



REPUBLIQUE ALGERIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE DE BATNA
FACULTE DES SCIENCES DE L'INGÉNIEUR
DÉPARTEMENT D'HYDRAULIQUE
Laboratoire de recherche en hydraulique appliquée
LARHYA

MEMOIRE

PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE MAGISTER
EN HYDRAULIQUE

OPTION : MOBILISATION DES RESSOURCES HYDRIQUES
ET LEUR IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

THEME

***ETUDE DE LA CONTAMINATION DES EAUX SOUTERRAINES
DE LA ZONE NORD DE CHEMORA PAR LES NITRATES
-EST ALGERIEN-***



Présenté par:
GHODBANE MESSAOUD
Ingénieur d'état en hydraulique

Devant le jury composé de :

Président :	Dr LAHBARI NORREDDINE	M.C. Université de Batna
Rapporteur :	Pr BOUDOUKHA ABDERRAHMANE	Pr. Université de Batna
Examineurs :	Dr CHAFAI HICHEM	M.C. Université de Annaba
	Pr DJABRI LARBI	Pr. Université de Annaba

Année Universitaire 2008 / 2009

Remerciements

Je remercie Dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il ma donné durant tous 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. Lehbari Norreddine, qui a eu la bien veillance d'accepter de juger ce travail et de le présider.

✚ Dr. Chafai Hichem, et Pr. Djabri Larbi d'accepter de juger ce travail.

Mes remerciements vont encore 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 :

Mes parents, ma femme pour tous le soutien et l'encouragement qu'elle m'avait donnée, mes frères et sœurs et mes enfants Amina et Taquieddine que Dieu les garde.

INTRODUCTION GENERALE	1
-----------------------------	---

CHAPITRE I : APERÇU GEOGRAPHIQUE

1-Aperçu géographique	3
1.1- Situation géographique :	3
1.2- Habitation	5
1.3- Agriculture :	5
1.4- Les ressources en eau :	5
1.5- Le climat :	5
1.6- Le réseau hydrographique :	5
2- Géomorphologie	6
2.1- Description du bassin versant :	6
2.2 - Analyse morphologique:	7
2.2.1- Caracteristiques de forme:	7
2.2.1.1- Coefficient de compacite de Gravilluis (Kc)	8
2.2.1.2- Modèle de représentation:	8
2.3- Répartition des tranches d'altitude et courbe hypsométrique	9
2.3.1- Altitudes caractéristiques:	11
2.4- Les indices des pentes :	11
2.4-1- Indice de pente globale (Ig) :	11
2.4-2- Indice de pente de Roche (Ip) :	12
2.4.3- Denivelee specifique (Ds) :	12
3- Les caracteristiques du reseau hydrographique :	13
3-1- Densite de drainage (Dd) :	13
3-2- Temps de concentration (Tc) :	13
3.3- Vitesse d'écoulement de l'eau (Vc) :	14
Conclusion:	15

CHAPITRE II : GEOLOGIE

1- Introduction	16
2- Aperçu sur la géologie régionale et locale	16
2.1- Litho Stratigraphie	17
2.1.1- Les formation du Quaternaire	17
2.1.2- Crétacé	20
3- Tectonie et paléogéographie	21
3.1- Evaluation paléogéographique	21
3.2- Tectonique	21
4- Caractéristiques lithologiques du sous bassin versant	22
4.1- Classification des formations géologiques selon leurs intérêts hydrogéologiques	22
Conclusion	24

CHAPITRE III : HYDROCLIMATOLOGIE

1- Introduction	25
2- Pluviométrie de la zone d'étude	25
3- Etude des paramètres climatologiques :	27
3.1- Les précipitations :	27
3.1.1 - Répartition interannuelle des précipitations :	27
3.1.2 - Répartition moyenne mensuelle :	29
3.1.3 - Répartition saisonnières des précipitations :	31
3.1.4 - Estimation de la lame d'eau précipitée sur le bassin versant :	31
3.1.4.1 - Méthode de la moyenne arithmétique des précipitations :	31
3.1.4.2 - Méthode de Thiessen :	33
3.1.4.3 - Méthode du gradient altimétrique :	34
3.1.4.3.1- Détermination de la pluviosité :	34
3.2. La température de l'air :	35
3.3. Le climat de la région :	36
3.3.1. Indice de De. Martonne :	36

3.3.2- Le diagramme de L.Emberger :	37
3.3.3 - Méthode de H. Gaussen et F. Bagnouls :	40
3.3.4 - Méthode d'Euverte :	40
3.4- Evapotranspiration ou déficit d'écoulement :	41
3.4.1- Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) :	41
3.4.1.1- Calcul de l'ETP suivant la formule de C.W. Thornthwaite :	41
3.4.1.2- Calcul de l'ETP par la formule de Balancy-Criddle modifiée par le F.A.O	42
3.4.1.3- Calcul de l'ETP par la formule dite ANRH (2002).....	43
3.4.2 - Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR) :	44
3.4.2.1- Méthode de Turc :	44
3.4.2.2- Méthode de Wundt :	45
3.4.2.3- Méthode de P. Verdeil :	46
3.4.2.4- Calcul du bilan hydrologique	47
3.4.2.4.1- Calcul du bilan hydrologique par l' ETP calculée par la méthode de C.W. THORNTHWAITE.....	47
3.4.2.4.2- Calcul du bilan hydrologique par l'ETP calculée par la formule dite ANRH (2002)	49
3.5- Estimation du bilan d'eau	50
3.6- Les différentes valeurs de l'ETR:	50
4 - Conclusion :	50

CHAPITRE IV : HYDROGEOLOGIE

1- Introduction	51
2- Etendue de la nappe superficielle:	51
3- Inventaire des points d'eau	51
4- Etude de l'aquifère superficiel	52
4.1- Caractéristiques des points d'eau :	52
4.1.1- Etude piézométrique :	53
4.1.2- Interprétation des cartes piézométriques :	53
4.1.3- Evolution de la piézométrie:	57
4.2- Gradient hydraulique :	58
4.3- Condition aux limites.....	58
4.4- Caractéristiques hydrodynamique de la nappe.....	58
4.5- Les méthodes d'expérimentation et d'interprétation des pompages des essais :	59
4.5.1- Expérimentation des pompages d'essais.....	59
4.5.2- Interprétation	59
4.5.3- Essais de pompage et interprétation des résultats pour l'aquifère superficiel et l'aquifère profond	62
4.5.3.1- Aquifère superficiel.....	62
4.5.3.2- Aquifère profond.....	66
4.5.3.2.1- Aquifère des calcaires et des dolomies du Barrémo-Aptien.....	66
4.5.3.2.2- Aquifère des dolomies et des calcaires du Barrémien	66
5-Conclusion :	70

CHAPITRE V : HYDROCHIMIE

1-Introduction	71
2-Mesure in situ	71
2.1- Analyse des valeurs obtenues.....	72
3- Analyses physico-chimique effectuées au laboratoire	72
3.1- Paramètres ayant fait l'objet de limite de qualité.....	72
3.1.1- Chimie de l'aquifère superficiel :	73
3.1.1.1- Caractéristiques physico-chimiques des eaux analysées.....	73
3.1.2- Etude des paramètres physiques pour l'aquifère superficiel.....	73
3.1.3- Etude des paramètres chimiques.....	80
3.1.3.1- Détermination et répartition des faciès chimiques	80
3.1.3.2- Classification des eaux de l'aquifère superficiel de cette zone	86
3.1.3.3- Cartographie hydrochimique :	87
A- Le calcium :	87
B - Le magnésium :	91
C- Les chlorures :	91
D- Les bicarbonates :	98

E- Les sulfates :.....	98
F- Les nitrates :	105
3.1.4- Etude des rapports caractéristiques et origine des éléments dominants	105
3.1.4.1.1- le rapport $(r \text{ Mg}^{++} / r \text{ Ca}^{++})$:.....	105
3.1.4.1.2- le rapport $(r \text{ SO}_4^{--} / r \text{ CL}^-)$:	112
3.1.4.1.3 - le rapport $(r \text{ Na}^+ / r \text{ Ca}^{++})$:.....	115
3.1.4.2- Origine des éléments dominants:.....	118
3.1.4.2.1- Origine de Na^+ et CL^- :.....	118
3.1.4.2.2- Origine de du calcium:.....	118
4- Analyse en composantes principales (A.C.P) :	120
4.1- A.C.P des données chimiques de la zone d'étude – période Juin 2007 à Février 2008- :.....	120
4.1.1- Matrice de corrélation :.....	120
4.1.2- Etude des variables et des individus :	121
4.2- Indice d'échange de base (i.e.b) :.....	123
4.2.1-Interprétation des résultats :	123
4.3- Qualité chimique des eaux:.....	124
4.3.1- Potabilité des eaux:.....	124
4.3.1.1- Selon l'O.M.S :.....	124
4.3.1.2- Normes selon le degré hydrotimétrique totale (D.H.T) :	125
4.3.2- Aptitudes à l'irrigation :.....	126
4.3.2.1- Salinité :	126
4.3.2.2- Eaux a forte teneur en sodium :	126
4.3.2.2.1- Classification de richards :.....	127
4.3.2.2.2- Classification de wilcox :.....	127
5- Chimie des eaux des aquifères profonds:.....	130
5.1- Identification des principaux faciès chimiques:.....	130
5.1.1- Classification des eaux souterraines selon le diagramme de Piper.....	130
5.1.2- Classification des eaux souterraines selon le diagramme de Schoeller-Berkaloff.....	132
5.1.3- Classification des eaux profondes de cette zone	135
5.2- A.C.P des données chimiques des eaux profondes -période Juin 2007 à Février2008.....	136
5.2.1- Traitement statique	136
5.2.2- Matrice de corrélation.....	137
5.2.3- Etude des variables et des individus	137
5.3- Qualité des eaux pour l'A.E.P :.....	138
5.3.1- Normes de l'O.M.S	138
5.3.2- Le degré hydrotimétrique total.....	139
6- Effet de la pollution sur la qualité chimique des eaux :	139
6.1- Introduction :	139
6.2- Principales sources de pollutions :.....	140
6.2.1-Sources de la pollution de la ville de Chemora	140
A - Les rejets urbains :.....	141
B - Les rejets agricoles :	141
6.2.2- Conséquences des nitrates sur la santé :	141
6.2.3- Résultats des analyses hydrochimiques des éléments de pollution :.....	142
7- Conclusion	145
CONCLUSION GENERALE	146

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I :

Tableau 1 : Paramètres géométriques du sous bassin versant de la zone Nord de Chemora	9
Tableau 2 : Répartition de l'altitude en fonction de la superficie	10
Tableau 3: Classification de l'ORSTOM.....	13
Tableau 4 : Récapitulatif des paramètres morphométriques	14

CHAPITRE II :

Tableau 5 : Répartition des terrains selon leur degré de potentialité –ANRH-.....	22
Tableau 6 : Colonne stratigraphique et conséquence hydrogéologique.....	23

CHAPITRE III :

Tableau 7 : Les Caractéristiques Des Stations Pluviométriques.....	27
Tableau 8 : Pluviométrie annuelle	28
Tableau 9 : Modules pluviométriques moyens mensuels	29
Tableau10 : Paramètres statistiques de la pluviométrie mensuelle	29
Tableau11 : Répartition saisonnière des précipitations	31
Tableau 12 : Les précipitations moyennes arithmétique annuelles	31
Tableau 13 : Calcul de la lame d'eau tombée sur le B.V selon la méthode de THIESSEN	33
Tableau 14 : Précipitations, méthode du gradient altimétrique	34
Tableau 15 : Températures mensuelles et annuelles (période : 1990-2005- station de Boulhilet)	35
Tableau 16 : Indice d'aridité de De. Martonne	37
Tableau 17 : Classement en fonction de l'indice d'aridité de De. Martonne	37
Tableau 18 : Les valeurs de Q_2	38
Tableau 19 : Détermination de régime climatique par la méthode d'Euverte	41
Tableau 20 : Calcul de l'ETP selon C. W. Thornthwaite (Station de Boulhilet)	42
Tableau 21 : Calcul de l'ETP selon la formule de Balancy-Criddle (Station de Boulhilet)	43
Tableau 22 : Coefficients d'évaluation des durées théoriques d'insolation	44
Tableau 23 : ETP mensuelle selon la formule dite ANRH à la station de Boulhilet	44
Tableau 24 : Calcul du bilan hydrologique par ETP calculée par C.W.THORNTHWAITE	47
Tableau 25: Calcul du bilan hydrologique par ETP calculée par la formule dite ANRH(2002)	49
Tableau 26 : Les différentes valeurs de l'ETR	50

CHAPITRE IV :

Tableau 27: Inventaire des points d'eau pour la nappe superficielle	52
Tableau 28 : fluctuation piézométrique	57

CHAPITRE V :

Tableau 29: Les valeurs des paramètres physiques mesurées in situ.....	72
Tableau 30: Paramètres statistiques des éléments chimiques des eaux souterraines.....	73
Tableau 31: Variation de la température durant les trois périodes.....	73
Tableau 32: Répartition des températures des eaux souterraines de la plaine de Chemora.....	74
Tableau 33: Variation du Ph en fonction du temps	75
Tableau 34: Répartition du pH des eaux souterraines de la zone Nord de la plaine de Chemora ..	75
Tableau 35: Variation de la conductivité électrique durant les périodes	76
Tableau 36: Classification des eaux souterraines en fonction de la conductivité	77
Tableau 37: Classification des eaux souterraines selon le diagramme de PIPER	80
Tableau 38: Faciès chimiques des eaux selon le diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF	85
Tableau 39: Classification de SCHOELLER selon la concentration en sulfates.....	86
Tableau 40: Classification de SCHOELLER selon la concentration en chlorures.....	86
Tableau 41: Moyennes et écart types des éléments variables.....	120
Tableau 42: Valeurs critiques du coefficient de corrélation selon A.MANGIN.....	121
Tableau 43 : Matrice de corrélation des paramètres chimiques	121
Tableau 44 : Indice d'change des bases : compagne Juin2007.....	123
Tableau 45 : Indice d'change des bases : compagne Octobre2007.....	124
Tableau 46 : Indice d'change des bases : compagne Février2008.....	124
Tableau 47 : Normes de potabilité de l'O.M.S	125
Tableau 48: Dureté des eaux en (W. THEOBALD et A. GAMA, 1969).....	125
Tableau 49 : Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation	126
Tableau 50 : Résultats obtenus après interprétation du diagramme de Richards	127
Tableau 51 : Résultats de l'interprétation du diagramme de Wilcox	129
Tableau 52 : Classification des eaux souterraines selon le diagramme de PIPER	130
Tableau 53 : Faciès chimiques des eaux selon le diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF	135
Tableau 54 : Classification de SCHOELLER selon la concentration en sulfates	135
Tableau 55 : Classification de SCHOELLER selon la concentration en chlorures	136
Tableau 56 : Paramètres statistiques des éléments chimiques des eaux souterraines.....	136
Tableau 57 : Matrice de corrélation des paramètres chimiques	137
Tableau 58 : Normes des eaux destinées à l'A.E.P d'après l'O.M.S	139
Tableau 59 : Dureté des eaux souterraines de l'aquifère profond	139
Tableau 60: Les déchets solides	141
Tableau 61 : Eléments toxiques ou indésirables dans l'eau potable	143
Tableau 62 : Points d'eau ayant une teneur en nitrates supérieure à la norme	143
Tableau 63 : Pourcentage des échantillons ayant une concentration supérieure à la concentration maximale admissible	144

LISTE DES FIGURES	Page
CHAPITRE I :	
Figure 1 : Carte de situation géographique	4
Figure 2 : Réseau hydrographique du sous bassin de Chemoa (Zone Nord).....	6
Figure 3 : Carte topographique (zone nord) du sous bassin versant de Chemora extrait de la carte topographique d'Algérie- Batna (feuille NI-32-XIX). Echelle : 1/200 000.....	7
Figure 4 : Rectangle équivalent	9
Figure 5 : Courbe hypsométrique	10
CHAPITRE II :	
Figure 6 : la carte géologique du sous Bassin versant de Chemora (source : la carte géologique de Batna. Echelle 1/200000).....	18
Figure7 : Coupe géologique interprétative : Anticlinal du Djebel Fedjoudj- échellé : 1/50 000 (source carte géologique de l'Algérie –Boulhilet (Ex Lutaud)).....	19
CHAPITRE III :	
Figure 8 : Bassin versant « Hauts plateaux Constantinois »	26
Figure 9 : Position Géographique des différentes stations pluviométriques	27
Figure 10 : Variation des précipitations annuelles	29
Figure 11 : Précipitations moyennes mensuelles	30
Figure 12 : Répartition saisonniers des pluies en (mm) et en (%)......	32
Figure 13 : Calcul de la lame d'eau par la méthode de Theissen.....	33
Figure14 : Relation pluie-altitude.....	34
Figure15 : Courbe des températures mensuelles (1990- 2005).....	36
Figure16 : Abaque de l'indice d'aridité de De.Martonne.....	37
Figure17 : Climagramme de L. EMBERGER.....	39
Figure18 : Diagramme Ombrothermique (Bagnouls-Gaussen)	40
Figure19 : Evolution du coefficient correctif mensuel (km).....	44
Figure20 : Abaque de Wondt modifier par Coutane).....	45
Figure21 : Abaque pour le calcul du déficit d'écoulement en Algérie (d'après P.Verdeil,1988)....	46
Figure22 : Bilan de l'eau selon Thornthwaite	48
Figure23 : Bilan de l'eau selon ANRH (2002).....	49
CHAPITRE IV :	
Figure24: Carte d'inventaire des points d'eau	51
Figure25: Carte piézométrique de la plaine de Chemora (Juin 2007)	54
Figure26: Carte piézométrique de la plaine de Chemora (Ocobre 2007)	55
Figure27: Carte piézométrique de la plaine de Chemora (Février 2008)	56
Figure28 : Evolution de la nappedurant les trois périodes	57
Figure29: Courbe de la descente (Puits n° 20)	63
Figure30: Courbe de la remontée (Puits n° 20)	63
Figure31: Courbe de la descente (Puits n°12)	65
Figure32: Courbe de la remontée (Puits n°12)	65
Figure33: Courbe de la descente (F.Maniani – Pallier 1-)	67
Figure34: Courbe de la descente (F.Maniani – Pallier 2-)	67
Figure35: Courbe de la remontée (F.Maniani)	68
Figure36: Courbe de la descente (F.Benhineh)	69
Figure37: Courbe de la remontée (F.Benhineh)	69

CHAPITRE V

Figure38 : Carte des points d'eau analysés	72
Figure39: Evolution des températures des eaux souterraines pendant les trois périodes	74
Figure40 : Variation du Ph des eaux souterraines de la zone Nord de Chemora.....	75
Figure41 : Evolution des de la conductivité électrique pendant les trois périodes	76
Figure42 : Carte de la conductivité électrique en $\mu\text{s}/\text{cm}$ période de Juin 2007.....	77
Figure43 : Carte de la conductivité électrique en $\mu\text{s}/\text{cm}$ période d' Octobre2007.....	78
Figure44 : Carte de la conductivité électrique en $\mu\text{s}/\text{cm}$ période de Février 2008.....	79
Figure45 :Diagramme de Piper pour la période de Juin 2007.....	80
Figure46 :Diagramme de Piper pour la période d'Octobre 2007.....	81
Figure47 :Diagramme de Piper pour la période de Février 2008.....	81
Figure48 : Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF (Compagne : Juin2007)	82
Figure49 : Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF (Compagne : d'Octobre 2007)	83
Figure50 : Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF (Compagne : de Février 2008)	84
Figure51: Cartes du calcium (mg/l) :Compagne de Juin 2007.....	88
Figure52: Cartes du calcium (mg/l) :Compagne d'Octobre 2007.....	89
Figure53: Cartes du calcium (mg/l) :Compagne de Février 2008.....	90
Figure54: Carte du magnésium (mg/l) :Compagne de Juin 2007.....	92
Figure55: Carte du magnésium (mg/l) :Compagne d'Octobre 2007.....	93
Figure56: Carte du magnésium (mg/l) :Compagne de Février 2008.....	94
Figure57: Carte des chlorures (mg/l) :Compagne de Juin 2007.....	95
Figure58: Carte des chlorures (mg/l) :Compagne d'Octobre 2007.....	96
Figure59: Carte des chlorures (mg/l) :Compagne de Février 2008.....	97
Figure60: Carte des bicarbonates (mg/l) :Compagne de Juin2007.....	99
Figure61: Carte des bicarbonates (mg/l) :Compagne d'Octobre 2007.....	100
Figure62: Carte des bicarbonates (mg/l) :Compagne de Février 2008.....	101
Figure63: Carte des sulfates(mg/l) :Compagne de Juin2007.....	102
Figure64: Carte des sulfates (mg/l) :Compagne d'Octobre 2007.....	103
Figure65: Carte des sulfates (mg/l) :Compagne de Février 2008.....	104
Figure66: Carte des nitrates (mg/l) :Compagne de Juin2007.....	106
Figure67: Carte des nitrates (mg/l) :Compagne d'Octobre 2007.....	107
Figure68: Carte des nitrates (mg/l) :Compagne de Février 2008.....	108
Figure69: Carte du rapport caractéristique $r \text{Mg}^{++} / r \text{Ca}^{++}$:Compagne de Juin2007.....	109
Figure70: Carte du rapport caractéristique $r \text{Mg}^{++} / r \text{Ca}^{++}$:Compagne d'Octobre 2007.....	110
Figure71: Carte du rapport caractéristique $r \text{Mg}^{++} / r \text{Ca}^{++}$:Compagne de Février 2008.....	111
Figure72: Carte du rapport caractéristique $r \text{SO}_4^- / r \text{Cl}^-$:Compagne de Juin2007.....	112
Figure73: Carte du rapport caractéristique $r \text{SO}_4^- / r \text{Cl}^-$:Compagne d'Octobre 2007.....	113
Figure74: Carte du rapport caractéristique $r \text{SO}_4^- / r \text{Cl}^-$:Compagne de Février 2008.....	114
Figure75: Carte du rapport caractéristique $r \text{Na}^+ / r \text{Ca}^{++}$:Compagne de Juin2007.....	115
Figure76: Carte du rapport caractéristique $r \text{Na}^+ / r \text{Ca}^{++}$:Compagne d'Octobre 2007.....	116
Figure77: Carte du rapport caractéristique $r \text{Na}^+ / r \text{Ca}^{++}$:Compagne de Février 2008.....	117
Figure78: Origine des éléments Na^+ et Cl^-	119
Figure79: Origine du calcium Ca^{++}	119
Figure80: Cercle de corrélation	122
Figure81: Cercle des individus	122
Figure82: Diagramme de classification des eaux pour l'irrigation d'après Saline et Soils.....	128
Figure83 : Diagramme de Wilcox pour les 3 périodes	129
Figure84 : Diagramme de Piper pour la période de Juin 2007.....	130
Figure85 : Diagramme de Piper pour la période d'Octobre	131

Figure86: Diagramme de Piper pour la période de Février 2008.....	131
Figure87 : Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF (Compagne : Juin2007)	132
Figure88 : Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF (Compagne : d'Octobre 2007)	133
Figure89 : Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF (Compagne : de Février 2008)	134
Figure90: Cercle de corrélation	138
Figure91: Evolution des nitrates pendant les trois périodes-aquifère superficiel-	143
Figure92: Carte des points d'eau montrant les points dont la teneur en nitrates dépasse la norme	144
Figure93: Evolution des nitrates pendant les trois périodes-aquifère profond-	145

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'eau représente la vie, dont on est sensé la protéger contre toutes formes de pollution pour assurer sa pérennité.

La pollution de l'eau dans nos villes est d'autant plus préoccupante car l'eau peut être considérée comme le milieu récepteur final de toutes formes de pollution. Ces milieux récepteurs sont les eaux superficielles telles que les lacs, les étangs et les cours d'eaux ainsi que les aquifères. Cependant, ce ne sont ni les sources de pollution ni l'ampleur et encore moins la nocivité des polluants mis en jeu, qui rendent le problème de pollution de l'eau crucial.

Les causes de la pollution de l'eau sont nombreuses et variées, les plus connues sont celles liées à l'activité humaine et notamment :

- L'urbanisation, par la forte consommation de l'eau qu'elle engendre, qui entraîne la production d'une quantité considérable d'eau usée surtout domestiques. Ainsi l'utilisation des cours d'eau comme dépotoir de déchets ou encore comme lieux de vidange des fosses septiques engendre une pollution par les excréta.
- L'industrialisation est l'une des causes majeures de la pollution de l'eau dans nos villes surtout en absence des dispositions pour traiter les effluents liquides ou gazeux avant leur rejet dans le milieu naturel.
- Les autres causes de pollution de l'eau sont liées à la mauvaise gestion des eaux usées et au mauvais drainage de certaines villes.

Les principales manifestations de la pollution de l'eau sont d'ordre physico-chimique, bactériologique, biologique, épidémiologique ou (éco) toxicologique.

Les dernières décennies sont caractérisées par une industrialisation galopante et par une sécheresse intense qui touche l'Algérie du Nord d'une manière générale. Cette situation rend le domaine de l'eau de plus en plus vital et les nappes aquifères de plus en plus vulnérables à la pollution. La région de Chemora située dans la Wilaya de Batna à l'Est Algérien est l'un des endroits touchés par le problème de pollution de l'eau souterraines par les nitrates. Dans ce cadre, l'étude proposée a pour objet la connaissance des caractères géologiques, hydrologiques, hydrogéologiques et hydrochimiques avec une mise en relief des différentes sources de pollution et leur impact sur les eaux souterraines des différents aquifères de la région.

La démarche suivie dans cette étude est la suivante :

- ✚ L'étude morphométrique du sous bassin versant de Chemora qui a pour but de caractériser les conditions d'écoulement ;
- ✚ L'étude géologique qui définit les formations aquifères ;
- ✚ L'étude hydroclimatologique du sous bassin versant de Chemora, qui permettra d'évaluer les apports d'eau alimentant les aquifères ;
- ✚ L'étude hydrogéologique de l'aquifère superficiel et profond;
- ✚ L'étude hydrochimique qui a pour but de définir les faciès chimiques des eaux souterraines, de les comparer et de suivre l'évolution dans l'espace et dans le temps de ces faciès. Il sera également apprécié la qualité des eaux souterraines pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation. Et enfin de déterminer le degré de pollution des eaux souterraines par les éléments nutritifs (NO_3^- , NO_2^-).

CHAPITRE I

APERÇU GEOGRAPHIQUE

1-APERÇU GEOGRAPHIQUE

1.1- Situation géographique :

La plaine de Chemora est située au cœur des hautes plaines constantinoises ; à mi-chemin entre les hauteurs du tell Constantinois et celles de l'Aurès .Cette plaine est à Cheval sur les Wilayets de Batna (Communes de Chemora et Boulhilet), Et Oum El Bouaghi (Communes de Ain-Kercha et Boughrara Saoudi). Cette zone se trouve à 54 Km au Nord-Est de la wilaya de Batna, à 108 Km au Sud-Ouest de Constantine et 448 Km au Sud-Est d'Alger.

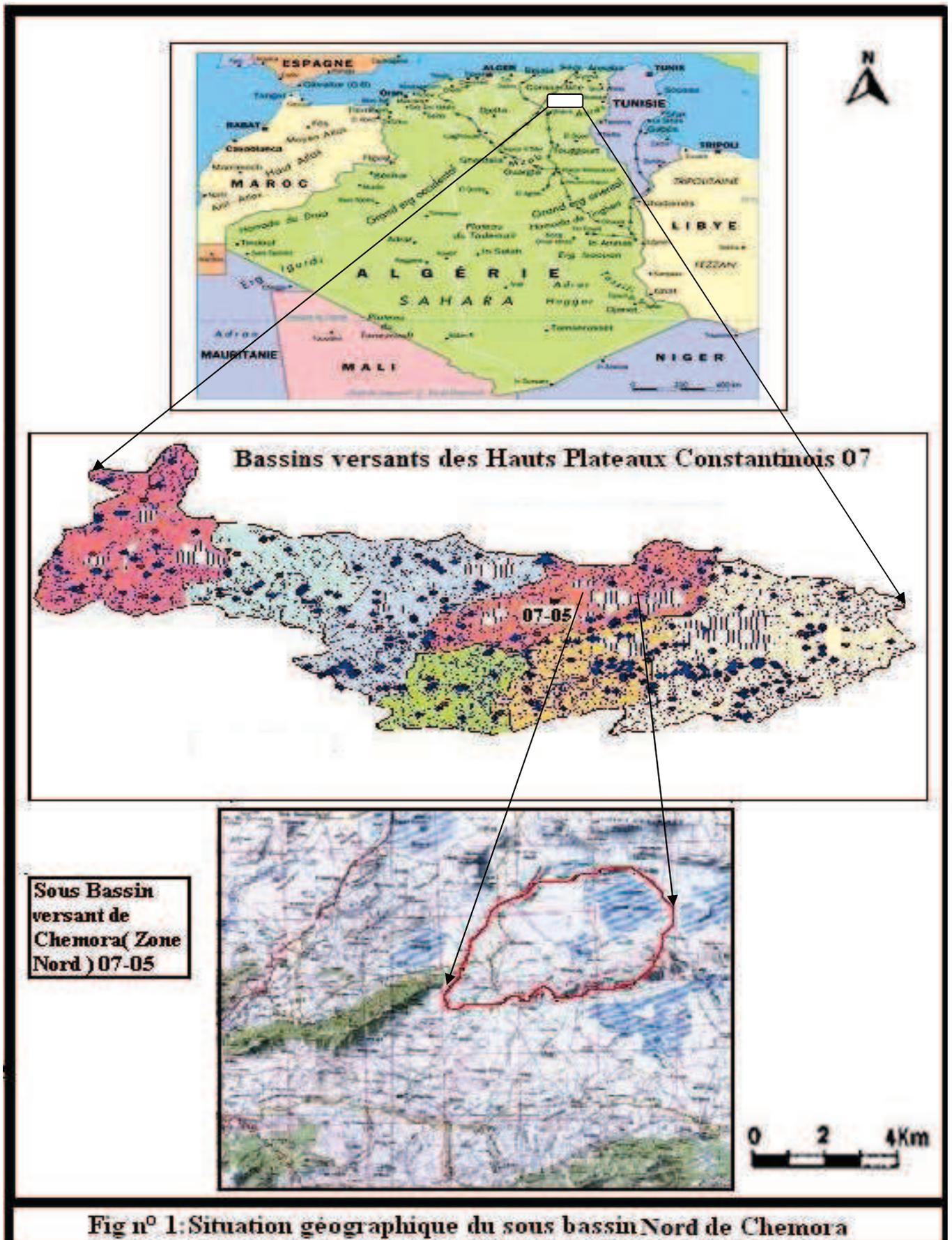
Elle se trouve entre les parallèles 35° 35'N et 35° 50' N et les méridiens 6°30' E et 6° 55' E (Figure n°1).

Cette plaine couvre une superficie de 459 Km² et elle est limitée ;

- Au Nord par Djebel Djebel Marhsel, Garaet et Djebel Annk Djemel.
- A l'Est par la Chaîne de Montagnes formée par Djebel Fedjoudj et Merzeklal.
- Au Sud par les Hautes plaines Bateneennes et Djebel Amrane.
- A l'Ouest par Djebel Bouarif (Bourirhsène) et Djebel Sidi Ahmed Ben Bouzid.

