

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université d'Oran 2
Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers
Département des Sciences de la Terre

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Magister
En Sciences de la Terre
Option : Hydrogéologie

Valorisation et gestion des ressources en eau en zone semi-aride à aride : Cas de la plaine de Ain Oussera (Hautes Plaines Algéroises, Algérie)

Présenté et soutenu publiquement par :
M. Mohamed Yacine BENDJEDOU

Devant le jury composé de :

MEBROUK Naïma	Professeur	Université d'Oran2	Présidente
MANSOUR Hamidi	Professeur	Université d'Oran2	Promoteur
SAFA Aïssa	M.C.A	Université d'Oran2	Co-Promoteur
HASSANI Moulay Idriss	Professeur	Université d'Oran2	Examineur
MEKKAKIA-MEHDI Mokhtaria	M.C.A	Université d'Oran2	Examinatrice
KACI Abdelouahab	Directeur	ANRH Djelfa	Invité

Année 2015

Remerciements

*Avant tout merci à Dieu **ALLAH**, le tout puissant, le tout miséricordieux, qui m'a donné le courage et la capacité de réaliser ce modeste travail .*

*J'adresse ma profonde reconnaissance au **Pr. MANSOUR Hamidi** pour m'avoir encadré, suivi et encouragé et d'avoir été toujours disponible et attentif .*

*Au même titre, j'exprime ma vive reconnaissance au **Dr. SAFA Aïssa**, pour toutes ses contributions précieuses .*

*Je suis très reconnaissant à Madame **Pr. MEBROUK Naïma**, qui me fait le grand honneur de présider le jury de ma soutenance .*

*Mes vives gratitudes vont aussi au **Pr. HASSANI Moulay Idriss** et Madame **Dr. MEKKAKIA-MEHDI Mokhtaria** qui ont bien voulu examiner ce travail .*

*Je tiens à remercier également **Mr. KACI Abdelouahab**, Directeur de l'ANRH de Djelfa, pour avoir accepté de faire partie du Jury .*

Mes remerciements aussi au personnel de la direction des ressources en eau et de la direction des services agricoles de la wilaya de Djelfa .

*Un merci tout particulier à **mes chers parents, mes frères et mes sœurs**, pour leurs soutien, encouragement et aide précieuse .*

Enfin, Je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire .

ABSTRACT

Ain Oussera plain fits into a vast whole forming part of Algiers High Plains, at about 200 Km South Algiers. It is a typical case of semi-arid to arid regions. It's located in an area where the mobilization of surface waters in zero and water needs for different uses are covered by groundwater exploitation. The latter is subject to overexploitation especially for agricultural use, and consequently a low piezometric level of groundwater which already has a low renewal rate due to sub-arid climate in this region .

The complexity of this problem leads us to propose an approach which was the outcome of the following essential questions : what is the current state of water resources in terms of quantity and quality ? How much water is needed for the socio-economic activity of the region ? What are the most appropriate solutions in this region to make a balance between a greater demand and a supply that reaches the limits of availability ?

It is for this reason that this study is carried out, to answer these questions and hence reach the objectives of the research .

The piezometric study shows a substantial and a worrying drop in the piezometric level in the area called "Sersou", situated in the North-East of the study sector, where in some points of water the decrease came to 13m .

In terms of quality, the waters in Ain Oussera plain are generally of good chemical quality, potable and considered as excellent to good for irrigation .

As regards water potentialities, the resources in total water recognized in Ain Oussera plain are estimated at 55 hm³/year. We can say that these potentialities are sufficient for the current needs (48,198 hm³/year) but for the coming years, there will a deficit because these potentialities do not even cover short terms needs (horizons 2020) estimated at 96,047 hm³/ year. In front of this situation, a rational exploitation and use of water are imposed and measures must be taken namely : the mobilization of surface waters which stays the first choice that must be applied. Therefore, water reuse (REUE) constitutes a potentiality as a non-conventional water resource for agriculture and industry. Water transfers like "the water transfers of Sahara Septentrional to Hauts Plateaux" constitute as well an important solution for the inevitable deficit in the coming years.

Keywords : Semi-arid to arid regions ; Water needs ; Overexploitation ; Water resources ; Chemical quality ; Water potentialities .

RESUME

La plaine de Ain Oussera s'insère dans un vaste ensemble faisant partie des Hautes Plaines Algéroises, à 200 Km environ au Sud d'Alger. C'est un cas typique des régions semi-arides à arides, elle se trouve dans une zone où la mobilisation des eaux superficielles est nulle et les besoins en eau pour les différents usages sont assurés par l'exploitation des eaux souterraines. Ces dernières sont soumises à une surexploitation notamment à usage agricole, entraînant par conséquent une baisse du niveau piézométrique des nappes d'eau souterraines dont le renouvellement est faible vu le climat subaride qui caractérise cette région .

La complexité du problème nous a conduit à proposer une démarche issue des questions essentielles : Quel est l'état actuel des ressources en eau en terme de quantité et de qualité ? Quelle est la quantité d'eau nécessaire à l'activité socio-économique de la région ? Quelles sont les solutions les plus adaptées à cette région pour faire l'équilibre entre une demande toujours plus grande et une offre arrivée aux limites de la disponibilité ?

C'est pour cette raison que cette étude a été menée, afin de répondre à ces questions et donc aux objectifs de cette recherche .

L'étude piézométrique a révélé une baisse considérable et inquiétante du niveau piézométrique dans la zone dite "Sersou" située au Nord-Est du secteur d'étude, où en certains points d'eau, la baisse atteint 13 m .

Sur le plan qualitatif, les eaux de la plaine de Ain Oussera sont généralement de bonne qualité chimique, potables et considérées comme excellentes à bonnes pour l'irrigation .

En matière de potentialités hydriques, les ressources en eau totales reconnues dans la plaine de Ain Oussera sont estimées à 55 hm³/an. On peut dire que ces potentialités suffisent pour les besoins actuels (48,198 hm³/an), mais pour les années à venir, il y aura un déficit, car ces potentialités ne suffiront même pas les besoins à court terme (horizons 2020) estimés à 96,047 hm³/an. Devant cette situation, une exploitation et une utilisation rationnelles de l'eau s'imposent et des mesures doivent être prises à savoir : la mobilisation des eaux superficielles qui reste le premier choix qu'il faut appliquer. Aussi, la réutilisation des eaux usées épurées (REUE) constitue une potentialité en tant que ressource en eau non conventionnelle pour l'agriculture et l'industrie. Les transferts d'eau tel que "le transfert des eaux du Sahara Septentrional vers les hauts plateaux" constituent également une solution indispensable pour pallier au déficit inévitable dans les années à venir .

Mots clés : Régions semi-arides à arides ; Besoins en eau ; Surexploitation ; Ressources en eau ; Qualité chimique ; Potentialités hydriques .

TABLE DES MATIERES

RESUME	I
ABSTRACT	II
REMERCIEMENTS	III
TABLE DES MATIERES	IV
LISTE DES ABREVIATIONS ET DES PARAMETRES	VII
LISTE DES FIGURES	VIII
LISTE DES TABLEAUX	X
INTRODUCTION GENERALE	01

CHAPITRE I : CARACTERISTIQUES GEOMORPHOLOGIQUES ET

HYDROCLIMATOLOGIQUES

.1/ Situation géographique	04
.2/ Etude géomorphologique	04
.2.1/ Modèle Numérique de Terrain	04
.2.2/ Limites des sous bassins versants	04
.2.3/ Caractéristiques géométriques des sous bassins versants	07
.2.3.1/ Coefficient de compacité de Gravelius (KC)	07
.2.3.2/ Rectangle équivalent	07
.2.4/ Caractéristiques de relief	08
.2.4.1/ Répartition des surfaces en fonction de l'altitude	08
.2.4.2/ Hypsométrie des sous bassins versants	09
.2.4.3/ Les altitudes caractéristiques	10
.2.4.3.1/ Altitude de fréquence (H1/2)	10
.2.4.3.2/ Altitude moyenne (Hmoy)	11
.2.4.4/ Indices de pente	11
.2.4.4.1/ Indice de pente de Roche (Ip)	11
.2.4.4.2/ Indice de pente globale (Ig)	12
.2.4.4.3/ Dénivelée spécifique	12
.2.4.5/ Etude des pentes	13
.2.5/ Caractéristiques du chevelu hydrographique	13
.2.5.1/ Réseau hydrographique	13
.2.5.2/ Hiérarchisation du chevelu hydrographique	14
.2.5.3/ Les rapports morphométriques (lois de Horton)	14
.2.5.3.1/ Rapport de confluence (RC)	15
.2.5.3.2/ Rapport de longueur moyenne (RL)	16
.2.5.4/ Densité de drainage (Dd)	17
.2.5.5/ Densité des thalwegs élémentaires (F1)	18
.2.5.6/ Coefficient de torrentialité (Ct)	18
.3/ Caractéristiques hydroclimatologiques et estimation de la recharge	20
.3.1/ Introduction	20
.3.2/ Etude des paramètres climatiques	20
.3.2.1/ Pluviométrie	20
.3.2.1.1/ Variations interannuelles des précipitations	21
.3.2.1.2/ Variations moyennes mensuelles des précipitations	22
.3.2.1.3/ Evaluation de la lame d'eau moyenne annuelle précipitée	24
.3.2.2/ Température	25

.3.2.3/ Humidité relative	26
.3.3/ Régime climatique	27
.3.3.1/ Diagramme Pluvio-thermique de Gausson et Bagnouls	27
.3.3.2/ Indice d'aridité de " De Martonne"	28
.3.3.3/ Climagramme d'Emberger	29
.3.4/ Evapotranspiration	30
.3.4.1/ Evapotranspiration potentielle (ETP)	31
.3.4.2/ Evapotranspiration réelle (ETR) ou déficit d'écoulement (De)	32
.3.5/ Bilan hydrologique	33
.3.5.1/ Calcul de l'ETR selon la formule de Thornthwaite	33
.3.5.2/ Calcul du déficit agricole (Da)	34
.3.5.3/ Détermination du ruissèlement et de l'infiltration	34
.4/ Conclusion	36

CHAPITRE II : IDENTIFICATION DES AQUIFERES

.1/ APPROCHE GEOLOGIQUE	38
.1.1/ Introduction	38
.1.2/ Lithostratigraphie	38
.1.2.1/ Trias	38
.1.2.2/ Jurassique	39
.1.2.3/ Crétacé	39
.1.2.4/ Eocène	43
.1.2.5/ Miocène	43
.1.2.6/ Plio-Quaternaire	43
.1.3/ Contexte structural de la région d'Ain Oussera	46
.2/ APPROCHE GEOPHYSIQUE	49
.2.1/ Introduction	49
.2.2/ Sondages réalisés	49
.2.3/ Echelle des résistivités	51
.2.4/ Interprétation des coupes géo-électriques	51
.2.4/ Carte des résistivités apparentes en ligne AB=1000 m	56
.2.5/ Carte en isobathes de l'Albien	56
.2.6/ Carte en isopaques de l'Albien	56
.3/ Conclusion	58

CHAPITRE III : CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES ET QUALITE CHIMIQUE DE L'EAU

.1/ CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES	60
.1.1/ Introduction	60
.1.2/ Nappe de l'Albien	60
.1.3/ Piézométrie de la plaine d'Ain Oussera	60
.1.3.1/ Réseau de surveillance	60
.1.3.2/ Etablissement et interprétation des cartes piézométriques	63
.1.3.2.1/ Carte piézométrique de Mai 1985	63
.1.3.2.2/ Carte piézométrique de Mai 2014	63
.1.3.3/ Evolution de la piézométrie entre 1985 et 2014	66
.1.4/ Caractéristiques hydrodynamiques	66

.1.4.1/ Répartition spatiale des transmissivités	66
.1.4.2/ Répartition spatiale des perméabilités	66
.2/ QUALITE CHIMIQUE DE L'EAU	69
.2.1/ Introduction	69
.2.2/ Analyse des paramètres physico-chimiques	69
.2.2.1/ Le potentiel d'Hydrogène	69
.2.2.2/ Dureté totale ou degré hydrotimétrique (D.H.T)	71
.2.2.3/ Cartes des résidus secs	71
.2.3/ Classification chimique des eaux	71
.2.3.1/ Classification des eaux d'après Stabler	74
.2.3.2/ Classification des eaux d'après Piper	75
.2.3.3/ Classification des eaux d'après Schoeller-Berkaloff	77
.2.4/ Indice d'échange de base	77
.2.5/ Potabilité minéralogique des eaux	79
.2.6/ Aptitude des eaux à l'irrigation	79
.2.6.1/ Classification des eaux par la méthode de Richards	80
.3/ Conclusion	82

CHAPITRE V : GESTION DES RESSOURCES EN EAU

V.1/ Introduction	84
V.2/ Les fonctions socio-économiques de la plaine de Ain Oussera	84
V.2.1/ La population	84
V.2.1.1/ Evolution de la population	86
V.2.2/ L'agriculture	87
V.2.3/ Les activités industrielles	89
V.3/ Infrastructures hydrauliques	90
V.3.1/ Forages	90
V.3.2/ Réservoirs et capacités de stockage	90
V.4/ Mobilisation des ressources en eau	92
V.5/ Réseaux d'assainissement	92
V.6/ Evaluation de la demande socio-économique en eau	94
V.6.1/ Les besoins en eau potable	94
V.6.2/ Les besoins en eau d'irrigation	96
V.6.3/ Les besoins industriels en eau	98
V.7/ Bilan des besoins globaux et confrontation avec les ressources disponibles	99
V.8/ Conclusion	101
CONCLUSION GENERALE	104

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

LISTE DES ABREVIATIONS ET DES PARAMETRES

- ACL** : Agglomération Chef Lieu
- AEA** : Alimentation en Eau Agricole
- AEI** : Alimentation en Eau Industrielle
- AEP** : Alimentation en Eau Potable
- ANRH** : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
- AS** : Agglomération Secondaire
- DA** : Déficit Agricole (mm)
- DREW** : Direction des Ressources en Eau de la Wilaya
- DSA** : Direction des Services Agricoles
- ETP** : Evapotranspiration potentielle (mm)
- ETR** : Evapotranspiration Réelle (mm)
- I** : Infiltration de l'eau dans le sol (mm)
- K** : Perméabilité (m/s)
- MNT** : Modèle Numérique de Terrain
- OMS** : Organisation Mondiale de la Santé
- R** : Ruissellement (mm)
- RFU** : Réserve Facilement Utilisable (mm)
- RGPH** : Recensement Général de la Population et de l'Habitat
- SAR** : Sodium Absorption Ratio
- SASS** : Système Aquifère du Sahara Septentrional
- SIG** : Système d'Information Géographique
- T** : Transmissivité (m^2/s)
- T** : Température ($^{\circ}C$)
- ZE** : Zone Eparses

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : CARACTERISTIQUES GEOMORPHOLOGIQUES ET HYDROCLIMATOLOGIQUES

Figure 01 : Position de la région d'Ain Oussera dans le Nord Algérien	05
Figure 02 : Limites de la plaine d'Ain Oussera	05
Figure 03 : MNT et limites des trois sous bassins versants (01-12, 01-11 et 01-06)	06
Figure 04 : Carte des tranches d'altitudes des trois sous bassins versants (01-12, 01-11 et 01-06)	08
Figure 05 : Courbes hypsométriques des trois sous bassins versants (01-12, 01-11 et 01-06)	10
Figure 06 : Carte des pentes des trois sous bassins versants (01-12, 01-11 et 01-06)	14
Figure 07 : Carte du chevelu hydrographique des trois sous bassins versants (01-12, 01-11 et 01-06) ...	15
Figure 08 : Localisation des stations pluviométriques de la plaine d'Ain Oussera	21
Figure 09 : Evolution des précipitations annuelles sur les 07 stations de la plaine d'Ain Oussera	22
Figure 10 : Variation des précipitations moyennes mensuelles	23
Figure 11 : Carte des polygones de Thiessen de la plaine d'Ain Oussera	25
Figure 12 : Variation des températures moyennes mensuelles à la station d'Ain Oussera	26
Figure 13 : Diagramme Pluvio-thermique pour la période (1991-2011) à la station d'Ain Oussera	28
Figure 14 : Climagramme d'Emberger	30

CHAPITRE II : IDENTIFICATION DES AQUIFERES

Figure 15 : Carte géologique du secteur d'étude	40
Figure 16 : Log litho-stratigraphique du forage de Bou Cedraïa	44
Figure 17 : Log litho-stratigraphique du forage d'El Krachem	45
Figure 18 : Coupe géologique schématique de la région d'Ain Oussera	47
Figure 19 : Log litho-stratigraphique synthétique de la plaine d'Ain Oussera	48
Figure 20 : Carte de position des profils électriques	50
Figure 21 : Coupes géo-électriques 10 et 11	52
Figure 22 : Coupes géo-électriques 13 et 14	53
Figure 23 : Coupes géo-électriques 17 et 18	55
Figure 24 : Carte des résistivités apparentes en ligne AB=1000 m	56
Figure 25 : Carte en isobathes des formations de l'Albien	57
Figure 26 : Carte en isopaques des formations de l'Albien	57

CHAPITRE III : CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES ET QUALITE CHIMIQUE DE L'EAU

Figure 27 : Réseau actuel de surveillance piézométrique de la plaine de Ain Oussera	62
Figure 28 : Carte piézométrique de la plaine de Ain Oussera (Mai 1985)	64
Figure 29 : Carte piézométrique de la plaine de Ain Oussera (Mai 2014)	65
Figure 30 : Evolution de la piézométrie entre 1985 et 2014	67

Figure 31 : Carte des transmissivités de la plaine d'Ain Oussera	68
Figure 32 : Carte des perméabilités de la plaine d'Ain Oussera	68
Figure 33 : Variation du pH des échantillons d'eau analysés	69
Figure 34 : Carte d'inventaire des points d'eau échantillonnés (Mai 2006)	70
Figure 35 : Evolution spatiale des résidus secs des eaux de la plaine de Ain Oussera	72
Figure 36 : Carte d'isoteneurs en résidus secs des eaux de la plaine de Ain Oussera	73
Figure 37 : Classification des eaux de la plaine de Ain Oussera selon Stabler	74
Figure 38 : Diagramme de classification des eaux d'après Piper	75
Figure 39 : Classification des eaux de la plaine de Ain Oussera selon Piper	76
Figure 40 : Classification des eaux de la plaine de Ain Oussera selon Schoeller-Berkaloff	78
Figure 41 : Diagramme de classification des eaux d'irrigation (méthode de Richards)	81

