algie-Algérie 1 feuille.

ü SONATRACH: La carte géologie de Khenchela au 1/200000.

Ministère de l'énergie Algie – Algérie 1 feuille.

Annexe

Annexe I

Tableau n°01: Les totaux cumulés annuels pluviométriques des 3 stations

Année	Babar		Ain Mimoun		Bouhmama	
	P partielle (mm)	P cumulée (mm)	P partielle (mm)	P cumulée (mm)	P partielle (mm)	P cumulée (mm)
1969	223,1	223,1	790,3	790,3	571,3	571,3
1970	140,6	363,7	257,4	1047,7	632,2	1203,5
1971	328,8	692,5	645,9	1693,6	598,4	1801,9
1972	325,9	1018,4	636,9	2330,5	407	2208,9
1973	189,5	1207,9	415,8	2746,3	294,4	2503,3
1974	223	1430,9	568,6	3314,9	405,3	2908,6
1975	409,9	1840,8	505,1	3820	357,5	3266,1
1976	398,3	2239,1	537,5	4357,5	382,4	3648,5
1977	287,1	2526,2	275,2	4632,7	361,8	4010,3
1978	292	2818,2	337,5	4970,2	182,7	4193
1979	350,5	3168,7	548,7	5518,9	327,9	4520,9
1980	239,3	3408	442,2	5961,1	434,7	4955,6
1981	233,47	3656,2	444,1	6405,2	431	5386,6
1982	187,47	3837,4	436,1	6841,3	269,1	5655,7
1983	238,6	4067,9	303,8	7145,1	333,4	5989,1
1984	250,52	4337,5	404,8	7549,9	500,2	6489,3
1985	332,3	4669,8	400,8	7950,7	374,7	6864
1986	347,8	5017,6	369,3	8320	341,4	7205,4
1987	331,6	5349,2	272,4	8592,4	206,6	7412
1988	286,4	5635,6	425,9	9018,3	465,1	7877,1
1989	540,1	6175,7	705,7	9724	573,5	8450,6
1990	376,3	6552	500,7	10224,7	380,2	8830,8
1991	312,5	6864,5	558	10782,7	462,8	9293,6
1992	254,8	7119,3	405,3	11188	297,7	9591,3
1993	225,6	7344,9	325	11513	305,8	9897,1
1994	342,6	7687,5	363,6	11876,6	338,4	10235,5
1995	380,3	8067,8	705,5	12582,1	542	10777,5
1996	354,5	8422,3	145,9	12728	270,1	11047,6
1997	251,7	8674	599,2	13327,2	514,2	11561,8
1998	319,3	8993,3	339,3	13666,5	313,6	11875,4
1999	133,8	9127,1	314,1	13980,6	341,7	12217,1
2000	245,8	9372,9	257,7	14238,3	209	12426,1
2001	256,5	9629,4	329,2	14567,5	452,4	12878,5
2002	461,6	10091	510	15077,5	552,3	13430,8
2003	563,5	10654,5	565	15642,5	609,4	14040,2
2004	348	11002,5	581	16223,5	466,1	14506,3
2005	315,7	11318,2	709	16932,5	546,2	15052,5

ANNEXE II

Tableau n° 02: la valeur des précipitations au niveau des stations de Babar, Chelia, Ain Mimoune et Bouhmama entre 1969 et 2005

Années	Babar	Ain Mimoune	Bouhmama
	Pa (mm)	Pa (mm)	Pa (mm)
1969	223	790	571
1970	140	257	632
1971	328	645	598
1972	325	636	407
1973	189	415	294
1974	223	568	405
1975	409	505	357
1976	398	537	382
1977	287	275	361
1978	292	337	182
1979	350	548	327
1980	239	442	434
1981	248	444	431
1982	181	436	269
1983	230	303	333
1984	269	404	500
1985	332	400	374
1986	347	369	341
1987	331	272	206
1988	286	425	465
1989	540	705	573
1990	376	500	380
1991	312	558	462
1992	254	405	297
1993	225	325	305
1994	342	363	338
1995	380	705	542
1996	354	145	270
1997	251	599	514
1998	319	339	313
1999	142	314	341
2000	345	257	209
2001	309	329	452
2002	466	510	552
2003	563	565	609
2004	348	581	466
2005	315	709	546
Module pluviométrique	310	457	406
Ecart type	93	144	119
Coefficient de variation	0.30	0.32	0.29

ANNEXE III

Tableau n°3: Les différentes valeurs de l'ETR

Paramètres	Méthodes	Valeurs en mm	Valeurs en %
		Babar	Babar
ETR en : mm	Turc	306	98
	Coutagne	/	/
	Wundt	288	92
	Verdeil	308	99
	Thornthwaite	310	100

Résumé

L'étude hydrologique et hydrochimique du bassin versant de Oued El Arab au barrage de Babar, nous a permis d'avoir un aperçu sur l'état quantitatif et qualitatif sur la réserve en eau de la région. L'étude hydrologique montre que La zone d'étude est caractérisée par un climat semi-aride, avec un coefficient d'écoulement est très faible sur le bassin versant de Oued El Arab, ce qui traduit des conditions d'alimentation et d'écoulement très défavorable notamment une forte évaporation. L'étude hydrochimique des eaux du barrage restent polluées du moment que les concentrations de certain éléments chimiques dépassent les normes admissibles. L'évolution des éléments chimiques en fonction de temps fait ressortir que de fortes concentrations de sulfate et de calcium sont liées au formations évaporitiques ou salifères comme le gypse. L'étude des éléments trace montre que les eaux de la région étudiée sont polluées par certain éléments comme le fer, le cuivre et le zinc et par un degré moindre par les nitrates et les nitrites

Mots clés

Bassin versant, Oued El Arab, barrage, pollution.

ملخص:

الدراسة الهيدرولوجية و الهيدروكيميائية لحوض وادي العرب بسد بابار, سمح لنا بإلقاء نظرة على الحالة الكمية و النوعية للمخزون المائي لهذه الناحية. الدراسة الهيدرولوجية تؤكد لنا أن هذه الناحية تتميز بمناخ شبه جاف, مع ضعف معامل السيلاان على كل حوض وادي العرب, و هذا ما ينقص من شروط التغذية و سيلاان غير ملائم. الدراسة الهيدروكيميائية لمياه السد تبقى ملوثة وهذا نظرا لارتفاع تركيز بعض العناصر الكيميائية. تحرك العناصر الكيميائية مع الوقت يدلنا على أن التركيز العالي لسيل فات و الكالسيوم مرتبط بالمكونات البخارية مثلا الجبس. دراسة العناصر الأزوتية تؤكد لنا أن مياه هذه الناحية ملوثة ببعض العناصر كالحديد و النحاس و الزنك و بدرجة قليلة من النترات و النتريت

كلمات مفتاحيه :

حوض التصريف, وادي العرب, السد, التلوث.