Administrativement, la région de Chemora est limitée:

- Au Nord par les communes de Ouled Zaouai, El-Harmalia, Ain Kercha et Ain Fakroun au Nord-Est (Wilaya d'Oum El- Bouaghi).
- A l'Est par les communes de Ain- zitoune (Wilaya d'Oum el-Bouaghi) et commune de R'Mila (Wilaya de Khenchela).
- Au Sud par les communes de Ouled fadhel (Toufana) et Timgad.
- A l'Ouest par les communes d'El-Madher et Boumia.



1.2 - Habitation

Les habitants de la région de Chemora sont très dispersés surtout dans les zones éparses et regroupés en agglomérations en 05 sites :

Chef lieu des Communes ; Chemora, Boulhilet, Boughrara Saoudi et les agglomérations secondaires de Kouachia et Haouadssa.

1.3 - Agriculture :

La plaine de Chemora est à vocation Agricole. L'occupation prédominante est la Céréaliculture intensive avec une faible activité pour les cultures maraîchères. Cette activité occupe une superficie de 16940 ha, le reste est steppique. Le cheptel représente une part importante de la région, il est détenu en majorité par les privés.

1.4 - La ressource en eau :

La ressource en eau de la région de Chemora est d'origine souterraine de deux aquifères différents :

- L'un superficiel jusqu'à 50 m de profondeur exploité par plus de 95 puits dont 25% sont utilisés pour A.E.P et l'irrigation et 75% sont utilisés purement pour l'irrigation.
- L'autre profond exploité par plus de 112 forages (de 50m à 250m); dont 15% sont utilisés pour l'A.E.P et 85% sont utilisés pour l'irrigation.

La ressource mobilisable est de l'ordre de : 7.169.000 m³/an.

1.5- Climat :

La région est caractérisée par un climat continental avec des hivers rudes et pluvieux et des étés secs et chauds, de type semi- aride.

Les températures sont variables d'une saison à l'autre avec des amplitudes parfois très importantes.

Les précipitations sont faibles et irrégulières d'une année à une autre.

Les vents sont canalisés par les massifs montagneux voisins des Aurès et du Bellezma.

Le sirocco souffle pendant le mois de Mai et dure entre 20 et 40 jours.

1.6- Le réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique est l'ensemble des cours d'eau, affluents, et sous affluents, permanents ou temporaires, par lequel s'écoulent toutes les eaux de ruissellement et convergent vers un seul point de vidange du sous bassin versant (Exutoire).

Les sous bassin de Chemora (Zone Nord) présente un réseau hydrographique très peu développé.

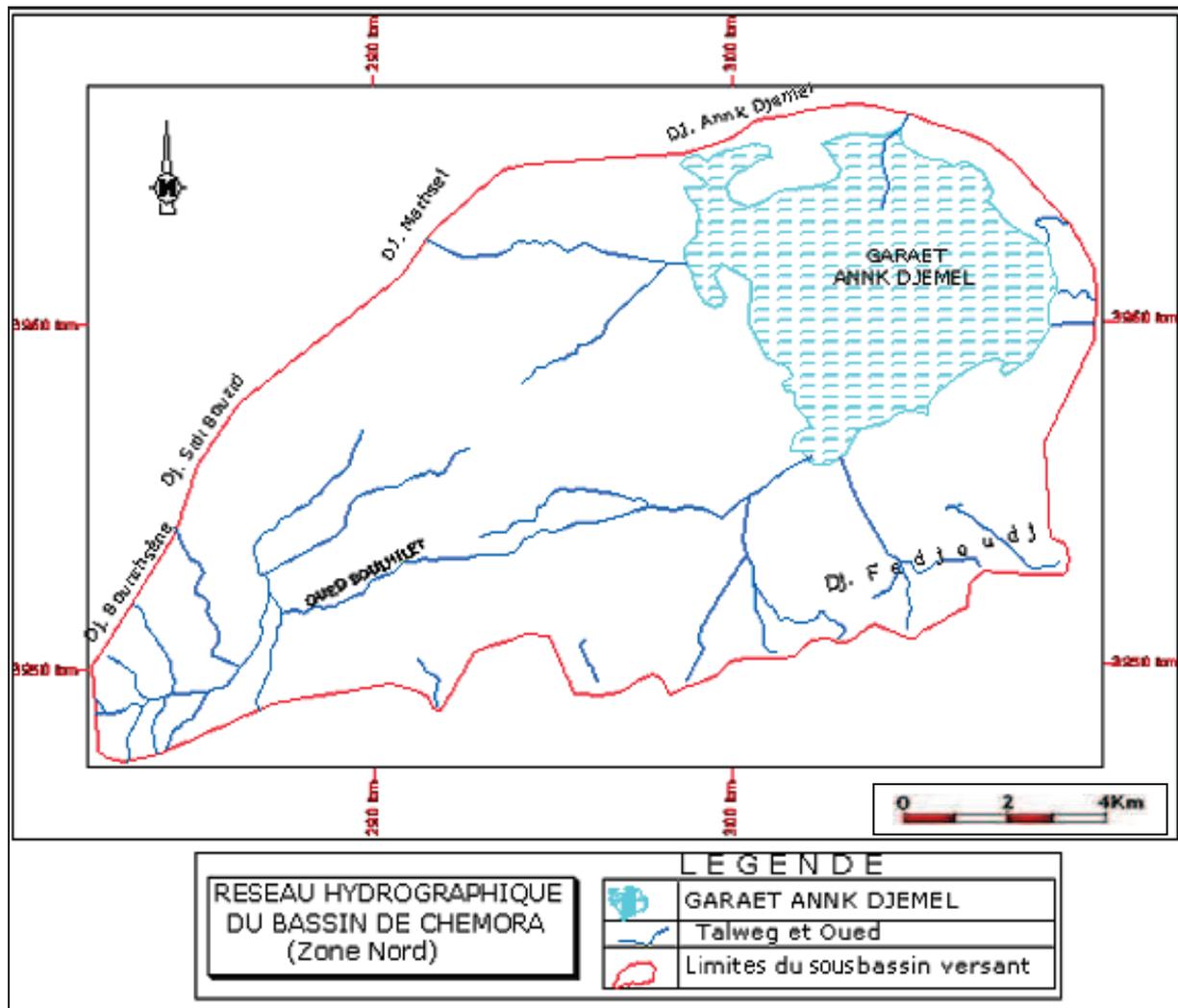


Fig n°02 : Réseau hydrographique du sous bassin versant de Chemora (zone nord).

2- Géomorphologie

2.1- Description du sous bassin versant :

Le Bassin versant à une section droite d'un cours d'eau, est défini comme étant la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents en amont de la dite section. Généralement la ligne de partage des eaux correspond à la ligne de crête, on parle alors du bassin versant topographique, toute fois la délimitation topographique nécessaire à la détermination en surface du bassin versant naturel n'est pas suffisante lorsqu'un sol perméable recouvre un substratum imperméable. La division des eaux selon la topographie ne correspond pas toujours à la ligne de partage des eaux souterraines. Le bassin versant est alors différent du bassin versant délimité strictement à l'aide de la topographie; Il est appelé dans ce cas Bassin versant réel, mais ses limites sont difficilement repérables et l'on admet

la plupart du temps qu'ils coïncident avec les limites topographiques. Le sous bassin versant de la plaine de Chemora fait partie du bassin versant des « Hauts Plateaux Constantinois ». Le secteur d'étude concerne la « Partie Nord » du sous bassin versant de la plaine de Chemora dont les rebords sont constitués par Djebels Hanout Kebir, Djebel Marhsel au Nord, Garaet et Djebel Annk Djemel au Nord-Est, la chaîne de Montagnes de Djebel Fedjoudj et Merzklal à l'Est et Djebel sidi Ahmed Ben Bouzid à l'Ouest. Cette partie de la plaine couvre une superficie de 459 Km² environ planimétrée sur les cartes topographiques de Boulhilet et de Ain Kercha. Le curvimétrage de cette Zone donne un périmètre de 91 km environ.

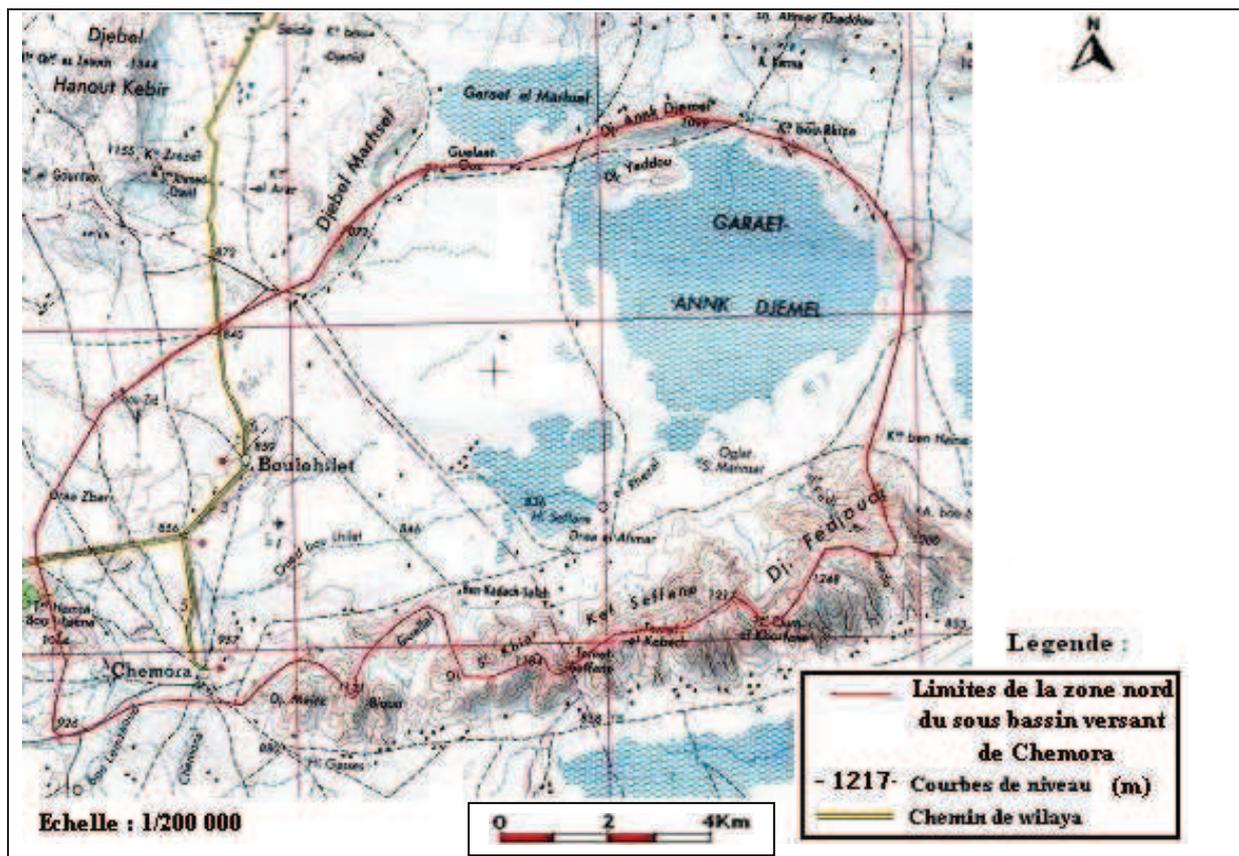


Fig n° 03 : Carte topographique (zone nord) du sous bassin versant de Chemora extrait de la carte topographique de Batna (feuille NI-32-XIX). Echelle : 1/200 000

2.2 - Analyse morphologique:

2.2.1- Caractéristiques de forme:

La forme d'un bassin a une influence sur l'écoulement et surtout sur l'allure de l'hydrogramme de crue. Ainsi, un bassin très allongé ne réagira pas de même façon qu'un bassin de forme ramassée, si les autres conditions ont égales. On exprime la caractéristique de forme par le coefficient de compacité de Gravelius qui est défini comme étant le rapport du périmètre du bassin considéré et celui d'un cercle ayant la même surface.

Plus cet indice se rapproche d'unité et plus le bassin a une forme ramassée et plus le temps de concentration de l'eau sera court.

2.2.1.1- Coefficient de compacité de Gravius (K_c)

Pour aboutir à un modèle de représentation, il faut tout d'abord calculer le coefficient de Gravius qui se définit comme étant le rapport du périmètre mesuré au périmètre d'un cercle ayant la même superficie. Il est exprimé par la relation suivante :

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

P : le périmètre de la zone nord du sous bassin versant de la plaine de Chemora soit $P = 91$ km.

A : la surface de la zone nord du sous bassin versant de la plaine de Chemora soit $A = 459$ km²

Selon la classification des bassins versants suivante :

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

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

$K_c > 1,12$ Bassin versant allongé.

$K_c = 1,19 > 1,12$ le bassin versant est donc de forme allongée ce qui va influencer sur le régime d'écoulement.

2.2.1.2- Modèle de représentation:

Ce mode de représentation mis au point par M. Roche pour comparer les bassins entre eux, afin de connaître l'influence de la forme sur l'écoulement. Par une transformation purement géométrique, le contour du bassin devient un rectangle de longueur (L) et de largeur (I) avec une même surface (A), un même périmètre (P), un même indice de compacité (K_c), et une même hypsométrie que le bassin versant étudié. Les courbes de niveaux sont des droites parallèles aux petits cotés du rectangle et l'exutoire un des petits cotés du rectangle.

L et I sont les racines d'une équation de 2^{ème} degré et sont données par les équations suivantes :

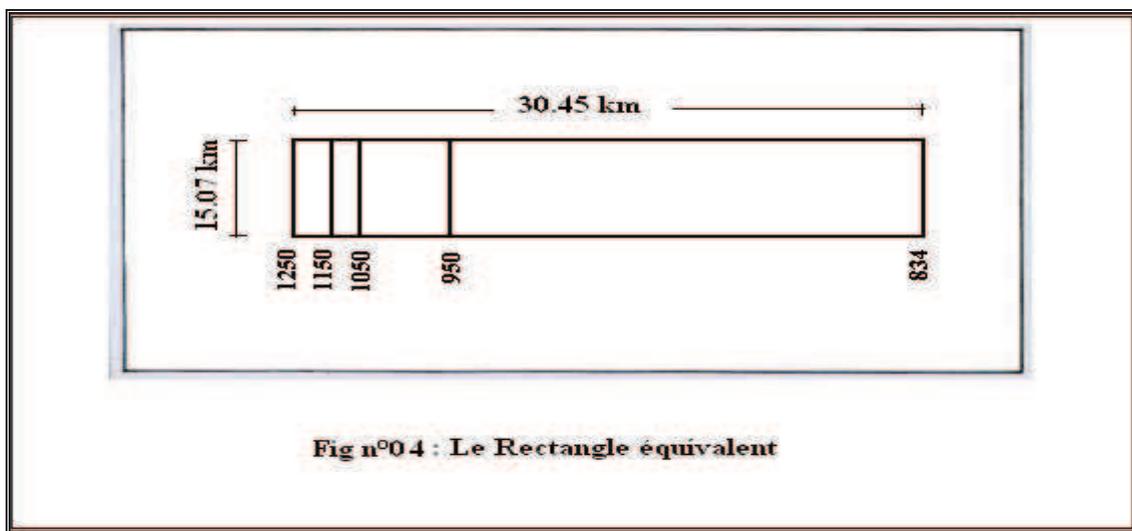
$$L = \sqrt{A} \frac{K_c}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right]$$

$$I = \sqrt{A} \frac{K_c}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right]$$

Les résultats d'une telle application sont donnés dans le tableau n°01 et figure n° 04.

Tableau n° 1 : Paramètres géométriques du sous bassin versant, zone Nord de Chemora.

paramètre	valeurs
A (km ²)	459
P (km)	91.0
Kc	1,19
L (km)	30,45
I (km)	15,07



2.3- Courbe hypsométrique:

Pour le bassin versant de Chemora Nord, le relief est caractérisé par une variété de formes géomorphologiques plates occupées par la plaine, sebkha et de relief abrupt. Les fréquences altimétriques sont représentées dans le tableau n°2 et par la courbe hypsométrique correspondante (Fig n°5). On remarque que l'altitude supérieure à 1100 m du secteur d'étude ne représente que 15,60 km², soit 3,4% de la surface totale, la tranche d'altitude comprise entre 1100 m et 950 m est très peu étendue, et ne représente que 79,87 km², soit environ 17,4% de la surface totale du sous bassin versant tandis que la tranche d'altitude comprise entre 950 m et 800 m couvre presque la totalité du bassin versant, avec 363,53 km² de la 79,2% de la superficie totale.

Tableau n°2 : Répartition de l'altitude en fonction de la superficie

Tranches d'altitude (m)	Altitude moyenne H_i en (m)	Surface partielle A_i		Surface cumulée A_i		$A_i \cdot H_i$
		A_i en km^2	A_i en%	A_i en km^2	A_i en%	
1250-1200	1225	3.21	0.7	3.21	0.7	3932.25
1200-1150	1175	5.51	1.2	8.72	1.9	6474.25
1150-1100	1125	6.88	1.5	15.6	3.4	7740.00
1100-1050	1075	11.02	2.4	26.62	5.8	11846.50
1050-1000	1025	27.08	5.9	53.70	11.7	27757.00
1000-950	975	41.77	9.1	95.47	20.8	40725.75
950-900	925	61.05	13.3	156.52	34.10	56471.25
900-850	875	72.06	15.7	228.58	49.8	63052.50
850-834	842	230.42	50.2	459	100	194013.64
/	/	459 km^2	100 %	/	/	246075

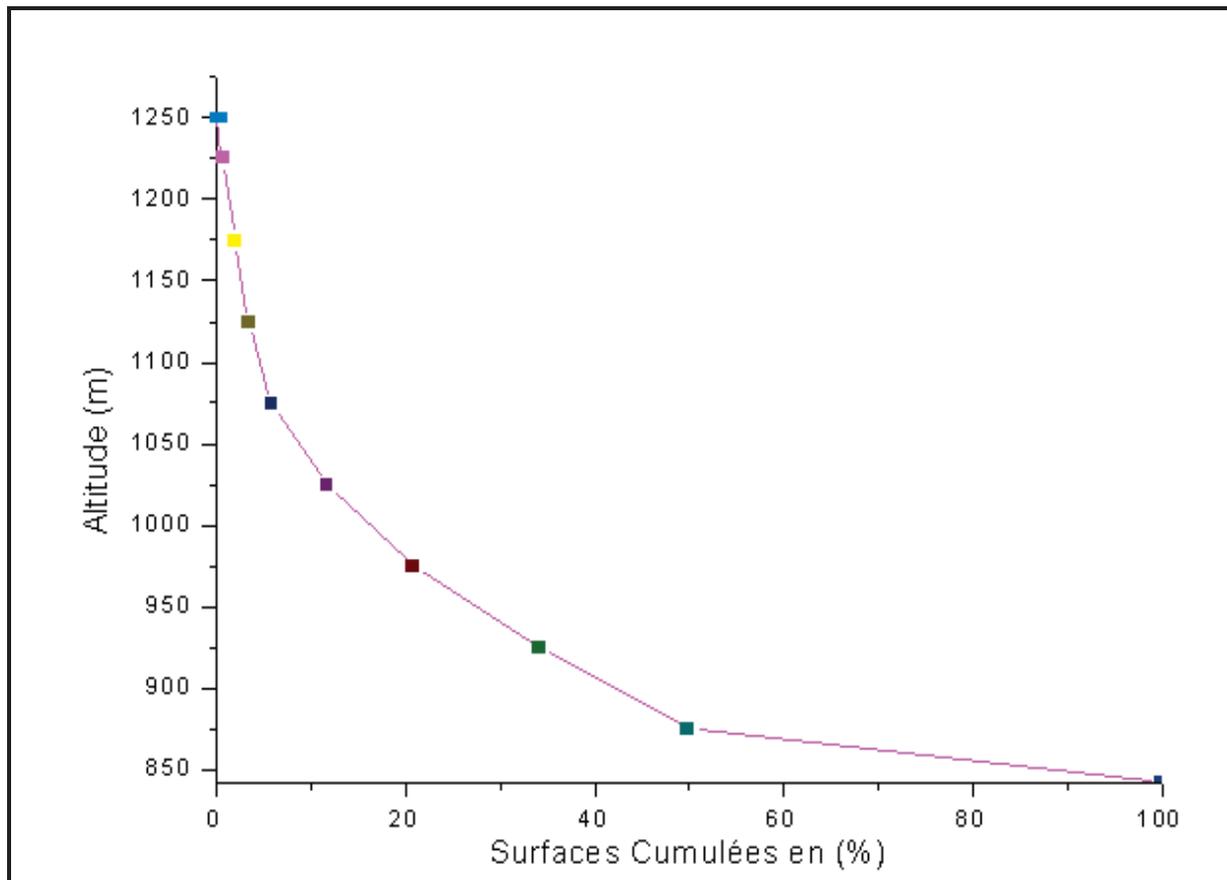


Fig n°05 : Courbe hypsométrique

2.3.1- Altitudes caractéristiques:

La courbe hypsométrique (Fig n°05) permet de déterminer les valeurs caractéristiques suivantes:

- ❖ **Altitude maximale (Hmax)₂**: l'altitude la plus élevée est de l'ordre de 1250 m .
- ❖ **Altitude minimale (min)₂**: l'altitude minimale est de l'ordre de 834 m .
- ❖ **Altitude moyenne (Hmoy)₂**: la valeur de l'altitude moyenne du sous bassin versant peut être calculée par la formule suivante :

$$H_{moy} = \frac{\sum A_i \times H_i}{A_t}$$

Avec :

H_i : altitude moyenne de chaque classe d'altitude en mètre.

A_i : surface partielle des tranches d'altitude en km².

A_t : surface totale du sous bassin en km², ce qui ne permet d'avoir une

$H_{moy} = 898$ m.

L'altitude médiane $H_{50\%}$ correspond à 50% de l'altitude sur la courbe hypsométrique soit :

$H_{50\%} = 875$ m.

Comparant l'altitude moyenne à l'altitude médiane $H_{moy} > H_{50\%}$ ce qui montre une dissymétrie des altitudes à l'échelle du sous bassin versant.

❖ **Dénivelée simple (D) :**

Sur la courbe hypsométrique tracée, on prend la distance verticale en (m), qui sépare les altitudes ayant 5% et 95% de surface totale du sous bassin versant, la dénivelée simple est donc égale à :

$$D = H_{5\%} - H_{95\%} = 1080 - 838 = 242 \text{ m.}$$

2.4- Les indices des pentes :

2-4-1- Indice de pente globale (Ig) :

L'indice de pente globale est déterminé à partir de la courbe hypsométrique en éliminant les valeurs extrêmes, de manière à ne garder que 90% de l'aire du sous bassin. Cet indice est calculé à l'aide de la formule suivante :

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

Avec :

D : dénivelée simple en (m).

L : longueur du rectangle équivalent (km).

Ig : Indice de pente globale, d'où $Ig = 7.95 \text{ m/ km}$.

2-4-2- Indice de pente de Roche (Ip) :

L'indice de pente de roche est calculé par les formules suivantes :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{i=1}^n \sqrt{a_i d_i} \quad \text{ou} \quad I_p = \sqrt{08 / I_g}$$

Avec :

Ig : Indice de pente globale.

Ip : Indice de pente de roche.

L : longueur du rectangle équivalent.

A_i : surface partielle entre deux courbes de niveau par rapport au totale. $\sum A_i$

b_i : l'équidistance entre deux courbe de niveaux.

Nous obtenons alors :

$$I_p = 0.317 \text{ m/km}$$

2.4.3- Dénivelée spécifique (Ds) :

L'indice I_g décroît pour un même bassin, lorsque la surface augmente, il est donc difficile de comparer des bassins de taille différente, d'où la nécessité de l'introduction de la notion de dénivelée spécifique calculée à l'aide de la formule suivante :

$$D_s = \frac{D}{L} \sqrt{A}$$

$$\text{Donc : } D_s = 7.95 \sqrt{459} = 170.32m$$

D'après la deuxième classification de l'ORSTOM (Office de Recherche Scientifique de Territoire d'Outre Mer), la dénivelée spécifique du bassin de Chemora se trouve dans la classe R5 : caractérisée par un relief assez fort (Tableau n°03).

Tableau n °3: Classification de l'ORSTOM

R1	Relief très faible	05 < Ds < 10m
R2	Relief faible	10 < Ds < 25m
R3	Relief assez faible	25 < Ds < 50m
R4	Relief modéré	50 < Ds < 100m
R5	Relief assez fort	100 < Ds < 250m
R6	Relief fort	250 < Ds < 500m
R7	Relief très fort	500 < Ds < 750m

3- Les caractéristiques du réseau hydrographique :

3-1- Densité de drainage (Dd) :

La densité de drainage peut donner un aperçu sur la lithologie du bassin versant et permet de comparer l'écoulement superficiel au niveau de plusieurs bassins. Elle est donnée par la relation suivante :

$$Dd = \frac{\sum_{i=1}^n Li}{A} (km / km^2)$$

Li : longueur des talwegs (en km) et A : la superficie du bassin (en km²).

D'où

$$Dd = 0.19 \text{ km} / \text{km}^2.$$

3-2- Temps de concentration (Tc) :

Le temps de concentration est défini comme étant la durée que met une goutte d'eau qui tombe dans le point le plus éloigné du bassin versant, pour atteindre l'exutoire. Il est exprimé par la formule de Crandotti qui a la forme suivante :

$$Tc = \frac{4\sqrt{A} + 1.54}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

Avec :

$$A : \text{Superficie du sous bassin} = 459 \text{ km}^2.$$

$$Lp : \text{longueur du talweg principale} = 17,8 \text{ km}.$$

$$H_{moy} : \text{Altitude moyenne} = 898 \text{ m}.$$

$$H_{min} : \text{Altitude minimale} = 834 \text{ m}.$$

Nous Obtenons alors : $Tc = 13,63 \text{ heures}$

3.3- Vitesse d'écoulement de l'eau (Vc) :

Elle est donnée par l'expression suivante:

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

Avec : Vc : Vitesse d'écoulement de l'eau en m/s.

Lp : Longueur du talweg principal : 17,8 km = 17800 m.

Tc : temps de concentration : 13,63 heures = 49068 s.

Donc :

$$V_c = \frac{17800}{49068} = 0.36 \text{ m/s}$$

Les paramètres morphométriques du sous bassin versant de la (zone Nord) de Chemora sont reportés dans le tableau n°04 :

Tableau n° 04 : Récapitulatif des paramètres morphométriques.

N° d'ordre	Caractéristiques	Symboles	Valeur
1	Superficie du bassin (km ²)	A	459
2	Périmètre (km)	P	91
3	Indice de compacité	Kc	1,19
4	Longueur du rectangle équivalent (km)	L	30,45
5	Largeur du rectangle équivalent (km)	I	15,07
6	Altitude maximale (m)	H max	1250
7	Altitude minimale (m)	Hmin	834
8	Altitude moyenne	H moy	898
9	Altitude médiane (m)	H ½	875
10	Dénivelée simple (m)	D	242
11	Indice de pente globale (m/km)	Ig	7,95
12	Indice de pente de Roche	Ip	0,317
13	Dénivelée spécifique (m)	Ds	170,32
14	Densité de drainage (km/km ²)	Dd	0.19
15	Temps de concentration (heures)	Tc	13,63
16	Vitesse d'écoulement d'eau (m/s)	Vc	0,36

Conclusion:

La Zone Nord de la plaine de Chemora se présente sous forme d'un sous bassin versant allongé. L'analyse morphométrique a permis de voir que le réseau hydrographique est très peu développé et les indices de pente et de compacité permettent de dire que les eaux du sous bassin versant tendent à ruisseler plutôt que de s'infiltrer. Ceci aura des percussions sur le plan hydrologique.

CHAPITRE II

GEOLOGIE

1- Introduction

Toute étude hydrogéologique doit obligatoirement passer par une étude géologique qui détermine à partir de la lithologie, les formations susceptibles d'être aquifères. Ainsi plusieurs travaux et études dans ce domaine ont porté sur la stratigraphie et la géologie structurale ont été entrepris dans l'Est Algérien. En 1939, R. Laffite se consacre à l'étude géologique des Aurès. C'est une œuvre fondamentale sur laquelle sont basés tous les travaux géologiques postérieurs. A partir de 1970 l'aspect structural a été abordé par plusieurs travaux. Parmi ces travaux l'étude des Monts de Batna où J.M.Villa et S.Guellal ont dressé en 1973, pour le compte de Sonatrach, la carte géologique de Batna, qui a été publiée en 1977.

2- Aperçu sur la géologie régionale et locale

Le bassin versant de la région de Chemora est situé au cœur des hautes plaines constantinoises, entre les hauteurs du tell constantinois et celles des Aurès avec :

- Au Nord l'anticlinale du Djebel Lefdjoudj (1248m) qui s'étend de l'Est à l'Ouest.
- Au sud l'Anticlinale du Djebel Amrane.

Cette région fait parti du le domaine atlasique (Aurassien) qui se divise en deux grands ensembles géomorphologiques qui sont l'Atlas saharien a l'Ouest et l'Atlas oriental à l'Est. La géologie montre que ces ensembles appartiennent à une même chaîne, formée par une alternance morno- calcaire et de calcaire gréseux vert à l'Ouest et par les marnes au Nord.

Le Nord et le Sud présentent des terrains plats, l'Est présente le relief montagneux (Djebel Merzklal et Djebel Fedjoudj). A l'Ouest les pentes existent uniquement au piémont du Djebel Bouirhséne.

Les terrains les plus anciens qui affleurent dans le secteur sont attribués au Crétacé, et les plus récentes Quaternaire (R.Laffite 1939).

La Zone Nord de la région de Chemora est limitée :

- Au Nord par les collines basses qui émergent du Quaternaire comme celles de Sidi-Bouزيد (907m) et les massifs montagneux de Djbel Marhsel et Djebel Annk Djemal.
- Au Sud c'est les premières pentes de Djbel Amrane.
- A l'Est on a Djebel Fedjouj et Djebel Merzklal.
- A l'Ouest on a le prolongement de Djebel Bouarif , et Djebel Bouirhsene (1064m).

2.1- Litho stratigraphie

La partie stratigraphique de la zone d'étude présente des domaines géologiques où le Quaternaire couvre la majorité de la plaine de Chemora, les formations carbonatées affleurent au Djebel Merzkelal, Djebel Fedjouj et Djebel Bouirhsene. Selon les sondages qui traversent cette morphologie, on discerne un domaine très karstique et caverneuse d'âge Aptien et Barrémien de près de 1100 m d'épaisseur avec des faciès très comparables à ceux qui sont connus au Nord (feuille d'Ain Kercha) ou plus à l'Ouest (feuille d'Ain El-Ksar) et le Néocomien dont l'extrême base n'a pas été atteinte et développée sur plus 1300m d'épaisseur, lui aussi montre un net épaissement par rapport à la série du ravin bleu (feuille de Merouana).

L'analyse litho stratigraphie ci-après est inspirée de travaux antérieurs, et des notices explicatives des cartes géologiques suivantes au 1/50.000 : (Fig n° 6 et7)

- Ain El Ksar.
- Ain Kercha.
- Ain Yagout.
- Boulhilet .

2.1.1- Les Formation des Quaternaire

✚ « e » Eboulis :

Les éboulis longent le relief du Djebel Fedjouj, ils sont donc uniquement alimentés par l'Aptien calcaire.