CHAPITRE V : GESTION DES RESSOURCES EN EAU

Figure 42 : Découpage administratif communal de la plaine de Ain Oussera	85
Figure 43 : Distribution de la population dans la plaine de Ain Oussera	86
Figure 44 : Evolution de la population dans la plaine de Ain Oussera (2014-2040)	87
Figure 45 : Répartition de la superficie irriguée par type de culture de la plaine de Ain Oussera	88
Figure 46 : Localisation des forages d'AEP et des forages et puits d'irrigation, plaine de Ain Oussera	91
Figure 47 : Besoins en eau potable dans la plaine de Ain Oussera	96
Figure 48 : Evolution dans le temps des besoins en eau d'irrigation dans la plaine de Ain Oussera	98
Figure 49 : Evolution dans le temps des besoins industriels en eau dans la plaine de Ain Oussera	99
Figure 50 : Evolution des besoins globaux dans la plaine de Ain Oussera aux différents horizons	100
Figure 51 : Bilan potentialités reconnues-besoins globaux en eau dans la plaine de Ain Oussera	101

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I : CARACTERISTIQUES GEOMORPHOLOGIQUES ET HYDROCLIMATOLOGIQUES

Tableau 01 : Périmètres et superficies des sous bassins versants	07
Tableau 02 : Valeurs des coefficients de compacité (K_C) des sous bassins	07
Tableau 03 : Valeurs des rectangles équivalents des sous bassins	08
Tableau 04 : Répartition altimétrique des surfaces de l'ensemble des trois sous bassins	09
Tableau 05 : Altitudes de fréquence des sous bassins versants	11
Tableau 06 : Altitudes moyennes des sous bassins versants	11
Tableau 07 : Indices de pente de Roche des sous bassins versants	12
Tableau 08 : Indices de pente globale des sous bassins versants	12
Tableau 09 : Dénivelées spécifiques des sous bassins versants	12
Tableau 10 : Classe des pentes et superficies correspondantes	13
Tableau 11 : Nombres des thalwegs et rapports de confluence des sous bassins versants	16
Tableau 12 : longueurs des thalwegs et rapports de longueur des sous bassins versants	17
Tableau 13 : Densités de drainage des sous bassins versants	17
Tableau 14 : Densités des thalwegs élémentaires des sous bassins versants	18
Tableau 15 : Valeurs du Coefficient de torrentialité des sous bassins versants	18
Tableau 16 : Récapitulatif des paramètres géométriques et morphométriques des trois sous bassins versants (01-12, 01-11 et 01-06)	19
Tableau 17 : Caractéristiques des stations pluviométriques de la plaine d'Ain Oussera	20
Tableau 18 : Précipitations moyennes mensuelles des 7 stations de la plaine d'Ain Oussera	22
Tableau 19 : Calcul de la lame d'eau précipitée (méthode des polygones de Thiessen)	24
Tableau 20 : Valeurs des températures moyennes mensuelles , minimales et maximales et moyennes annuelles à la station d'Ain Oussera (1991-2011)	25
Tableau 21 : Valeurs des humidités relatives moyennes mensuelles à la station d'Ain Oussera	27
Tableau 22 : Valeurs moyennes mensuelles des précipitations (mm) et des températures (°C) à la station d'Ain Oussera (1991-2011)	27
Tableau 23 : Classification de " De Martonne"	28
Tableau 24 : Valeurs de ρ	31
Tableau 25 : Evaluation de l'ETP moyenne mensuelle et annuelle par la formule de Thornthwaite à la station d'Ain Oussera, période (1991-2011)	32
Tableau 26 : Bilan hydrologique selon Thornthwaite à la station d'Ain Oussera (1991-2011)	34
Tableau 27 : Récapitulatif des paramètres du bilan hydrologique à la station d'Ain Oussera	35
Tableau 28 : Valeurs de la pluviométrie efficace calculées sur la plaine d'Ain Oussera	35

CHAPITRE II : IDENTIFICATION DES AQUIFERES

Tableau 29 : Caractéristiques géo-électriques des formations 51

CHAPITRE III : CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES ET QUALITE CHIMIQUE DE L'EAU

Tableau 30 : Récapitulatif des caractéristiques des aquifères existants dans la région de Ain Oussera.. 61

Tableau 31 : Classification des eaux selon leur D.H.T 71

Tableau 32 : Normes applicables aux eaux destinées à l'alimentation humaine d'après l'O.M.S 79

CHAPITRE V : GESTION DES RESSOURCES EN EAU

Tableau 33 : Répartition spatiale de la population communale dans la plaine de Ain Oussera 84

Tableau 34 : Evolution de la population communale dans la plaine de Ain Oussera 86

Tableau 35 : Répartition générale des terres agricoles de la plaine de Ain Oussera 87

Tableau 36 : Répartition de la superficie irriguée par type de culture de la plaine de Ain Oussera 88

Tableau 37 : Unités industrielles de la plaine de Ain Oussera 89

Tableau 38 : Répartition par commune des infrastructures hydrauliques de la plaine de Ain Oussera,
situation 2014 90

Tableau 39 : Ressources en eau de la plaine de Ain Oussera, situation 2014 92

Tableau 40 : Etat du réseau d'assainissement des agglomérations de la plaine de Ain Oussera 93

Tableau 41 : Alimentation en eau potable dans la plaine de Ain Oussera (situation actuelle) 94

Tableau 42 : Bilan prévisionnel des besoins en A.E.P par rapport à des dotations préconisées 95

Tableau 43 : Situation actuelle de l'alimentation en eau d'irrigation dans la plaine de Ain Oussera 97

Tableau 44 : Besoins en eau d'irrigation pour les différents horizons dans la plaine de Ain Oussera ... 97

Tableau 45 : Evolution des besoins industriels en eau dans la plaine de Ain Oussera pour les différents
horizons (court, moyen et long terme) 99

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le développement économique et social d'un pays est largement lié à ses potentialités hydriques sachant que la problématique de l'eau est indissociable du développement durable dans la mesure où l'eau doit permettre de répondre aux besoins des générations actuelles sans hypothéquer, par des effets peu ou non réversibles, la capacité des générations futures à satisfaire les leurs (MRAD et al, 2009) .

Dans les régions des pays émergents caractérisées par un climat semi-aride à aride, les contraintes de la croissance démographique et les transformations économiques et sociales sont à l'origine d'une demande en eau sans cesse croissante. En Algérie, ces 20 dernières années ont été particulièrement caractérisées par une longue période de sécheresse due, non seulement à l'alternance habituelle entre périodes sèches et humides mais également, aux phénomènes des changements climatiques (OUANOUKI, 2012) .

La plaine de Ain Oussera dans la région centrale des hautes plaines steppiques Algériennes, est un cas typique des régions semi-arides à arides, elle se trouve dans une zone où la mobilisation des eaux superficielles est nulle et les besoins en eau pour les différents usages sont assurés par l'exploitation des eaux souterraines. Ces dernières sont soumises à une surexploitation notamment à usage agricole, résultat d'une politique de développement agricole mise en œuvre par les programmes FNDRA (Fonds National de Régulation et de Développement Agricole) et PSD (Programmes Sectoriels de Développement), entraînant par conséquent une baisse du niveau piézométrique des nappes d'eau souterraines dont le renouvellement est faible vu le climat subaride qui caractérise cette région .

Pour le cas de la plaine de Ain Oussera, la complexité du problème nous a conduit à proposer une démarche issue des questions essentielles : quel est l'état actuel des ressources en eau en terme de quantité et de qualité ; quelle est la quantité d'eau nécessaire à l'activité socio-économique de la région ; quelles sont les solutions les plus adaptées à cette région pour faire l'équilibre entre une demande toujours plus grande et une offre arrivée aux limites de la disponibilité .

Afin de répondre à ces questions et donc aux objectifs de cette recherche, le travail a été organisé et présenté selon la méthodologie suivante :

- Dans le premier chapitre nous entamerons les caractéristiques géomorphologiques et hydroclimatologiques de la plaine de Ain Oussera .
- Le deuxième chapitre sera consacré à l'identification des aquifères, par deux approches, l'une géologique et l'autre géophysique, dont le but de déterminer la géométrie des aquifères, la nature et les épaisseurs des terrains qui les constituent .
- Le troisième chapitre traitera les caractéristiques hydrogéologiques et la qualité chimique de l'eau. Nous étudierons les fluctuations des niveaux piézométriques à l'échelle pluriannuelle et les paramètres hydrodynamiques (transmissivité et perméabilité), Aussi nous préciserons les faciès et la qualité chimiques des eaux .
- Le quatrième chapitre concerne la gestion des ressources en eau, au niveau de laquelle nous aborderons l'état de mobilisation des ressources en eau, leur quantification, l'estimation des besoins en eau par secteur d'usage et globaux, et la confrontation besoins-potentialités.
- Enfin en conclusion générale, nous présenterons le bilan de ce travail complété par des recommandations .

CHAPITRE

CARACTERISTIQUES GEOMORPHOLOGIQUES ET HYDROCLIMATOLOGIQUES

.1/ Situation géographique :

Située dans la partie centrale de l'Algérie du Nord, au sein de la Wilaya de Djelfa, la plaine de Ain Oussera s'insère dans un vaste ensemble faisant partie des Hautes Plaines Algéroises, à 200 Km environ au Sud d'Alger (fig. 01). Elle est située entre 2°20' et 3°25' de longitude Est, et entre 34°55' et 35°40' de latitude Nord. Sa superficie est d'environ 3790 Km².

La plaine s'étend sur environ 105 Km de long selon un axe NE-SW, et sur 50 Km de large selon un axe perpendiculaire. Les limites d'extension généralement admises sont les suivantes (fig. 02) :

- Les chaînes montagneuses de Sebaa Rous et de Guelt Esstehl – Taguine au Sud ;
- Le chaînon d'Ain Oussera au Nord (Koudiat el Gherbania, Koudiat el Taïcha, Koudiat el Mouilah et Kef Nesser) ;
- L'oued Touil à l'Ouest ;
- Le Djebel Touil à l'Est .

La principale agglomération de la plaine est la ville d'Ain Oussera qui se situe à environ 200 km au Sud d'Alger et 90 km au Nord de Djelfa .

.2/ Etude géomorphologique :

.2.1/ Modèle Numérique de Terrain :

Le modèle numérique de terrain utilisé est de type ASTER GDEM 2, issu du programme ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), coproduit en Octobre 2011 par le METI (Ministry of Economy, Trade, and Industry) japonais et la NASA. Il a une résolution de 1 seconde d'arc soit environ 30 mètres à l'équateur. Il a donc une résolution 3 fois plus fine que celle du SRTM .

Le système d'information géographique (SIG) permet de créer des cartes thématiques. Dans notre cas, on a utilisé cette technique pour la topographie, les pentes et le chevelu hydrographique. Et comme logiciel informatique on a utilisé l'ArcGIS V 10.0 d'ESRI .

.2.2/ Limites des sous bassins versants :

Le bassin versant du Chélif qui occupe une superficie de 45000 Km² est subdivisé en 36 sous bassins dont trois intéressent notre secteur d'étude (fig. 03) .

La plaine d'Ain Oussera s'étend donc sur trois sous bassins versants :

- Le sous BV de Daïat Boughzoul (01-12) à l'Ouest ;
- Le sous BV de Daïat El Firania (01-11) à l'Est ;
- Le sous BV de l'Oued Touil (01-06) au Sud .

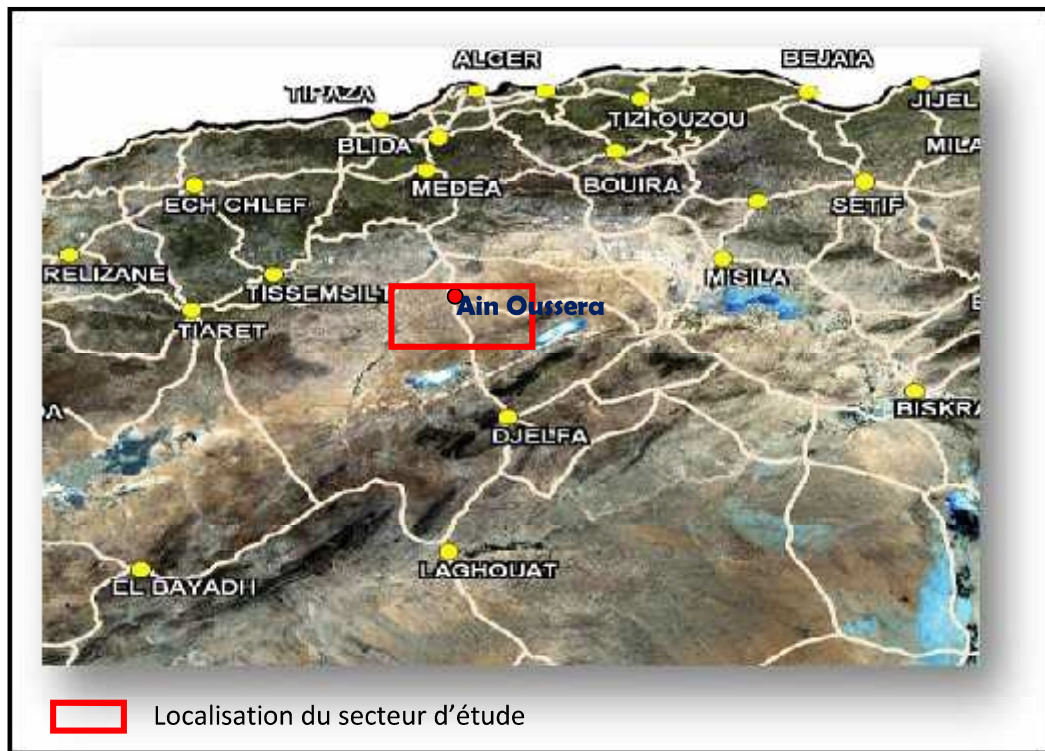


Figure 01 : Position de la région d'Ain Oussera dans le Nord Algérien

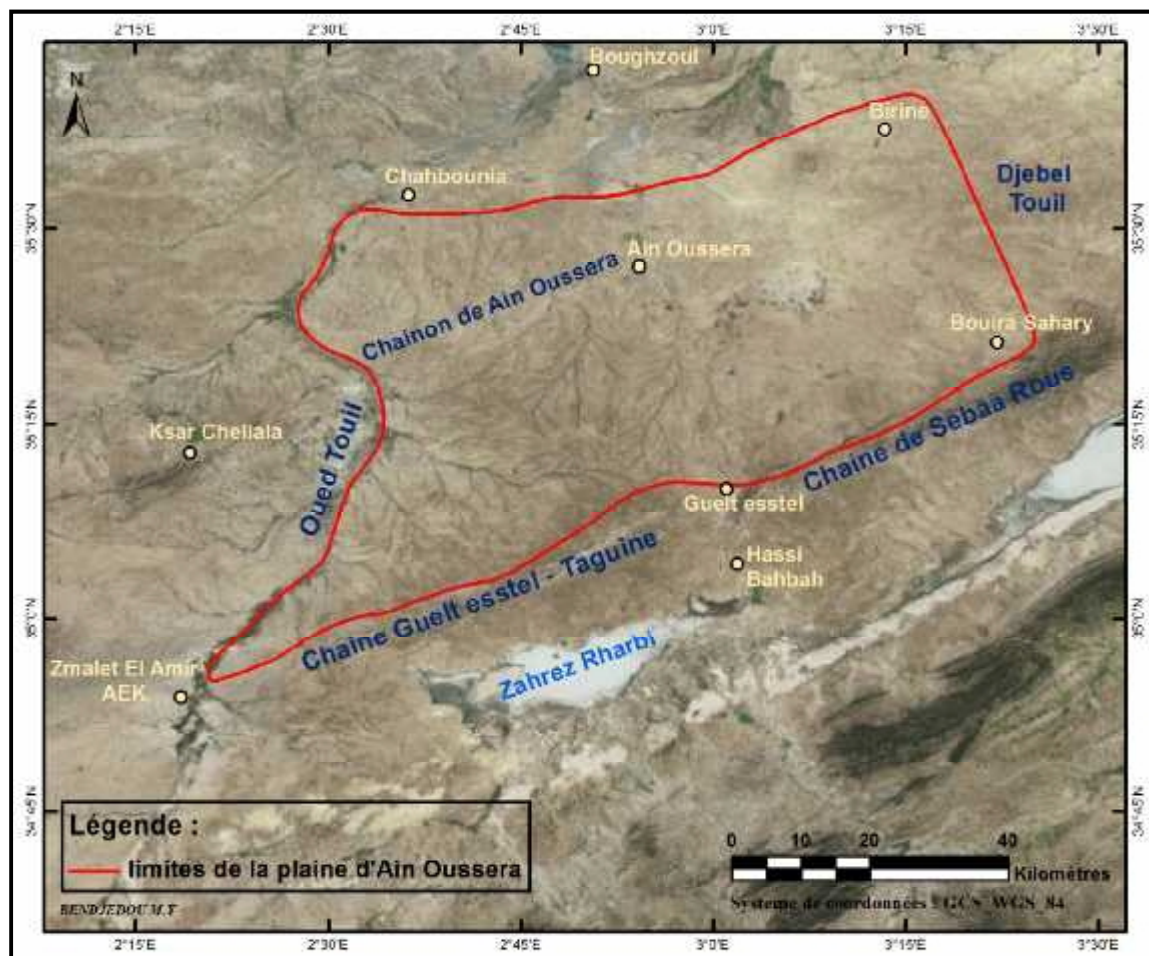


Figure 02 : Limites de la plaine d'Ain Oussera

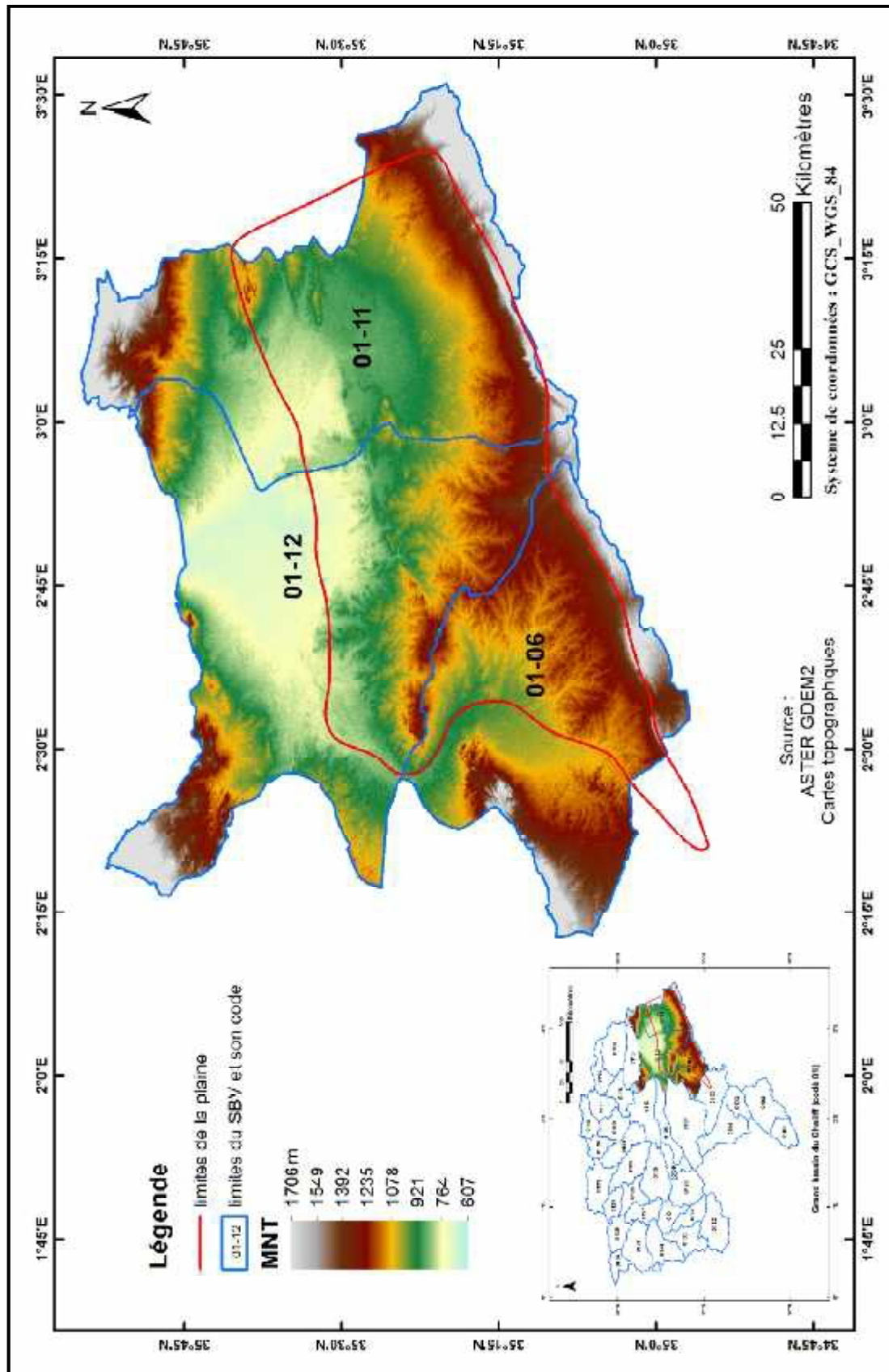


Figure 03 : MNT et limites des trois sous bassins versants (01-12, 01-11 et 01-06)

.2.3/ Caractéristiques géométriques des sous bassins versants :

Le périmètre de chacun des sous bassins ainsi que la superficie ont été calculés à l'aide du logiciel ArcGIS, les résultats obtenus sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau 01 : Périmètres et superficies des sous bassins versants

Sous bassin	Périmètre (km)	Superficie (km ²)
Daïat Boughzoul (01-12)	340,37	2815,84
Daïat El Firania (01-11)	279,68	2364,56
Oued Touil (01-06)	203,09	1746,80

.2.3.1/ Coefficient de compacité de Gravelius (K_C) :

Il est établi en comparant le périmètre du bassin à celui d'un cercle qui aurait la même surface. Cet indice permet de percevoir l'écoulement de surface sur le bassin par rapport à celui d'un cercle. La forme va avoir donc une influence sur l'écoulement global et surtout sur l'allure de l'hydrogramme résultant d'une pluie donnée. Il s'obtient en appliquant la formule :

$$K_C = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Tableau 02 : Valeurs des coefficients de compacité (K_C) des sous bassins

Sous bassin	K _C
Daïat Boughzoul (01-12)	1,80
Daïat El Firania (01-11)	1,61
Oued Touil (01-06)	1.36

Les valeurs de (K_C) pour les trois sous bassins, caractérisent des bassins de formes allongées où la concentration des eaux de ruissellement à l'exutoire se fait lentement .

.2.3.2/ Rectangle équivalent :

On considère que l'écoulement dans chacun des trois sous bassins, est approximativement le même que sur un rectangle ayant le même périmètre et la même superficie du sous bassin .

La longueur (L) et la largeur (l) du rectangle équivalent sont calculées à partir des formules empiriques suivantes :

$$L = (K_C \sqrt{A} / 1,12) [1 + \sqrt{1 - (1,12/K_C)^2}]$$

$$l = (K_C \sqrt{A} / 1,12) [1 - \sqrt{1 - (1,12/K_C)^2}]$$

Tableau 03 : Valeurs des rectangles équivalents des sous bassins

Sous bassin	Rectangle équivalent	
	Longueur (km)	Largeur (km)
Daïat Boughzoul (01-12)	152,04	18,52
Daïat El Firania (01-11)	120,12	19,69
Oued Touil (01-06)	79,54	21,96

Donc les valeurs des longueurs et des largeurs des rectangles équivalents confirment bien l’allongement des bassins .

.2.4/ Caractéristiques de relief :

.2.4.1/ Répartition des surfaces en fonction de l’altitude :

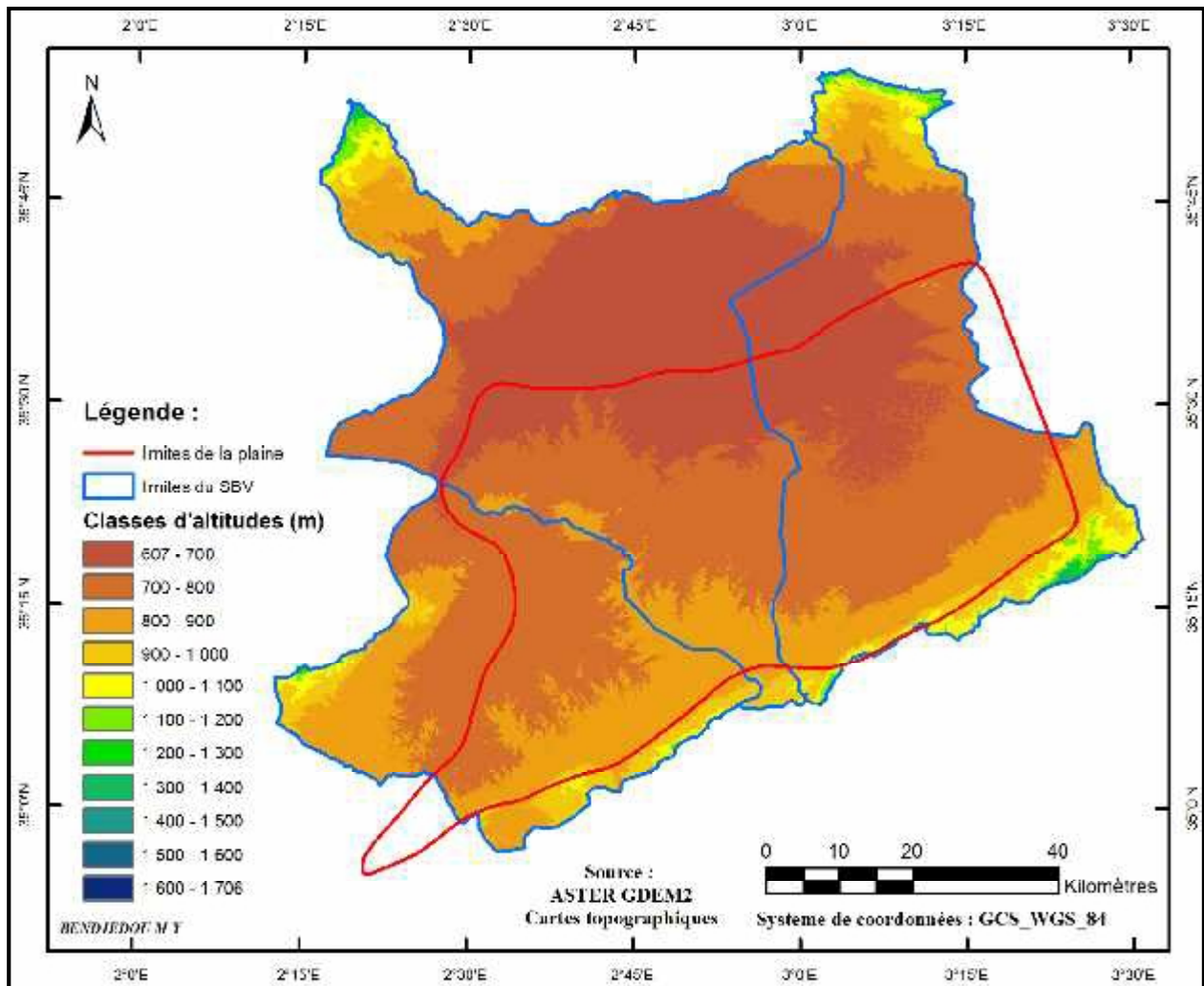


Figure 04 : Carte des tranches d’altitudes des trois sous bassins versants (01-12, 01-11 et 01-06)

Tableau 04 : Répartition altimétrique des surfaces de l'ensemble des trois sous bassins

Tranche d'altitude (m)	Surface (Km ²)	Surface (%)
607 – 700	1843,87	26,62
700 – 800	2976,55	42,97
800 – 900	1472,14	21,25
900 – 1000	372,64	5,38
1000 – 1100	167,68	2,42
1100 – 1200	70,50	1,02
1200 – 1300	16,09	0,23
1300 – 1400	6,34	0,09
1400 – 1500	0,86	0,012
1500 – 1600	0,21	0,003
1600 – 1706	0,20	0,003
Total	6927,10	100

L'interprétation de la carte de la répartition des surfaces en fonction de l'altitude montre que la région d'Ain Oussera est d'une manière générale très monotone, elle se caractérise par des reliefs subhorizontaux sachant que les surfaces les plus dominantes (90,84 % de l'ensemble des 3 SBV) sont comprises entre (607-900 m) d'altitude, représentant une vaste plaine .

Le reste des altitudes (> 900m), se localise dans quelques points culminants sur les bordures des sous bassins versants .

En ce qui concerne le secteur d'étude, en l'occurrence la plaine d'Ain Oussera, sa topographie est globalement plate, monotone, avec des altitudes comprises entre 628-1181 m qui augmentent faiblement du Nord vers le Sud .

.2.4.2/ Hypsométrie des sous bassins versants :

La courbe hypsométrique exprime le pourcentage de superficie du bassin au-delà d'une certaine élévation dont elle est le portrait le plus précis, c'est aussi un reflet de son état d'équilibre dynamique potentiel .

Nous avons procédé à l'établissement des courbes hypsométriques des trois sous bassins (Daïat Boughzoul(01-12), Daïat El Firania (01-11) et Oued Touil (01-06)) .

La forme de ces courbes traduit dans l'ensemble une dynamique d'un bassin en stade d'équilibre.

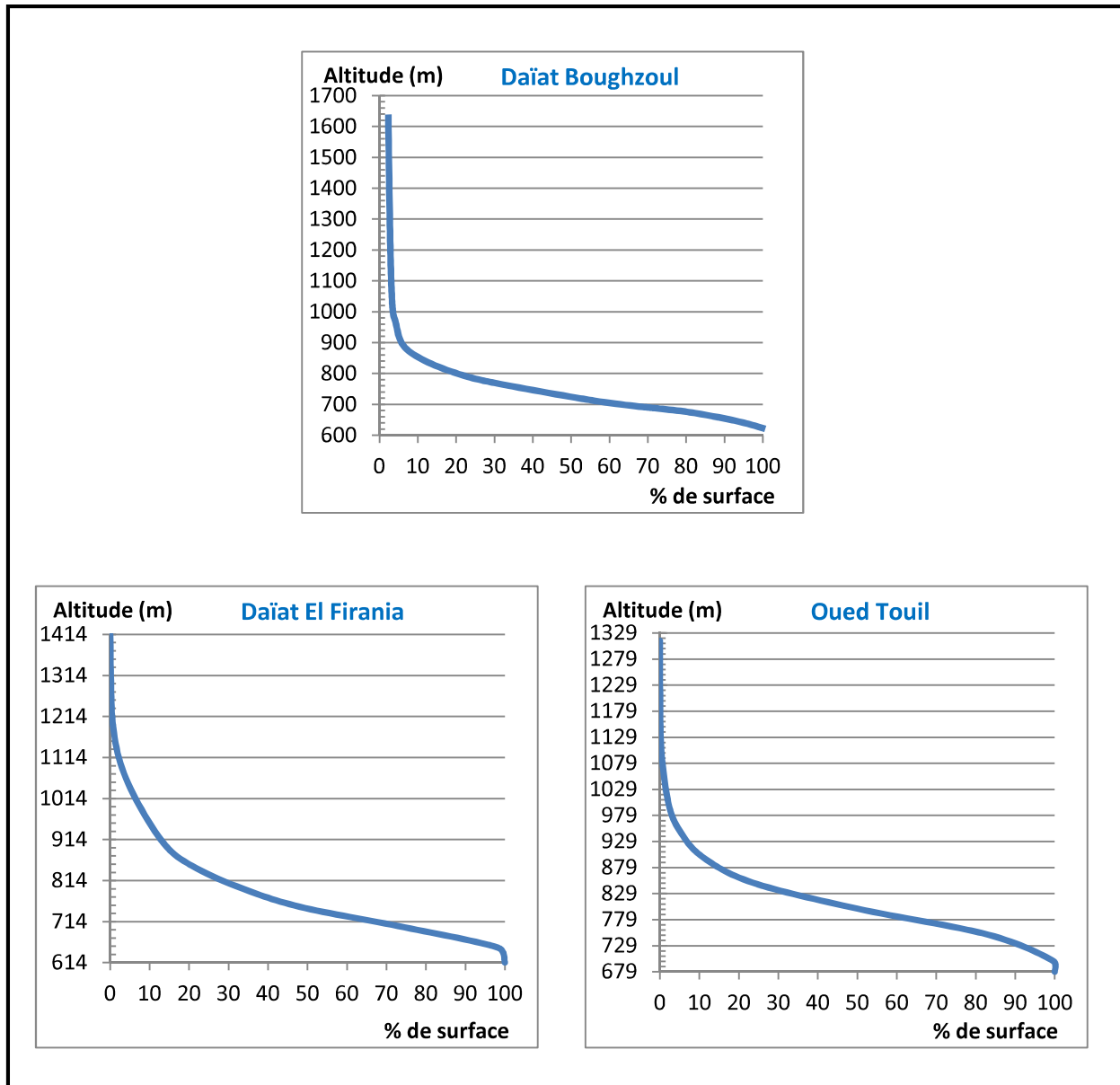


Figure 05 : Courbes hypsométriques des trois sous bassins versants (01-12, 01-11 et 01-06)

.2.4.3/ Les altitudes caractéristiques :

.2.4.3.1/ Altitude de fréquence ($H_{1/2}$) :

Correspond à l'altitude de la médiane (50% du pourcentage de surface) de la courbe hypsométrique, Cette grandeur se rapproche de l'altitude moyenne dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin concerné présente une pente régulière .

Tableau 05 : Altitudes de fréquence des sous bassins versants

Sous bassin versant	Altitude de fréquence (m)
Daïat Boughzoul (01-12)	710
Daïat El Firania (01-11)	740
Oued Touil (01-06)	779

.2.4.3.2/ Altitude moyenne (H_{moy}) :

Elle est calculée à partir de la formule suivante :

$$H_{moy} = \frac{\sum(\Delta Hi \cdot Si)}{St}$$

ΔHi : moyenne entre deux courbes de niveau (m) ;

$$\Delta Hi = \frac{Hi + Hi+1}{2}$$

Si : surface partielle entre deux courbes de niveau (km²) ;

St : surface totale du bassin versant (km²) .

Tableau 06 : Altitudes moyennes des sous bassins versants

Sous bassin versant	Altitude moyenne (m)
Daïat Boughzoul (01-12)	732
Daïat El Firania (01-11)	783
Oued Touil (01-06)	813

.2.4.4/ Indices de pente :

.2.4.4.1/ Indice de pente de Roche (I_p) :

Cet indice se calcule à partir du rectangle équivalent. Il est égal à la somme des racines carrées des pentes moyennes de chacun des éléments pondérés par les surfaces, soit :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_1^i \sqrt{(a_i \cdot d_i)}$$

Avec : I_p : Indice de pente de Roche (%) ;

L : Longueur du rectangle équivalent (km) ;

a_i : Fraction de la surface totale comprise entre deux courbes de niveau voisines ;

d_i : distance séparant les deux courbes de niveau voisines (m) .

Les indices de pente de Roche des trois SBV étudiés figurent dans le tableau ci-dessous :

Tableau 07 : Indices de pente de Roche des sous bassins versants

Sous bassin versant	Indice de pente de Roche (I_p) (%)
Daïat Boughzoul (01-12)	1,67
Daïat El Firania (01-11)	2,02
Oued Touil (01-06)	2,07

.2.4.4.2/ Indice de pente globale (I_g) :

Il s'obtient à partir de la formule suivante :

$$I_g = \frac{D_u}{L} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L}$$

Avec : D_u : dénivelée utile (m) ; L : longueur du rectangle équivalent (m) .