✚ « A » Alluvions actuelle et récentes :

Les alluvions actuelles et récentes sont localisées d'une part au Nord et à l'Ouest du Djebel Fedjoud le long des vallées, de l'Oued de Chemora et de l'Oued Boulhilet.

✚ « Q » Terres Arables, Limons Ariens et Quaternaires Indéterminé :

Elles correspondent aux vastes zones plates cultivables, ce sont des limons sombres sur lesquels se développe un sol brun.

✚ « Q^t » Glacis Polygéniques Nappant Le Reliefs :

Ces glacis couvrent de très vastes surfaces, leur organisation en pente douce est tout à fait caractéristique. Ils ravinent le cycle antérieur de glacis faciles à reconnaître puisqu'il est caractérisé par des croûtes massives. C'est un nappage complexe à débris bien calibrés, parfois encroûtes. L'aspect est alors celui des croûtes rosâtres feuilletées classiquement attribuées au Tensiftien.

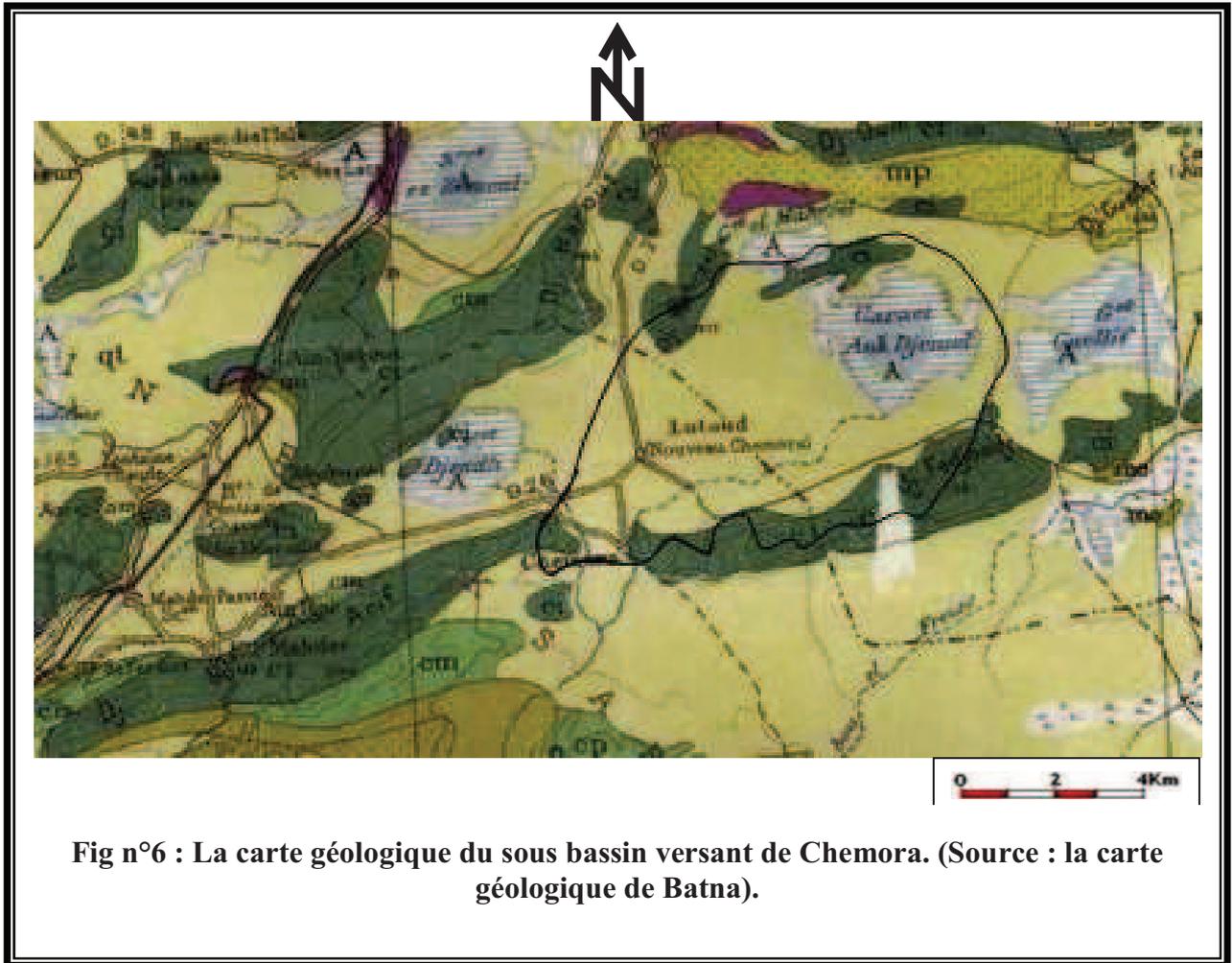
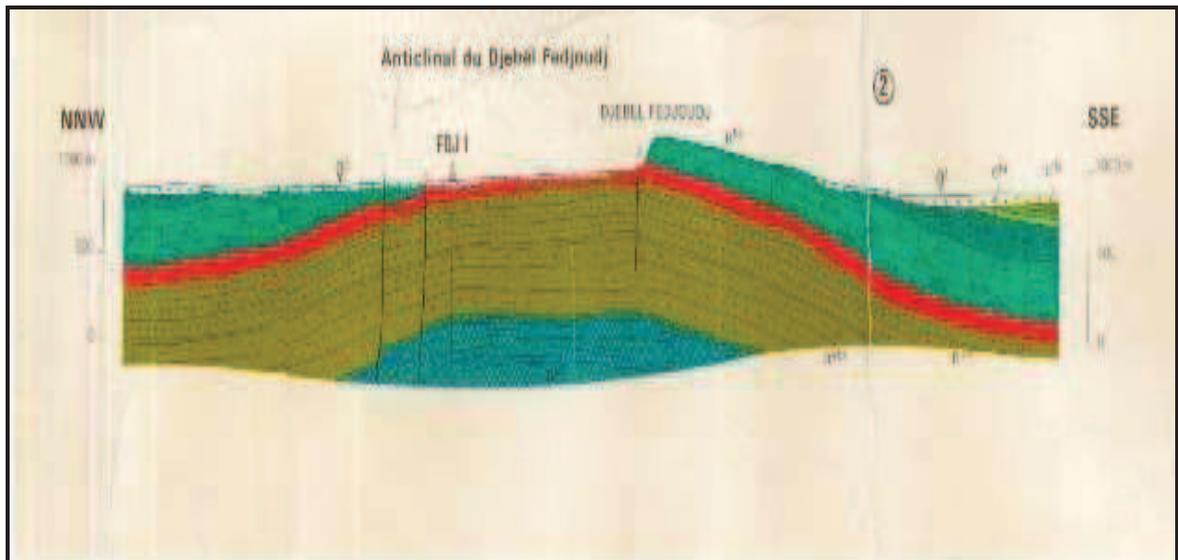


Fig n°6 : La carte géologique du sous bassin versant de Chemora. (Source : la carte géologique de Batna).

Légende :- Extrait de la carte géologique des Aurès (R.LAFFITTE au 1/200 000).

- Représente la stratigraphie des Aurès correspondant aux terrains affleurants dans la zone d'étude.

Figuré	Les formations
A	Sols Salés anciens (Sebkhas, Garaets).
Q qc qd	Quaternaire Q :qd : dunes, qc : cailloutis (El Hamil), éboulis; 1- cône de déjections torrentielles ; 2- alluvions anciennes et récentes.
C 1-II 1 2	Aptien C : 1-grès et marnes rouges, verts 2- calcaires, dolomies, marnes, grès
C III 2 1	Barrémien : 1- grès, graviers, marnes rouges, verts... Cm 2- grès blancs ;



Légende :

Echelle : 1/50.000

Figuré	Les formations	Figuré	Les formations
Q	Terres arables, limons anciens et Quaternaire indéterminé.	n ^{5a}	Aptien Marneux
n ⁶	Albien : Argiles, marnes et grés ferrugineux.	n ⁴	Barrémien (n ⁴).
n ^{5bc}	Aptien : Calcaires à Miliolides et Orbitolines.		

Fig n° 07 : Coupe géologique interprétative : Anticline du Djebel Fedjoudj- Echelle : 1/50 000 (source carte géologique de l'Algérie –Boulhilet (Ex Lutaud))

⚡ « Q^c » Villafranchien probables, croûtes massives :

Les croûtes calcaires massives occupent de vastes espaces dans les zones basses. Elles correspondent à des glacis anciens corrodés et la disséqués par l'érosion postérieurs. Leur aspect ajouré en carte dans leur l'angle Sud-est de la feuille est l'indice d'une Karstification .

⚡ « S » Sebka :

Sur le bord nord de la partie nord de la région de Chemora, il s'agit des prolongements médiaux des Garaet Annk Djamel et Guelif.

⚡ « Q^s » Sols salés anciens :

Aux environs de la sebka, ce sont d'anciens sols salés hydromorphes qui portent une végétation caractéristique de salsolacées.

« Q » Formations dunaires (lunettes) :

Ce sont des agglomérats de poussières et de sables fins localisés autour des Sebka, actuellement corrodés par l'érosion.

2.1.2- Crétacé

Les couches du Crétacé supérieur correspondent au versant nord de l'anticlinal du Djebel Amrane.

Celles du Crétacé inférieur correspondent à l'axe anticlinal BouArif- Fedjoud – Tarf.

« n^{5c} » Aptien supérieur calcaire à miliolidés, orbitolines et « ovalveolina » reichili :

Cette formation n'a été caractérisée qu'au abords du thenit el-Khorfane à l'extrémité orientale de Djebel Fedjoud . Elle correspond à 150m d'une serie avec des biomicrites sombres en bancs métriques, des grés blancs ferrugineux, des argiles grises siliceuses au sommet. Il s'agit sur 150 m d'alternances de calcaires gris – noir Organo-détritiques, parfois oolithiques en bancs décimétriques ou métrique de dolomies beiges ou ocres souvent saccharoïdes et de marnes en passées métriques à débris de mollusques.

« n^{5b} » Aptien calcaire à miliolidés et orbitolines et rares intercalations dolomitiques :

C'est l'aptien calcaire qui forme l'essentiel de l'anticlinal de Djebel Fedjouj.

Cette série atteint 175m d'épaisseur et correspond à une succession assez monotone de calcaires sparitiques ou oolithiques sombres en bancs métriques, de minces bancs marneux gris, de petits bancs de calcaire noduleux à débris de rudistes et à orbitalines.

« n^{5a} » Aptien marneux :

L'aptien marneux apparaît seulement dans la moitié Est de Djebel Fedjouj dans les cirques que l'érosion a aménagé dans la voûte anticlinale de celui-ci, 75 m de série affleurent mal sous les éboulis. Ce sont des marnes ; grises ou beiges avec 4 minces intercalations de calcaire zoogène en bancs décimétriques ou métriques beiges, noduleux à nombreux débris de lamellibranches, de brachiopodes et à orbitales et à miliolles.

A la base de cet ensemble marneux quelques bancs de grés ferrugineux appartiennent peut-être déjà au barrémien terminal et sont visibles sur quelques mètres.

📌 « n^{4d} » Barrémien supérieur à dominante gréseuse :

Ce type de formation affleure à Sidi Bouzid sur le bord nord-ouest de la feuille et près de Bouirhsène dans la voûte de l'anticlinal de Djebel Bou Arif. Aucun fossile n'a été découvert leur faciès est identique à celui des couches bien datées du Djebel Bou Arif (Feuille de Ain ELKsar) ou de Djebel Hanout Kebir (feuille Ain Kercha). 80 m de la série sont visibles.

📌 « n^{4c} » Barrémien supérieur calcaro- dolomitique :

Quelques petits affleurements à Sidi Bouzid correspondant à des dolomies sombres et à des calcaires fins noirs, cristallins et à *Palorbitolina* sp. Et *Lithocodium aggregatum* ellioti. Le faciès de ces derniers est analogue à celui des couches qui au Djebel Hanout Kebir, plus au Nord ont fourni en outre des *Palaeodictyoconus arabicus* (HENSON) .On observe guère qu'une cinquantaine de mètres de série.

3 - Tectonique et paléogéographie

3.1- Evolution paléogéographique

La zone d'étude appartient au vaste ensemble structural des hautes plaines constantinoises, entre les hauteurs du tell constantinois et celles des Aurès correspondant à un bassin fermé entouré de reliefs fortement accidentés et tectanisés.

3.2- Aperçu Tectonique

L'analyse cartographique et les reconnaissances sismiques montrent que la structure de la zone d'étude est simple. Deux grands anticlinaux sont visibles du Nord vers le sud ; l'anticlinal du Djebel Fedjoug et celui de Djebel Amrane.

Leurs pendages restent faibles sauf sur le versant Sud. En replaçant ces structures dans un cadre plus vaste et en étudiant la disposition des axes, on peut aisément se rendre compte du rôle de la fracturation Alpine. En dehors de quelques fractures à faible rejet vertical, le résultat essentiel est dû à des décrochements régulièrement dextre qui disposent l'axe du Djebel Fedjoug en une vaste courbe à convexité nord à l'Ouest et à concavité nord plus à l'Est, pratiquement au milieu de la feuille de Boulhilet. Les dimensions et le dispositif structural sont ceux du pli plus Occidental de Ras El Aioun, à la bordure Nord du Hodna. Le même dispositif existe plus au Nord, encore plus accusé sur la feuille d'Ain- Kercha.

L'Anticlinal du Djebel Fedjoudj est donc un pli embouti par le serrage alpin postérieur à la tectonique plicative atlasique fini- éocène.

4 - Caractéristiques lithologiques du sous bassin versant

Les descriptions lithologiques sont inspirées en grande partie de la notice explicative des cartes géologiques au 1/50.000 de Ain el Ksar, Boulhilet, Ain-Yagout et Ain- Kercha.

Les formations quaternaires occupent 52 % de la surface et s'étendent sur les zones de faible pente où s'effectue le dépôt de la charge solide arrachée aux versants.

Quand aux formations gréseuses, elles occupent 24 % de la surface, et affleurent principalement dans les secteurs de Koudiat Medouar et Djebel Bou-Arif. Les argiles siliceuses associés aux grès, caractérisant les reliefs de Tagratine occupent 11 % de la surface.

Les masses à alternance de calcaire et de marne, affleurent au Nord de Djebel Bou-Arif et les flans Ouest de Djebel Amrane. Cette série occupe 10 % de la surface du bassin de Chemora. Les formations à dominance calcaire du Crétacé inférieur ; qui affleurent Djebel Bou-Arif et Djebel Fedjoud, occupent une surface de 3 % de la surface totales.

4.1- Classification des formations géologiques selon leurs intérêts hydrogéologiques

La classification des formations géologiques du sou bassin en question est basée sur la structure physique des roches (porosité), donc de leur susceptibilité d'emmagasiner ou de transmettre de l'eau.

Nous avons classé ces terrains en trois catégories, les terrains aquifères à fortes potentialités, les terrains à faible potentialité et les terrains imperméables (tableau n° 05 et 06).

Tableaux n°05 : Répartition des terrains selon leur degré de potentialité -ANRH-

Terrains	Superficie (Km ²)	Superficie (%)
Terrains aquifères à forte potentialité (1)	133	29
Terrains Aquifères à faible potentialité (2)	184	40
Terrains imperméables (3)	142	31

- ❖ 1) : Ce sont Les formations perméables en grand sont représentées par les roches et séries calcaro-dolomitiques fissurées des Djebels Merzeklal, Fedjoudj, Annk Djemel et Bouarif.
- ❖ (2) : Ce sont des roches meubles à perméabilité d'interstice ; sable; gravier, limons, alluvions diverses qui ne se diffèrent entre elles que par le volume de vide ou par la porosité.

- ❖ (3) : Ce sont des marnes, des argiles et des conglomérats cimentées et dépourvues de fissuration ou de porosité.

Le secteur étudié recèle plusieurs formations aquifères réparties sur plusieurs niveaux stratigraphiques, depuis le crétacé jusqu' au quaternaire dont la nature, la puissance et la qualité sont variables. Cependant, on peut distinguer dans la région où appartient la zone d'étude trois principaux types de nappes; La nappe de plaines Sud Constantinoises et plaines alluviales du Bassin, la nappe miocène de Timgad, et le réservoir calcaire des monts des Aurès qui sont à l'origine de plusieurs sources.

Tableau n°06 : Colonne stratigraphique et conséquence hydrogéologique

système	Etage	Symbole	Description lithologique	Les affleurements	Epaisseur (m)	Intérêt hydrogéologique
Quaternaire		e	Eboulis	Frangent le relief de Djebel Fedjoudj.	100m	perméable
		A	Alluvions actuelles et récentes.	À l'Ouest du Djebel Fedjoudj et le long des vallées de l'Oued Chemora -Boulhilet et Garaet Annk Djemel		
		Q	Terres arables, limons anciens et Quaternaire indéterminé.	Zones plates cultivables.		
		Q ^t	Glacis polygénique nappant les reliefs.	Couvrent de très vastes surfaces en pente douce		
		Q ^c	Croûtes calcaires massives.	- Occupant de vastes espaces dans les zones basses au Sud-est.		
		S Q ^s Q ^d	Sols de Sebkhia, sols sales et dunaires	-Au bord Nord du sou bassin (Garaet Ank Djemel et ses environs).		
Crétacé inférieur	Aptien	n ^{5a}	Marnes grises.	-Affleurent mal à Djebel Fedjoudj sous les éboulis.	75m	imperméable
		n ^{5b}	Calcaires à Miliolidés Orbitolines et dolomitiques	Djebel Fedjoudj.	175m	perméable
		n ^{5c}	Calcaires à Miliolidés,	Djebel Fedjoudj (Theniet El-Korfane).	50m	perméable
	Barrémien	n ^{4c}	Dolomites sombres et calcaires fins noirs	Dj Sidi Bou zid	-	perméable
		n ^{4d}	grés.	Affleure à Dj Sidi Bouzid.	80m	perméable
	Albien	n ⁶	Argiles, marnes et grés ferrugineux	Au bord Ouest du sousbassin Visible à Dj bouarif	250m	imperméable

Conclusion

La détermination des différents réservoirs est basée sur une bonne connaissance de la géologie locale de la zone d'étude.

Le sous bassin présente des conditions favorables pour l'accumulation des eaux souterraines, à partir des bords de la plaine ou affleurent des barres carbonatées tel que les calcaire et les dolomites.

Les formations prédominantes sont celles du Quaternaire et celles du Crétacé représentées par l'Aptien et le Barrémien. Cependant les argiles et les marnes gréseuses localisées dans la partie Sud de la Zone d'étude et les formations de calcaires sont assez peu représentées à Djebel Fedjoudj.

CHAPITRE III

HYDROCLIMATOLOGIE

1- Introduction

L'étude des aquifères est liée à l'étude des facteurs climatiques de la région qui jouent un rôle déterminant dans le régime des cours d'eau, surtout les précipitations qui constituent le facteur essentiel intervenant par leur répartition annuelle et mensuelle, leurs totaux journaliers, et surtout les averses génératrices des crues. Ces différents aspects des précipitations plus ou moins modifiés par l'effet combiné des autres paramètres physiques (altitude et exposition) et climatiques (températures et évapotranspiration surtout), permettent d'expliquer quantitativement les variations des composantes du régime hydrologique du bassin.

Le climat de la plaine de Chemora appartient au sous bassin (05) du bassin versant des hauts plateaux constantinois (07-05) dénomination administrative de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH). Fig n°08.

L'étude des données climatiques permettent l'analyse des facteurs du climat de cette zone que nous renseignera sur :

- Le type de climat;
- le comportement hydrologique du bassin versant;
- le calcul du bilan hydrologique en fonction des paramètres climatiques.

2- Pluviométrie de la zone d'étude

Le sous bassin nord de la plaine de Chemora est équipé de (04) stations pluviométriques. La 1^{ère} située à l'intérieur de la plaine (celle de Boulhilet) et les trois (03) situées à l'extérieur (celles de Timgad, Ain-Yagout et Toufana). L'exploitation des données climatiques enregistrées dans les stations de mesures permettront de caractériser les conditions climatiques de la zone d'étude. Des relevés climatiques sur différentes périodes d'observations sont enregistrés au niveau des stations cités plus haut. Il s'agit des données de l'ANRH. On a une série d'observation des précipitations s'étalant sur 20 ans de 1986 à 2005 pour les quatre stations (Boulhilet, Timgad, Ain-Yagout et Toufana) et une série d'observation de 15 ans des températures allant de 1990 à 2005 pour la station de Boulhilet.

Les caractéristiques des stations sont reportées dans le tableau n° 07 et Fig n° 09.

Tableau n° 07 : Caractéristiques des stations pluviométriques

Stations	Atitude	Longitude	Altitude (m)	Période d'observation des précipitations et températures	Bassin versant concerné
<i>Boulhilet</i>	35° 43'53 N	06°39'58	859	P : 86/05 T : 90/05	B.V de Annk Djemel
<i>Tingad</i>	35° 29'00 N	06° 28'00	1040	P : 86/05	B.V de Oued Chemora
<i>Ain-Yagout</i>	35° 47'15 N	06° 25'06	912	P : 86/05	B.V de Sebkhet Ez-zemoul
<i>Toufana</i>	35° 26' 37	06° 39' 42	973	P : 86/05	B.V de Mori

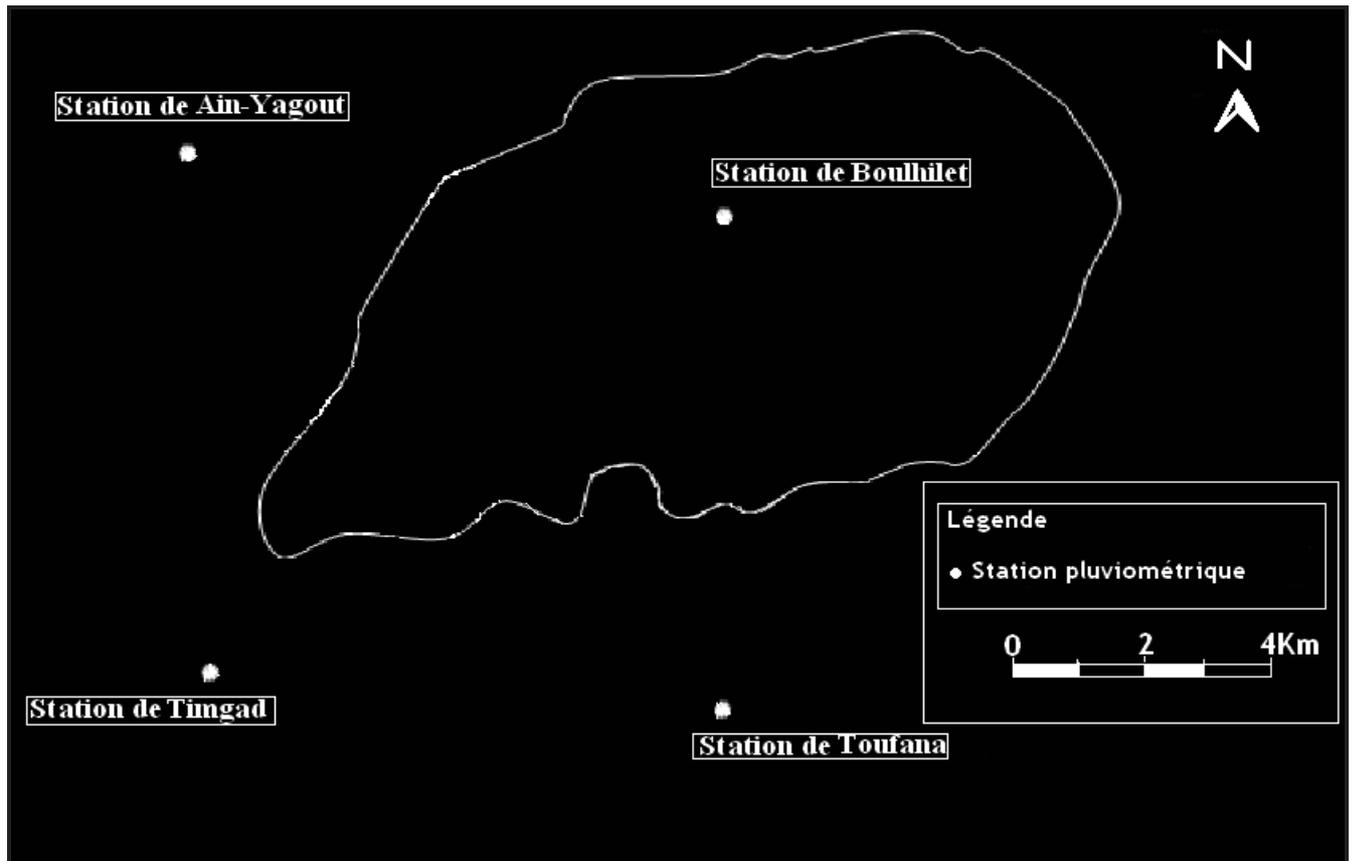


Fig n° 09 : Position géographique des différentes stations pluviométriques

3- Etude des paramètres climatiques :

3.1- Les précipitations :

Le terme précipitations englobe toutes les eaux météoriques, la hauteur de la lame d'eau recueillie par le pluviomètre, quelque soit son 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 principal dans le comportement hydrologique de la région. Elles sont relativement moins importantes, variables et irrégulières d'une année à une autre.

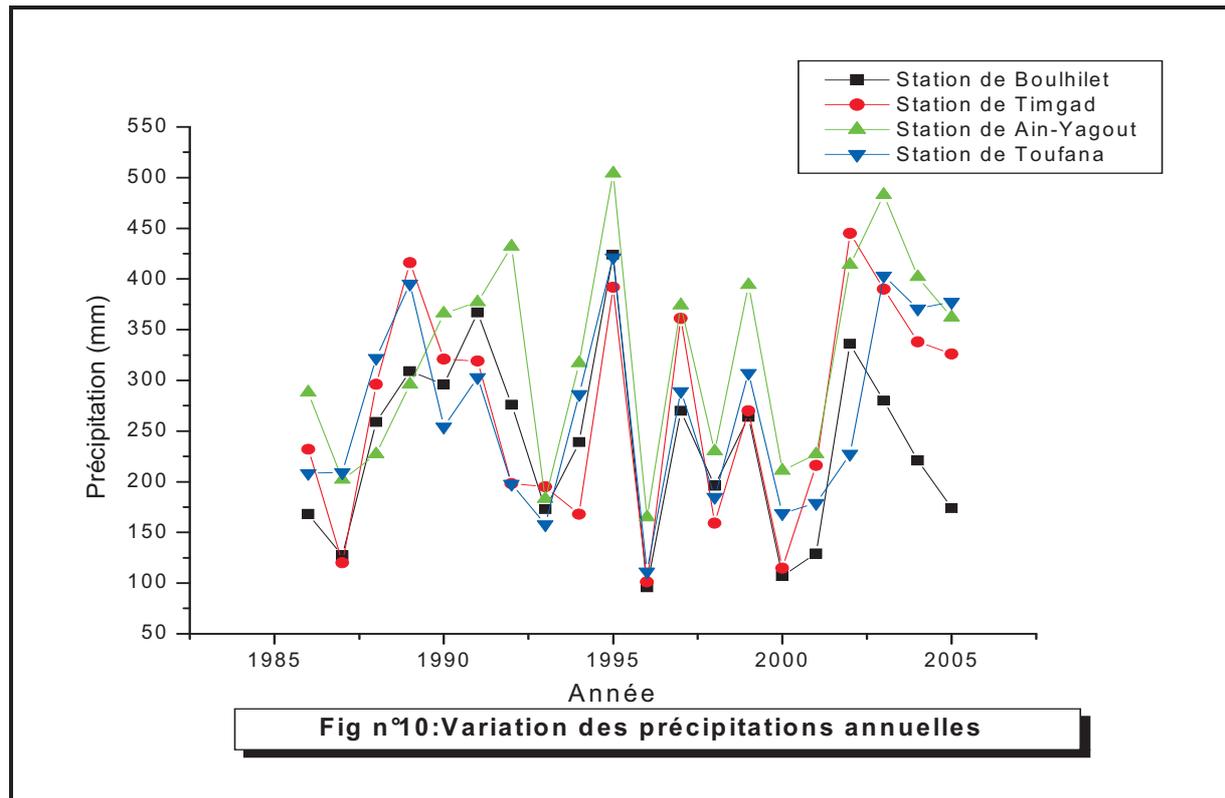
3.1.1- Répartition interannuelle des précipitations :

L'analyse des courbes de répartition interannuelle du tableau n°08 et Fig n°10, permettent de tirer les particularités suivantes de la région à étudiée :

- Les modules pluviométriques généralement sont faibles. Ils varient entre 96 mm à 504 mm ;
- La variation de la pluviométrie interannuelle pour les Quatre (04) stations est identique (C_v varie de 0.32 à 0.39)
- L'allure des courbes de la répartition interannuelle des précipitations est pratiquement identique pour les Quatre (04) stations.

Tableau n° 08 : Pluviométrie annuelle en (mm)

Années stations	Boulhilet	Timgad	Ain .Yagout	Toufana
	P _i	P _i	P _i	P _i
1986	168	232	288	208.3
1987	127	120	202	209.1
1988	259	296	227	322
1989	309	416	296	395.3
1990	296	321	366	254.2
1991	367	319	377	303.1
1992	276	198	432	197.7
1993	173	195	183	157.7
1994	239	168	317	286.3
1995	424	392	504	421.2
1996	96	101	165	111.3
1997	270	361	374	289.3
1998	196	159	230	184.8
1999	264	270	394	307.2
2000	107	114.7	211	168.8
2001	129	216	227	178.9
2002	336	445	414	227.4
2003	280	390	483	403.3
2004	221	338	402	370.8
2005	174	326	362	377.3
Pmoy	236	269	323	269
σ	90.45	105.63	102.47	92.39
Cv	0.38	0.39	0.32	0.34



3.1.2- Répartition moyenne mensuelle :

Pour toutes les stations météorologiques la pluviosité mensuelle est très variable, et n’offre pas des courbes régulièrement croissantes. Les mois où la pluviosité est inférieure à la moyenne mensuelle de l’année ne sont pas consécutifs comme le montre la (Fig n° 11), et les tableaux (n° 09 et n° 10) :

Tableau n° 09: Modules pluviométriques moyens mensuels :

Stations	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aou	Moyen mensuel
Boulhilet	23	16	20	24	30	19	21	21	27	16	6	13	20
Timgad	21	18	25	30	27	19	24	27	38	16	8	15	22
Ain-Yagout	34	22	30	38	33	24	26	30	43	18	5	18	27
Toufana	27	17	27	27	29	15	24	24	27	21	6	13	21

Tableau n°10 : Paramètres statistiques de la pluviométrie mensuelle :

Paramètres	Boulhilet	Timgad	Ain-Yagout	Toufana
Moyenne mensuelle	20	22	27	21
Ecart type σ	6.14	7.58	9.83	6.83
C_v	0.31	0.34	0.36	0.33

❖ **Station de Boulhilet :**

La valeur maximale des précipitations est observée pendant le mois de Janvier avec 30 mm, et une valeur minimale de 6 mm pendant le mois de Juillet ; avec coefficient de variation 0.31.

❖ **Station de Timgad:**

Le mois le plus humide est celui de Mai avec 38 mm, alors que le mois le plus sec est Juillet avec 8 mm. La variabilité des pluies est de 0,34.