Tableau 08 : Indices de pente globale des sous bassins versants

Sous bassin versant	D_u (m)	Indice de pente globale (I_g)	Classification du SBV selon l'O.R.S.T.O.M
Daïat Boughzoul (01-12)	260	0,0017	Relief très faible
Daïat El Firania (01-11)	384	0,0032	Relief faible
Oued Touil (01-06)	229	0,0029	Relief faible

.2.4.4.3/ Dénivelée spécifique :

La dénivelée spécifique (D_s) dérive de la pente globale (I_g) en la corrigeant de l'effet de surface. Elle s'obtient donc en appliquant la formule :

$$D_s = I_g \sqrt{S} = D_u \sqrt{\frac{l}{L}} \quad , m$$

Tableau 09 : Dénivelées spécifiques des sous bassins versants

Sous bassin versant	D_s (m)	Classification du SBV selon l'O.R.S.T.O.M
Daïat Boughzoul (01-12)	90,74	Relief modéré
Daïat El Firania (01-11)	155,47	Relief assez fort
Oued Touil (01-06)	120,33	Relief assez fort

.2.4.5/ Etude des pentes :

La caractérisation des pentes des bassins versants est un critère important puisque la pente détermine le régime des écoulements superficiels ainsi que la dynamique de l'érosion. La carte des pentes a été dérivée du modèle numérique de terrain (MNT) de la région .

L'application d'une classification sur les pentes s'avère nécessaire pour faciliter l'identification de grand secteur de rupture de pentes. Notre choix s'est porté vers une discrimination en 4 classes :

Tableau 10 : Classe des pentes et superficies correspondantes

Pente	Classe des pentes (°)	Superficie en %
P1 (très faible)	0 - 2	71,93
P2 (faible)	2 - 5	21,79
P3 (modérée)	5 - 10	4,25
P4 (forte à très abrupte)	10 - 59	2,03

L'analyse de la carte des pentes ainsi que le tableau 10, montre que les zones à pente très faible et faible couvrent la grande partie de l'ensemble des trois sous bassins étudiés, soit 93,72 % de la superficie totale, alors que celles à pente modérée et forte à très abrupte occupent seulement 6,28 % de l'ensemble des trois sous bassins .

.2.5/ Caractéristiques du chevelu hydrographique :

.2.5.1/ Réseau hydrographique :

Le chevelu hydrographique de la plaine d'Ain Oussera présente une forme souvent rectiligne, leur orientation étant en partie conditionnée par la fracturation .

Le sous bassin Daïat Boughzoul comprend quatre Oueds importants : Mouilah, Boucedraia, Ouerq, Nahar Oussel. Le sous bassin Daïat El Firania présente plusieurs Oueds tel que : Oued El Gussar, El Merabet, Faid El Karia, Mertim, Fourtas et Meriza. Ces Oueds se perdent dans la plaine probablement par les failles drainantes qui passeraient au Sud de la ville d'Ain Oussera . L'Oued Touil est le principal Oued du sous bassin "Oued Touil", ses affluents sont Oued Makhloufi, Oued Ben Maarouf et Oued Guernini. Les Oueds coulent globalement du Sud vers le Nord .

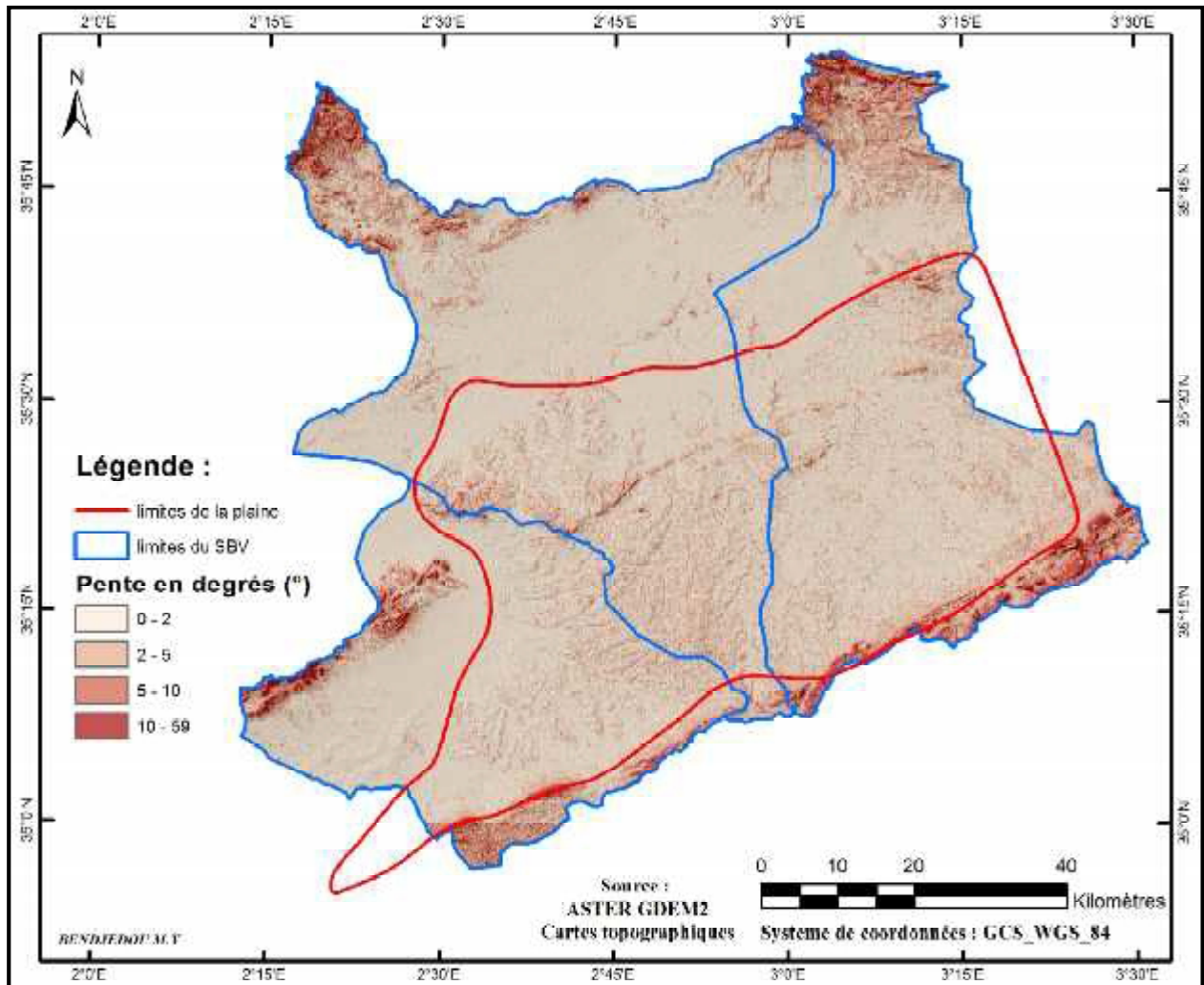


Figure 06 : Carte des pentes des trois sous bassins versants (01-12, 01-11 et 01-06)

.2.5.2/ Hiérarchisation du chevelu hydrographique :

Pour chiffrer la ramification du réseau, chaque cours d'eau reçoit un numéro fonction de son importance, cette numérotation diffère selon les auteurs, parmi les classifications, nous adoptons celle de Strahler :

- Tout cours d'eau n'ayant pas d'affluents est dit d'ordre 1 ;
- Au confluent de deux cours d'eau de même ordre n , le cours d'eau résultant est d'ordre $n + 1$;
- Un cours d'eau recevant un affluent d'ordre inférieur, garde son ordre .

.2.5.3/ Les rapports morphométriques (lois de Horton) :

Horton à établi des lois empiriques reliant le nombre, la longueur moyenne et l'ordre des cours d'eau, ce sont le rapport de confluence (R_C) et le rapport des longueurs moyennes (R_L) .

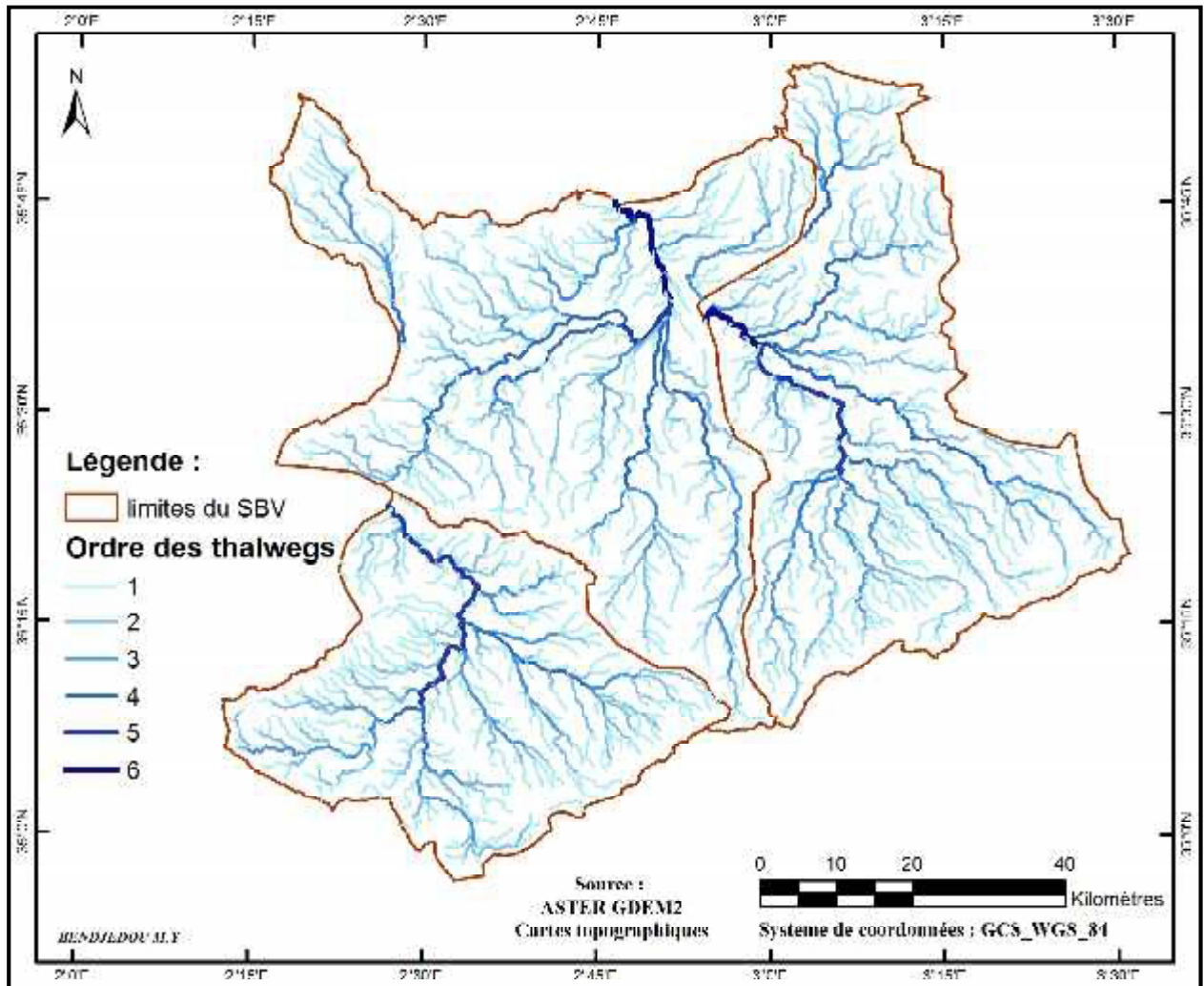


Figure 07 : Carte du chevelu hydrographique des trois sous bassins versants (01-12, 01-11 et 01-06)

.2.5.3.1/ Rapport de confluence (R_C) :

Il se définit par le quotient du nombre de thalwegs (N) d'ordre (i) par celui des thalwegs d'ordre supérieur ($i+1$). Il exprime le développement du réseau de drainage .

$$R_C = \frac{N_i}{N_{i+1}}$$

D'après le tableau ci-après, les valeurs du rapport de confluence sont relativement faibles, indiquent que les bassins présentent une bonne hiérarchisation des thalwegs .

Tableau 11 : Nombres des thalwegs et rapports de confluence des sous bassins versants

Sous bassin versant	Ordre (<i>i</i>)	Nombre (<i>N_i</i>)	<i>R_C</i>
Daïat Boughzoul (01-12)	1	338	
	2	78	4,333
	3	19	4,105
	4	6	3,167
	5	2	3,000
	6	1	2,000
	Moyenne de <i>R_C</i>		3,321
Daïat El Firania (01-11)	1	331	
	2	66	5,015
	3	21	3,143
	4	7	3,000
	5	2	3,500
	6	1	2,000
	Moyenne de <i>R_C</i>		3,332
Oued Touil (01-06)	1	272	
	2	65	4,185
	3	15	4,333
	4	4	3,750
	5	1	4,000
	Moyenne de <i>R_C</i>		4,067

.2.5.3.2/ Rapport de longueur moyenne (*R_L*) :

C'est le quotient de la longueur moyenne (*L_m*) des thalwegs d'ordre (*i*) par celle des thalwegs d'ordre immédiatement inférieur (*i-1*) .

$$R_L = \frac{L_m(i)}{L_m(i-1)}$$

Tableau 12 : longueurs des thalwegs et rapports de longueur des sous bassins versants

Sous bassin versant	Ordre (i)	Longueur L_i (km)	Longueur moyenne L_m (km)	R_L
Daïat Boughzoul (01-12)	1	798,28	2,36	
	2	428,89	5,50	2,328
	3	165,00	8,68	1,579
	4	129,36	21,56	2,483
	5	12,06	6,03	0,280
	6	18,71	18,71	3,101
	Moyenne de R_L			1,954
Daïat El Firania (01-11)	1	727,30	2,20	
	2	386,22	5,85	2,659
	3	189,99	9,05	1,547
	4	101,47	14,50	1,602
	5	28,30	14,15	0,976
	6	10,98	10,98	0,776
	Moyenne de R_L			1,512
Oued Touil (01-06)	1	630,04	2,32	
	2	279,73	4,30	1,853
	3	131,43	8,76	2,037
	4	36,60	9,15	1,045
	5	42,46	42,46	4,640
	Moyenne de R_L			2,394

.2.5.4/ Densité de drainage (D_d):

Elle se définit par le rapport de la longueur totale des cours d'eau à la surface totale du bassin versant. Elle permet de donner une idée sur l'importance du réseau hydrographique .

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

Tableau 13 : Densités de drainage des sous bassins versants

Sous bassin	D_d (km/km ²)
Daïat Boughzoul (01-12)	0,551
Daïat El Firania (01-11)	0,611
Oued Touil (01-06)	0,641

Les valeurs obtenues indiquent que le réseau hydrographique est peu développé ou très limité .

.2.5.5/ Densité des thalwegs élémentaires (F_1) :

C'est le rapport du nombre total des thalwegs d'ordre 1 à la surface totale du bassin versant .
Les résultats obtenus confirment le faible drainage des surfaces du bassin .

$$F_1 = \frac{N_1}{S}$$

Tableau 14 : Densités des thalwegs élémentaires des sous bassins versants

Sous bassin	F_1
Daïat Boughzoul (01-12)	0,120
Daïat El Firania (01-11)	0,140
Oued Touil (01-06)	0,156

.2.5.6/ Coefficient de torrentialité (C_t) :

Il est défini comme étant le produit de la densité de drainage (D_d) et la densité des thalwegs élémentaires (F_1) .

$$C_t = D_d \cdot F_1$$

Tableau 15 : Valeurs du Coefficient de torrentialité des sous bassins versants

Sous bassin	C_t
Daïat Boughzoul (01-12)	0,066
Daïat El Firania (01-11)	0,086
Oued Touil (01-06)	0,100

Enfin, on peut résumer toutes les caractéristiques géométriques et morphométriques déterminées dans le tableau ci-après :

Tableau 16 : Récapitulatif des paramètres géométriques et morphométriques des trois sous bassins versants (01-12, 01-11 et 01-06)

Caractéristiques géométriques	Sous bassin versant		
	01-12	01-11	01-06
Surface , S (km ²)	2815,84	2364,56	1746,80
Périmètre , P (km)	340,37	279,68	203,09
Coefficient de compacité de Gravelius , K _C	1,80	1,61	1,36
Longueur du rectangle équivalent , L (km)	152,04	120,12	79,54
Largeur du rectangle équivalent , L (km)	18,52	19,69	21,96
Caractéristiques de relief	01-12	01-11	01-06
Altitude maximale , H _{max} (m)	1706	1414	1314
Altitude minimale , H _{min} (m)	607	614	679
Altitude de fréquence , H _{1/2} (m)	710	740	779
Altitude moyenne , H _{moy} (m)	732	783	813
Indice de pente de Roche , I _p (%)	1,67	2,02	2,07
Indice de pente globale , I _g	0,0017	0,0032	0,0029
Dénivelée utile , D _u (m)	260	384	229
Dénivelée spécifique , D _s (m)	90,74	155,47	120,33
Caractéristiques du chevelu hydrographique	01-12	01-11	01-06
Nombre d'ordre des thalwegs	6	6	5
Nombre total des thalwegs	444	428	357
Longueur totale des thalwegs , L (km)	1552,30	1444,27	1120,25
Rapport de confluence , R _C	3,321	3,332	4,067
Rapport de longueur moyenne , R _L	1,954	1,512	2,394
Densité de drainage , D _d (km/km ²)	0,551	0,611	0,641
Densité des thalwegs élémentaires , F1 (thalwegs/km ²)	0,120	0,140	0,156
Coefficient de torrentialité , C _t	0,066	0,086	0,100

L'estimation des différents paramètres géométriques et morphométriques des trois sous bassins versants étudiés (01-12, 01-11 et 01-06) a permis de définir des bassins caractérisés globalement par une topographie plate monotone, sachant que les surfaces les plus dominantes sont comprises entre (607-900 m) d'altitude; des formes allongées et un faible drainage des surfaces où la concentration des eaux de ruissellement à l'exutoire se fait lentement et un réseau hydrographique peu développé ou très limité .

.3/ Caractéristiques hydroclimatologiques et estimation de la recharge :

.3.1/ Introduction :

Dans les environnements semi-arides, les processus de la recharge sont hétérogènes et variables dans l'espace et dans le temps. Cette hétérogénéité est liée à la forte variabilité des paramètres hydrologiques (pluviométrie, ruissellement et infiltration) qui augmente avec l'aridité (LEDUC, 2003 in AHMED SALEM, 2012) .

Dans l'optique de cette étude, un traitement des données hydroclimatologiques sert à définir les paramètres nécessaires à l'établissement du bilan hydrique. La pluviométrie demeure l'élément le plus important qui conditionne la recharge de la nappe .