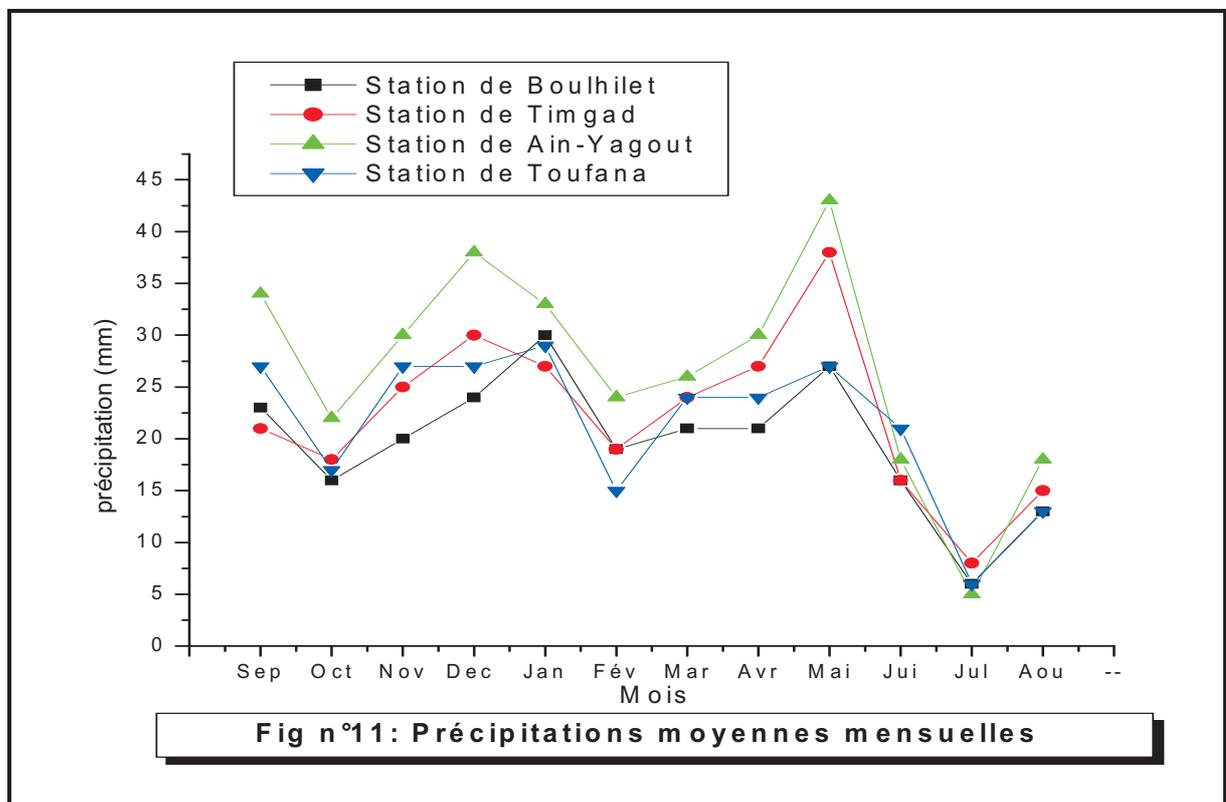
❖ **Station d'Ain-Yagout:**

La valeur maximale des précipitations est observée pendant le mois de Mai avec 43 mm, alors que la valeur minimale est de 5 mm elle est observée au mois de Juillet, avec coefficient de variation 0.36.

❖ **Station de Toufana**

On constate que le moi de Janvier est le mois le plus humide avec 29 mm, tandis que le mois le plus sec est celui de Juillet avec 6 mm. Le coefficient de variation est de 0.33.

En fin, les mois les plus arrosés sont : Décembre, Janvier et Mai alors que les mois les plus secs ont Juillet et Aout.



3.1.3 - Répartition saisonnière des précipitations :

L'analyse des pluies saisonnières survenant dans des conditions de température et à des différentes phases de développement de la végétation (Tableau n°11 et Fig n°12).

Tableau n°11 : Répartition saisonnière des précipitations :

Stations	Pluviométrie	Automne	Hiver	Printemps	Eté
		S.O.N	D.J.F	M.A.M	J.J.A
Boulhilet	P (mm)	59	73	69	35
	P%	25	31	29	15
Timgad	P (mm)	64	76	89	39
	P%	24	28	33	15
AinYagout	P (mm)	86	94	95	41
	P%	27	29	30	13
Toufana	P (mm)	71	71	75	40
	P%	28	28	29	16

- **La saison pluvieuse :** coïncide avec l'hiver et le printemps pour toutes les stations.
- **La saison sèche :** coïncide avec l'été pour les quatre stations.

Par contre l'automne reçoit une quantité d'eau intermédiaire entre celle de l'hiver et celle de l'été.

3.1.4 - Estimation de la lame d'eau précipitée sur le bassin versant :

3.1.4.1- Méthode de la moyenne arithmétique des précipitations :

La méthode la plus simple consiste à calculer la moyenne arithmétique des hauteurs de précipitations relevées dans le même intervalle de temps aux diverses stations du bassin versant, cette méthode n'est fiable que si les hauteurs des précipitations sont relativement proches. Dans le cas contraire elle n'a aucune signification. (tableau n°12). Elle s'obtient à partir de la formule suivante :

$$\bar{P} = \sum \frac{P_i}{n} \quad \text{Avec : } P_i : \text{Pluviométrie moyenne annuelle de chaque station en mm ;}$$

n : Nombre de station utilisées.

Soit : $\bar{P} = 274 \text{ mm}$

Tableau n°12 : les précipitations moyennes arithmétiques annuelles :

Stations	Altitudes (m)	Précipitations (mm)
Boulhilet	859	236
Timgad	1040	269
AinYagout	912	323
Toufana	973	269

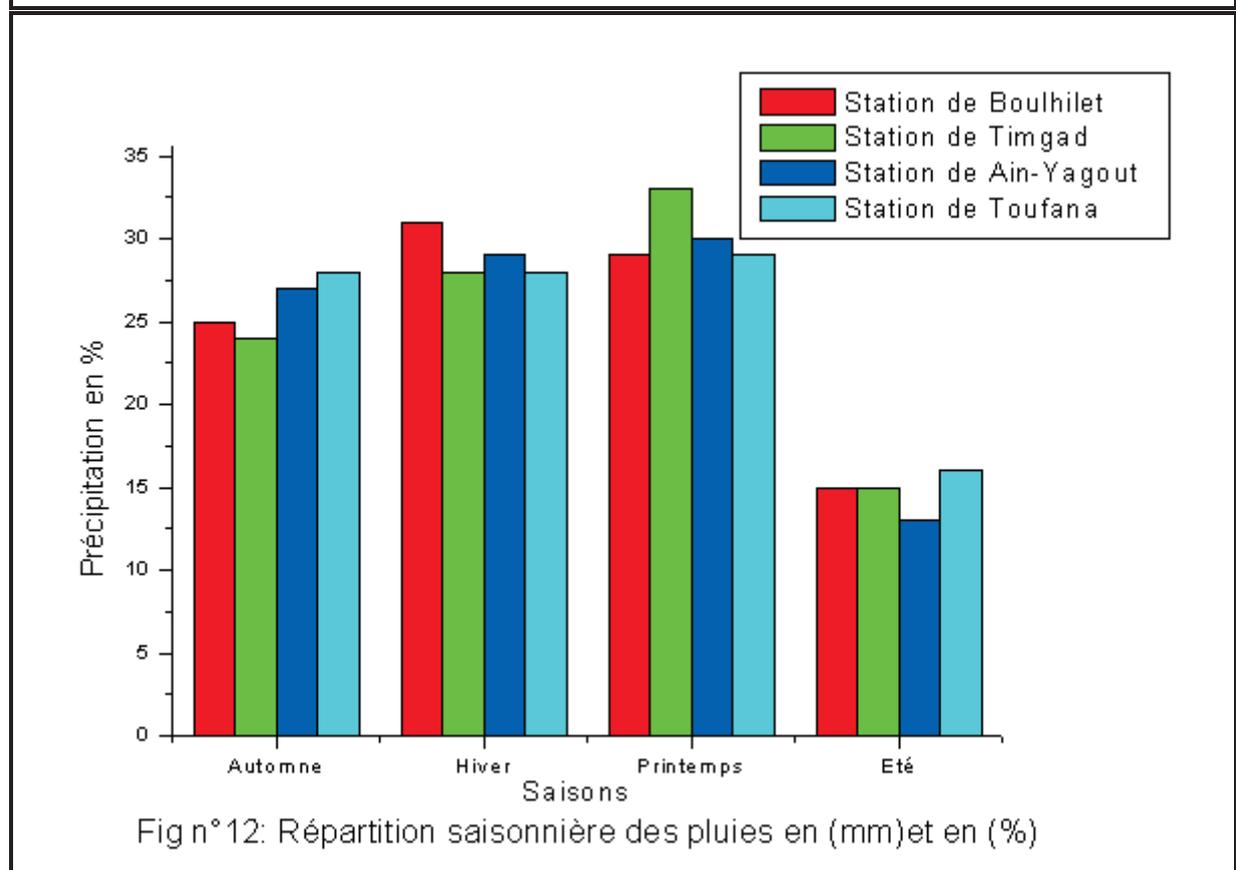
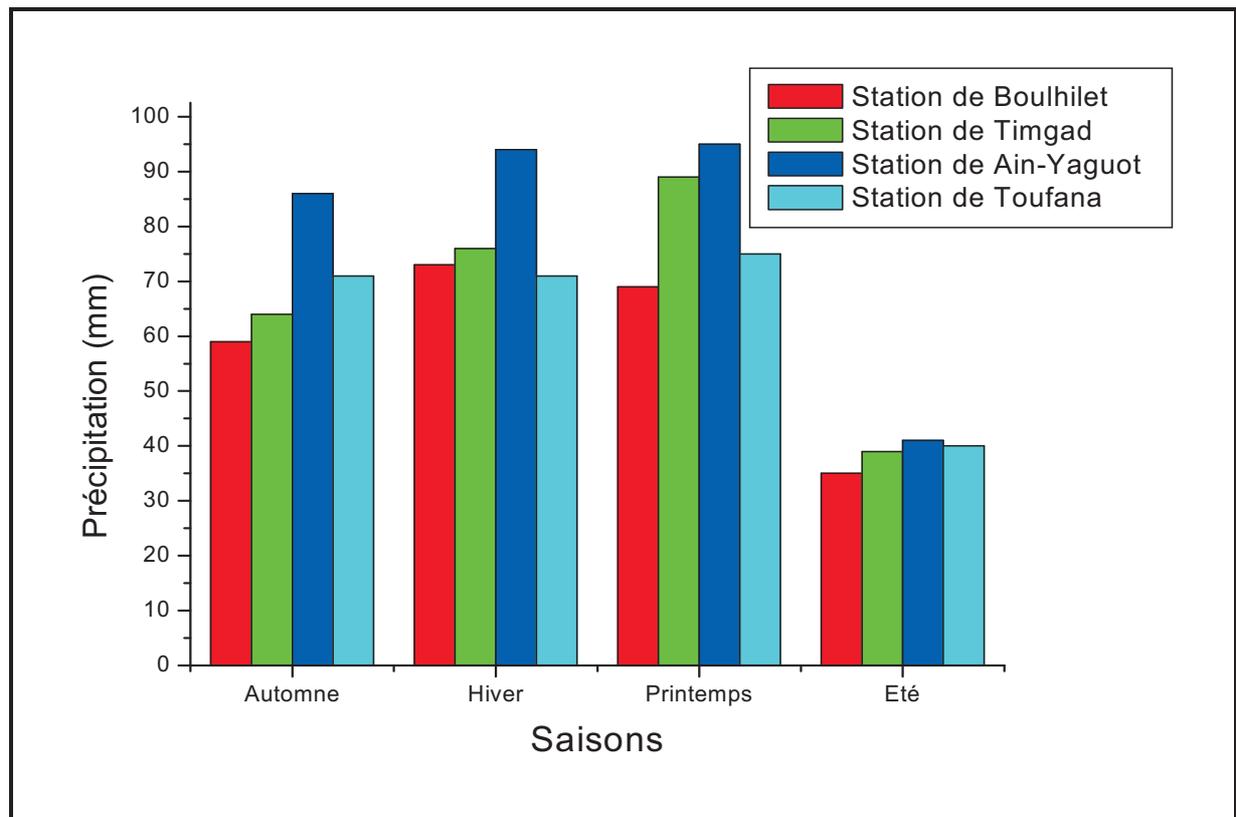


Fig n°12: Répartition saisonnière des pluies en (mm)et en (%)

3.1.4.2 - Méthode de Thiessen :

Les différentes stations réparties sur l'ensemble du bassin versant permettent de tracer les polygones ayant pour centre une de ces stations (Fig n°13). On considère que la pluie moyenne relevée à chaque station correspond à celle tombée sur chaque polygone ayant pour centre la station qui lui correspond (tableau n°13). Ainsi on calcule la surface de chaque polygone, la lame précipitée est donnée par la formule suivante :

$$\bar{P} = \frac{\sum S_i * P_i}{\sum S_i}$$

Avec : P_i : Précipitations moyennes annuelles de chaque station ;

S_i : Surface correspondante à chaque polygone.

Soit : $\bar{P} = 262mm$.

Tableau n° 13: Calcul de la lame d'eau tombée sur le B.V Selon la méthode de THIESEN

	S_i (km ²)	P_i (mm)	$S_i * P_i$
1	252.45	236	59578.2
2	45.9	269	12347.1
3	91.8	323	29651.4
4	68.85	269	18520.65
Somme	459	/	120097.4

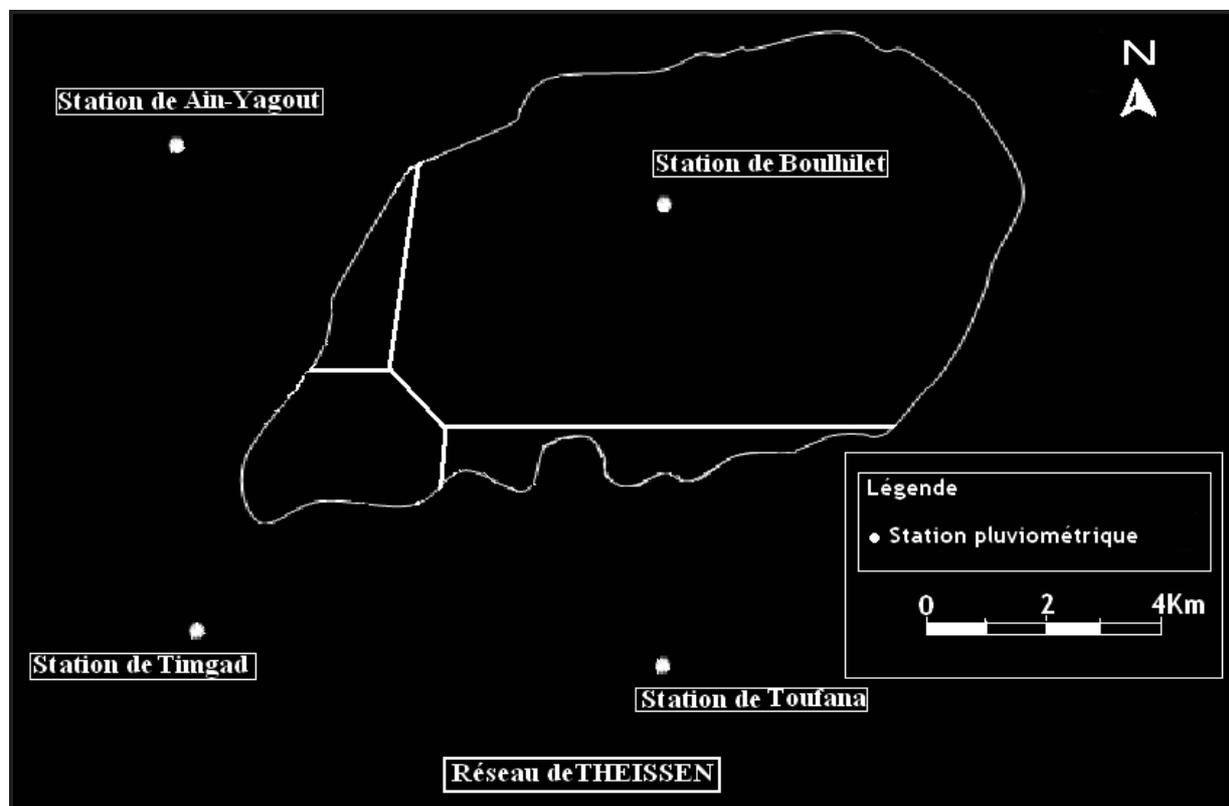


Fig n° 13 : Calcul de la lame d'eau par la (méthode de THIESEN)

3.1.4.3- Méthode du gradient altimétrique :

3.1.4.3.1- Détermination de la pluviosité :

Les précipitations sont plus importantes sur les versants de montagnes exposés aux vents soufflant de la mer que sur les versants opposés. Ainsi plus on s'élève en altitude, plus la hauteur des précipitations est importante, mais il peut y avoir une altitude limite au delà de laquelle les précipitations diminuent. Pour les stations situées à la même altitude, plus la station est éloignée de la mer et plus les précipitations diminuent. Pour la détermination du gradient pluviométrique du sous bassin versant,(07) sept stations ont été utilisées (tableau n°14).

Tableau n° 14: Précipitations, méthode du gradient altimétrique :

Stations	Altitudes X_i (m)	Précipitations P_i (mm)	$X_i * P_i$
Boulhilet	859	236	202724
Timgad	1029	269	276801
Ain-Yagout	912	323	294576
Toufana	973	269	261737
Sidi- Mançar	1112	320	355840
Batna	1040	349	362960
Ain-Sekhona	827	316	261332
Somme	6752	2082	2015970
Moyenne	964,57	297.43	287995.71
Ecart type	92.09	42.79	/

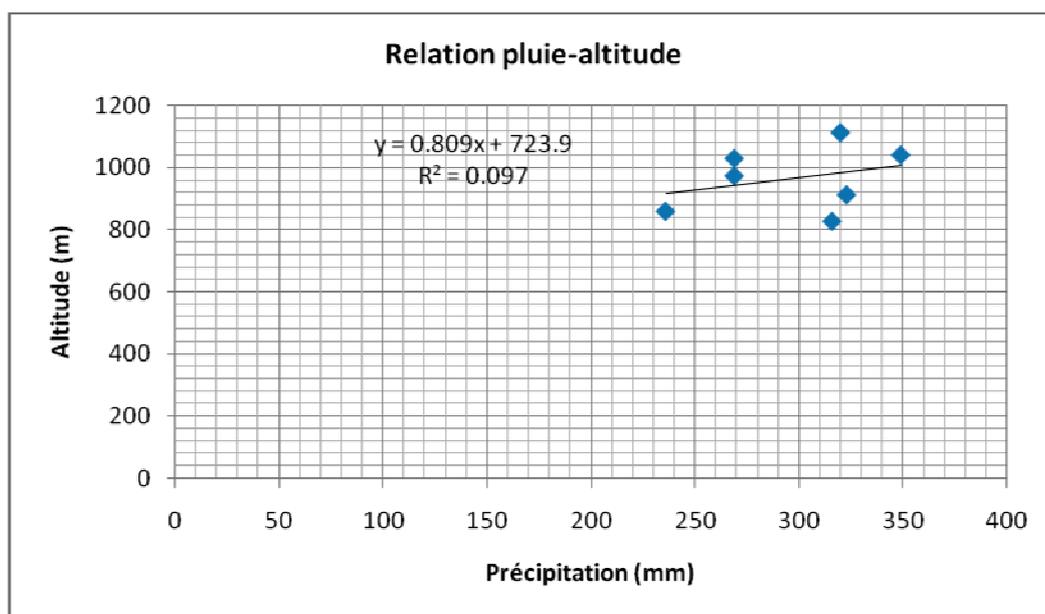


Fig n° 14 : Relation pluie - Altitude

La droite de régression étant de la forme : $Y = aX + b$

Avec : $a = R \frac{\sigma_y}{\sigma_x}$ (R = étant le coefficient de corrélation).

$$R = \frac{\sum X_i \cdot Y_i - n \bar{X} \cdot \bar{Y}}{(n-1) \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y}$$

$$b = \bar{Y} - a \bar{X}$$

Donc : $R = 0.31$ $a = 0,809$ $b = 723.9$

Soit : $Y = 0,809X + 723.9$

On a que : $Y =$ Pluie moyen et $X =$ Altitude moyen.

Donc:

$$P = 0,809h + 723.9$$

- ❖ On remarque que la liaison n'est pas significative car pour sept couples de valeurs, le coefficient de corrélation critique $r_c = 0,96$ (selon A.Mangin) dont largement supérieur au coefficient de corrélation calculé $r = 0,31$.

3.2. La Température de l'air :

L'étude des températures moyennes mensuelles et annuelles est déterminante pour évaluer le bilan hydrologique à l'échelle d'un bassin versant.

Les températures moyennes, mensuelles et annuelles agit sur les autres facteurs météorologiques telque les précipitations, l'insolation, l'hygrométrie l'évaporation et par la même, le déficit d'écoulement annuel et saisonnier. Les températures sont donc l'un des éléments majeurs qui influe sur le climat d'une région. C'est donc cette action du régime thermique qui nous intéresse spécialement d'autant plus que l'évapotranspiration atteint des valeurs importantes dans notre bassin notamment en saison chaude. Ce pendant les données dont on dispose sont très limitées, elles intéressent la station de Boulhilet pour la période allant de 1990 à 2005 (tableau n°16).

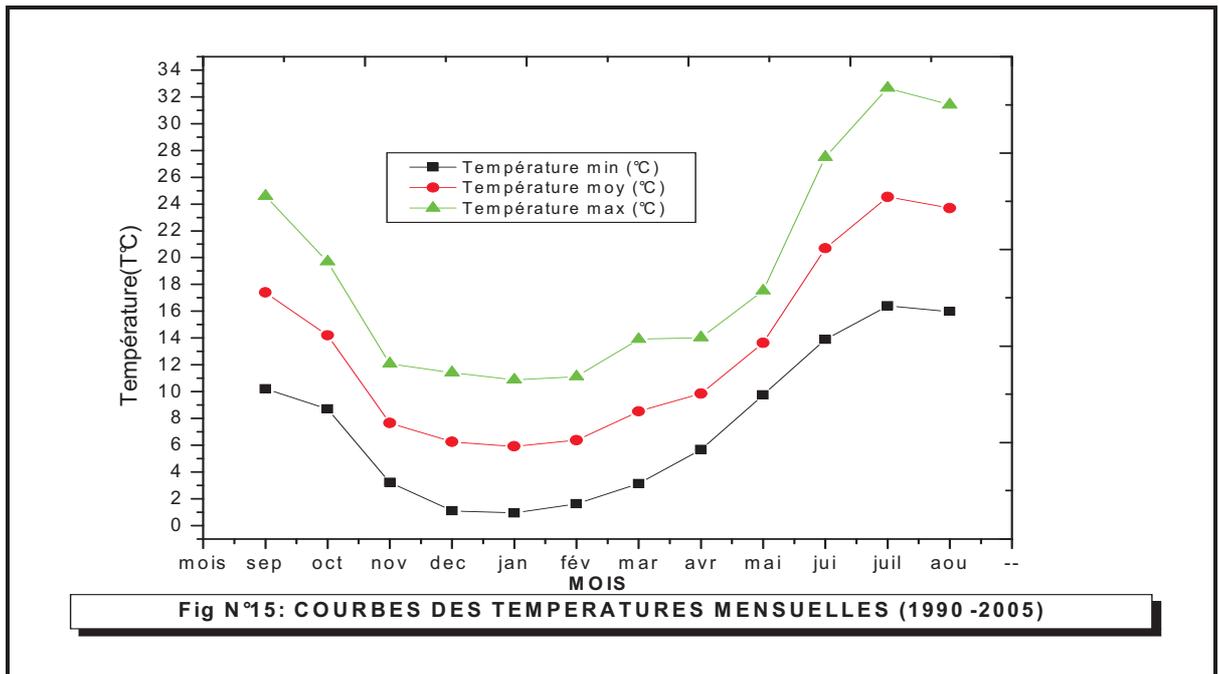
**Tableau n°15 : Températures mensuelles et annuelles (période 1990-2005) :
(Station de Boulhilet)**

Station	T c°	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	T̄
Boulhilet	T°c min	10,2	8,7	3,22	1,09	0,94	1,62	3,13	5,67	9,75	13,9	16,4	15,98	7,55
	T°c Moy	17,4	14,2	7,65	6,25	5,91	6,37	8,52	9,85	13,64	20,7	24,53	23,7	13,23
	T°c Max	24,6	19,7	12,08	11,41	10,9	11,1	13,91	14,03	17,53	27,5	32,66	31,42	18,90

T^0_{\min} = Températures moyennes minimales mensuelles et annuelles ;

T^0_{moy} = Températures moyennes mensuelles et annuelles ;

T^0_{\max} = Températures moyennes maximales mensuelles et annuelles.



La saison chaude et sèche coïncide avec les trois mois d'été. Ce sont les mois pendant lesquels les températures moyennes sont supérieures à la moyenne annuelle qui est de 13.23°C; atteignant la valeur maximale de 24.53°C au mois de Juillet et 23,7°C pendant le mois de Août. Cependant la saison froide et humide s'étale du mois de décembre jusqu'au mois de mars, avec une température moyenne minimale observée en Janvier avec une valeur de 5,91 °C.

3.3. Le climat de la région :

La région d'étude est caractérisée par des conditions climatiques qui seront précisées en utilisant plusieurs méthodes : l'indice d'aridité de D. Martonne, le diagramme de L. Emberger, la méthode de H. Gaussen et F. Bagnouls et la méthode de G. Euverte.

3.3.1. Indice de De. Martonne :

Le géographe de De. Martonne (1989) définit un indice d'aridité I_a , calculé 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 résultats d'une telle application sont soignés dans les tableaux n°17 et n°18 et la figure n° 16.

Tableau n°16 : Indice d'aridité de De. Martonne

Stations	P (mm)	T °c	I _a
Boulhilet	236	13.23	10.16

Tableau n°17 : Classement en fonction de l'indice d'aridité de De. Martonne

Classement de l'Indice d'aridité	Type de Climat
$I < 5$	climat hyperaride
$5 < I < 7.5$	climat désertique
$7.5 < I < 10$	climat steppique
$10 < I < 20$	climat semi-aride
$20 < I < 30$	climat tempéré
$I > 30$	climat humide

D'après la valeur de l'indice climatique on voit que la région se caractérise par un régime thermique semi-aride avec un écoulement temporaire, et une couverture herbacée.

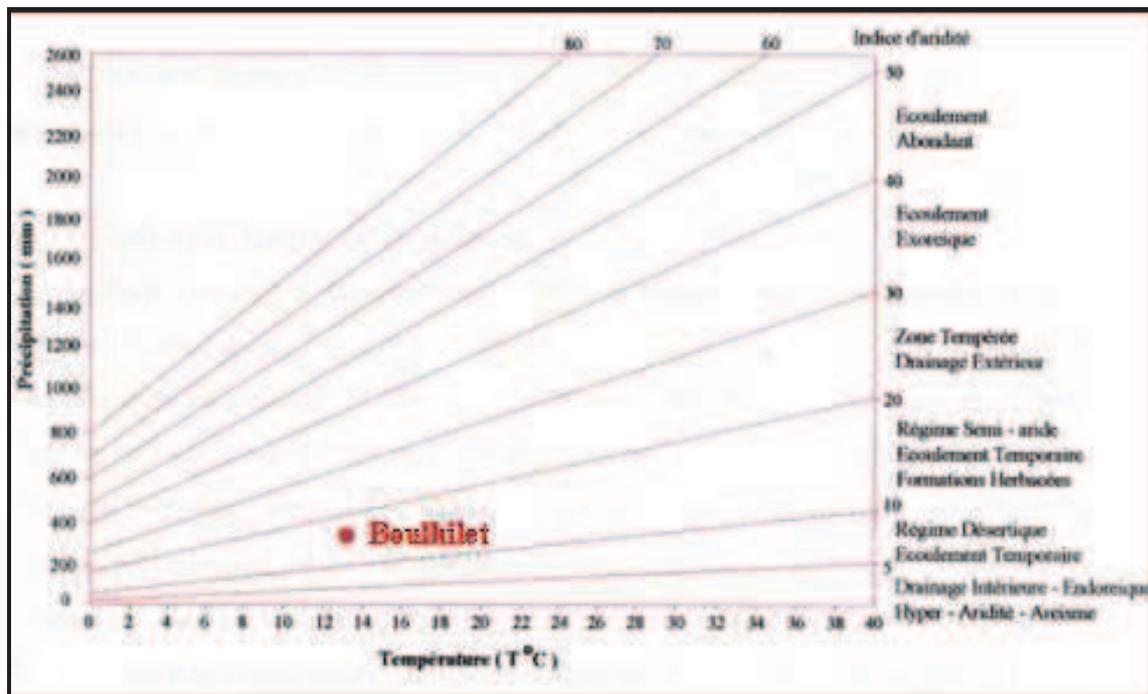


Fig n° 16 : Abaque de l'indice d'aridité de De.Martonne

3.3.2- Le diagramme de L. Emberger :

Pour préciser le climat de la région nous allons utiliser le climagramme de L. Emberger sur lequel nous avons reporté les données relatives à la station

de Boulhilet avec, en abscisse la moyenne des minimales de la saison froide (en °C), et en ordonnée Q₂ donné par la formule suivante :

$$Q_2 = \frac{2000P}{M^2 - m^2}$$

Avec : P : Précipitation annuelle en mm ;

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

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

Après calcul nous obtenons les résultats reportés dans le tableau (n°18) :

Tableau n°18 : valeur de Q₂

Stations	P (mm)	Q ₂
Boulhilet	236	25.66

- Le rapport de ces données sur le Climagramme de L. Emberger, nous permet de dire que la station de Boulhilet se situe dans la zone climatique semi-aride à hiver frais (Fig n° 17).

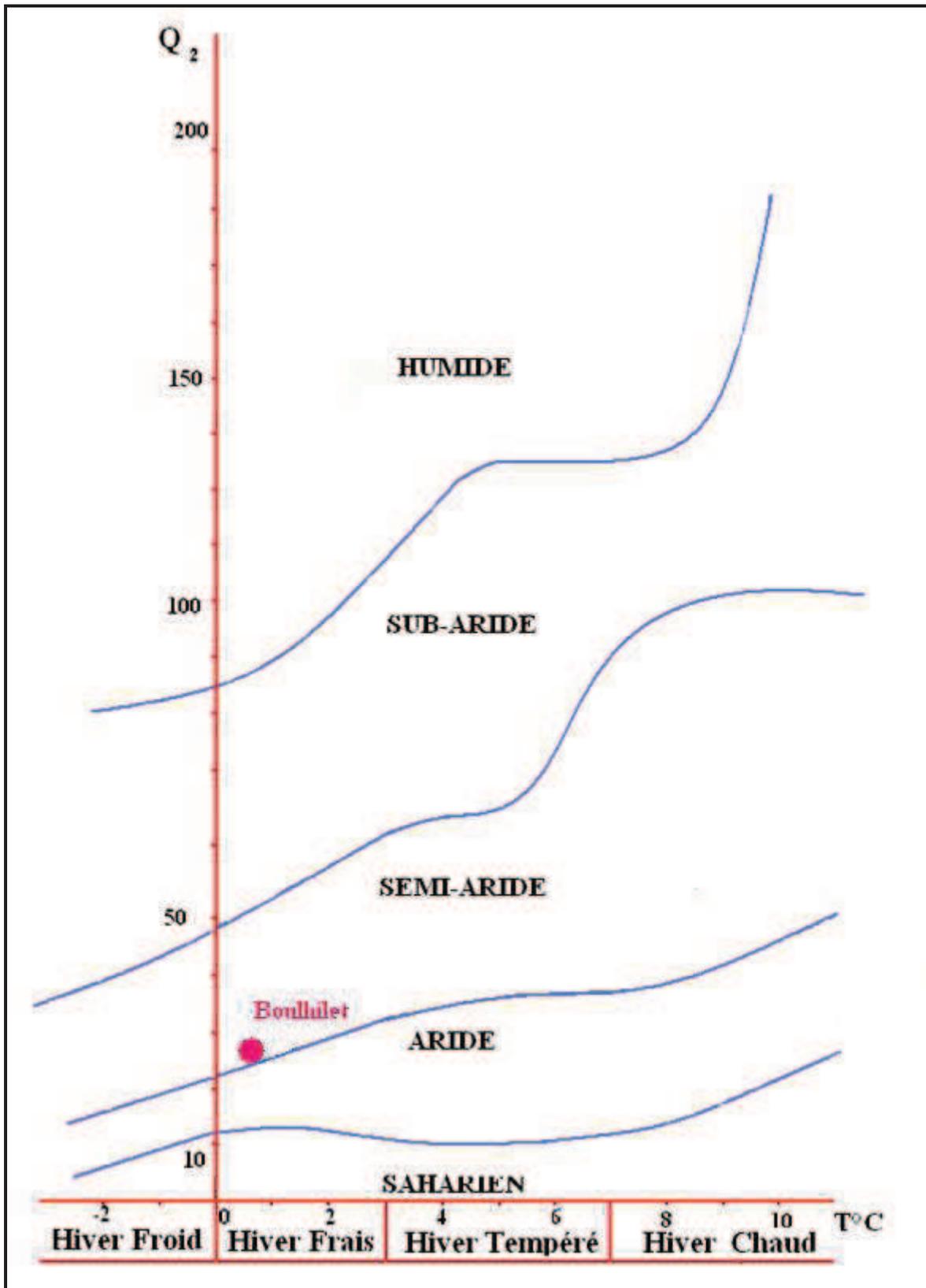
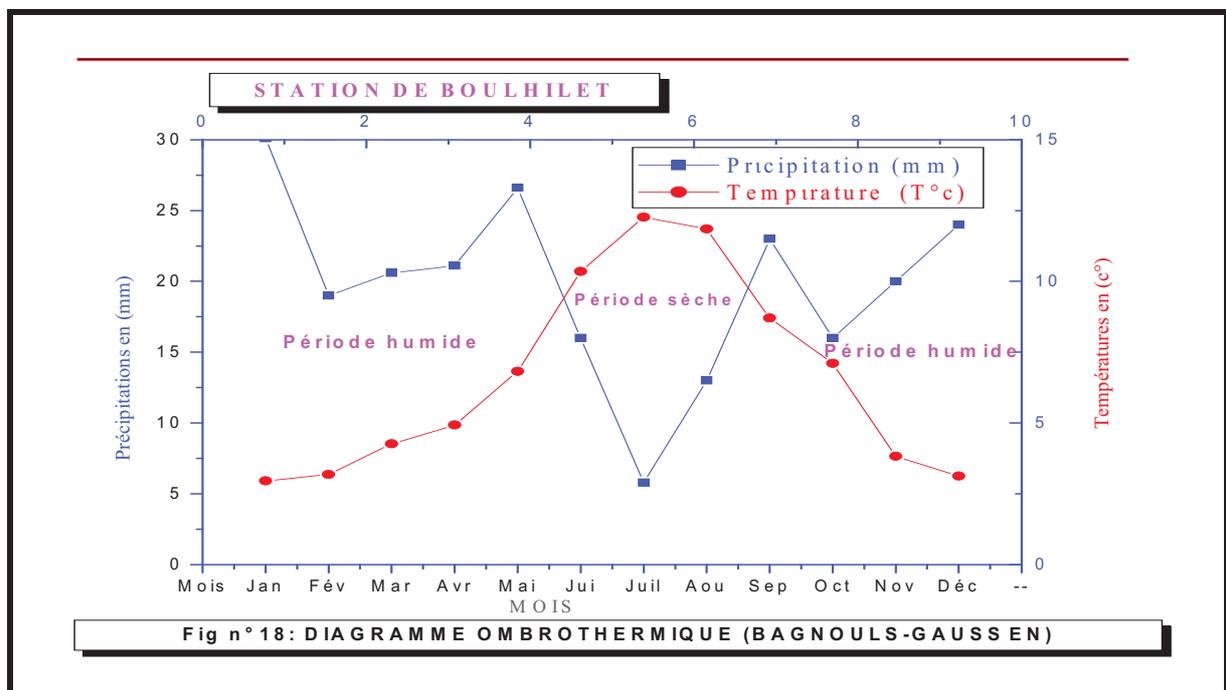


Fig n°17: Climagramme de L. EMBERGER

3.3.3 - Méthode de H. Gaussen et F. Bagnouls :

Le diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls est la combinaison de deux paramètres climatiques principaux, qui sont la température et la précipitation (Fig n°18). Pour ces deux auteurs un mois sec est celui où le total moyen des précipitations exprimé en (mm) est inférieur ou égal au double de la température moyenne ($P \leq 2 T^0c$). Cette relation permet d'établir un graphique sur le quel les précipitations sont portées à l'échelle double des températures. Nous constatons que la station de Boulhilet présente une période sèche qui s'étale sur plus de trois mois. Elle s'étale de la dernière semaine du mois de Mai jusqu'à la dernière semaine du mois d'août. La détermination de cette période est d'une grande importance pour l'hydrogéologie a fin de pouvoir estimer les besoins en eau.



3.3.4. Méthode d'Euverte :

Le rapport $\frac{P}{T}$, établi mensuellement permet de connaître l'évolution de l'humidité du sol, il permet également de définir trois types de régimes :

- Un régime sec où : $\frac{P}{T} < 2$;
- Un régime sub-humide où : $2 < \frac{P}{T} < 3$;
- Un régime humide où : $\frac{P}{T} > 3$;

Selon le tableau (n°19), nous remarquons :

➤ **Station de Boulhilet (Latitude : 35°43' 53" Nord, Longitude :6°39' 58 ") :**

Les valeurs de (P/T) les plus faibles sont celles des mois de Juin, Juillet, Août, septembre et Octobre traduisant un régime sec sous l'influence saharienne.

Tableau n°19 : Détermination de régime climatique par la méthode d'Euverte

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aou	
Boulhilet	P (mm)	23	16	20	24	30	19	21	21	27	16	6	13
	T ⁰ c	17.4	14.2	7.65	6.25	5.91	6.37	8.52	9.85	13.6	20.7	24.53	23.7
	P/T	1.32	1.13	2.61	3.84	5.08	2.98	2.46	2.13	1.98	0.77	0.24	0.55

3.4 - Evapotranspiration ou Déficit d'écoulement :

La connaissance du bilan d'eau d'une région consiste à évaluer la répartition des précipitations entre l'écoulement, l'infiltration et l'évaporation. L'évapotranspiration est définie, comme étant une restitution de l'eau sous forme de vapeur de la surface terrestre à l'atmosphère. Cette notion englobe aussi bien la lame d'eau évaporée à partir du sol que celle transpirée par les plantes. Elle est donc un élément très important pour l'établissement du bilan hydrique, et dépend de plusieurs paramètres : la température, les précipitations, l'humidité de l'air, le couvert végétal...

3.4.1 Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) :

Il existe plusieurs formules empiriques qui permettent de calculer l'évapotranspiration potentielle, mais elles ne sont applicables qu'après avoir subir des corrections locales.

3.4.1.1- Calcul de l'ETP suivant la formule de C.W. Thornthwaite :

La formule de calcul de l'évapotranspiration potentielle selon C.W. Thornthwaite tient compte de l'indice thermique et de la température moyenne mensuelle.

La formule de l'ETP s'écrit de la manière suivante : $ETP_{cor} = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a * K$, (en mm).

Où :

ETP_{cor} : Evapotranspiration mensuelle corrigée, (en mm) ;

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

I : Indice thermique annuel, $I = \sum i$;

i : Indice thermique mensuel, déterminé par l'expression : $i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.5}$

a : Coefficient calculé par la formule : $a = 1,6 \left(\frac{I}{100} \right) + 0,5$;

K : Coefficient de correction, qui dépend du temps et de la latitude.

Les résultats de calcul de l’ETP par la méthode C.W. Thornthwaite sont présentés dans le tableau (n°20).

Tableau n°20: Calcul de l’ETP selon C.W. Thornthwaite à la Station de Boulhilet

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aou	Année
T (°C)	17.4	14.2	7.65	6.25	5.91	6.37	8.52	9.85	13.6	20.7	24.53	23.7	/
i	6.49	4.79	1.89	1.4	1.29	1.44	2.22	2.77	4.51	8.424	10.87	10.32	56.41
K	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	/
ETP cor	17	16	21	16	15	16	29	39	67	121	156	139	652

3.4.1.2 – Calcul de l’évapotranspiration potentielle par formule de BLANCY-CRIDDLE modifiée par le F A O

La formule utilisée est modifiée par le F.A.O dans laquelle on suggère deux temps, le premier concerne uniquement le terme climatique de l’E.T.P⁽¹⁾ tandis que le second introduit les coefficients culturaux pour déterminer l’E.T.P⁽²⁾ de culture.

$$E.T.P = K.F$$

E.T.P : L’évapotranspiration mensuelle en mm.

K : coefficient cultural qui varie de 0.5 à 1.20 pour différentes cultures et diverses zones climatiques.

F : Force évaporante qui dépend de la température moyenne mensuelle et du rapport d’éclairement h/H (%)

$$E.T.P^{(1)} = a F + b$$

F: la force évaporante de BLANCY – CRIDDLE (mm/mois) ⇒ $F = p (0.46t + 8)$

P : Rapport de la durée d’éclairement mensuelle en %

t : température moyenne mensuelle en °C

a et b : Coefficients de correction en fonction de l’humidité relative, la vitesse du vent et l’insolation effective moyenne

Pour le calcul de l’E.T.P_{cul}, on prend pour la région d’étude $K_c = 0.70$ pour la saison humide et $K_c = 1.1$ pour la saison sèche.

Les résultats sont consignés dans le tableau n°21.

Tableau n° 21 : E T P mensuelle selon la Formule de BLANCY-CRIDDLE modifiée par la F A O à la station de Boulhilet.

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Année
T°c	17.4	14.2	7.65	6.25	5.91	6.37	8.52	9.85	13.6	20.7	24.53	23,4	/
P (%)	8.36	7.83	6.89	6.66	6.91	6.83	8.34	8.86	9.87	9.86	10.01	9.44	/
F (mm)	133.8	113.8	79.37	72.42	74.07	74.65	99.41	111	140.7	172.77	193.03	178.44	/
a	1.25	1.14	0.96	0.96	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.59	1.59	1.59	/
b	-1.88	-1.84	-1.66	-1.66	-1.84	-1.84	-1.84	-1.84	-1.84	-2.11	-2.11	-2.11	/
ETP (clim) (mm)	165,4	127,9	74,54	67,86	82,6	83,26	111,5	124,7	158,6	272,59	304,81	281,61	1855,37
K _c	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1.1	1.1	1.1	/
ETP (cul) (mm)	115,8	89,52	52.18	47,5	57,82	58,28	78,04	87,31	111	299,85	335,29	309,77	1590,18

3.4.1.3 – Calcul de l'évapotranspiration potentielle par formule dite ANRH (2002)

La formule adoptée par l'Agence Nationale Des Ressources Hydrauliques créée en 1997 et publiée en 2002, c'est une formule qui dérive de la formule de BLANCY-CRIDDLE et tient compte des coefficients correctifs régionaux et mensuels relatifs à la région d'étude.

$$ETP_{ANRH} = K_r K_m (H - 187) (0.032 t + 0.077)$$

- ETP_{ANRH} : est exprimé en millimètres par mois;
- K_r : est un coefficient mensuel régional on le prend **1.12** pour la région de Batna
- K_m : est un coefficient mensuel dont les valeurs sont données à la figure n° 19
- H : est la durée théorique mensuelle d'insolation (en heure par mois) et elle s'exprime en fonction des Y Lambert selon la formule suivante : $H_i = a_i Y + b_i$
 H étant la durée théorique d'insolation du mois i (en heure par mois)
 Y étant la coordonnée lambert zone Nord –algérie (en kilomètre).
 Les paramètres mensuels a_i et b_i sont donnés dans le tableau n° 22.
- t : est la température moyenne mensuelle pour le mois considéré et exprimée en °C

Les résultats de calcul de l'ETP par la Formule de l'ANRH (2002) sont présentés dans le tableau (n°23).

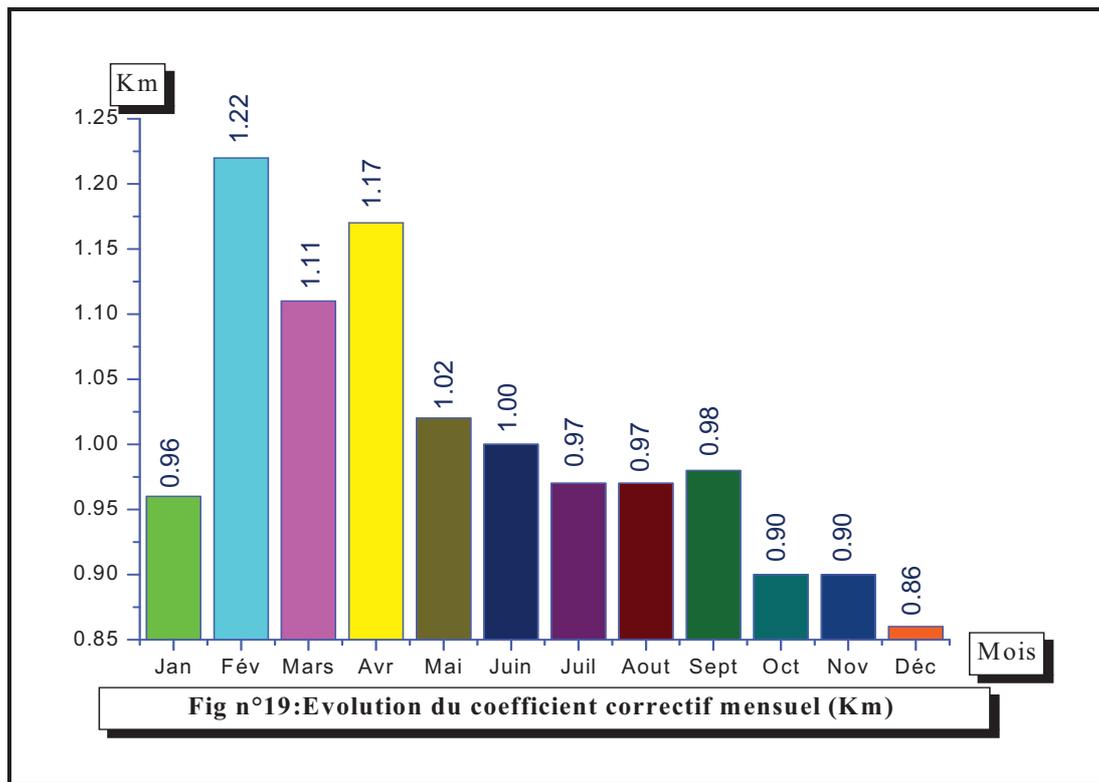


Tableau n°22 : coefficients d'évaluation des durées théoriques d'insolation.

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
a _i	-0.0218	-0.0110	-0.0012	0.0098	0.0201	0.0248	0.0230	0.0144	0.0031	-0.0081	-0.0185	-0.0246
b _i	315	307	371	389	429	429	436	414	370	351	311	306

Tableau n° 23 : E T P mensuelle selon la Formule dite ANRH à la station de Boulhilet

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Auot	Année
T°c	17,4	14,2	7,65	6,25	5,91	6,37	8,52	9,85	13,6	20,7	24,53	23,7	158,68
Kr	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	/
Km	0,98	0,9	0,9	0,86	0,96	1,22	1,11	1,17	1,02	1	0,97	0,97	/
Hi	370,86	348,76	305,89	299,2	308,97	304	370,67	391,7	434,6	435,9	442,4	418	/
ETP	127,9	86,65	38,56	29,94	34,9	44,9	79,84	105,2	144,88	206,12	239,16	209,65	1347,7

3.4.2 - Calcul de l'évapotranspiration réelle (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.

3.4.2.1. Méthode de Turc :

Cette relation est en fonction des précipitations et des températures moyennes mensuelles.

La formule est la suivante :

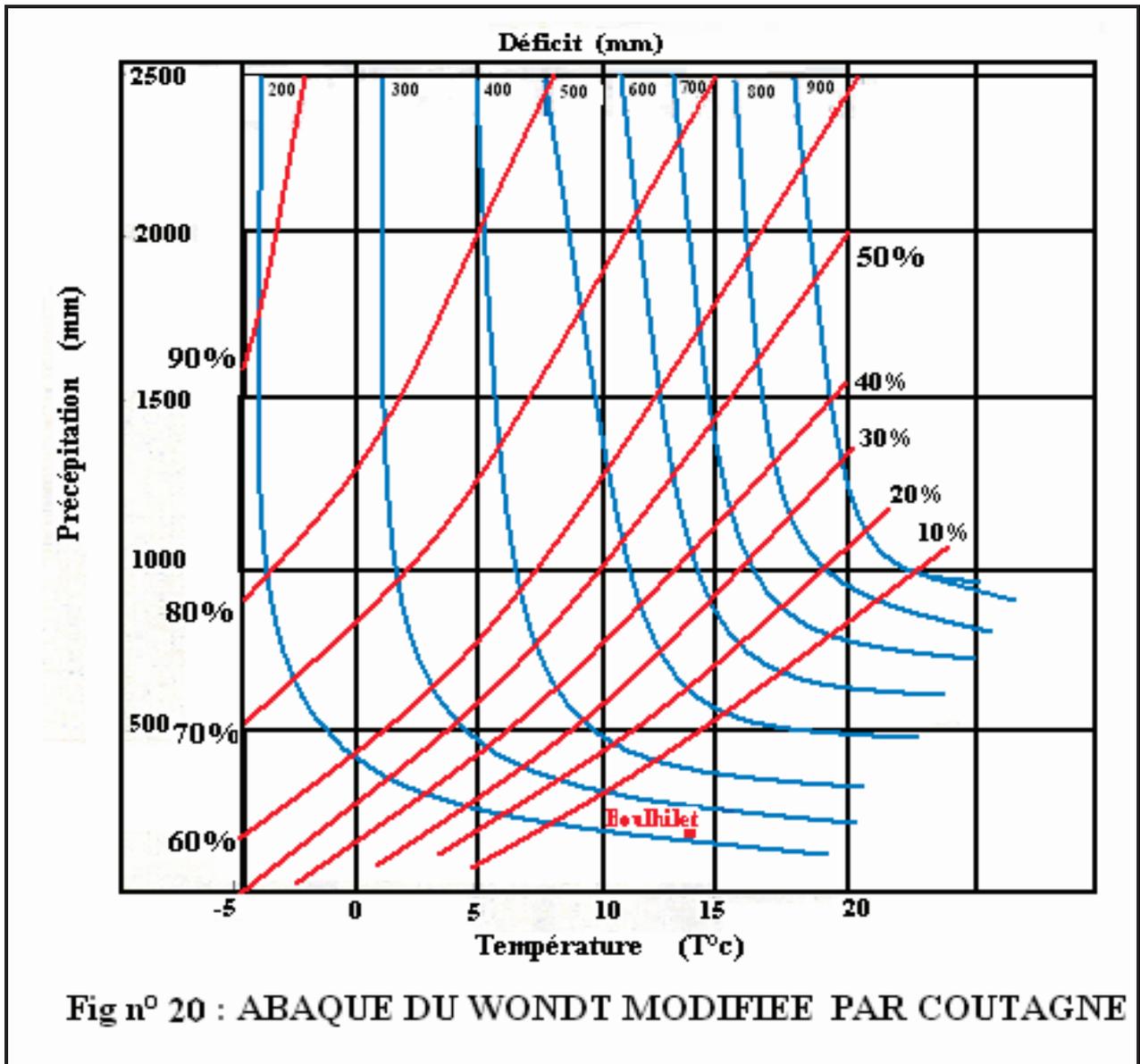
$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}} ; \text{ en mm.}$$

Où : P : Précipitation moyenne annuelle, en mm ;
 $L = 300 + 25 T + 0,05 T^3$: pouvoir évaporant de l'atmosphère ;
 T: Température moyenne mensuelle, (en °C) ;
 ETR: Evapotranspiration réelle, en mm.

$P = 236 \text{ mm}, T = 13.23^\circ\text{C}, L = 746.53 \rightarrow \text{ETR} = 236.01 \text{ mm.}$ Soit 100% des précipitations.

3.4.2.2. Méthode de Wundt :

L'abaque de Wundt modifié par Coutagne permet de déduire la valeur de l'ETR ou D_e en prenant en considération la température moyenne annuelle (°C) et les précipitations annuelles (mm) (Fig n°20).



D'après la L'abaque de Wundt modifié par Coutagne la valeur de l' ETR = 238mm, soit 100% des précipitations.

3.4.2.3 - 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 bi- logarithmique pour les régions semi-arides en tenant compte uniquement des précipitations annuelles (Fig n°21).

ETR = 230 mm, soit 97% des précipitations.

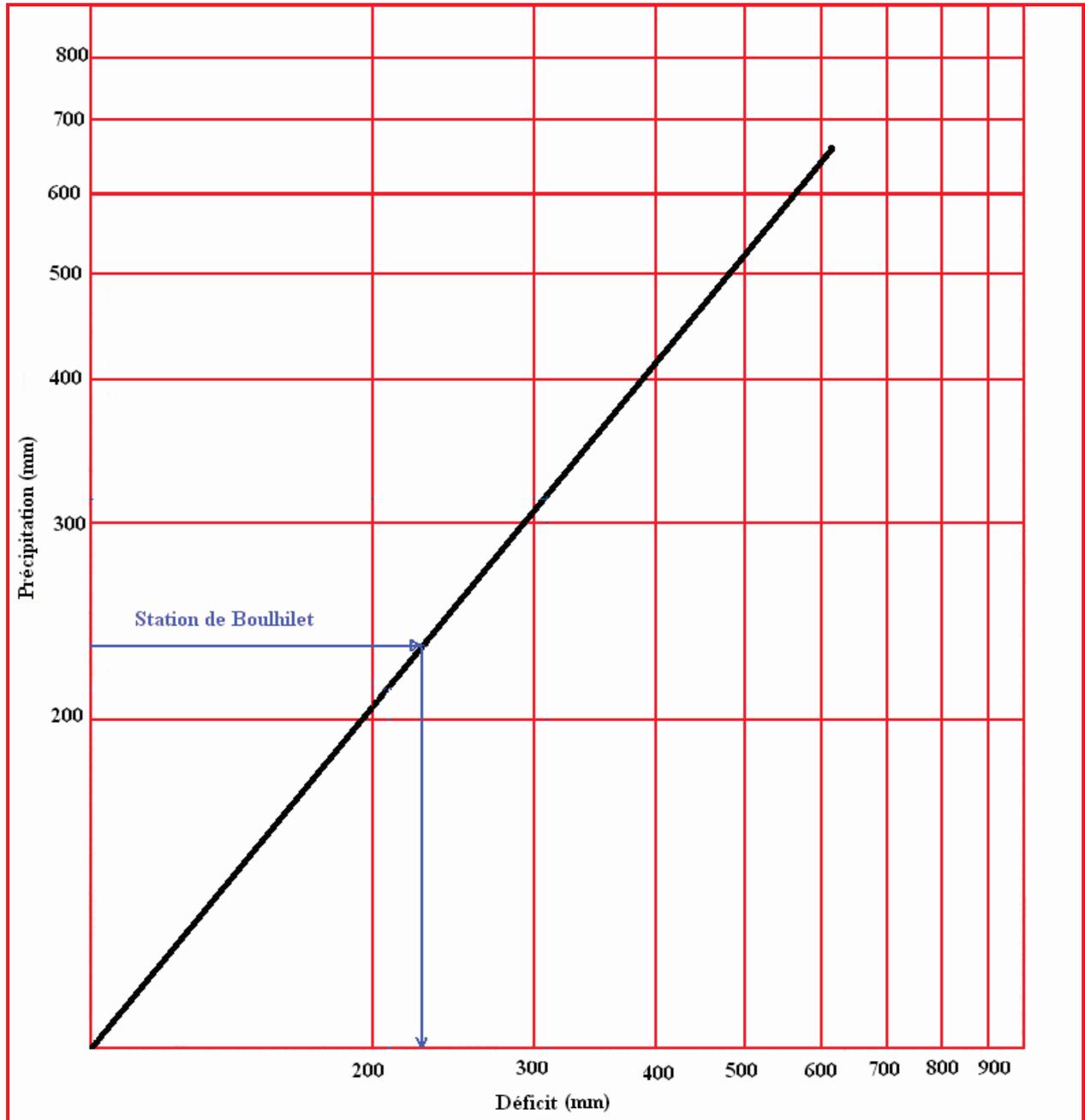


Fig n° 21 : Abaque pour calcul du deficit d'écoulement en Algérie (D'après P. VERDEIL :1988)

3.4.2.4 – Calcul du bilan hydrologique:

Pour établir le bilan il faut d'abord calculer la quantité d'eau emmagasinée dans la couche pédologique (RFU) qui est facilement utilisable par les plantes et nécessaire pour leur bon fonctionnement physiologique. Cette méthode permet de déterminer les 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). 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 $D_a = 1.5$).

H_e : Capacité de retentions:

$H_e = 5\%$ → 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.

➤ $H_e = 20\%$ soit 0.20%

P : Profondeur de la terre parcourue par les racines en m ($P = 0.5$ m).

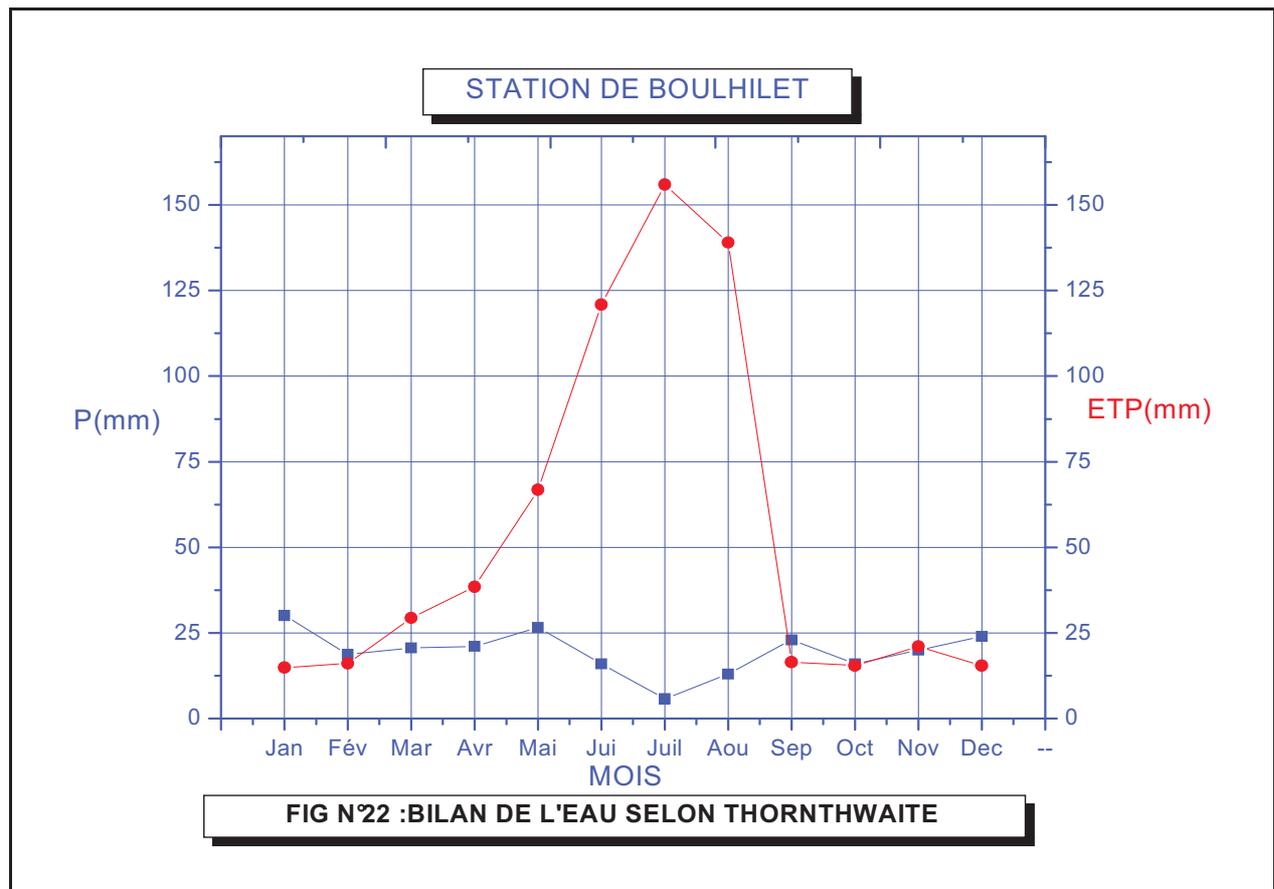
La RFU calculée donne une valeur égale à 50 mm ($RFU_{\min} = 0$ et $RFU_{\max} = 50$ mm).

3.4.2.4.1 – Calcul du bilan hydrologique par ETP -C.W. THORNTHWAITE

Le tableau n° 24, résume le calcul du bilan hydrologique pour la station météorologique de Boulhilet à partir de la pluviométrie et des températures mensuelles.