.3.2/ Etude des paramètres climatiques :

Pour l'estimation des valeurs moyennes de ces principaux paramètres, nous disposons uniquement des données météorologiques de la station d'Ain Oussera (période 1991/2011). En ce qui concerne les précipitations, les données sont disponibles (service hydrologie, ANRH) au niveau des 7 stations pluviométriques (tableau 17), à noter que certaines de ces stations présentent quelques lacunes .

.3.2.1/ Pluviométrie :

La détermination de la lame d'eau moyenne sur une région avec un degré requis de précision se fait, en général, à l'aide d'un réseau dense de stations pluviométriques, réparties d'une manière la plus équitable possible .

Pour notre zone d'étude, les caractéristiques des postes pluviométriques sont consignées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 17 : Caractéristiques des stations pluviométriques de la plaine d'Ain Oussera

Code	Station	Coordonnées UTM (km)		Coordonnées Géographiques		Alt (m)	période	Moyenne annuelle (mm)
		X	Y	Long	Lat			
011205	Ain Oussera	491,274	3.923,233	2,9038°	35,4525°	690	1914-2011	231,1
011206	Chahbounia	464,107	3.933,366	2,6040°	35,5433°	665	1980-2004	142,2
011101	Guelt esstel	501,540	3.891,563	3,0169°	35,1670°	918	1914-1979	297,6
011102	Had Sahary	533,486	3.912,453	3,3686°	35,3548°	830	1967-2011	227,9
011106	Birine	520,131	3.942,844	3,2223°	35,6292°	745	1985-2007	228,8
010704	Ksar Chellala	438,100	3.896,894	2,3199°	35,2132°	850	1985-2007	214,9
010502	Zmalet El Amir AEK	436,798	3.861,851	2,3083°	34,8971°	850	1980-2004	111,0

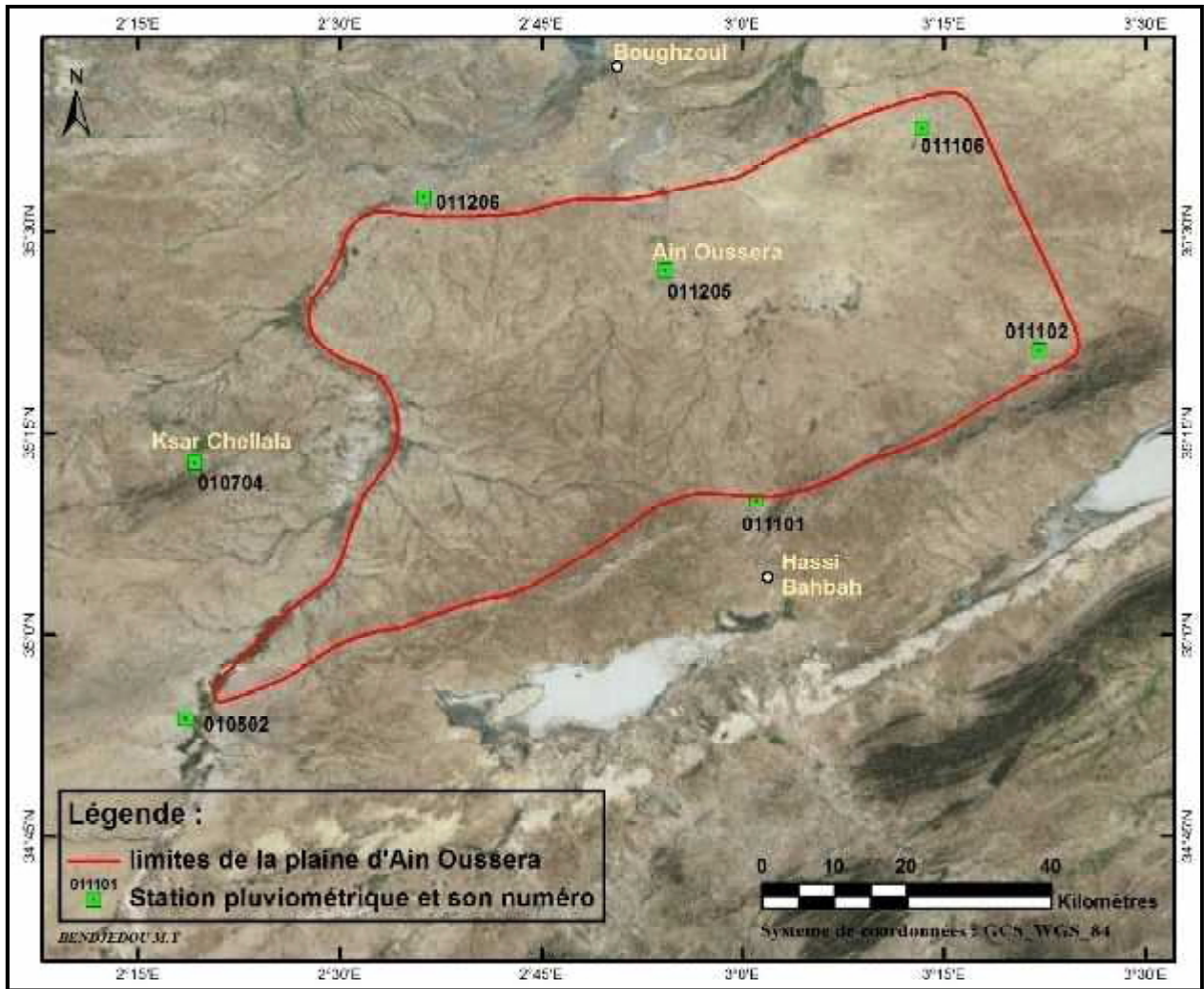


Figure 08 : Localisation des stations pluviométriques de la plaine d’Ain Oussera

.3.2.1.1/ Variations interannuelles des précipitations :

L’examen des séries chronologiques montre que les valeurs des précipitations moyennes annuelles de la plaine d’Ain Oussera sont faibles et très irrégulières, variant entre 111 mm (station de Zmalet El Amir AEK) et avoisinant les 300 mm à la station de Guelt esstel (tableau 17).

En examinant la figure 09, on constate que la pluviométrie annuelle dans la région d’Ain Oussera, a globalement diminuée depuis les années 1920. Cette diminution serait due à la sécheresse .

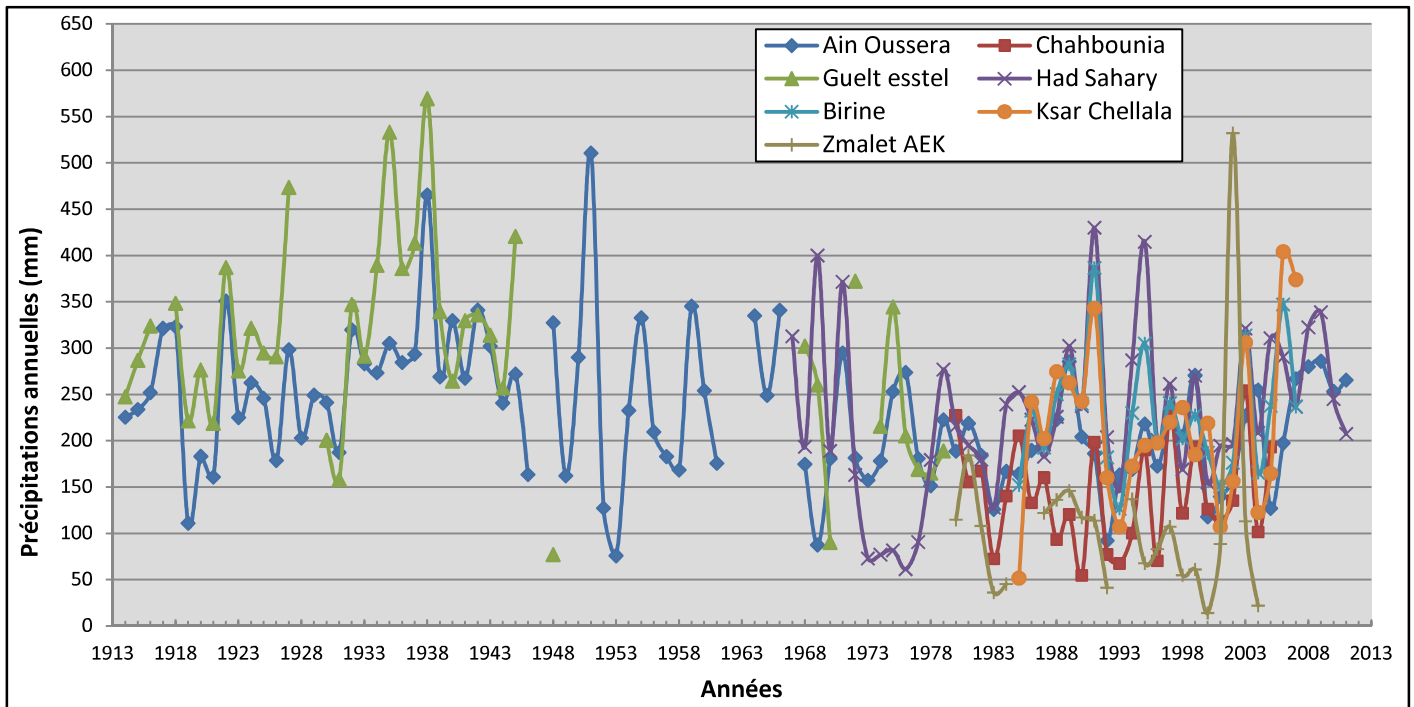


Figure 09 : Evolution des précipitations annuelles sur les 07 stations de la plaine d’Ain Oussera

3.2.1.2/ Variations moyennes mensuelles des précipitations :

Les précipitations mensuelles moyennes calculées pour les 07 stations (tableau 18) présentées sur la Figure 10 ci-après, montrent que la période sèche se situe entre Juin et Août (précipitations moyennes comprises entre 5 et 10 mm). Il pleut en moyenne entre 15 et 25 mm par mois le reste de l’année avec des périodes plus pluvieuses entre Septembre et Décembre et autour d’Avril et Mai .

Tableau 18 : Précipitations moyennes mensuelles des 7 stations de la plaine d’Ain Oussera

Station \ Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Annuelle
Ain Oussera (011205)	21,5	25,7	22,0	20,2	22,0	17,2	21,6	24,1	27,8	15,5	5,1	8,4	231,1
Chahbounia (011206)	15,0	17,8	14,5	16,4	16,7	12,7	11,2	12,5	15,2	6,5	0,9	2,8	142,2
Guelt esstel (011101)	29,6	28,8	35,0	29,2	29,2	23,6	26,6	26,1	35,7	19,6	4,3	10,1	297,6
Had Sahary (011102)	25,1	25,8	22,0	18,8	20,7	17,8	20,1	25,4	26,7	11,1	6,6	7,8	227,9
Birine (011106)	24,8	25,3	21,7	19,9	21,1	18,2	20,4	22,9	26,8	10,6	8,2	8,9	228,8
Ksar Chellala (010704)	23,4	23,0	19,9	21,0	19,3	16,5	17,7	17,5	26,9	10,2	9,8	9,9	214,9
Zmalet El Amir AEK (010502)	5,8	14,5	11,4	20,4	5,9	6,6	9,8	13,4	13,5	5,2	0,3	4,2	111,0

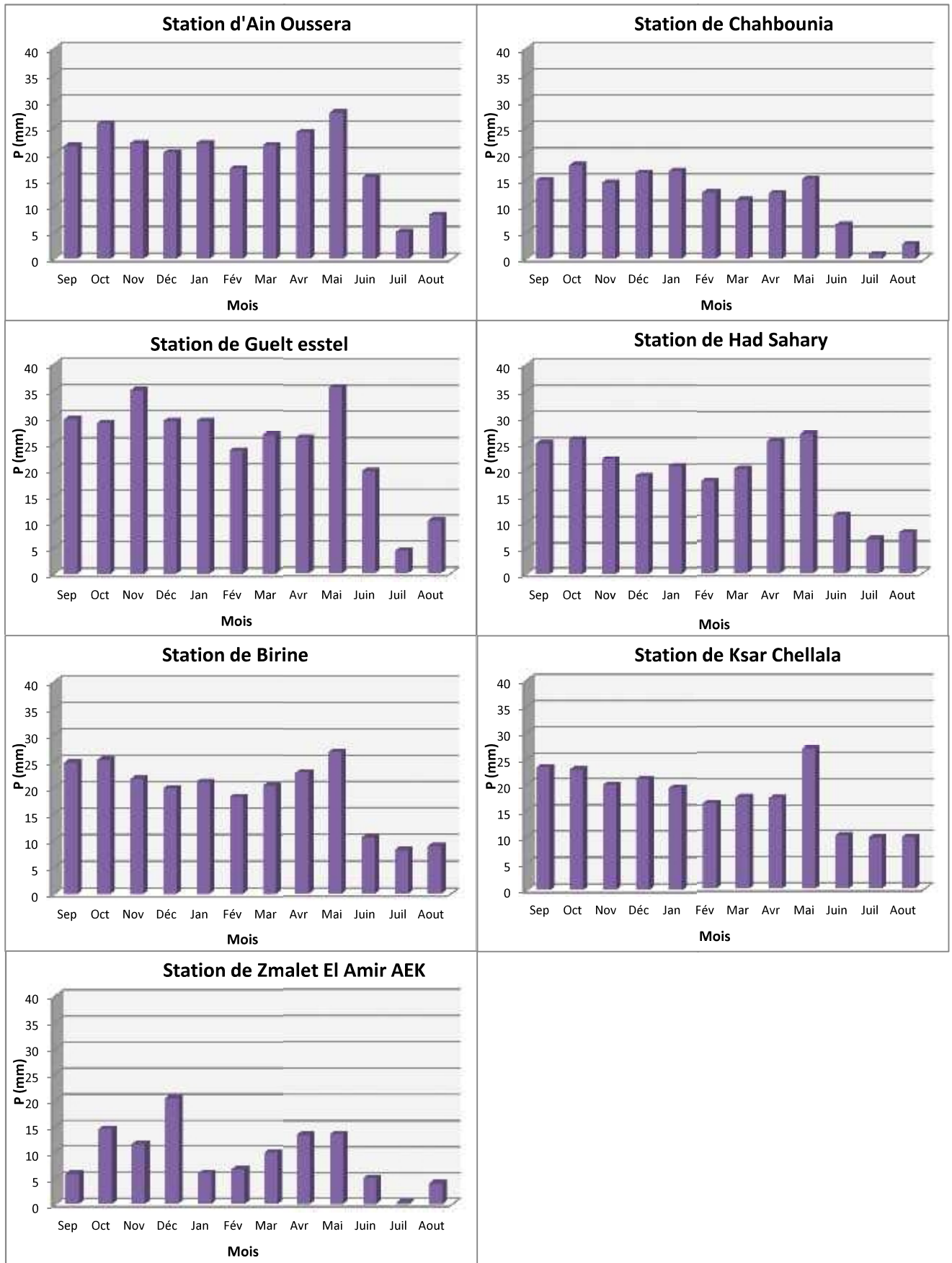


Figure 10 : Variation des précipitations moyennes mensuelles

.3.2.1.3/ Evaluation de la lame d'eau moyenne annuelle précipitée :

Pour l'évaluation de la lame d'eau moyenne précipitée, on va utiliser les données des 7 stations mentionnées dans le tableau 17 .

➤ **Méthode de la moyenne arithmétique :**

C'est la méthode la plus rapide, elle consiste à calculer la moyenne arithmétique des précipitations observées à chaque station . Cette méthode accorde une grande importance aux valeurs extrêmes . Son efficacité est meilleure pour les petits bassins où l'influence de l'altitude, de l'exposition et de la latitude sur les précipitations est partout identique (KHEMMOUDJ, 2009) .

$$P_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^N P_i}{N}$$

Avec : P_i : pluie enregistrée à la station "i" (mm) ; N : nombre de stations .

Le calcul nous donne une lame d'eau tombée de l'ordre de **207,6** mm .

➤ **Méthode des polygones de Thiessen :**

C'est la méthode la plus adoptée. Les surfaces d'influences (polygones) pour chaque station sont déterminées grâce au réseau de médiatrices des segments joignant les postes deux à deux . Chaque surface partielle est affectée de la hauteur annuelle moyenne de la station concernée . La somme des volumes d'eau précipitée au niveau de chaque polygone sera divisée par la surface totale de la plaine pour obtenir la lame d'eau tombée.

$$P_{moy} = \frac{\sum P_i S_i}{S_t}$$

Avec : P_i : pluie enregistrée à la station "i" (mm) ;

S_i : surface influencée par la station "i" (km²) ; S_t : surface totale (km²) .

Tableau 19 : Calcul de la lame d'eau précipitée (méthode des polygones de Thiessen)

Code de la station	P_i (mm)	S_i (km ²)	$P_i \cdot S_i$
011205	231,1	1028,19	237614,71
011206	142,2	582,06	82768,93
011101	297,6	777,98	231526,85
011102	227,9	470,68	107267,97
011106	228,8	494,86	113223,97
010704	214,9	286,22	61508,68
010502	111,0	149,26	16567,86
Total		3789,25	850478,97

L'application de cette méthode donne une lame d'eau précipitée de l'ordre de **224,4** mm .