Tableau n°24: Calcul du bilan hydrologique (Station de Boulhilet) par ETP- THORNTHWAITE

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aou	Année
P (mm)	23	16	20	24	30	19	21	21	27	16	6	13	236
ETP cor	17	16	21	16	15	16	29	39	67	121	156	139	652
P-ETP	6	0	-1	8	15	3	-8	-18	-40	-105	-150	-126	/
RFU	6	6	5	13	28	31	23	5	0	0	0	0	/
ETR	17	16	21	16	15	16	29	39	32	16	6	13	236
D _{agricole}	0	0	0	0	0	0	0	0	35	105	150	126	416
(E _x)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	/



Au terme de ce bilan hydrologique pour la station de Boulhilet selon THORNTHWAITE, nous pouvons dire que :

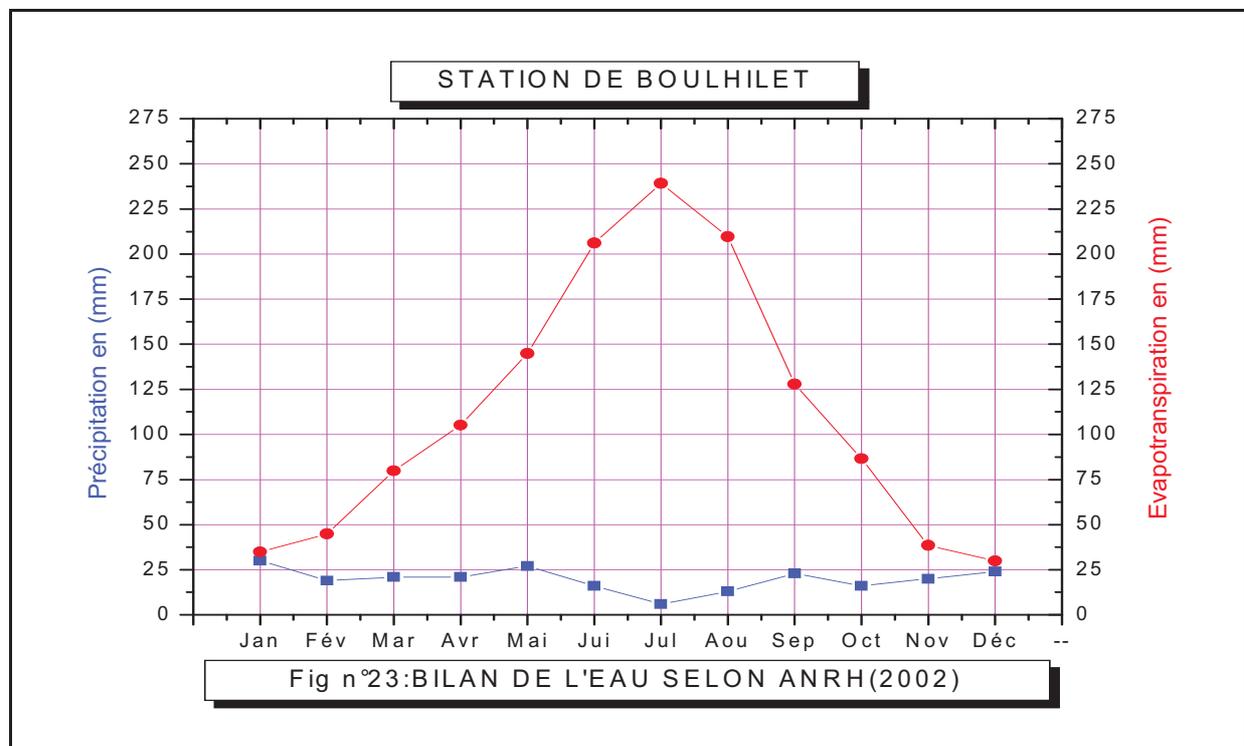
- Au cours de l'année, l'évapotranspiration potentielle dépasse de trois fois la pluviométrie annuelle.
- On a deux saisons distinctes, l'une avec une pluviométrie mensuelle supérieure à l'ETP de Septembre à Février et l'autre au cours de laquelle se produit l'inverse (du mois de Mars au mois d'Aout) ;
- A partir du mois de Mai jusqu'au mois d'Aout apparaît un déficit agricole; d'où la nécessité d'irriguer.
- Au début de septembre jusqu'à la fin d'Avril, on a une très faible réserve facilement utilisable RFU, qui atteint un maximum de 31mm au mois de Février et demeure ainsi jusqu'au mois de Avril où on remarque l'épuisement du stock.
- La sécheresse constitue une partie prédominante de l'année hydrologique. Elle dure 4 mois de l'année (du début du mois de Mai jusqu'à la fin du mois d'Aout).
- L'excédent est nul durant toutes les saisons de l'année, d'où l'alimentation de l'aquifère ne se fait probablement donc qu'à partir des limites.

3.4.2.4.2 – Calcul du bilan hydrologique par ETP calculée par l'ANRH (2002)

Le calcul du bilan hydrologique à la station de Boulhilet (Tableau n°25) est basé sur les résultats de l'évapotranspiration potentielle calculée par la formule dite ANRH (2002).

Tableau n°25: Calcul du bilan hydrologique (Station de Boulhilet) par ETP- ANRH (2002)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aou	Année
P (mm)	23	16	20	24	30	19	21	21	27	16	6	13	236
ETP ANRH	127,9	86,65	38,56	29,94	34,9	44,9	79,84	105,2	144,88	206,12	239,16	209,65	1347,7
P-ETP	-104,9	-70,65	-18,56	-5,9	-4,9	-25,9	-58,84	-84,2	-117,88	-190,12	-233,16	-196,65	/
RFU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	/
ETR	23	16	20	24	30	19	21	21	27	16	6	13	236
D_{agricole}	104,9	70,65	18,56	5,9	4,9	25,9	58,84	84,2	117,88	190,12	233,16	196,65	1111,7
(E_x)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	/



Le calcul de l'évapotranspiration par la formule de l'ANRH (2002) donne des résultats Plus fiables que celle calculés par THORNTHWAITE qui reste sous estimés et on peut constater.

- L'évapotranspiration potentielle dépasse de six fois la pluviométrie annuelle.
- L'évapotranspiration potentielle mensuelle ne se rapproche de la pluviométrie mensuelle qu'aux mois de janvier et décembre.
- Il y a un déficit agricole durant toute l'année d'où la nécessité d'irriguer.

- La sécheresse constitue une partie prédominante de l'année hydrologique. Elle dure presque toute l'année et avec ETP élevée qui atteint une valeur maximale de 239.16 mm au mois de juillet la RFU reste nulle.
- L'excédent est nul durant toutes les saisons de l'année, d'où l'alimentation de l'aquifère ne se fait probablement donc qu'à partir des limites.

3.5 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.

$$P = ETR + EX \quad \text{Avec :}$$

P : Précipitation (mm);

ETR : La lame d'eau évaporée réellement en (mm) ;

EX : Excédent : $EX = R + I$

3.6- Les différentes valeurs de l'ETR

Les résultats de l'évapotranspiration réelle selon les différentes méthodes sont enregistrés dans le tableau n° 26.

Tableau n°26: Les différentes valeurs de l'ETR

Paramètres	Méthodes	Valeurs en mm	Valeurs en %
ETR en (mm)	Turc	236.01	100
	Coutagne	/	/
	Wundt	238	100
	Verdeil	230	97
	Thornthwaite	236	100
	ANRH (2002)	236	100

4. Conclusion :

L'analyse climatique a permis de voir que :

- ✚ La précipitation moyenne est de l'ordre de 236 mm/an;
- ✚ La température moyenne est de l'ordre 13.23°C;
- ✚ La région a un climat semi-aride à hiver frais;
- ✚ L'évapotranspiration réelle moyenne est de l'ordre de 236 mm soit 100 % des précipitations moyennes annuelles (selon la méthode de THORNTHWAITE et ANRH (2002)).
- ✚ Le déficit agricole est de l'ordre de 416 mm allant du mois de Mars jusqu'au mois d'Aout selon la méthode de THORNTHWAITE et de l'ordre de 1111,7 mm durant tous les mois de l'année selon la formule dite ANRH (2002).

CHAPITRE IV

HYDROGEOLOGIE

1- Introduction :

La géologie de la région montre qu'il existe trois (03) aquifères :

- Un aquifère superficiel se trouvant dans les formations du Quaternaire ;
- Un aquifère profond dans les formations calcaro-dolomitiques fissurées exploité à l'aide de forages profonds réalisés par la direction de l'hydraulique de la wilaya de Batna et celle d'Oum el-Bouaghi ;
- Un aquifère dans les formations barrémiennes qui affleurent au piedemont Nord –Est de Djebel Fedjoudj et s'étend vers Gareat Annk Djemel.

Dans cette étude on s'intéressera au comportement hydrodynamique de la nappe superficielle et on étudiera principalement :

- La piézométrie durant les périodes de Juin et Octobre 2007 et Février 2008.
- Les paramètres hydrodynamiques à l'aide des essais de pompage.

2 - Etendue de la nappe superficielle :

La nappe en question va jusqu'à 80 m de profondeur dans les formations du Quaternaire. Elle est constituée essentiellement d'alluvions récentes et anciennes. Cette nappe considérée alluviale est au contact avec les formations calcaires :

- Au sud : djebel Merzeklel et Amrane.
- A l'est : djebels Fedjoudj.
- A l'ouest : djebels Bourirhsène et Sidi bouzid .

3- Inventaire des points d'eau

On a pu inventorier 18 puits pour la nappe superficielle et 18 forages pour la nappe profonde (Fig n° 24) et les données piézométriques ont été consignées dans le (Tableau 27).

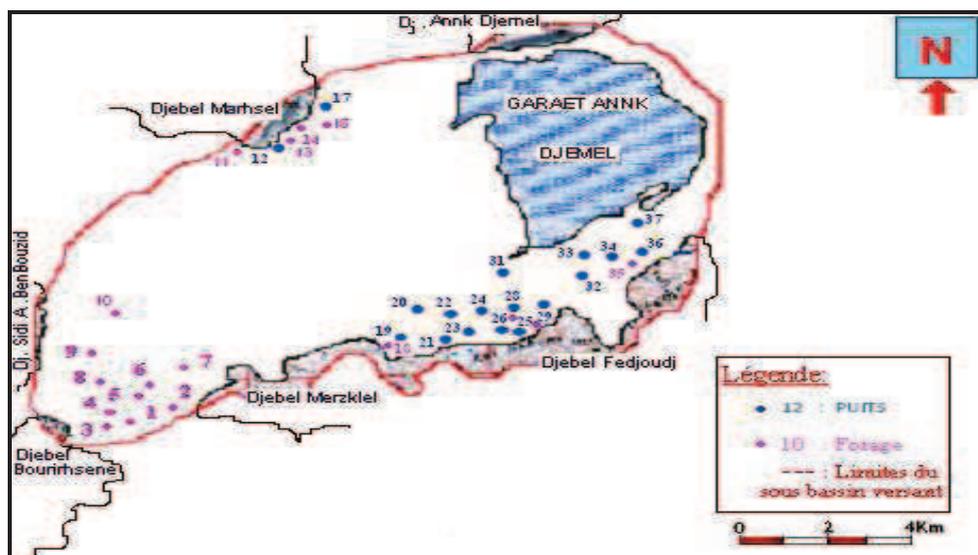


Fig n°24 : Carte d'inventaire des points d'eau

**Tableau n°27: Inventaire des points d'eau pour la nappe superficielle
(Période Juin et Octobre 2007 et Février 2008)**

N° de puits	X (km)	Y (km)	Z (m)	Période de Juin 2007		Période d'Octobre 2007		Période de Février 2008	
				H _p	Z _p	H _p	Z _p	H _p	Z _p
P ₁₂	859.31	281.97	847	12.75	834.25	13.06	833.94	13.22	833.78
P ₁₇	862.33	285.61	838	13.50	824.50	13.84	824.16	14.19	823.81
P ₁₉	867.02	270.04	839	06.20	832.80	06.94	832.06	07.11	831.89
P ₂₀	867.33	273.19	838	03.60	834.40	04.03	833.97	04.18	833.82
P ₂₁	868.12	272.71	846	08.30	837.70	09.30	836.70	09.67	836.33
P ₂₂	868.18	273.67	838	04.90	833.10	05.49	832.51	05.70	832.30
P ₂₃	868.46	273.04	844	07.60	836.40	08.50	835.50	08.78	835.22
P ₂₄	869.13	273.74	844	05.10	838.90	05.70	838.31	06.02	837.98
P ₂₅	869.64	273.70	845	09.24	835.76	10.35	834.65	10.64	834.36
P ₂₆	870.40	274.07	843	06.93	836.07	07.76	835.24	08.01	834.99
P ₂₈	870.41	274.51	843	06.65	836.35	07.45	835.55	07.70	835.30
P ₂₉	870.47	274.46	841	05.15	835.25	05.77	835.23	06.00	835.00
P ₃₁	872.17	276.86	838	02.00	836.00	02.50	835.50	03.93	834.07
P ₃₂	873.65	274.58	837	09.70	827.30	10.86	826.14	11.18	825.82
P ₃₃	873.72	274.91	836	05.90	830.10	07.38	828.68	07.63	828.37
P ₃₄	873.81	274.43	837	03.27	833.73	04.09	832.9	04.24	832.67
P ₃₆	874.13	274.38	838	06.40	831.60	07.17	830.83	07.37	830.63
P ₃₇	874.18	275.09	839	03.83	835.15	04.30	834.70	04.45	834.55

4 -Etude de l'aquifère superficiel

4.1-Caractéristiques des points d'eau :

Les points d'eau retenus durant les trois campagnes piézométriques sont répartis d'une manière inégale à travers la plaine de Chemora .Ils sont pour la plupart des puits domestiques non couverts, creusés à la main et construits en briques ou en pierre , de profondeur et de diamètre variables de 3 à 5 mètres et parfois de 1à 2 mètres, équipés généralement de motopompes non adaptées aux caractéristiques du puits. Ils sont destinés à l'irrigation des cultures saisonnières et secondairement à l'alimentation en eau potable du fait que les habitations sont alimentées en eau potable à partir d'un réseau communal. La majorité des puits sont implantés dans la zone Est.

4.1.1- Etude piézométrique :

Afin d'étudier le comportement de la nappe superficielle du Quaternaire de la plaine de Chemora, on a effectué trois campagnes de mesures.

Les niveaux piézométriques mesurés ont permis de tracer :

- une carte piézométrique pour le mois de Juin 2007.
- une carte piézométrique pour le mois d'Octobre 2007.
- une carte piézométrique pour le mois de Février 2008.

4.1.2- Interprétation des cartes piézométriques :

L'observation des trois cartes piézométriques (Fig. n°25,26 et 27) correspondant aux trois campagnes de suivi permet d'analyser le comportement hydrodynamique de la nappe superficielle. Le trait frappant de ces cartes est l'existence d'une ligne de partage des eaux souterraines de direction SW-NE.

Les cartes piézométriques pour les trois campagnes montrent une morphologie à trois zones :

- Zone Nord : Les courbes sont serrées, l'écoulement se fait du Nord à l'Est vers la partie centrale de la plaine.
- Zone Sud-est : Les courbes sont moins serrées, caractérisées par un écoulement (S-N) à partir du Dj.Fedjoudj vers un axe de drainage de direction SW-NE.
- Zone Nord-est : considérée comme zone de drainage et en même temps une limite à potentiel imposé.

L'écoulement suit la topographie et l'allure des courbes iso pièzes est presque la même.

Le niveau piézométrique mesuré subit de légères fluctuations d'une période à l'autre, ceci est probablement dû à deux facteurs :

- La rareté des pluies ou l'apport pluviométrique (année sèche) ce qui favorise l'abaissement de la nappe ;
- Le pompage intense lors de la période des demandes en besoins d'eau pour l'irrigation.

Fig n° 25: Carte piézométrique de l'aquifère superficiel -- période de Juin 2007 --

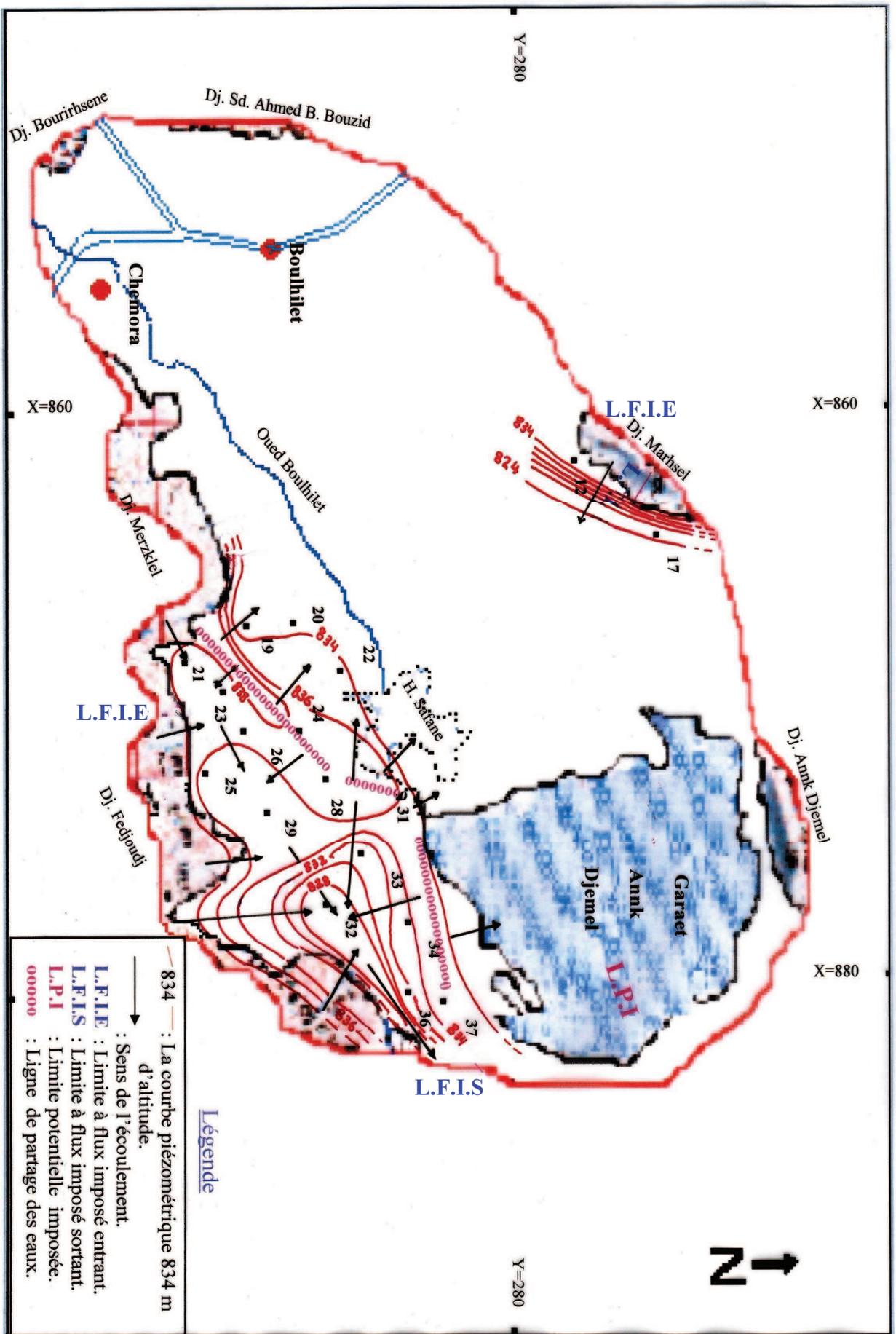


Fig n°26 : Carte piézométrique de l'aquifère superficiel -- période d'Octobre 2007 --

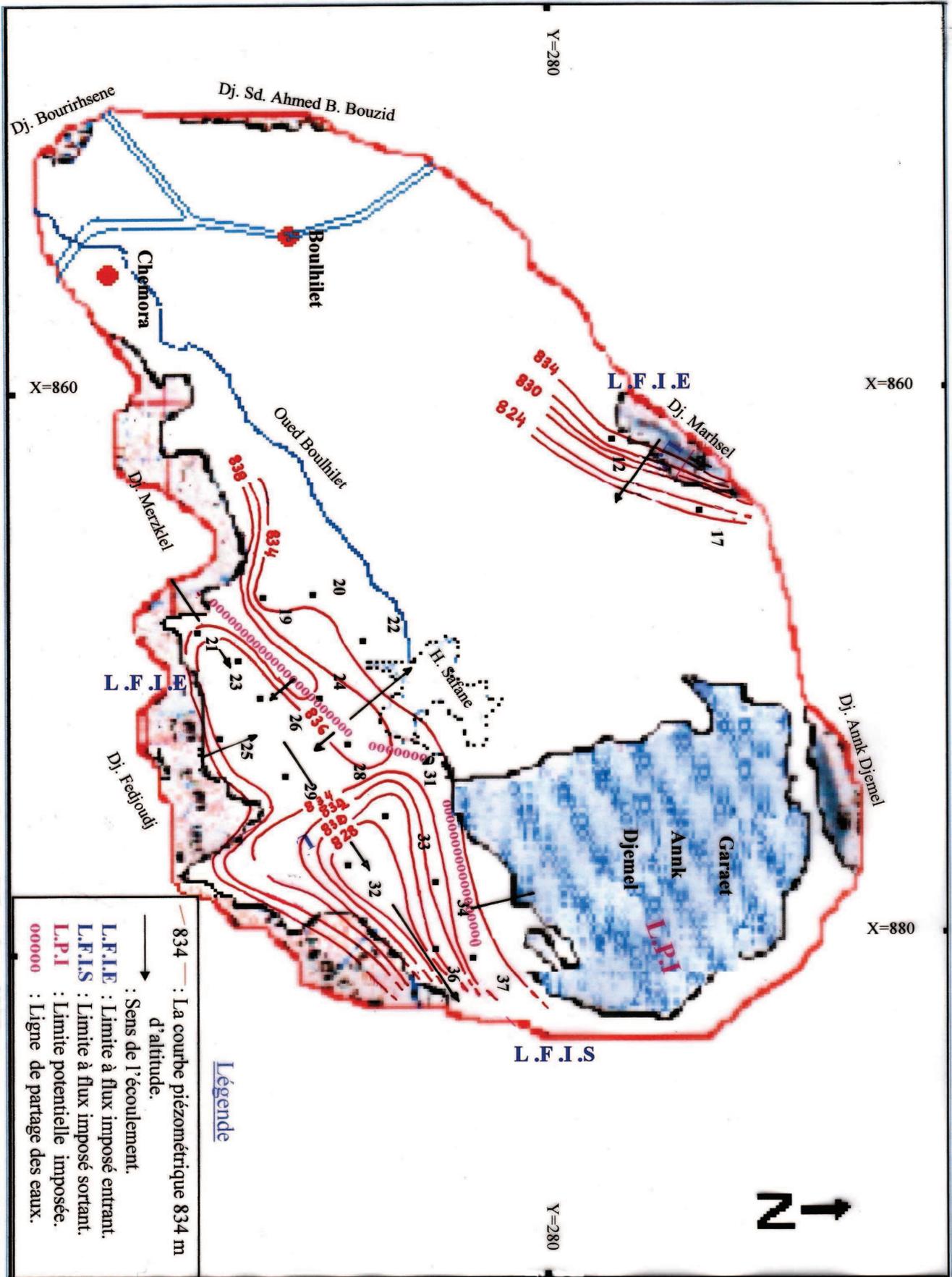
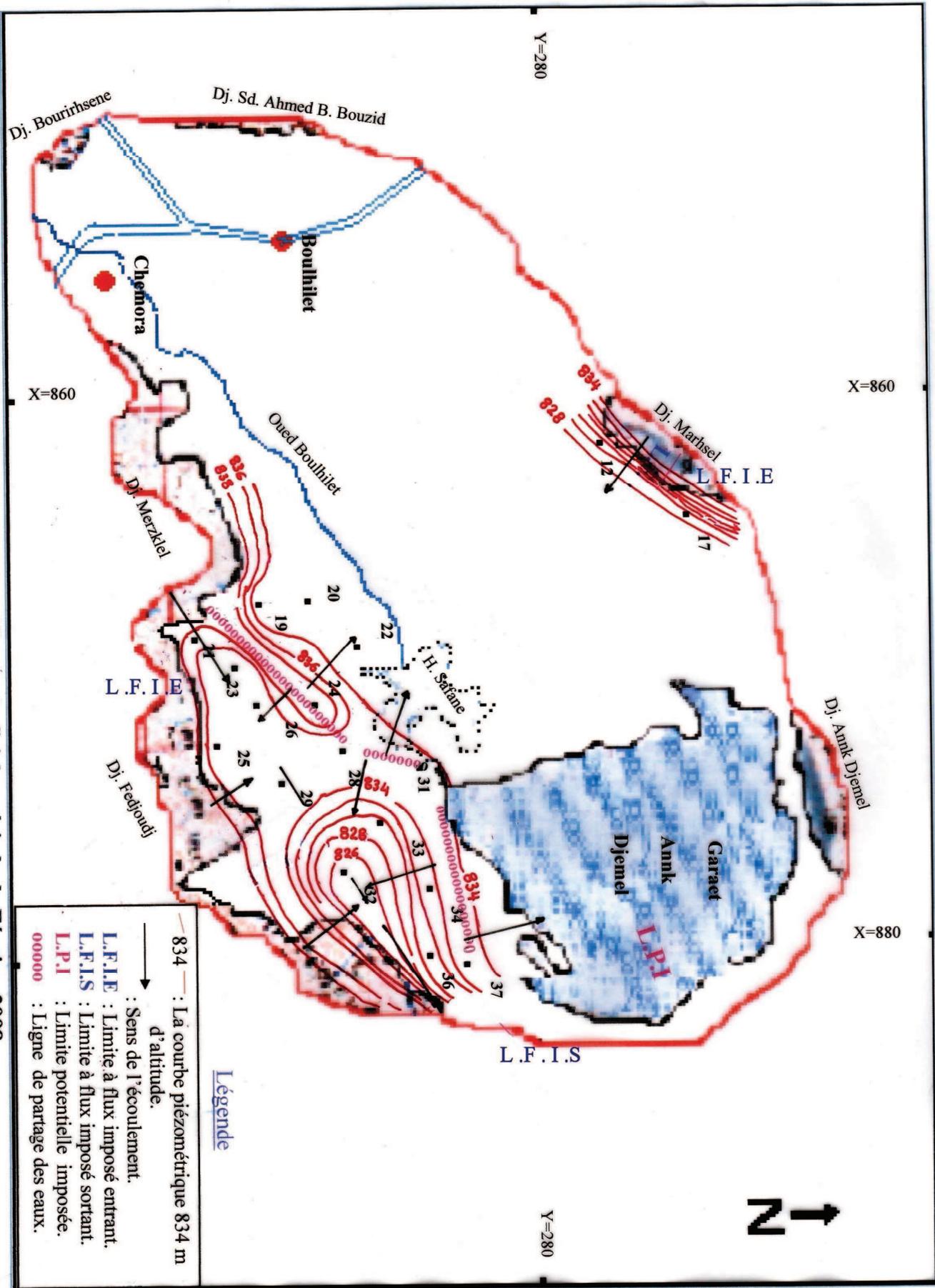


Fig n° 27 : Carte piézométrique de l'aquifère superficiel -- période de Février 2008 --



4.1.3 Evolution de la piézométrie :

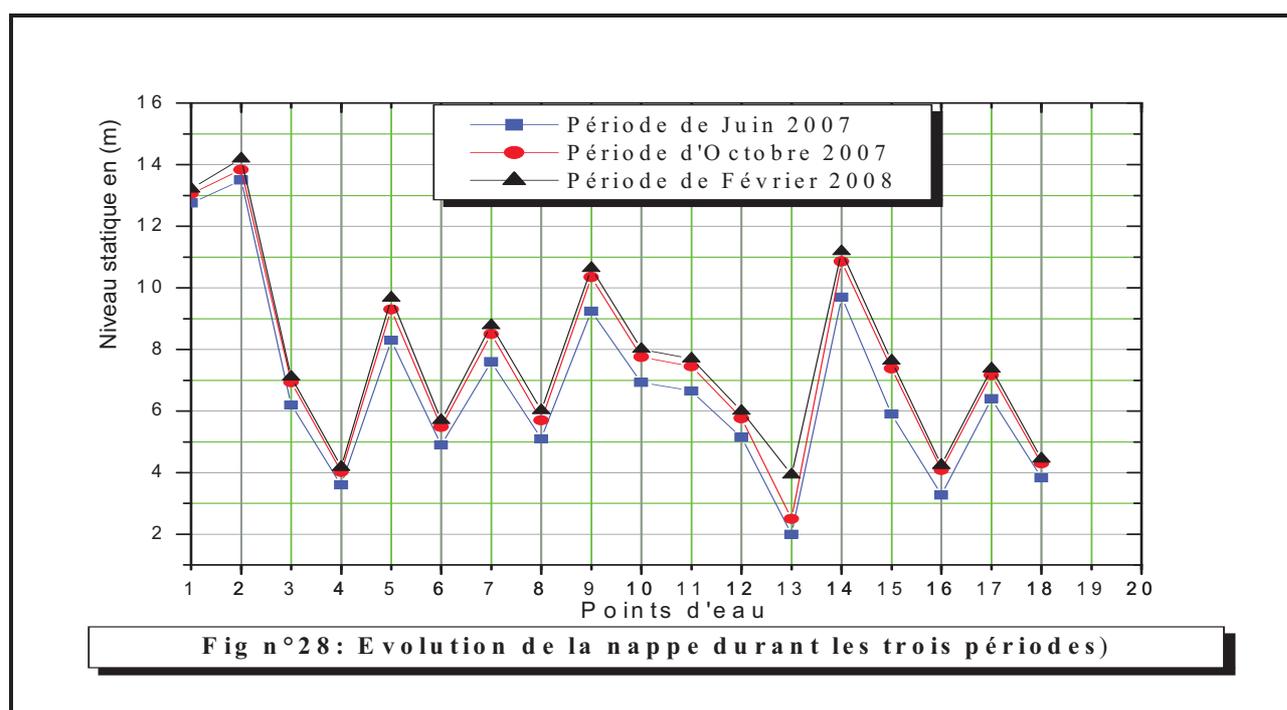
L'aquifère superficiel du Quaternaire représente une nappe libre dont le niveau statique est fortement influencé par la pluviométrie. Le rabattement du niveau piézométrique durant la période chaude est du à la forte température et aux précipitations qui sont quasiment nulles d'une part et aux grands besoins pour l'irrigation d'autre part.

Comparons les trois périodes de mesure il y a eu réaction de la nappe par descente des niveaux piézométriques (Tableau n°28 et Fig n°28).

La fluctuation piézométrique de la nappe est faible et la profondeur de la surface piézométrique est faiblement variable allant 2 m à 14 m.

Tableau n°28: fluctuation piézométrique.

N° du point d'eau	Niveau statique en (m)			Différence de côte(m)		
	Juin 2007	Oct 2007	Fév 2008	Fév 08 – Oct 07	Oct 07- Juin 07	Fév 08 - Juin 07
P ₁₂	12.75	13.06	13.22	0.16	0.31	0.47
P ₁₇	13.5	13.84	14.19	0.35	0.34	0.69
P ₁₉	6.2	6.94	7.11	0.17	0.74	0.91
P ₂₀	3.6	4.03	4.18	0.15	0.43	0.58
P ₂₁	8.3	9.3	9.67	0.37	1	1.37
P ₂₂	4.9	5.49	5.7	0.21	0.59	0.8
P ₂₃	7.6	8.5	8.78	0.28	0.9	1.18
P ₂₄	5.1	5.7	6.02	0.32	0.6	0.92
P ₂₅	9.24	10.35	10.64	0.29	1.11	1.4
P ₂₆	6.93	7.76	8.01	0.25	0.83	1.08
P ₂₈	6.65	7.45	7.7	0.25	0.8	1.05
P ₂₉	5.15	5.77	6	0.23	0.62	0.85
P ₃₁	2	2.5	3.93	1.43	0.5	1.93
P ₃₂	9.7	10.86	11.18	0.32	1.16	1.48
P ₃₃	5.9	7.38	7.63	0.25	1.48	1.73
P ₃₄	3.27	4.09	4.24	0.15	0.82	0.97
P ₃₆	6.4	7.17	7.37	0.2	0.77	0.97
P ₃₇	3.83	4.3	4.45	0.15	0.47	0.62



4.2- Gradient hydraulique :

Le gradient hydraulique est peu variable au centre de la plaine, il présente une valeur moyenne de l'ordre de 0,001 pour les trois périodes. Il a une valeur moyenne de 0,018 au Nord-est et au Nord-ouest. Les valeurs importantes sont enregistrées près des reliefs calcaires de 0.4 à 0.6 au Nord et au Sud; ceci implique que ces massifs entourant la plaine correspondent à des zones d'alimentation de la nappe c'est-à-dire que l'écoulement est plus important et il est remarquable lors de pompage le niveau d'eau ne s'abaisse pas beaucoup et récupérable après peu de temps.