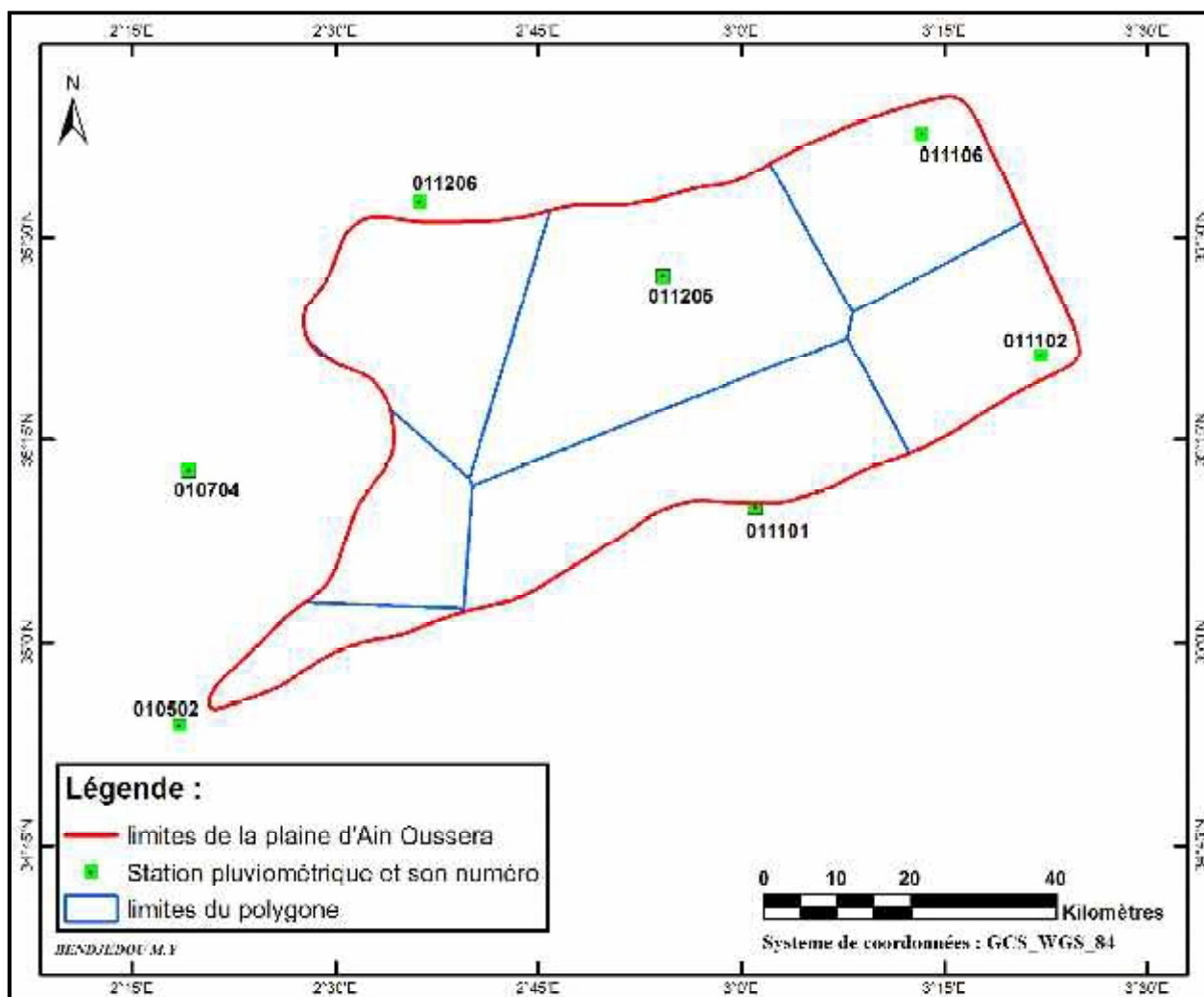


Figure 11 : Carte des polygones de Thiessen de la plaine d’Ain Oussera

3.2.2/ Température :

Les températures moyennes mensuelles observées à la station d’Ain Oussera sur 21 ans, varient fortement au cours de l’année. Elles oscillent entre un minima de 1,63°C et un maxima atteint en moyenne 37,71 °C (tableau 20) .

Tableau 20 : Valeurs des températures moyennes mensuelles , minimales et maximales et moyennes annuelles à la station d’Ain Oussera (1991-2011)

Mois T°C	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	M.A 1991- 2011
T minima moy (°C)	1,63	2,77	5,22	8,31	12,97	17,53	21,48	20,96	16,56	11,74	5,96	2,62	10,65
T moy mensuelle (°C)	6,55	8,14	11,77	14,14	19,97	25,85	29,67	29,18	22,67	17,79	12,24	7,31	17,11
T maxima moy (°C)	12,80	14,62	18,86	21,79	27,61	33,77	37,71	36,29	29,65	24,52	18,05	13,00	24,06

D'après le graphe de la figure (12), les trois courbes ont la même allure, l'analyse de ces courbes montrent deux périodes (saisons) distinctes :

- Une saison froide qui s'étend du mois de Novembre au mois d'Avril, Janvier étant le mois le plus froid de l'année avec une température moyenne de 6,55 °C .
- Une saison chaude s'étalant du mois de Mai au mois d'Octobre, Juillet étant le mois le plus sec et le plus chaud de l'année avec une température de 29,67 °C en moyenne. Nous constatons un écart assez élevée (23,12°C) entre les deux températures extrêmes indiquant ainsi la continentalité de la zone d'étude .

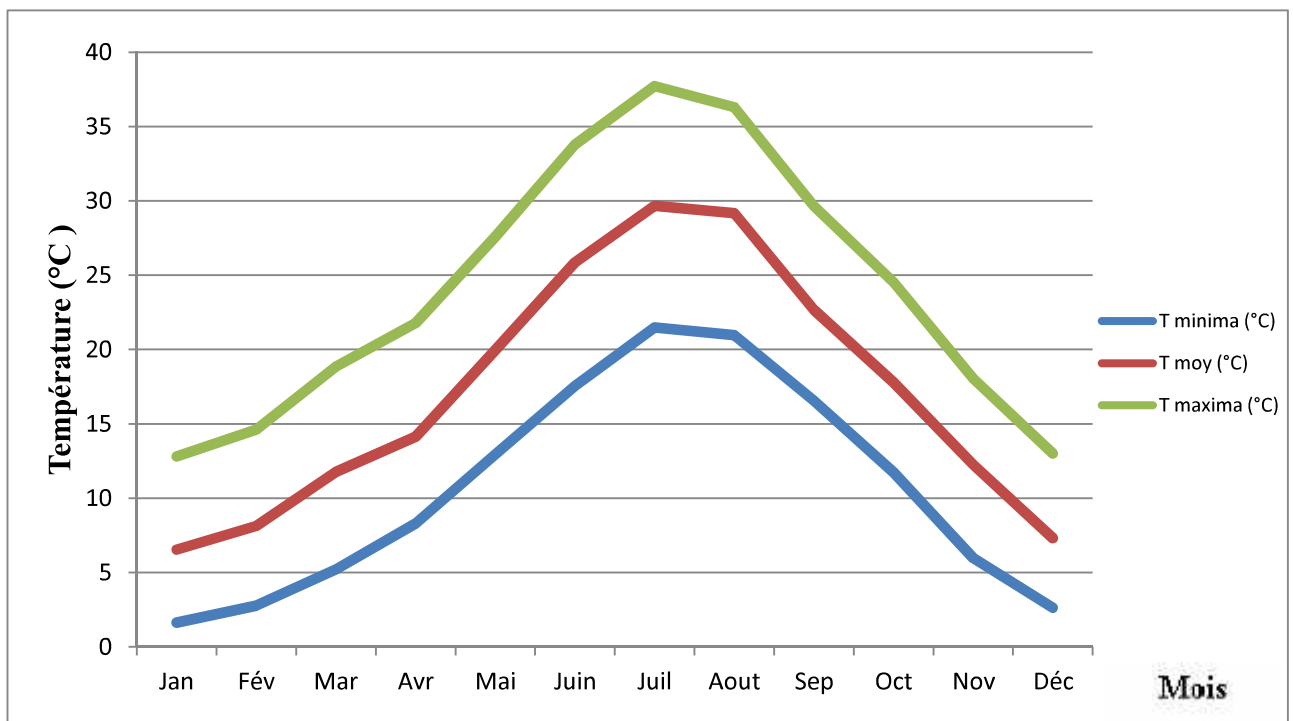


Figure 12 : Variation des températures moyennes mensuelles à la station d'Ain Oussera (1991-2011)

.3.2.3/ Humidité relative :

Elle est inférieure à 50 % aux mois de Juin, Juillet et Aout. Elle montre un écart assez élevé entre la période hivernale et estivale. L'humidité moyenne minimale est de l'ordre de 34 % enregistrée en Juillet, et celle maximale est de l'ordre de 81 % enregistrée en Janvier .

Tableau 21 : Valeurs des humidités relatives moyennes mensuelles à la station d’Ain Oussera (1991-2011)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	M.A
Humidité moy (%)	77,64	73,71	64,25	59,01	51,98	41,03	34,28	36,56	52,80	63,88	73,24	81,27	59,14

.3.3/ Régime climatique :

.3.3.1/ Diagramme Pluvio-thermique de Gaussen et Bagnouls :

Gaussen et Bagnouls considèrent un mois sec, quand le total des précipitations exprimé en (mm) est inférieur ou égal au double de la température moyenne mensuelle en (°C) du même mois (**P 2T**) .

Cette définition permet de tracer un diagramme Pluvio-thermique sur un graphique dans lequel les températures sont portées à l’échelle double des précipitations .

Tableau 22 : Valeurs moyennes mensuelles des précipitations (mm) et des températures (°C) à la station d’Ain Oussera (1991-2011)

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
P moy (mm)	20,0	18,2	18,8	21,4	22,1	9,9	7,3	6,5	29,9	28,3	18,5	20,4	221,3
T moy (°C)	6,55	8,14	11,77	14,14	19,97	25,85	29,67	29,18	22,67	17,79	12,24	7,31	17,11

Le diagramme Pluvio-thermique établi (fig. 13), montre que la période sèche s’étale du mois de Février jusqu’au mois de Novembre, seuls les mois de Décembre et de Janvier sont humides .

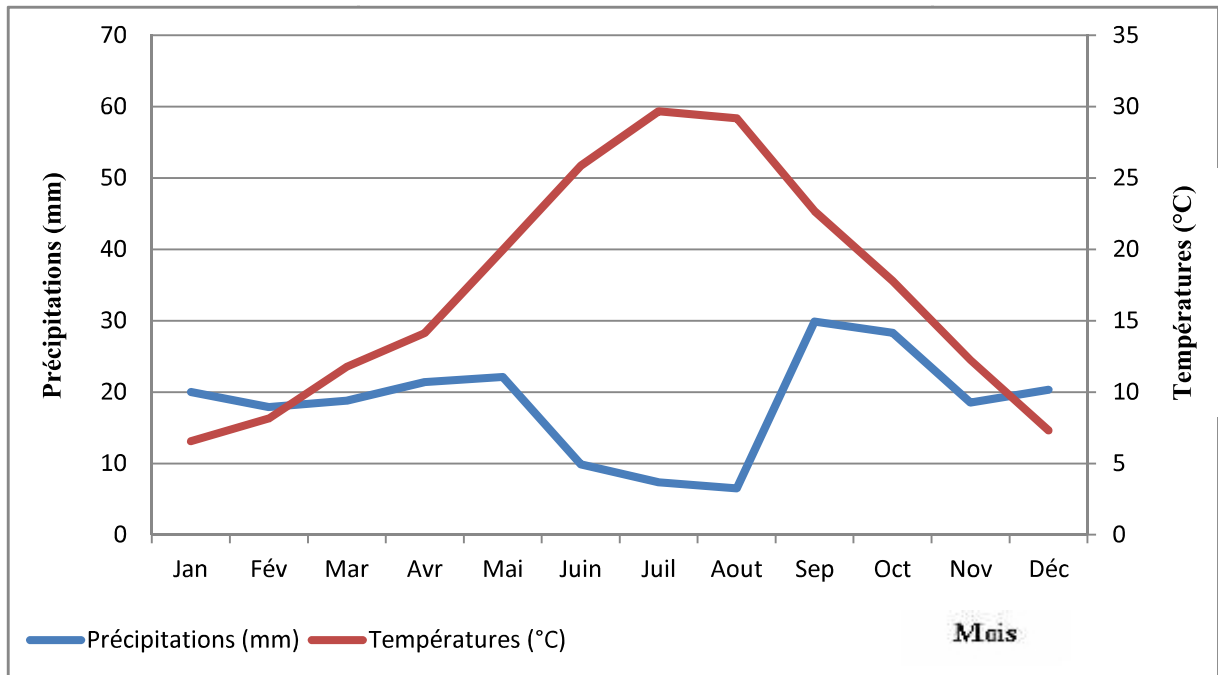


Figure 13 : Diagramme Pluvio-thermique pour la période (1991-2011) à la station d'Ain Oussera

.3.3.2/ Indice d'aridité de "De Martonne" :

En 1923, le géographe "De Martonne" a défini l'indice de l'aridité qui est fonction de deux paramètres climatiques : la température et la précipitation selon la formule suivante :

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

- Avec : **I** : indice de " De Martonne " .
P : précipitations annuelles, (mm) .
T : température moyenne annuelle , (°C) .

Tableau 23 : Classification de " De Martonne"

Indice "I"	I <5	5<I<7.5	7.5<I<10	10<I<20	I>20
Type de climat	hyperaride	désertique	steppique	Semi-aride	tempéré

Pour notre cas :

$P_{moy} = 221,3 \text{ mm}$

$T_{moy} = 17,11 \text{ } ^\circ\text{C} \Rightarrow A = 8,16$

Donc selon la classification de "De Martonne", la région d'Ain Oussera est caractérisée par un climat steppique .

.3.3.3/ Climagramme d'Emberger :

L'indice climatique d'Emberger, permet de définir cinq types de climats mentionnés dans le diagramme (fig. 14), allant du climat Saharien jusqu'à humide. En se basant sur le calcul des précipitations et des températures, on peut attribuer un type de climat à la région d'étude .

Le Climagramme d'Emberger comporte en ordonnées les valeurs du quotient pluviométrique d'Emberger (Q_2), et en abscisses les valeurs de la température moyenne minimum de la saison froide (T °C), où :

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

- Avec : Q_2 : quotient pluviométrique d'Emberger ;
 P : précipitations annuelles, (mm) ;
 M : moyenne des maxima du mois le plus chaud, (°K) ;
 m : moyenne des minima du mois le plus froid, (°K) .

Pour notre cas :

$$M = 37,71 + 273,15 = 310,86 \text{ °K}$$

$$m = 1,63 + 273,15 = 274,78 \text{ °K}$$

$$P = 221,3 \text{ mm}$$

$$\text{donc : } Q_2 = 20,95 \\ \text{et } T = 1,63 \text{ °C}$$

Selon le Climagramme d'Emberger (fig. 14), la région d'Ain Oussera est circonscrite dans l'étage bioclimatique aride à hiver frais .

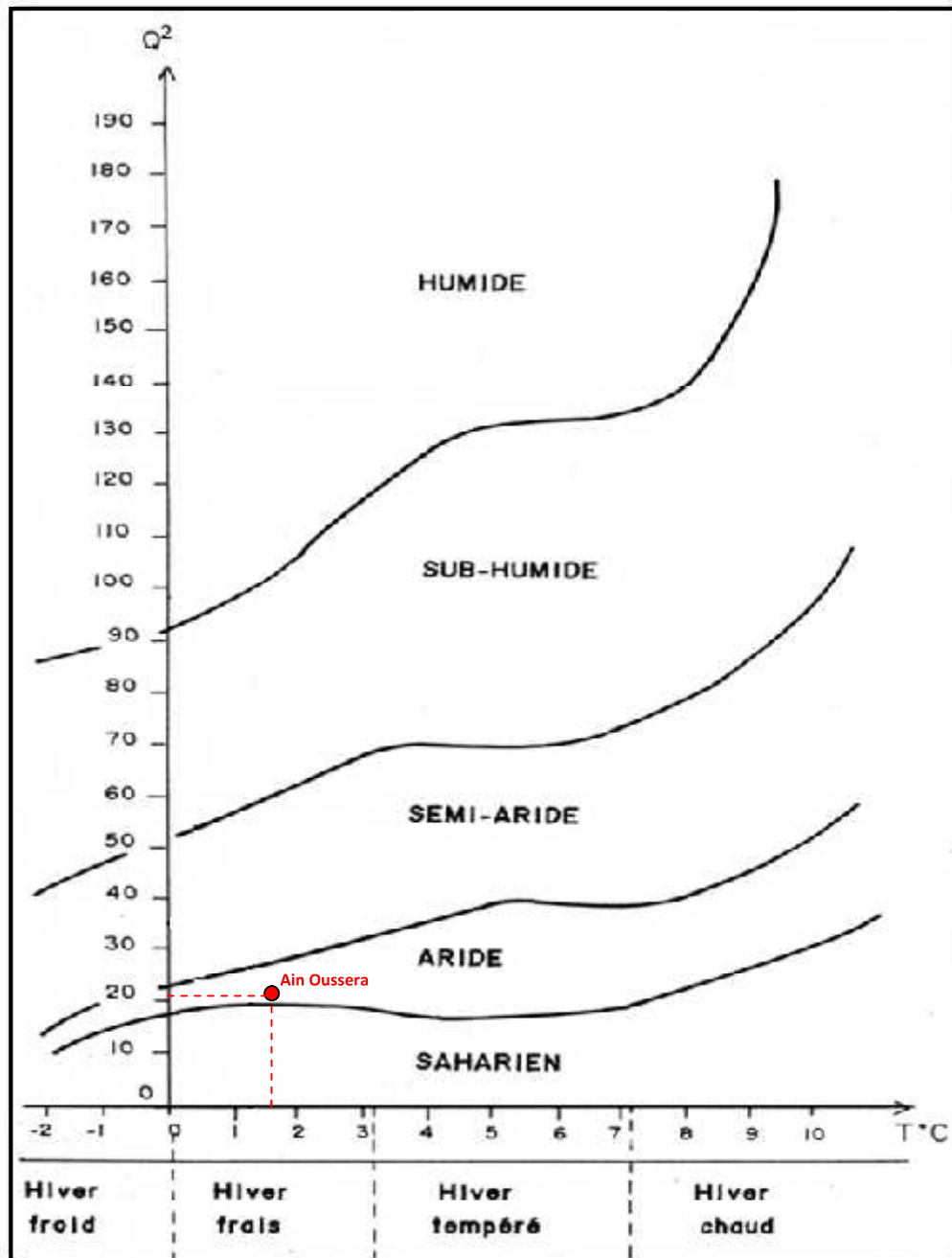


Figure 14 : Climagramme d'Emberger

.3.4/ Evapotranspiration :

C'est un phénomène physique qui voit se transformer un liquide en vapeur. Elle est fonction de la température et de la pression. Dans la nature, ce phénomène est pris en charge en partie par l'action des végétaux. La somme de ces effets nous donne l'évapotranspiration, cette dernière s'exprime en épaisseur d'eau évaporée pendant un certain temps (FOUCAULT, 2009) .

.3.4.1/ Evapotranspiration potentielle (ETP) :

L'évapotranspiration potentielle est la somme des quantités d'eau pouvant s'évaporer et transpirer sur une surface donnée pendant une période bien définie, en considérant les apports d'eau Suffisants .

Plusieurs formules ont été proposées par différents auteurs pour le calcul de l'ETP (Blaney et Criddle, Turc, Thornthwaite..), mais nous n'avons pas utilisé toute ces formules par manque de données nécessaires à leurs applications, on a choisi seulement la formule de Thornthwaite .

• Calcul de l'évapotranspiration potentielle selon la formule de Thornthwaite :

La formule de calcul de l'évapotranspiration potentielle selon Thornthwaite (1944) tient compte de l'indice thermique et de la température moyenne mensuelle .

Cette formule permet de calculer l'ETP mensuelle pour une durée théorique de 12:00H, elle s'écrit comme suit :

$$ETP = 16.(10/I)^a . t^a$$

Avec :

$$I = \sum i \text{ où } i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1,514} \quad \Longrightarrow \quad I = 83,81$$

$$a = \left(\frac{1,6}{100}\right)I + 0,5 \quad \Longrightarrow \quad a = 1,84$$

$$ETP_c = ETP.f$$

$$f = N.\rho$$

- Où :
- ETP** : évapotranspiration potentielle non corrigée du mois considéré, (mm) ;
 - t** : température mensuelle moyenne du mois considéré, (°C) ;
 - I** : indice thermique annuel, égal à la somme de douze indices mensuels ;
 - i** : indice thermique mensuel ;
 - a** : exposant climatique ;
 - ETP_c** : évapotranspiration potentielle corrigée du mois considéré, (mm) ;
 - I** : facteur de correction ;
 - N** : durée astronomique du jour pendant le mois considéré, (h/J) ;
 - ρ** : Paramètre dépendant du nombre de jours par mois comme suit :

Tableau 24 : Valeurs de ρ

Mois	28jours	29jours	30jours	31jours
ρ	0,0778	0,0806	0,0833	0,0861

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 25 : Evaluation de l’ETP moyenne mensuelle et annuelle par la formule de Thornthwaite à la station d’Ain Oussera, période (1991-2011)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Année
P (mm)	29,88	28,3	18,53	20,40	20	18,20	18,78	21,42	22,10	9,90	7,34	6,49	221,34
T (°C)	22,67	17,79	12,24	7,31	6,55	8,14	11,77	14,14	19,97	25,85	29,67	29,18	17,11
i	9,85	6,84	3,88	1,77	1,50	2,09	3,64	4,83	8,12	12,02	14,82	14,45	83,81
ETP (mm)	99,87	63,89	32,12	12,44	10,15	15,16	29,88	41,89	79,08	127,12	163,83	158,87	834,30
f	1,03	0,97	0,86	0,85	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	12,36
f_{ETP} (mm)	102,87	61,97	27,62	10,57	8,83	12,89	30,78	45,66	95,69	153,82	201,51	184,29	936,50

La valeur obtenue de l’évapotranspiration potentielle annuelle est de **936,50 mm** pour un indice thermique annuel de **83,81**. Nous notons qu’elle est largement supérieure aux précipitations qui sont de **221,3 mm**.

3.4.2/ Evapotranspiration réelle (ETR) ou déficit d’écoulement (De) :

C’est la quantité d’eau réellement évaporée ou transpirée par le sol, les végétaux et les surfaces d’eau libres.

Plusieurs formules sont établies par différents auteurs pour le calcul du déficit d’écoulement annuel moyen en fonction des caractéristiques météorologiques du bassin, parmi ces formules, nous avons :

• **Formule de Turc :**

La formule de Turc est applicable à tous les climats, elle se base sur les données des températures moyennes annuelles et les précipitations moyennes annuelles pour le calcul de l’ETR.

$$De = \frac{P}{\sqrt{109 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad \text{avec } L = 300 + 25t + 0,05t^3$$

- Où :
- De :** déficit d’écoulement moyen annuel (mm/an) ;
 - P :** pluie moyenne annuelle, (mm) ;
 - L :** pouvoir évaporant de l’atmosphère, (mm) ;
 - t :** température moyenne annuelle de l’air, (°C) .

Avec une température de 17,11 °C et une hauteur annuelle des précipitations de 221,3 mm, l’application de cette formule donne une valeur d’ETR égale à 226,95 mm/an.

Cette valeur étant supérieure aux précipitations, donc la méthode n’est pas applicable.

• **Formule de Coutagne :**

Le déficit d'écoulement est exprimé par la formule : $De = P - P^2$

La condition pour l'application de cette formule est :

$$\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda} \quad \text{avec :} \quad = \frac{1}{0,8+0,14t}$$

➤ Si $P > \frac{1}{2\lambda}$: le déficit est indépendant de P, et il est obtenu à l'aide de la formule suivante : $De = 0,20+0,035t$.

➤ Si $P < \frac{1}{8\lambda}$: le déficit est égal à la précipitation : $De = P$.

Avec : **P** : pluie moyenne annuelle, m ;

t : température moyenne annuelle de l'air, °C .

: facteur dépendant de la température moyenne annuelle .

Dans notre cas, les précipitations (P) sont inférieures à $\frac{1}{8\lambda}$, donc le déficit d'écoulement est égal à la précipitation : $De = P = 221,3 \text{ mm}$.

.3.5/ Bilan hydrologique :

La méthode de Thornthwaite permet d'établir un bilan hydrologique mensuel et donne pour chaque mois :

- L'évapotranspiration réelle (ETR), mm ;
- La réserve facilement utilisable (RFU), mm ;
- Le déficit agricole (Da), mm ;
- L'excédent (EX), mm .

.3.5.1/ Calcul de l'ETR selon la formule de Thornthwaite :

Elle consiste à calculer l'évapotranspiration réelle (ETR) mensuelle à partir des précipitations moyennes mensuelles (P), l'évapotranspiration potentielle (ETP) et la réserve facilement utilisable contenue dans le sol (RFU) . Le principe de raisonnement est le suivant :

➤ Pour un mois $P \geq ETP$, On pose $ETR = ETP$, la quantité d'eau qui reste ($P-ETR$) va alimenter la RFU jusqu'à son maximum (20 mm) (selon SOGREAH, 2006) et si elle dépasse cette valeur, il y'aura un excédent (Ex) qui va partir sous forme d'infiltration efficace vers la nappe soit sous forme de ruissellement .

➤ Pour un mois $P < ETP$, et si $P+RFU \geq ETP \Rightarrow ETR = ETP$

$$\text{si } P+RFU < ETP \Rightarrow ETR = P + RFU_{(t-1)}$$

➤ Pour un mois $P < ETP$ et $RFU = 0 \Rightarrow ETR = P$

.3.5.2/ Calcul du déficit agricole (Da) :

Le déficit agricole est calculé par la formule suivante :

$$Da = ETP_i - (P + RFU_{(i-1)})$$

Tableau 26 : Bilan hydrologique selon Thornthwaite à la station d’Ain Oussera (1991-2011)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Année
P (mm)	29,88	28,3	18,53	20,40	20,00	18,20	18,78	21,42	22,10	9,90	7,34	6,49	221,34
ETP (mm)	102,87	61,97	27,62	10,57	8,83	12,89	30,78	45,66	95,69	153,82	201,51	184,29	936,50
ETR (mm)	29,88	28,3	18,53	10,57	8,83	12,89	30,78	29,42	22,1	9,90	7,34	6,49	215,03
RFU (mm)	0	0	0	9,83	20	20	8	0	0	0	0	0	57,83
EX (mm)	0	0	0	0	1	5,31	0	0	0	0	0	0	6,31
Da (mm)	72,99	33,67	9,09	0	0	0	0	16,24	73,59	143,92	194,17	177,8	721,47

Il ressort de l’examen du tableau ci-dessus les points suivants :

- Pour les mois de Décembre, Janvier et Février, l’ETR est inférieure aux précipitations, c’est la période du surplus d’eau . Cette diminution de l’ETR est causée par les faibles températures observées dans cette période (période froide) .
- Pour les mois de Mars et d’Avril, l’ETR est supérieure aux précipitations, c’est la période d’épuisement du stock .
- A partir de Mai et jusqu’à Novembre, l’ETR est égale aux précipitations . Cette période est donc marquée par un déficit agricole (721,47 mm au total annuel) .

.3.5.3/ Détermination du ruissèlement et de l’infiltration :

Il est important de connaitre la quantité d’eau ruisselée sur le bassin versant topographique et la quantité d’eau infiltrée dans les aquifères contenues dans ce bassin pour estimer les réserves en eau pour différents besoins .

L’expression générale du bilan hydrique s’écrit comme suit :

$$P = ETR + R + I$$

- Où : **P** : précipitation moyenne annuelle , mm .
ETR : évapotranspiration réelle moyenne selon le bilan de Thornthwaite , (mm) .
R : ruissellement , mm
I : infiltration , en mm .

➤ Le ruissellement (R) est calculé par la formule de Tixeront-Berkaloff :

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

➤ L'infiltration (I) est calculée par la formule suivante :

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

D'après les valeurs de l'ETR et l'ETP calculées par la méthode de Thornthwaite (tableau 26), on calcule le ruissellement (R) et l'infiltration (I) :

Tableau 27 : Récapitulatif des paramètres du bilan hydrologique à la station d'Ain Oussera (1991-2011)

	P	ETP	ETR	R	I
mm/an	221,34	936,50	215,03	4,12	2,19
%	100		97,15	1,86	0,99

L'ensemble de La lame d'eau ruisselée et infiltrée est égal à 6,31 mm/an, il représente 2,85 % des précipitations moyennes annuelles tombées sur la région d'Ain Oussera ce qui est extrêmement faible . Ces valeurs obtenues restent à vérifier, en tenant compte de la lithologie du terrain, la topographie, le climat et la végétation qui caractérise la région .

Ainsi, SOGREAH (2006) a réalisé un bilan hydrique, à partir de la pluviométrie moyenne entre les stations d'Ain Oussera et de Ksar Chellala, et à partir des données ETP de l'atlas ANRH et avec l'hypothèse d'une RFU_{max} de 20 mm, les valeurs de pluviométrie efficace obtenues sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 28 : Valeurs de la pluviométrie efficace calculées sur la plaine d'Ain Oussera (SOGREAH, 2006)

Année	Pluviométrie Efficace (mm)	Année	Pluviométrie Efficace (mm)	Année	Pluviométrie Efficace (mm)
1972-1973	0	1983-1984	0	1994-1995	0
1973-1974	0	1984-1985	0	1995-1996	0
1974-1975	0	1985-1986	0	1996-1997	9
1975-1976	0	1986-1987	3	1997-1998	0
1976-1977	11	1987-1988	1	1998-1999	23
1977-1978	17	1988-1989	0	1999-2000	16
1978-1979	4	1989-1990	14	2000-2001	54
1979-1980	0	1990-1991	9	2001-2002	0
1980-1981	5	1991-1992	19	2002-2003	0
1981-1982	0	1992-1993	0	2003-2004	25,5
1982-1983	0	1993-1994	0	2004-2005	0

La pluviométrie efficace représente la lame d'eau infiltrée, donc la recharge de la nappe due directement aux pluies .

Les valeurs de la pluviométrie efficace calculées pour la période (1972/1973-2004/2005) montrent bien le régime pluviométrique irrégulier caractérisant la région d'étude. En effet, on y trouve dans quelques années que la pluviométrie efficace est nulle, tandis que dans d'autres années elle peut prendre des valeurs relativement importantes telle qu'en 2003/2004 ($P_{\text{eff}} = 25,5$ mm) et en 2000/2001 ($P_{\text{eff}} = 54$ mm) .

.4/ Conclusion :

De l'analyse géomorphologique, on retiendra que cette étude se limite aux trois sous bassins versants (Daïat Boughzoul, Daïat El Firania et Oued Touil) correspondant à la plaine d'Ain Oussera. Elle présente une topographie plate monotone caractéristique des hauts plateaux . Le chevelu hydrographique est peu développé, les Oueds coulent globalement du Sud vers le Nord. Il y a lieu de noter que sur l'ensemble de ces Oueds, seul l'oued Touil présente un écoulement pérenne .

D'après l'étude hydroclimatologique, nous retiendrons que la plaine d'Ain Oussera est marquée par un climat continental de type aride à semi-aride à hiver froid, caractérisé par une pluviosité irrégulière et faible (224,4 mm/an en moyenne, selon la méthode de Thiessen). Le bilan de Thornthwaite est dans son ensemble déficitaire. En effet, le déficit d'écoulement déterminé par la méthode de Thornthwaite est égal à 215,03 mm/an (soit 97,15% des précipitations), et 1% correspondant à la lame d'eau infiltrée, soit 2,19 mm/an .

Cependant l'application des formules empiriques sur la région d'étude ne fournissent qu'un ordre de grandeur des paramètres hydroclimatologiques .

La recharge de la nappe est assurée en grande partie par la pluviométrie efficace, cette dernière est très variable d'une année à une autre .

CHAPITRE

IDENTIFICATION DES AQUIFERES

.1/ APPROCHE GEOLOGIQUE :

.1.1/ Introduction :

La région de Ain Oussera, faisant partie des hautes plaines Algéroises, est comprise dans l'ensemble pré-atlasique. Elle se situe entre l'Atlas Saharien marqué par les plis de type coffré, et le domaine tellien comprenant des unités autochtones, para-autochtones et des nappes de glissement (LARABI, 1983) .

La plaine d'Ain Oussera se présente comme un vaste anticlinorium à cœur Crétacé, dont l'axe passerait par Bou Cedraïa (MEBROUK, 1994). Il est compliqué par un système d'anticlinaux développés sur les versants Sud et Nord (CARATINI, 1970 in MEBROUK, 1994) .

Les dépôts Quaternaires recouvrent une grande partie (plus de 70%) de la plaine. Sur les flancs Sud et Nord, les formations Crétacées affleurent à Kouديات es Seguia, el Fia, el Mouilah, Doghmane, en Nesser (AYAD, 1983) .

.1.2/ Lithostratigraphie :

Cette description lithostratigraphique est prise à partir de :

- Carte géologique du secteur d'étude (extrait des 4 cartes géologiques interprétatives aux 1/200.000 publiées par l'ANRH en 2008 : KSAR EL BOUKHARI, SIDI AISSA, DJELFA, AFLOU) . (fig. 15)
- Logs litho-stratigraphiques des forages profonds : Bou Cedraïa : 4787 m (fig. 16); El Krachem : 1077 m (fig. 17) .
- Les études antérieures sur la région (CARATINI, 1970 ; AYAD, 1983 ; LARABI, 1983 ; MEBROUK, 1994) .

La série sédimentaire qui caractérise notre secteur d'étude, comprend de bas en haut les termes suivants :

.1.2.1/ Trias :

Les formations Triasiques n'apparaissent pas à l'affleurement sur la plaine d'Ain Oussera . Cependant, elles affleurent plus à l'Ouest, dans la région de Ksar Chellala sous forme de diapirs .

Elles ont été atteintes par le sondage de Bou Cedraïa à 4300 m de profondeur. On distingue de bas en haut :

- Une formation détritique de 140 m d'épaisseur, constitué de grés quartzites, des marneux, des dolomies et des argilites rouges .

- Une formation à argilites de 270 m d'épaisseur, il s'agit d'anhydrites, de calcaires à anhydrites, de dolomies, des calcaires, des argilites noires, des calcaires à lamellibranches, des calcaires en bancs constituant une zone de transition avec le Lias inférieur .

.1.2.2/ Jurassique :

Les formations Jurassiques n'affleurent pas dans la zone d'étude, elles affleurent plus à l'Ouest et forment principalement les monts de Ksar Chellala .

- **Lias :**

Il est constitué de bas en haut :

- D'une formation calcaire de 340 m d'épaisseur . Il s'agit des calcaires biolithiques, marneux et parfois siliceux riches en ammonites .
- D'une formation marno-calcaire de 40 m d'épaisseur .

- **Dogger :**

Le Dogger n'est pas individualisé, il est associé au Malm inférieur. Il présente des calcaires microgrenus, épais de 205 m, contenant des filaments, des entroques, des spicules et des radiolaires .

- **Callovo-Oxfordien :**

C'est une formation détritique grés-argileuse, de 750 m d'épaisseur. Il s'agit des grés fins quartzitiques alternant avec des argiles marneuses, et des pélites à ciment marno-argileux. La base est représentée par de minces bancs de calcaires plus ou moins marneux .

- **Oxfordien-Valanginien :**

Traversé au forage Bou Cedraïa sur 1950 m. Présente un faciès à dominante marnes argileuses à rares passées calcaires peu épaisses, et il se termine par des formations graveleuses et calcaires .

.1.2.3/ Crétacé :

- **Néocomien :**

Il affleure dans la localité El Khatoua, et à coté de Faïd el Gosseïa, sous forme des calcaires dolomités, riches en polypiers diaclasés avec des figures de dissolution en surface, et des marnes .

Les formations du Néocomien ont été traversées par le forage de Bou Cedraïa, sur une épaisseur de 200 m. Ce sont des grés argileux fins, avec en intercalation dans la partie moyenne, deux niveaux de grès à ciment calcaire .