4.3- Conditions aux limites :

- **Limites à flux imposé entrant (L.F.I.E) :**

La nappe superficielle reçoit toutes les eaux qui dévalent les flancs internes des Djebels; Marhsel au Nord, Merzeklel au Sud et Djebel Fedjoudj à l'Est.

- **Limites à flux imposé sortant (L.F.I.S) :**

Des écoulements sortent vers l'Est par l'intermédiaire d'un axe de drainage.

- **Limite à potentiel imposé (L.P.I) :**

Garaet Ank Djemel représente l'exutoire principal de l'aquifère et en même temps une limite à potentiel imposé.

4.4- Caractéristiques hydrodynamiques de la nappe :

La détermination des caractéristiques hydrauliques des aquifères se fait par des essais de pompage. Ces essais consistent à représenter expérimentalement par des graphiques, les courbes et les droites des fonctions mathématiques régissant l'écoulement des eaux souterraines vers les ouvrages de captage. L'étude de ces graphiques permet :

- D'analyser l'évolution du cône de dépression de la surface piézométrique.
- De préciser les principales caractéristiques hydrauliques de la nappe.
- De déterminer les paramètres hydrodynamiques et en fin d'évaluer les ressources en eau souterraine exploitable.

La conduite des essais de débit et leur interprétation repose sur le régime d'écoulement des eaux souterraines vers les ouvrages de captage. C'est pourquoi, il est recommandé d'être prudent sur le choix des formules à appliquer et de leurs conditions aux limites.

4.5- Les méthodes d'expérimentation et d'interprétation des essais par pompage:

4.5.1- Expérimentations des essais par pompage:

❖ **Essais de puits :** cet essai consiste en l'exécution de pompage par palier de débit de courte durée avec la mesure du niveau d'eau dans le puits. Cet essai permet de déterminer les caractéristiques du complexe aquifère / ouvrage de captage. Cette méthode est utilisée dans le but de déterminer correctement les caractéristiques de l'ouvrage de captage. La manière la plus rentable sans très solliciter la nappe est de n'extraire que la réserve régulatrice afin d'éviter une surexploitation minière de la ressource. Cela n'est possible que si le débit d'exploitation est inférieur au débit critique en respectant le nombre d'heure de pompage par jour.

❖ **Essais de nappe :** cet essai est réalisé en un seul palier de débit de longue durée, avec la mesure des niveaux d'eau dans le puits (rabattement) et dans des piézomètres si c'est possible en fonction du temps. Ce type d'essai est utilisé dans le but de déterminer les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère (T, S, ...). Il faut noter que l'interprétation n'est possible que si le type d'aquifère est identifié.

4.5.2- Interprétation :

L'interprétation des essais par pompage repose sur des méthodes graphiques d'approximation, ces méthodes sont toutes basées sur les hypothèses suivantes :

- Le débit est supposé constant pendant toute la durée de pompage.
- La surface de la nappe est supposée horizontale.
- Le puits ou forage captent la nappe sur la totalité de son épaisseur.
- L'écoulement est supposé laminaire.
- L'aquifère est illimité.

L'exécution et l'interprétation des données brutes (rabattements et temps), reposent sur l'emploi des expressions d'hydrodynamiques en régime transitoire, établies par Theis (1935) et ses successeurs Wenzl (1942) et Jacob (1950)....

En 1935 Theis établit les expressions de l'écoulement de l'eau souterraine vers les ouvrages de captage, dites en régime transitoire où le temps de pompage est court, l'expression générale ainsi établie est la suivante :

$$\Delta = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du, \quad \text{ou} \quad \Delta = \frac{Q}{4\pi T} [W(u)]$$

Δ : Rabattement observé à l'instant « t » dans le puits d'observation en mètre.

$W(u)$: Est la fonction caractéristique où : $u = \frac{r^2 S}{4Tt}$

T : Transmissivité en m^2/s .

S : Coefficient d'emménagement (sans unité).

r : Distance du sondage d'observation à l'axe du puits de pompage en mètre.

Q : Débit de pompage constant dans le puits en m^3/s .

t : Durée de pompage (le temps écoulé à un instant donné depuis le début du pompage, en secondes).

Jacob en 1950 a établi une nouvelle expression inspirée de celle de Theis. Cette expression dite logarithmique est utilisable lorsque le temps de pompage croît et que r décroît.

$$\Delta = \frac{0,183Q}{4\pi T} \left(\log \frac{4Tt}{r^2 S} - 0,577216 \right) \quad d'où, \quad \Delta = \frac{Q}{4\pi T} \log \frac{2,25Tt}{r^2 S}$$

Après solution numérique et logarithmiques décimaux on aura :

$$\Delta = \frac{0,183Q}{T} \log \frac{2,25Tt}{r^2 S}$$

Pour l'expression de Jacob, les rabattements sont obtenus, à 5 %, pour $t > \frac{10r^2 S}{4T}$

L'expression de Jacob est la plus utilisée, elle comporte deux parties :

➤ **Partie -1- lors de la descente :**

❖ **Calcul de la transmissivité :**

Soit l'équation de Jacob lors de la descente :

$$\Delta = \frac{0,183Q}{T} \log \frac{2,25Tt}{r^2 S}$$

Après développement on obtient l'expression suivante :

$$\Delta = \frac{0,183Q}{T} \log t + \frac{0,183Q}{T} \log \frac{2,25T}{r^2 S}$$

C'est l'équation d'une droite de la forme : $y = a x + b$, avec

$$\begin{cases} y = \Delta & a = \frac{0,183Q}{T} \\ x = \log t & b = \frac{0,183Q}{T} \log \frac{2,25T}{r^2 S} \end{cases}$$

On reporte sur un papier semi-logarithmique les valeurs mesurées sur le terrain, en abscisses les logs des temps et en ordonnée les rabattements correspondant

$$[\Delta = f(\log t)].$$

La transmissivité est calculée par la pente de la droite représentative qui est déterminée par l'accroissement des rabattements, au cours d'un module logarithmique, noté a. La transmissivité est calculée par l'expression suivante :

$$C = \frac{\delta\Delta}{\delta\log t} \quad \text{Ce qui donne} \quad T = \frac{0,183Q}{C}$$

❖ Calcul du coefficient d'emménagement :

Le coefficient d'emménagement est obtenu par calcul numérique dans le deuxième terme de l'expression de Jacob. Ou, plus simplement, avec t_0 , lorsqu'il peut être déterminé, par l'expression suivante :

$$S = \frac{2,25Tt_0}{r^2} \quad (\text{Le coefficient d'emménagement est sans unité}).$$

➤ Partie -2- lors de la remontée :

On utilisé l'expression suivante :

$$\Delta_r = \frac{0,183Q}{T} \log \frac{t}{t'}$$

Avec :

Δ_r : Rabattement résiduel mesuré à un instant donné pendant la remontée, en mètre.

t : Temps écoulé depuis le début du pompage, en secondes.

t' : Temps écoulé depuis l'arrêt du pompage (temps de remontée).

Remarque : le coefficient d'emménagement n'apparaît pas dans cette expression, on ne peut donc pas le calculer lors de la remontée.

4.5.3- Essais par pompage et interprétation des résultats pour l'aquifère superficiel et l'aquifère profond :

4.5.3.1- Aquifère superficiel

1- Interprétation des données d'essai par pompage (Puits n°20) :

❖ Description des données d'essai par pompage :

Pour connaître les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère superficiel du Quaternaire, nous nous sommes intéressés à l'essai du puits n° 20, la durée des essais est de 2 heures, avec un débit de 4 l/s.

• Interprétation des résultats des essais :

➤ La courbe de descente : Cette courbe montre deux phases (Fig n°29) :

- ❖ La première correspond à l'effet de capacité du puits caractérisant la vidange de l'ouvrage sans que l'eau de l'aquifère ne soit sollicitée.
- ❖ La deuxième partie correspond à une augmentation régulière du rabattement en fonction du temps, ce qui nous permet de tracer une droite de pente $C = 1,58$. Cette pente traduit l'effet d'une limite probablement étanche. Le calcul de la transmissivité donne :

$$T = \frac{0,183Q}{C} = \frac{0,183 * 4 * 10^{-3}}{1,58} = 4.63 * 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

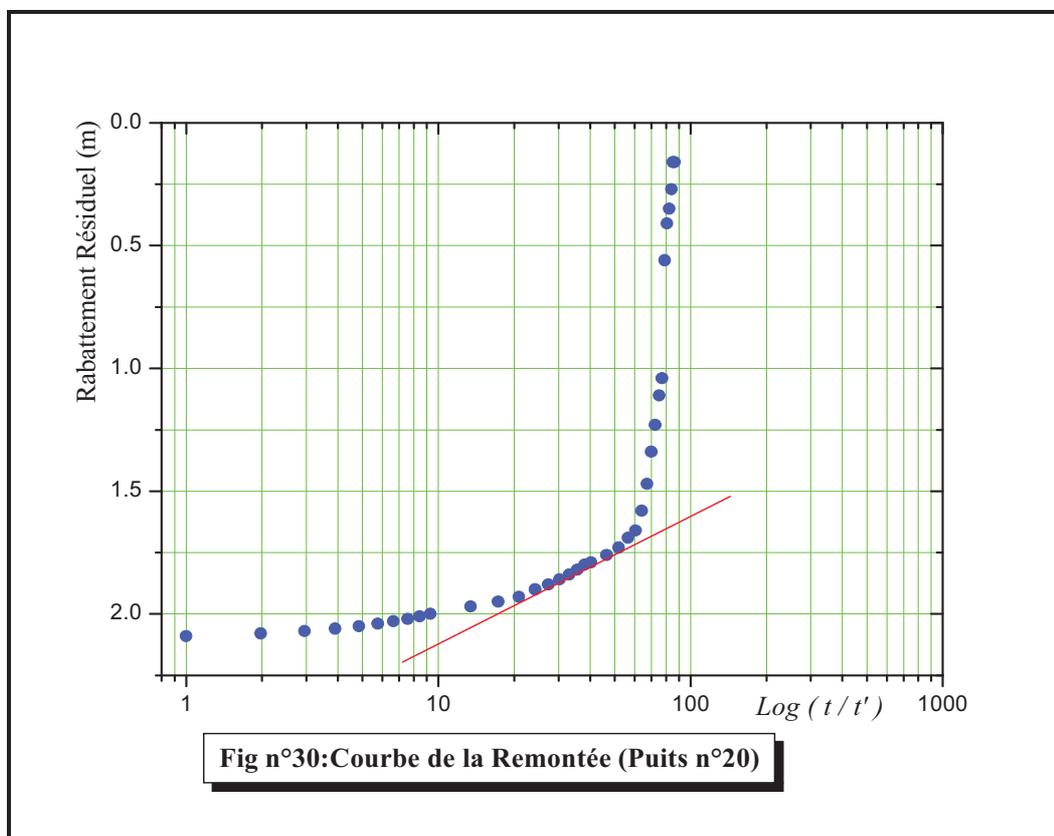
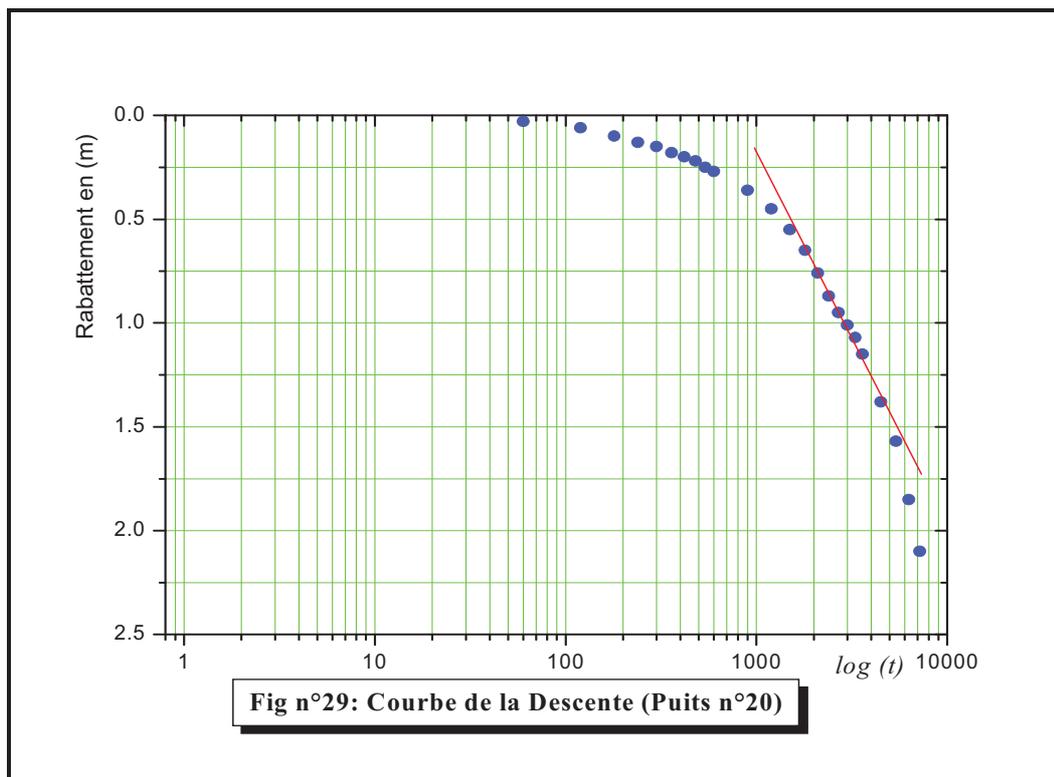
➤ La courbe de remontée : La courbe de remontée met en évidence deux phases distinctes (Fig n°30) :

- ❖ La première phase où l'on observe une remontée rapide de l'eau due au phénomène de post production.
- ❖ La deuxième phase où la remontée est régulière traduisant une remontée normale de la nappe d'où le rabattement résiduel est :

$$\Delta_r = \frac{0,183Q}{T} \log \frac{t}{t'}$$

$$\text{Donc : } T = \frac{0,183Q}{\Delta_r} \log \frac{t}{t'} = \frac{0,183 * 4 * 10^{-3}}{0.2} \log(51.93) = 6.28 * 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{s}$$

$$T = 6.28 * 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}.$$



2- Interprétation des données d'essai par pompage (Puits n°12) :

❖ Description des données d'essai par pompage:

Pour connaître les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère superficiel du Quaternaire, nous nous sommes intéressé à l'essai du puits n° 12, la durée des essais est de 7 heures, avec un débit de 4 l/s.

• Interprétation des résultats des essais :

➤ La courbe de descente : Cette courbe montre deux phases (Fig n°31) :

- ❖ La première correspond à l'effet de capacité du puits caractérisant la vidange de l'ouvrage sans que l'eau de l'aquifère ne soit sollicitée.
- ❖ La deuxième partie correspond à une augmentation régulière du rabattement en fonction du temps, ce qui nous permet de tracer une droite de pente $C = 1,62$. La stabilisation traduit la présence d'une limite à flux imposé à partir de Dj.Marhsel. Le calcul de la transmissivité donne :

$$T = \frac{0,183Q}{C} = \frac{0,183 * 4 * 10^{-3}}{1,62} = 4.52 * 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

➤ La courbe de remontée : La courbe de remontée met en évidence deux phases distinctes (Fig n°32) :

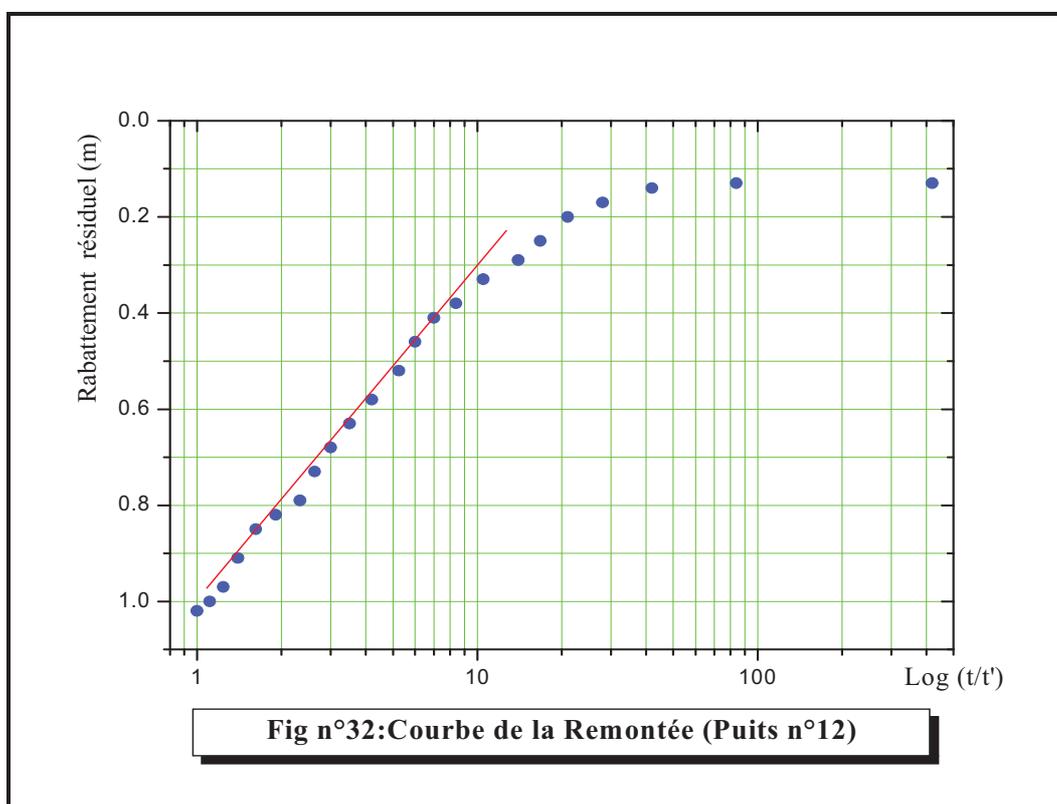
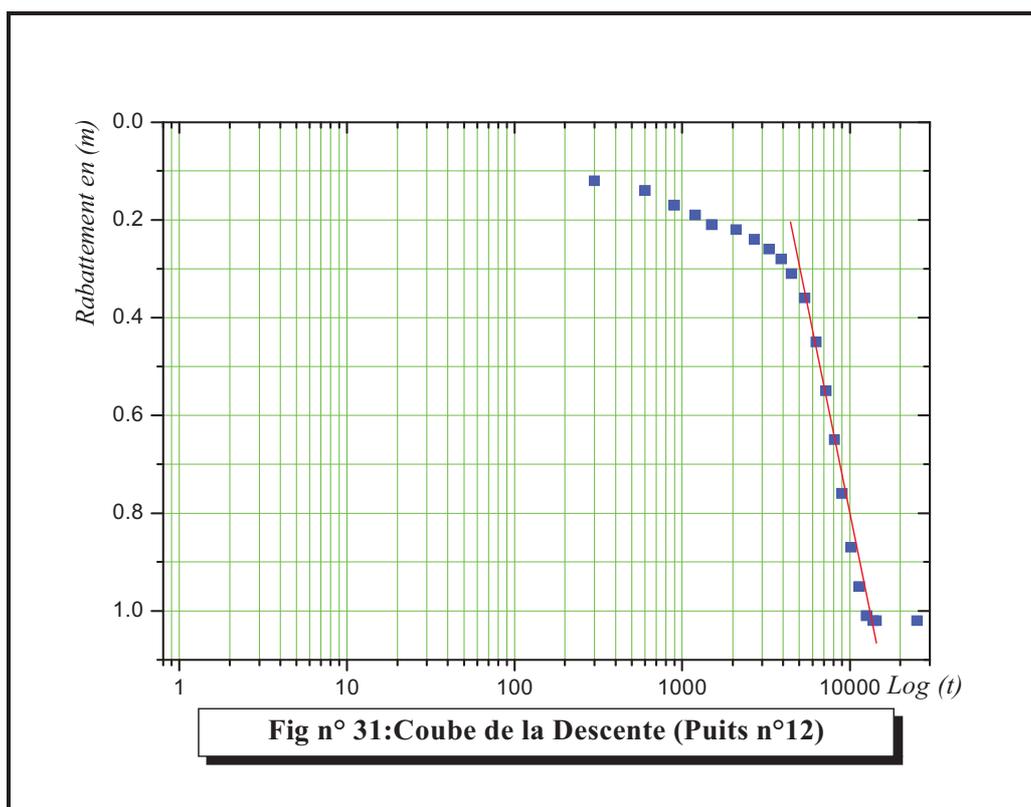
- ❖ La remontée est régulière traduisant une remontée normale de la nappe, d'où le

$$\text{rabattement résiduel est : } \Delta_r = \frac{0,183Q}{T} \log \frac{t}{t'}$$

donc :

$$T = \frac{0,183Q}{\Delta_r} \log \frac{t}{t'} = \frac{0,183 * 4 * 10^{-3}}{0.5} \log(7) = 1.24 * 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{s}$$

$$T = 1,24 * 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}.$$



4.5.3.2- Aquifère Profond :

4.5.3.2.1- Aquifère des calcaires et des dolomies du Barrémo-Aptien :

Le caractère lithologique dominant de cet aquifère est le calcaire. Aux Djebels Fedjoudj et Merzeklel, leur épaisseur varie de 100 à 400 mètres. La recharge se fait par précipitation directe.

4.5.3.2.2- Aquifère des dolomies et des calcaires du Barrémien :

Le recouvrement du Quaternaire met en charge cet aquifère dont l'épaisseur est de près de 200 mètres de dolomie sombres et calcaires fins noirs au Sud-est de la zone d'étude. La recharge de cet aquifère se fait par impluvium direct alors que la décharge se traduit par des pertes verticales vers les formations sous-jacentes et horizontales et par des sources vers les formations aquifères du Quaternaire.

❖ Essais par pompage:

Pour connaître les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère profond, des essais par pompage ont été exécutés :

1- Forage de Maniani (F₁₈):

Ce forage est implanté dans la partie Nord-est de la plaine, l'essai par pompage a durée 42 heures avec 2 paliers :

Le premier palier avec un débit de 30 l/s

Le deuxième palier avec un débit de 45 l/s

➤ La courbe de descente :

La courbe est caractérisée par une augmentation rapide des rabattements en fonction du temps pour le premier palier et une augmentation régulière pour le deuxième palier

(Fig n°33 et 34). L'apparition d'une stabilisation traduit l'effet d'une limite à flux imposé à partir de Dj.Fedjoudj.

- **Pour le premier palier (Q = 30 l/s) :** On peut calculer la transmissivité d'après la pente de la droite qui est déterminée par l'accroissement des rabattements sur le

$$\text{module logarithmique noté « C » et } C = \frac{\delta\Delta}{\delta \log t} = \frac{0,183Q}{T}$$

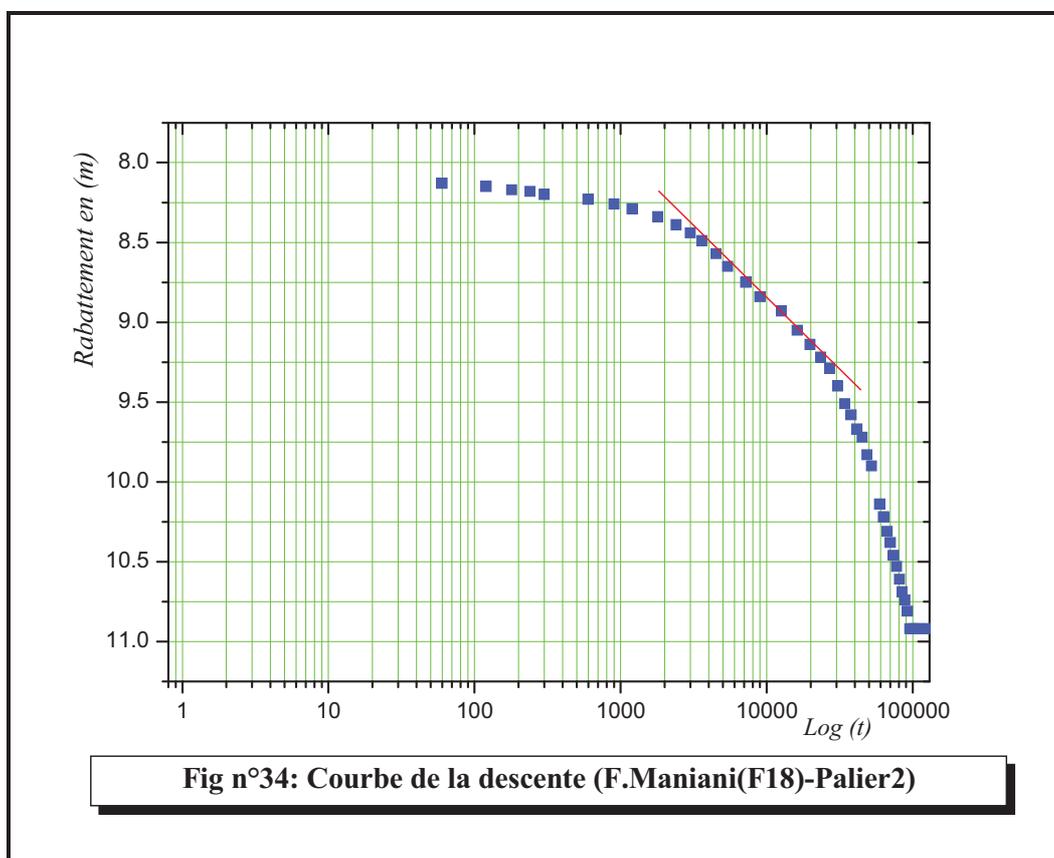
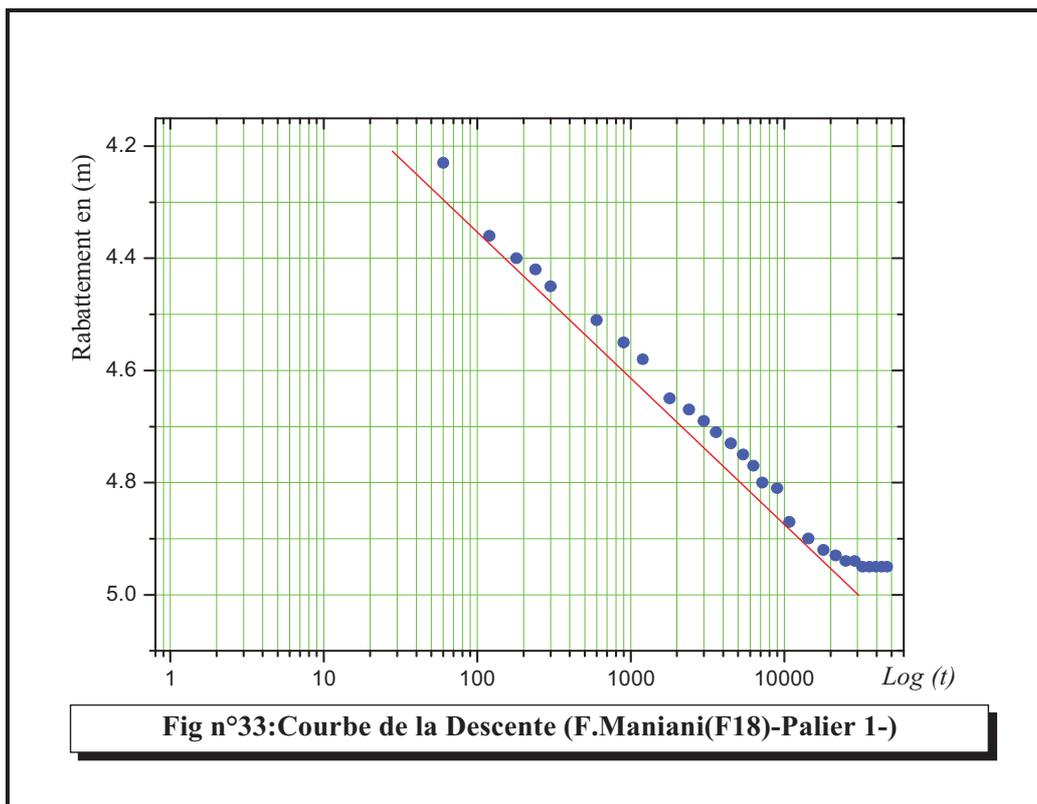
$$\text{Ce qui donne : } C_1 = 0,26 \quad \text{et} \quad T_1 = 2.11 * 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s} ;$$

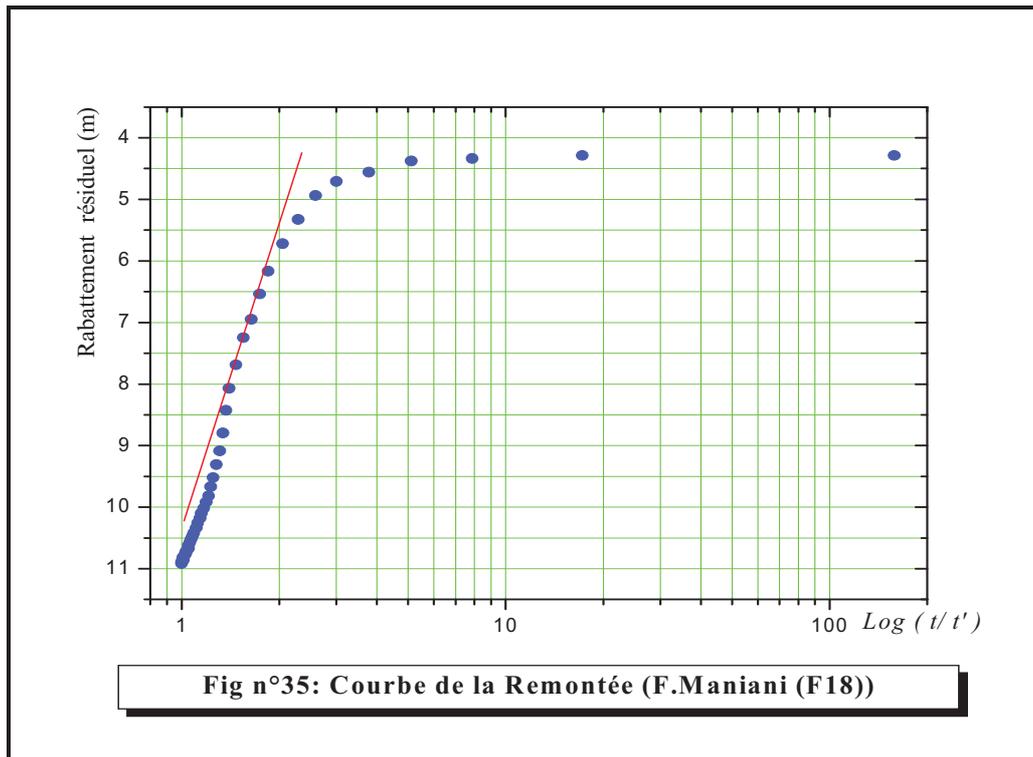
- **Pour le deuxième palier (Q = 45 l/s) :** On a que : C₂ = 0,89 et T₂ = 9.25* 10⁻³ m²/s.

➤ La courbe de remontée :

La remontée est régulière traduisant une remontée normale de la nappe (Fig n° 35):

$$T = \frac{0,183Q}{\Delta_r} \log \frac{t}{t'} = \frac{0,183 * 45 * 10^{-3}}{1.9} \log(1.85) = 1.16 * 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{s}$$





2- Forage de Benhineh : C'est un essai qui a duré 8 heures pour la descente avec un débit constant de 30 l/s.

➤ **La courbe de descente :**

La courbe de descente montre deux phases (Fig n°36) :

- Un premier tronçon de droite caractérisé par une augmentation régulière du rabattement en fonction du temps.
- Un deuxième tronçon de droite caractérisé par une augmentation rapide du rabattement en fonction du temps. Cette droite a pour pente $C = 10.26$ ce qui permet de calculer : $T = 5,35 * 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

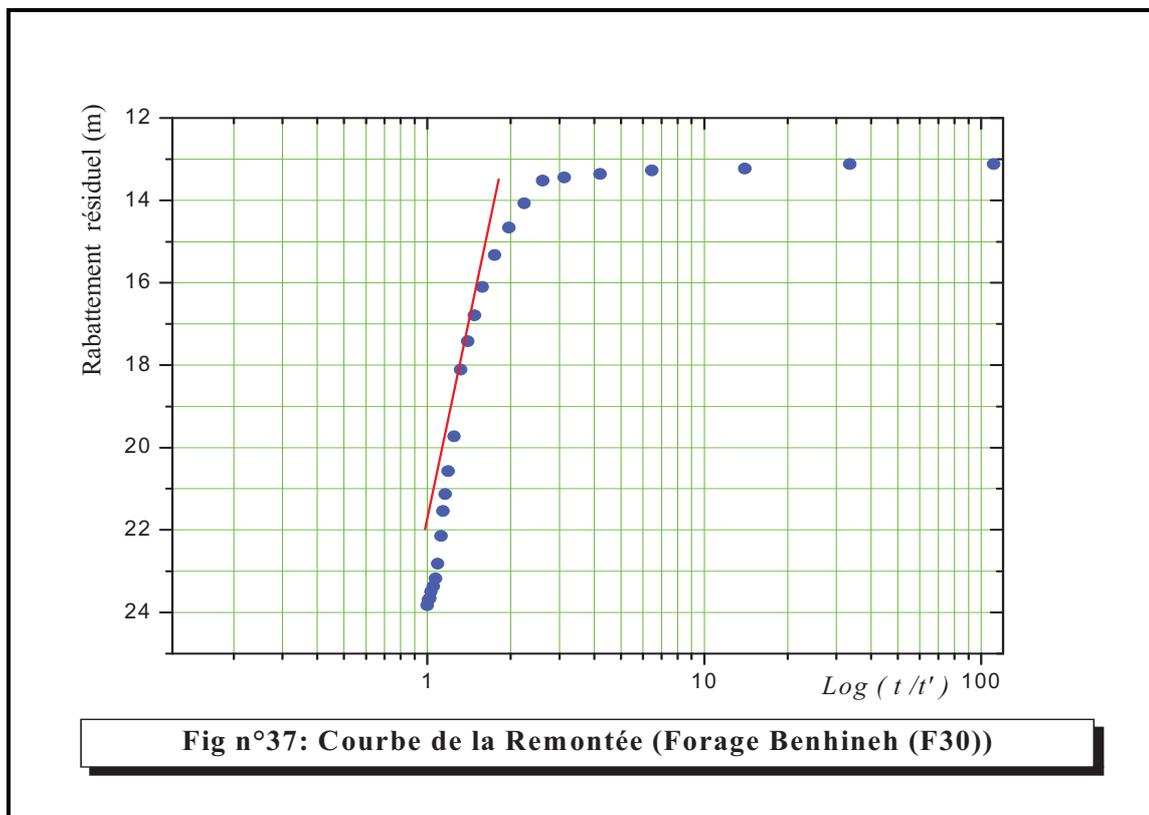
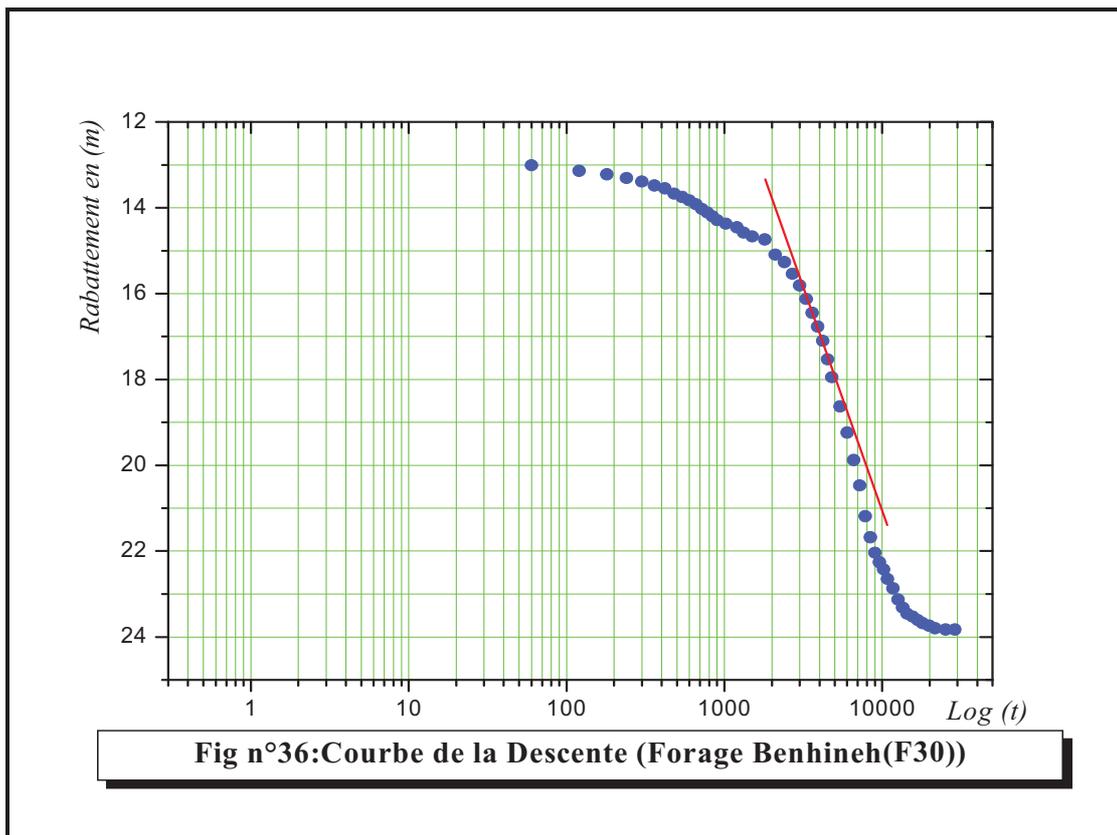
L'apparition d'une stabilisation traduit l'effet d'une limite à flux imposé à partir de Dj.Fedjoudj.

➤ **La courbe de remontée :**

Cette courbe met en évidence deux phases distinctes (Fig n°37) :

- La première où la remontée est régulière traduisant une remontée normale de la nappe, d'où $T = 5.43 * 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.
- La deuxième phase où la courbe présente une pente très grande.

❖ **Remarque :** les valeurs de transmissivité de la descente et de la remontée sont très proches, indiquant une bonne transmissivité, donc une bonne perméabilité.



5. Conclusion :

Dans cette étude hydrogéologique on s'intéresse à deux réservoirs principaux :

- ✓ Le premier superficiel, constitué essentiellement par des formations de Quaternaire. L'alimentation de cet aquifère se fait principalement par les massifs de Djebel Fedjoudj, Djebel Merzklel et Djebel Bouarif, et par les précipitations sur l'impluvium de la plaine en périodes d'averses.
- ✓ Le deuxième profond karstique, représenté essentiellement par des calcaires et des calcaires dolomitiques de Crétacé. Il est alimenté à la faveur des fissures et des fractures des massifs carbonatés, et probablement par les eaux d'autres bassins hydrogéologiques situés plus au Sud et à l'Ouest du bassin étudié.

Les deux réservoirs sont en relation (en certains endroits), ce qui suppose la présence d'un phénomène de drainance entre ces deux aquifères.

✚ L'analyse des cartes piézométriques de notre zone d'étude montre :

Les zones correspondantes à des horizons à fort écoulement avec les directions de l'écoulement N-S et S-N, l'alimentation de l'aquifère superficiel se fait à partir des massifs qui bordent la plaine où les axes d'écoulement prennent naissance. Ces écoulements sortent vers l'Est par l'intermédiaire d'un axe de drainage. Ainsi, se convergent vers une zone de dépression (Garaet Annk Djemel) qui représente l'exutoire principal de l'aquifère et en même temps une limite à potentiel imposé.

✚ Les valeurs du gradient hydraulique sont peu variables dans la même direction de l'écoulement. Ils ont une valeur moyenne de 18‰ au Nord-est et Nord-ouest et de 1 ‰ au centre de la plaine pour les trois périodes.

Les essais par pompage, nous a permis d'estimer la transmissivité qui est d'une moyenne de : $2,11 * 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ pour l'aquifère superficiel et de $6.52 * 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ pour l'aquifère profond.

CHAPITRE V

HYDROCHIMIE

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

La connaissance des paramètres hydrogéologiques et les principales sources de pollution de la région de Chemora, nous a permis de cerner les différents problèmes liés à la nature et l'origine de la pollution, qui menace la qualité des eaux de cette région.

A cet effet les principaux résultats que nous avons obtenus peuvent se résumer comme suit :

La zone Nord de la plaine de Chemora objet d'étude présente un sous bassin versant allongé, entouré par les monts des Aurès Sud, avec Dj. Bouarif à l'Ouest, ceux de Merzeklel et Lefdjoudj à l'Est, et Marhsel au Nord. C'est un bassin fermé dont l'écoulement se fait vers un lac salé caractérisant les hautes plaines Algériennes. Cet endoréisme résulte des conditions tectoniques et des variations climatiques cycliques ayant prévalu durant le Quaternaire.

L'analyse morphométrique, du sous bassin versant de Chemora montre que le réseau hydrographique est très peu développé, l'indice de pente et l'indice de compacité permettent d'avoir une tendance vers le ruissellement, ce qui aura sans doute des percussions sur la réponse hydrologique.

D'après la lithologie du sous bassin versant, les formations prédominantes sont celles du crétacé représenté par l'Aptien et le Barrémien. Cependant, les formations argileuses et marneuses localisées dans la partie Sud de la zone d'étude et les formations de calcaires sont assez peu représentées.

Les données climatiques nous ont permis d'attribuer à la plaine de Chemora un climat semi-aride. En effet ;

- ✚ La précipitation moyenne annuelle est de l'ordre de 236 mm/an.
- ✚ La température moyenne est de l'ordre 13.23⁰C.
- ✚ L'évapotranspiration réelle moyenne est de l'ordre de 236 mm soit 100 % des précipitations moyennes annuelles (selon la méthode de Thornthwaite et ANRH (2002)).
- ✚ Le déficit agricole est de l'ordre de 416 mm qui est réparti entre le mois de Mars et le mois d'Août et de l'ordre de 1111.7 mm durant tous les mois de l'année selon la méthode de l'ANRH 2002, ce qui nécessite un apport d'eau pour l'irrigation des cultures.

Le sous bassin est favorable pour l'accumulation des eaux souterraines, à partir des abords de la plaine formée par les terrains carbonatés. L'étude hydrogéologique du sous bassin de la plaine de Chemora nous a permis de voir qu'il existe deux réservoirs principaux :

- Le premier superficiel, constitué essentiellement par des formations du Quaternaire. Cet aquifère est alimenté par les massifs de Djebel Fedjoudj, Djebel

Merzeklel et Djebel Bouarif, et par les précipitations efficace en période d'averse.

- Le deuxième, profond karstique, représenté essentiellement par des calcaires et des calcaires dolomitiques du Crétacé. Il est alimenté par les fissures et les fractures des massifs carbonatés, et probablement par les eaux d'autres bassins hydrogéologiques situés plus au Sud et à l'Ouest du bassin étudié.

Les deux réservoirs sont en relation, ce qui donne à l'eau la possibilité de passer d'un aquifère à un autre.

L'étude piézométrique de la nappe superficielle montre que toutes les eaux convergent vers le centre de la plaine. Ainsi, l'alimentation se fait à partir des massifs qui bordent la plaine où les axes d'écoulement prennent naissance et se dirigent vers la dépression.

L'étude hydrochimique des eaux souterraines de la nappe superficielle de la plaine Nord de Chemora pendant trois campagnes d'échantillonnage a révélé que les eaux de la partie Nord –Est du secteur d'étude sont chargées par les sels. Les résultats des analyses font ressortir le faciès le plus dominant dans la région qui est chloruré et sulfaté calcique et magnésien. Les eaux de la nappe superficielle présentent des eaux de qualité moyenne à mauvaise pour l'AEP et de bonne à moyenne pour l'irrigation surtout pour la partie Sud. Les eaux de la partie Nord –Est sont mauvaises pour l'irrigation vu la salinité excessive des terrains qui entourent le périmètre du Garaet (sebkha). Mais en général :

- ✓ La majorité des points d'eau ont des teneurs en calcium, magnésium, sulfates et les chlorures très élevées, cela est dû au lessivage des terrains salés
- ✓ Ces eaux sont dures, ce qui entraîne des inconvénients de cuisson et pour la lessive. Pour l'aquifère profond, la dureté est très faible. Les eaux souterraines de l'aquifère de la plaine de Chemora sont largement utilisées dans l'irrigation des cultures. Ayant de fortes minéralisations, ces eaux peuvent entraîner des risques de salinisation des sols.

BIBLIOGRAPHIE

REFFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

-
- 1-BELLOUCHE M. (1996) : *L'eau dans les mines et les travaux souterrains « cas de mine de Kerzet Youssef »*.Thèse de Magister en hydrogéologie. IST. Constantine. 135 pages.
 - 2-BOUDOUKHA .A (1988) : *Etude hydrogéologique et modélisation du système aquifère ferme d'El Eulma - Ain Lahdjar(région Est de Sétif –Algérie)* Diplôme de docteur de l'université de Franche – Comté Besançon -France. 167 pages.
 - 3- BOUDOUKHA .A (1998) : *Etude hydrogéologique des hautes plaines sétifiennes et qualité des eaux souterraines. Thèse de Doctorat. Institut de chimie, Université de Annaba -230 pages.*
 - 4 - DJABRI. L (1996) : *Pollution Des Eaux De La Vallée De La Sebouse - Régions Guelma – Boucheouf - Annaba, ses origines géologiques, industrielles, agricoles et urbaines. Thèse de Doctorat d'état. Université de Annaba 247 pages.*
 - 5 - BOUGUARNE .A (2001) : *Etude comparative par analyse hydrologique et hydrochimique des eaux de surface du bassin versant d'oued Boussalem, Oued Rhumel . Thèse Magister,Uuniversité de Batna .184 pages.*
 - 6 - CARONCO.E (1982) : *Hydrologie et hydrogéologie du bassin versant de la Guisane (Hauts Alpes) : Thèse de doctorat de spécialité, Université scientifique et médicale de Grenoble, 189pages.*
 - 7-BELKHIRI. L (2005) : *Etude hydrogéologique et problème de la qualité des eaux de la plaine de Ain Azal. Thèse Magister, Université de Batna. 169 pages.*
 - 8-CASTANY. G (1982) : *Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Edition Dunod. Paris, 236 pages.*
 - 9-CASTANY. G (1963) : *Traitement pratique des eaux souterraines. Edition Dunod. France.*
 - 10-DEMDOUM A.(1996) : *Etude hydrogéologique et problème de la qualité des eaux des bassins fermes d'El Eulma. Thèse de Magister. IST. Constantine. 205 pages.*

- 11 - CHEBBAH. L (2004) : *Etude hydrogéologique de la plaine de « Zana-Chott saboun » (W. de Batna - Est Algérien) : Thèse de magister, faculté des sciences de l'ingénieur, université de Elhadj lakhder. Batna, 150 pages.*
- 12 - 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. Thèse de magister en hydrogéologie. IST. USTHB. 165 pages.*
- 13- LAHONDERE .J.C (1987): *Les séries ultra telliennes d'Algérie nord –orientale et formations environnantes dans leur cadre structural. Travaux du laboratoire de géologie méditerranée associée au C.N.R.S (U.A.N°145). Université de Paul Sabatier – Toulouse N°d'ordre: 1326, thèse Doctorat. 238 pages.*
- 14 -KHEMOUDJ.K (2001) : *Impact de la pollution industrielle, urbaine et agricole sur les eaux de la nappe superficielle de la région d'El Eulma. Wilaya de Sétif. Thèse de magister, Département de la chimie, Université de Bedji mokhtar. Annaba, 195pages.*
- 15-MENANI. M (1991) : *Etude hydrogéologique de la plaine d'El-Madher (Algérie orientale) : Géologie, climatologie, hydrogéologie et modélisation des écoulements souterrains de l'aquifère mio- Plio-Quaternaire : Thèse de Doctorat, Université de Nancy I G.E.S. Paris, 400 pages.*
- 16-SEMAR .A. (1995) : *Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine de Beni – Slimane (Wilaya de Médéa) Algérie. Thèse de Magister. IST. USTHB. 298 pages.*
- 17- VILLA J.M (1967) : *Analyse stratigraphique et structurale du flysch de Penthièvre (Nord Constantinois) Algérie.*
- 18- VILA .J.M (1971) : *Essai d'interprétation structurale d'un profil transversal du Nord-est de la Berbérie, entre la région d'Annaba (Bône) et de Guelma. Extrait du bulletin de la société géologique de France, 7^{ième} série, t .XIII. P 85 à 99, année 1971*
- 19-VILA J. M. (1980) : *La chaîne Alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens. Thèse de doctorat sc. Nat. Paris VI. 665 pages.*
- 20 - BRINIS N. (2003) : *Etude de la salinité de la région d'EL Outaya (Biskra), Mémoire de Magister. Université de Annaba 165 pages.*

- 21 – BENCER. S (2005) : *Etude hydrogéologique de la région de Ain Djasser (W .Batna). Mémoire de Magister. Département d'hydraulique.Université de Batna. 120 pages.*
- 22-BOULARAK.M (2003) : *Contribution à l'étude hydrogéologique du bassin versant de Boumerzoug. Vulnérabilité des eaux souterraines et impact de la pollution sur la région d'Elkhroub. Thèse de Magister en hydrogéologie . IST. Constantine. 177 pages.*
- 23 – ROCHE. M (1963) : *Hydrologie de surface. Gautier - Villars Paris. 430 pages.*
- 24 - DE MARSILY. G (1981): *Hydrogéologie quantitative. Edition Masson.*
- 25 – LALMLEMAND-BARRES.A (1995) : *Méthodes de dépollution des eaux souterraines. Edition BRGM. France, 172 pages.*
- 26 – MARGAT.J (1981) : *Les eaux souterraines dans le bassin méditerranéen. Ressources et utilisation. Edition BRGM, France.110 pages.*
- 27 – MEGUELLATI. S (2005) : *Etude hydrogéologique de la plaine de Boumia (W. Batna). Mémoire de Magister –Département d'hydraulique. Université de Batna. 85 pages.*
- 28 – GUIDOUM.A (2004) : *Etude hydrologique du bassin versant de l'Oued Chemora. (W.Batna,Est-Algérien),Département de l'hydraulique. Université de Batna. 254 pages.*
- 29 – BUREAU D'ETUDE HAMZA-BATNA (2006) : *Etude de l'aménagement Hydro-Agricole du périmètre de Chemora sur 16930 ha (Wilayates de Batna et Oum El Bouaghi), 57 pages.*
- 30-COSANDEY.C ET ROBINSON.M (2000) : *Hydrologie continentale, Edition Armand Colin.Paris, 360 pages.*
- 31 -DERCOURT.J ET PAQUET.J (1978) : *Géologie objet et méthodes, 3^{ème} Edition Dunod.Paris, 329pages.*
- 32-HALIMI.A (1980) : *Atlas Blidien, climat et étages végétaux, OPU, 523 pages.*
- 33-HUIZAR ALVARES.R (1989) : *Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de la plaine de Chaco-Amecameca et de son bassin versant (Mexique) : Thèse de doctorat à l'univ de Franche comté. Besançon, 160 pages.*

- 34-GHACHI.AZ (1986) : *Hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie*, OPU, 508 pages.
- 35-MEBARKI.AZ (1984) : *Ressource en eau et aménagement en Algérie (le bassin du Kabîr Rhumel)*, office des publications universitaire. Alger, 302 pages.
- 36- MEBARKI A & BENCHEIKH. H (1997) : *Sources et charges de pollution dans le bassin du Kébir-Rhumel (Eléments d'étude pour la protection des Ressources en eau)*. Revue Rhumel Tome 5 - PP.33-52
- 37-PLAGNES.V (2000) : *Structure et fonctionnement des aquifères karstiques (Caractérisation par la géochimie des eaux)*, ed BRGM. France, 149p à 168p et 173p à 182pages.
- 38- NEMOUCHI.A (2001) : *Géographie hydrologique du bassin versant endoréique du Choot el Hodna*. Inst. de sciences de la terre, Université. de Constantine. Thèse Doctorat.
- 39- RODIER. J (1996) : *L'analyse de l'eau, Eaux Naturelles, Eaux Résiduelles, Eau de Mer (Physico-chimie, Bactériologie,Biologie, Edition Dunod, paris.*
- 40-RODIER. J (1984) :*L'analyse de l'eau, Eaux Naturelles, Eaux Résiduelles, Eau de Mer (Physico-chimie,Bactériologie,Biologie,7^{ème}Edition.Dunod.Paris,135 pages.*
- 41- CARMANTRAND – BALDY – GACHELIN – LEPALUD – PORTIER & RIQUOIS (1973) : *L'aménagement mixte du verdon et la protection de la qualité des eaux*. PP.543-565. Groupe de travail– Onzième Congrès des Grands Barrages –Madrid.
- 42- LABORDE J.P (2000) : *Eléments d'hydrologie de surface*.Edition 2000. CNRS. Univ. Nice- Sofia Antipolis 198 pages.
- 43- GUASMI. I (2004) :*Dégradation de la qualité de l'eau dans le bassin versant de l'Oued Medjerda– Souk-Ahras*.mémoire de Magister.Université de Batna 89 Pages.
- 44- GUECHI. S (2004) : *Impact de la pollution agricole et industrielle sur la nappe aquifère de la région de Boumaiza (Ben-Azzouz, Skikda)*,mémoire de Magister. Université du Colonel Hadj Lakhdar Batna 105 Page.
- 45 -ZENATI. N (1999) : *Relation Nappes-Lacs ;Cas de la nappesuperficielle de la plaine D' El-Hadjar*.Mémoire de Magister.Université de Annaba Algerie.

- 46-BELHADJ. M .Z (2006) :*Etude de la pollution du barrage de ZIT-EMBA –Commune de Bekkouche Lakhdar. (W.Skikda), mémoire de Magister. Département d’hydraulique. Université de Batna. 88 pages.*
- 47-REMENIERAS. G (1983):*Hydrologie de l’Ingénieur. Edition Eyrolles, Paris.*
- 48 -CADIER (E.)–POURRUT (P.) : *Inventaire et détermination des données nécessaires à l’utilisation rationnelle des ressources en eau renouvelables . Cahiers N°3 et 4, série hydrologique. O.R.S.T.O.M.*
- 49-BODELLE J et MARGAT J .(1980) : *L’eau souterraine en France . Edition Masson France*
- 50-COSANDEY.C – ROBINSON. M (2000) : *Hydrologie continentale . Armand Colin.*
- 51-J.M.VILA ET GUELLAL.S (1973) :*Notices explicatives des cartes géologiques de :Boulhilet et Ain-Yagout .Extrait de l’ensemble de la feuille réalisé dans le cadre du permis « Ain Beida » par M.S.GUELLAL, Ingénieur-géologue à SONATRACH et J.M.VILLA, Maitre -assistant au département de Géologie structurale de l’Université de Pierre et Marie Curie à Paris.Laboratoire associé au C.N.R.S. n°145 ,Collaborateur du service de la Carte géologique de l’Algérie*
- ✓ INC (1969) : *Cartes topographiques : Ain El-Ksar N°173, Boulhilet N°174 , Ain-yagout, N°148 et Ain- Kercha N°147 . Echelle 1/50 000, Publiée en 1977 par le service de la Cartographie et Sonatrach (Direction d’exploitation).*
 - ✓ INC (1983) : *Carte topographique Batna (feuille NI-32-XIX) Echelle 1/200 000*
 - ✓ INC (1969) : *Cartes géologiques : Ain El-Ksar N°173, Boulhilet N°174 , Ain-yagout, N°148 et Ain- Kercha N°147 . Echelle1/50 000, Publiée en 1977 par le service de la Cartographie et Sonatrach (Direction d’exploitation).*
 - ✓ A.N.R.H : *Carte pluviométrique de l’Algérie ”1922/60-1969/89”.*

ANNEXES

ANNEXE N°01

Inventaire des points d'eau pour la nappe profonde.

$\sigma_{\text{statique}} = \text{le niveau statique en (m)} = H_p \text{ (m)}$

Z_p : La côte piézométrique en (m).

$z_n = z - H_p$

N° de Forage	X (m)	y (m)	Z (m)	Période de Juin 2007		Période d'Octobre 2007		Période de Février 2008	
				H _p	Z _p	H _p	Z _p	H _p	Z _p
F ₁	859.11	281.24	877	29	848	31.08	845.92	31.97	845.03
F ₂	858.45	296.60	878	32	846	35.84	842.16	36.10	841.90
F ₃₁	856.83	271.22	869	23	846	27.30	841.7	31.14	837.86
F ₄	856.95	271.37	869	28	841	29.44	839.56	32.05	836.95
F ₅	857.31	270.48	870	13.90	856.10	15.75	854.43	15.73	854.27
F ₆	857.34	271.13	854	25.50	828.50	28.60	825.40	28.90	825.10
F ₇	858.48	272.75	851	17.65	833.35	19.77	831.23	20.07	830.93
F ₈	856.94	272.22	840	21.00	819.00	23.52	816.48	23.82	816.18
F ₉	856.39	274.54	857	34.00	823.00	38.08	818.92	38.24	818.76
F ₁₀	857.36	270.54	856	38	818	4176	814.24	44.29	811.71
F ₁₁	859.33	282.65	847	14.63	832.37	16.38	830.62	16.79	830.21
F ₁₃	860.11	281.48	844	12.92	831.08	14.47	829.53	14.83	829.17
F ₁₄	860.21	282.13	844	14.55	829.45	16.30	827.70	16.70	827.30
F ₁₆	861.28	282.85	838	11.90	826.10	13.33	824.67	13.66	824.34
F ₁₈	865.19	273.8	848	12.00	836.00	13.44	834.56	13.61	834.39
F ₂₇	870.90	274.13	844	10.93	833.07	12.24	831.76	12.84	831.16
F ₃₀	870.83	274.71	843	28.17	813.83	31.55	811.45	32.34	810.66
F ₃₅	873.13	274.27	841	08.00	833.00	08.96	832.04	10.31	830.69

ANNEXE N° 02

Tableaux (1, 2 et 3) des valeurs de la conductivité et calcul du pourcentage du sodium pour les trois périodes

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

Tableau n°01: Période de Juin 2007

Points d'eau	jP ₁₂	jP ₁₇	jP ₁₉	jP ₂₀	jP ₂₁	jP ₂₂	jP ₂₃	jP ₂₄	jP ₂₅
Na%	10.98	11.03	13.06	12.9	18.24	11.83	14.97	20	15.47
CND(μs/cm)	4090	6150	2860	6340	2180	4140	5260	4520	2780
Points d'eau	jP ₂₆	jP ₂₈	jP ₂₉	jP ₃₁	jP ₃₂	jP ₃₃	jP ₃₄	jP ₃₆	jP ₃₇
Na%	13.48	1.57	1.23	1.58	1.75	2.75	5.41	2.67	5.38
CND(μs/cm)	2640	2290	7960	9580	3740	5740	1860	4960	2920

Tableau n°02 : Période d'Octobre 2007

Points d'eau	oP ₁₂	oP ₁₇	oP ₁₉	oP ₂₀	oP ₂₁	oP ₂₂	oP ₂₃	oP ₂₄	oP ₂₅
Na%	12.32	9.88	20.68	8.27	11.22	16.09	13.09	19.57	14.37
CND(μs/cm)	4360	6420	3050	6550	2350	4490	5460	4500	2830
Points d'eau	oP ₂₆	oP ₂₈	oP ₂₉	oP ₃₁	oP ₃₂	oP ₃₃	oP ₃₄	oP ₃₆	oP ₃₇
Na%	16.32	15.25	12.96	12.85	14.72	23.1	25.93	24.08	36.49
CND(μs/cm)	2880	2540	8200	10120	4210	629	2130	5430	3280

Tableau n°03 : Période de Février 2008

Points d'eau	fP ₁₂	fP ₁₇	fP ₁₉	fP ₂₀	fP ₂₁	fP ₂₂	fP ₂₃	fP ₂₄	fP ₂₅
Na%	10.77	4.73	34.09	9.38	13.59	14.14	16.67	26.09	18.19
CND(μs/cm)	6140	6490	2160	6410	2560	4730	5860	4640	3240
Points d'eau	fP ₂₆	fP ₂₈	fP ₂₉	fP ₃₁	fP ₃₂	fP ₃₃	fP ₃₄	fP ₃₆	fP ₃₇
Na%	6.33	5.3	8.91	11.33	11.85	21.79	8.01	12.59	18.67
CND(μs/cm)	6500	7370	8880	10080	4210	2230	6560	6130	4080

ANNEXE N° 03

Tableaux (1, 2 et 3) de calcul de SAR pour les trois périodes

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

Tableau n°01 : Période de Juin 2007

Points d'eau	jP₁₂	jP₁₇	jP₁₉	jP₂₀	jP₂₁	jP₂₂	jP₂₃	jP₂₄	jP₂₅
SAR	6.93	7.56	8.5	10.75	12.67	7.84	11.3	16.07	9.12
Points d'eau	jP₂₆	jP₂₈	jP₂₉	jP₃₁	jP₃₂	jP₃₃	jP₃₄	jP₃₆	jP₃₇
SAR	7.97	6.13	7.92	10.62	7.13	11.79	17.6	13.42	15.21

Tableau n°02 : Période d'Octobre 2007

Points d'eau	oP₁₂	oP₁₇	oP₁₉	oP₂₀	oP₂₁	oP₂₂	oP₂₃	oP₂₄	oP₂₅
SAR	8.35	6.79	14.65	6.19	4.86	11.28	9.13	16.16	8.51
Points d'eau	oP₂₆	oP₂₈	oP₂₉	oP₃₁	oP₃₂	oP₃₃	oP₃₄	oP₃₆	oP₃₇
SAR	8.1	6.33	8.88	11.07	7.83	14.13	9.78	14.17	16.63

Tableau n°03: Période de Février 2008

Points d'eau	fP₁₂	fP₁₇	fP₁₉	fP₂₀	fP₂₁	fP₂₂	fP₂₃	fP₂₄	fP₂₅
SAR	6.08	2.45	15.78	5.97	4.82	7.1	9.24	14.46	7.52
Points d'eau	fP₂₆	fP₂₈	fP₂₉	fP₃₁	fP₃₂	fP₃₃	fP₃₄	fP₃₆	fP₃₇
SAR	3.59	3.48	6.18	9.37	6.36	17.94	4.54	6.99	8