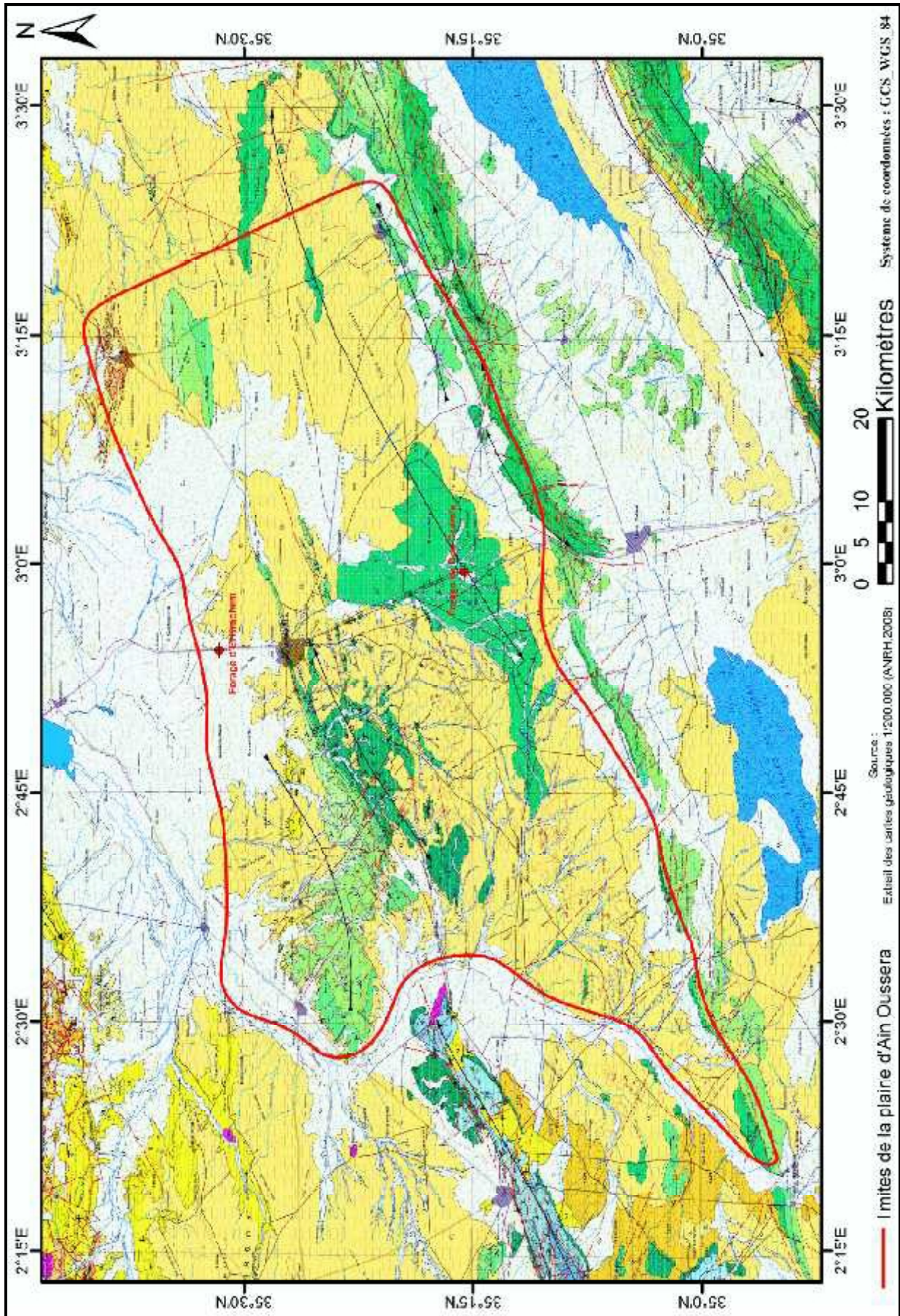


Figure 15 : Carte géologique du secteur d'étude

Légende :

	A		Q _a		Q _d		Q	Quaternaire : Alluvions, sables, graviers, limons, argiles, croûte calcaire
	Pl,Q	Plio-Quaternaire: Cailloutis (grès et conglomérats) et marnes						
	M,Pl	Mio-Pliocène: Argiles et conglomérats, calcaires lacustres						
	Mi	Miocène inférieur: Marnes grises avec bancs de grès						
	Ol	Oligocène: Grès et passées marnieuses						
	E ²	Eocène moyen (Lutétien supérieur): Marnes, argiles et localement conglomérats						
	E ^{1,2}	Eocène inférieur et moyen (Ypresien et Lutétien inférieur): Calcaires à silex et marno-calcaires, parfois à gypse						
	Pe	Paléocène-Maestrichtien: Marnes et marno-calcaires						
	K ₂ ^{3,4}	Crétacé supérieur (Coniacien et Santonien): Calcaires						
	K ₂ ⁵⁻⁶	Crétacé supérieur (Coniacien-Maestrichtien): Marnes grises et calcaires lites au sommet						
	K ₂ ²	Crétacé supérieur (Turonien): Calcaires et marnes						
	K ₂ ¹	Crétacé supérieur (Cénomanien): Calcaires jaunes, marnes et gypse et dolomies						
	K ₁ ³	Crétacé inférieur (Albien): Grès, calcaires ocre et argiles						
	K ₁ ⁵	Crétacé inférieur (Aptien): Calcaires et grès						
	K ₁ ^{3,4}	Crétacé inférieur (Hautérvien-Barrémien): Grès, dolomies et argiles gréseuses						
	K ₁ ¹⁻³	Crétacé inférieur (Berriasien-Hautérvien): Calcaires dolomitisés et marnes						
	J ₁ ³	Jurassique supérieur (Tithonien): Dolomies cristallines, calcaires et marnes						
	J ₁ ²	Jurassique supérieur (Kimmérigien): Dolomies, calcaires, grès et argiles						
	J ₁ ²	Jurassique supérieur (Kimmérigien): Ensemble marno-calcaires à la base et calcaire-gréseux au sommet						
	J ₁ ¹	Jurassique supérieur (Oxfordien): Argilites, grès calcaires et marnes						
	T	Trias: Gypses, argiles et dolomies noires						

- **Barrémien :**

Il affleure aux Djebel Belaroug, Koudiat Doghmane et Koudiat EL Khatoua. Son épaisseur dépasse les 650 m au forage Bou Cedraïa. Il est représenté par des grès argileux fins, des calcaires gréseux avec beaucoup de quartz et des grès grossiers .

- **Aptien :**

Il est constitué par des calcaires gréseux qui contiennent des intercalations d'argiles et de marnes. L'épaisseur totale de la formation est de l'ordre de 200 m. Les zones d'affleurement de l'Aptien sont localisés autour de l'anticlinal du Koudiat Doghmane : Draa ed Diba ; entre la route Ain Oussera-Ksar Chellala et Koudiat El Mouilah, Koudiat El Taïcha et Koudiat El Gherbania .

- **Albien :**

Les formations Albiennes sont formées essentiellement de grès plus ou moins consolidés à ciment calcaire et renferment des niveaux argilo-carbonatés. Ces formations sont affectées par de nombreuses failles. L'épaisseur moyenne de cette formation est estimée à 150 m. L'Albien est proche de la surface voire affleure sur la majeure partie de la zone d'étude, mais plonge en direction du Nord à proximité de la ville d'Ain Oussera (fig. 18), car il est affecté par l'anticlinal Doghmane-Khatoua. Le forage d'El Krachem situé au Nord de la ville d'Ain Oussera atteint ce groupe gréseux à une profondeur de 1018 m .

Les principales zones d'affleurements de l'Albien sont les suivantes : au centre de la plaine à Draa en Nebi et Draa Sidi Aïssa ; au Nord, en bordure de : Kef Nesser, Koudiat El Mouilah, Koudiat El Taïcha et Koudiat El Gherbania ; à l'Est, Cheria et Djebel Touil ; au Sud, en bordure de la chaîne de Sebaa Rous et de la chaîne Guelt Esstel-Taguine .

- **Cénomaniens :**

Il est constitué essentiellement par des alternances de calcaires, calcaires dolomitiques, calcaires marneux, marnes et argiles gypseuses. Son épaisseur varie entre 200 et 150 m .

Les principales zones d'affleurements du Cénomaniens sont : le Sud de la ville de Sidi Ladjel ; le flanc Nord de l'anticlinal Khatoua-Doghmane ; Koudiat es Saguia à l'Est de la plaine ; au Sud-Ouest (El Mendjel, Kef El Bkhour, Oukett Gharbi et Chergui) en bordure de la plaine ; au Sud-Est dans la région de Bouira Saharay et le flanc Sud de la chaîne de Sebaa Rous .

- **Turonien :**

Il affleure sur presque toute la limite Sud de la plaine d'Ain Oussera, et constitue la presque totalité de Ras Nokra et Kef Nesser au Nord-Ouest. Il affleure également le long des Koudiates El Mouilah, El Taïcha et El Gherbania, et au niveau du Koudiat El Fia et Draa El

Merga au Nord-Est. Il est constitué essentiellement par des alternances de marnes, de calcaires et de calcaires dolomitiques. Son épaisseur varie de 100 à 150 m d'Est en Ouest .

- **Sénonien :**

Il affleure au Sud de Birine dans la zone de Draa er Rmel-Draa Nessi, au Nord de Kef Nesser, et le long des Koudiates El Mouilah, El Taïcha et El Gherbania .

Il est constitué de calcaires blanchâtres et jaunâtres souvent biolithiques comprenant des niveaux marneux. L'épaisseur de la formation au niveau du forage d'El Krachem est de 450 m .

.1.2.4/ Eocène :

D'une structure en écaille, l'Eocène est représenté par des calcaires à nummulites, des calcaires marneux et des marnes gypseuses. Les affleurement Eocènes sont localisés au Nord-Est, dans la région de Birine, constituant un aquifère réduit (limité) exploité par quelques puits dans la région de Birine .

.1.2.5/ Miocène :

De part et d'autre de la route reliant Ain Oussera à Sidi Ladjel, les formations Miocènes affleurent dans quelques localités et présentent des couches subhorizontales, ce sont des calcaires gréseux, des grés coquillers et des marnes. Elles sont souvent atteintes par des puits paysans. Le forage d'El Krachem traverse le Miocène sur 172 m .

.1.2.6/ Plio-Quaternaire :

Il est représenté par des dépôts continentaux constitués de sédimentations suivantes :

- Sur la majeure partie de la zone d'étude, un encroutement calcaire recouvre les grandes étendues plus ou moins planes. Il se développe surtout au dessus des formations gréseuses perméables. Son épaisseur est souvent supérieure au mètre .
- Les alluvions récentes, localisées le long des oueds, sont composées de sables limoneux, d'argiles plus ou moins sableuses et de galets .
- Des dunes et des dayas (des petites dépressions endoréiques tapissées d'argiles gypseuses et gréseuses, temporairement recouvertes par les eaux) peuvent être rencontrées localement .

A noter que le Plio-Quaternaire est sollicité par de nombreux puits traditionnels .

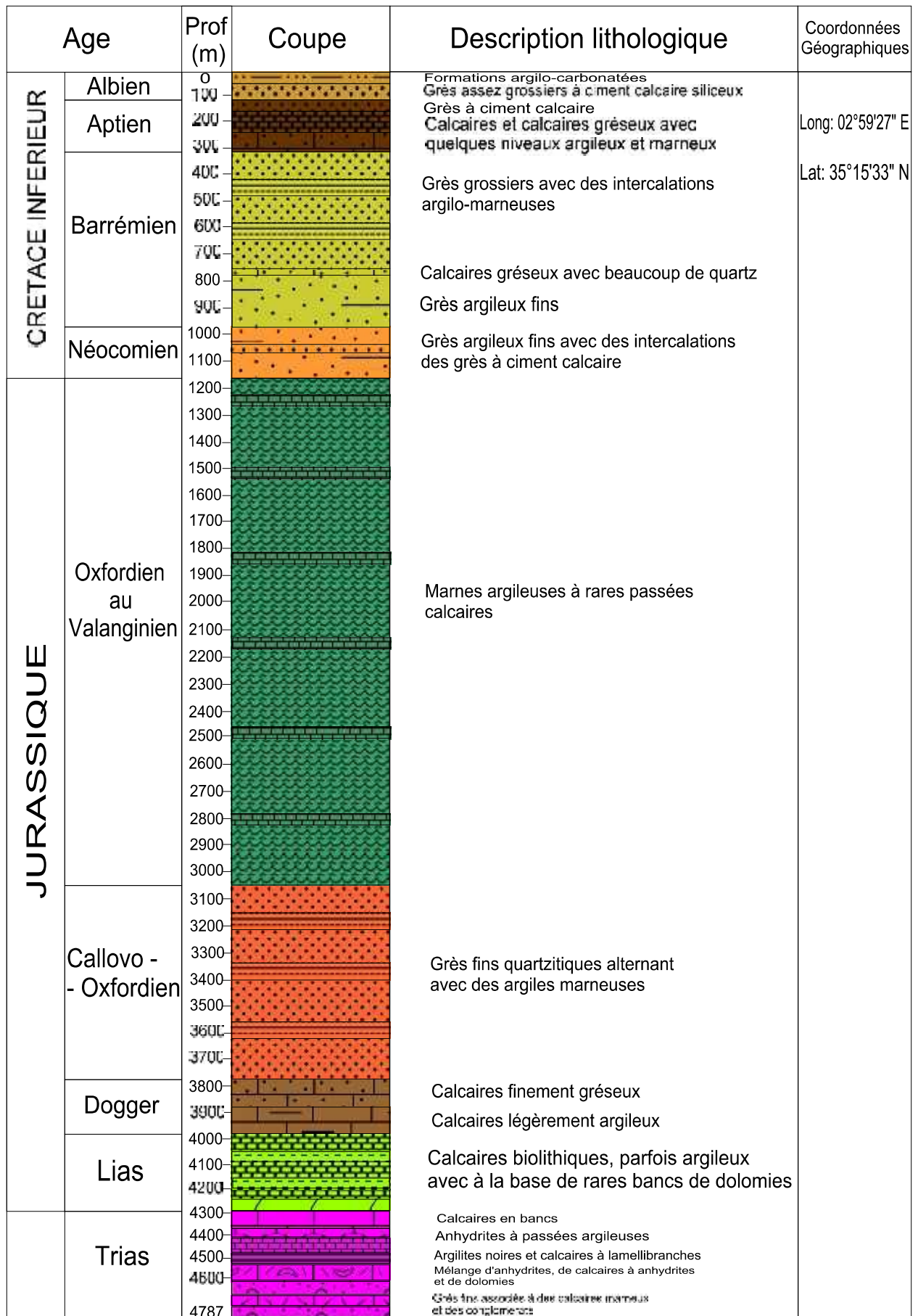


Figure 16 : Log litho-stratigraphique du forage de Bou Cedraïa

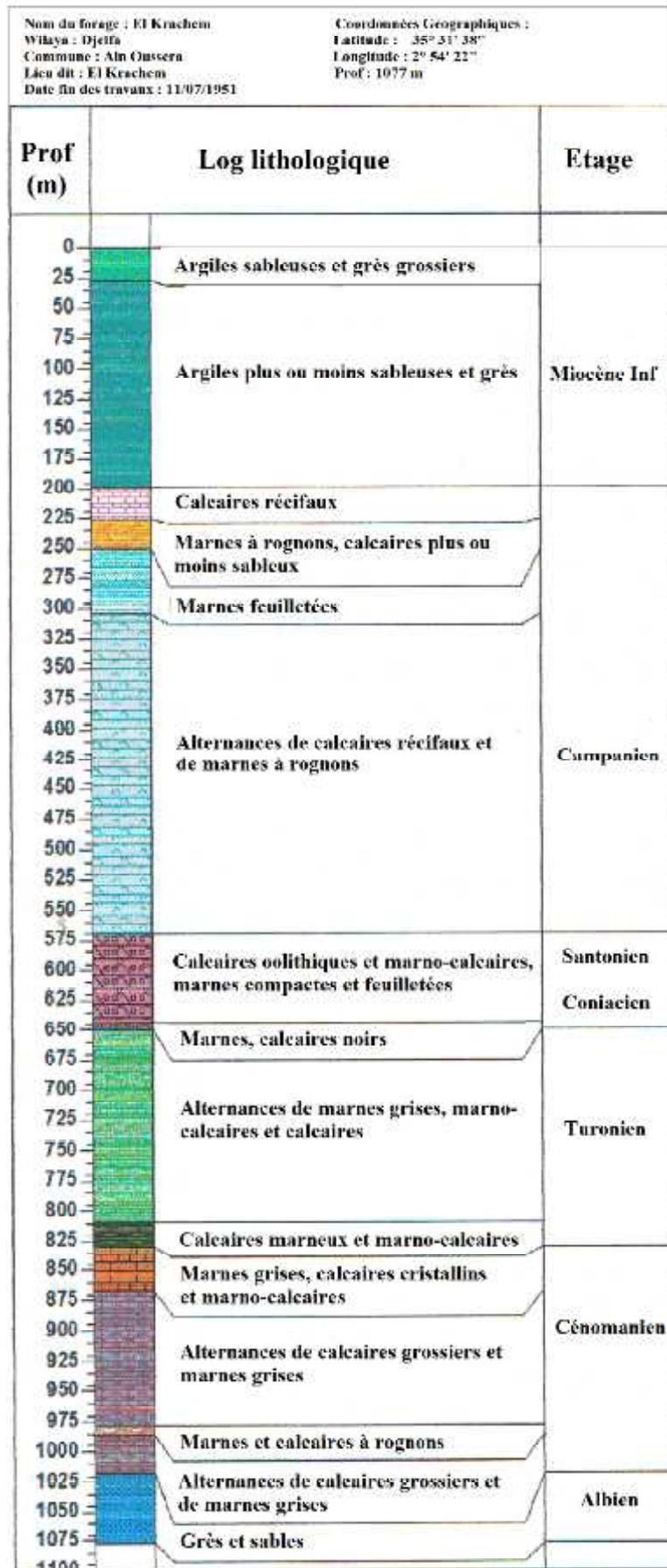


Figure 17 : Log litho-stratigraphique du forage d'El Krachem (source : ANRH, Djelfa)

.1.3/ Contexte structural de la région d'Ain Oussera :

La région d'Ain Oussera est constituée par un vaste anticlinal érodé aplani . Les terrains présentent des pendages relativement plats au centre de la plaine, et plongent au Nord aux environs de la ville d'Ain Oussera et au Sud au delà du massif de Sebaa Rous. L'axe de l'anticlinal est orienté ENE-WSW et passerait par Djebel Touil, Bou Cedraïa et Sidi Aïssa (fig. 15) .

Au Nord-Ouest de la plaine, existe une seconde structure anticlinale d'axe El Khatoua-Koudiat Doghmane à cœur Barrémien, marquée par une faille affectant l'Hautérvien-Barrémien. Le substratum vient à l'affleurement au niveau de cette structure qui découpe des fenêtres et interrompt ainsi la continuité de l'aquifère Albien .

Au Nord-Est, dans la région de Birine, les terrains Eocène sont affectés d'une structure en écaille correspondant à un front de nappe chevauchante vers le Sud .

Dans la limite Sud-Est du secteur d'étude, le massif de Sebaa Rous est affecté de multitudes de failles obliques .

La chaîne Guelt Esstel-Taguine constitue un relief monoclinale (cuesta) qui correspond au flanc Sud de la structure anticlinale régionale .

La direction la plus fréquente des failles est comprise entre N50°E à N70°E. La direction dominante des failles et des structures anticlinales (souvent atlasique) permet de penser que la tectonique affectant notre région est influencée par l'accident Nord atlasique (LARABI, 1983) .

La coupe géologique présentée en figure 18 ci-après, orientée NNW-SSE, met en évidence la structure globale de la plaine d'Ain Oussera .

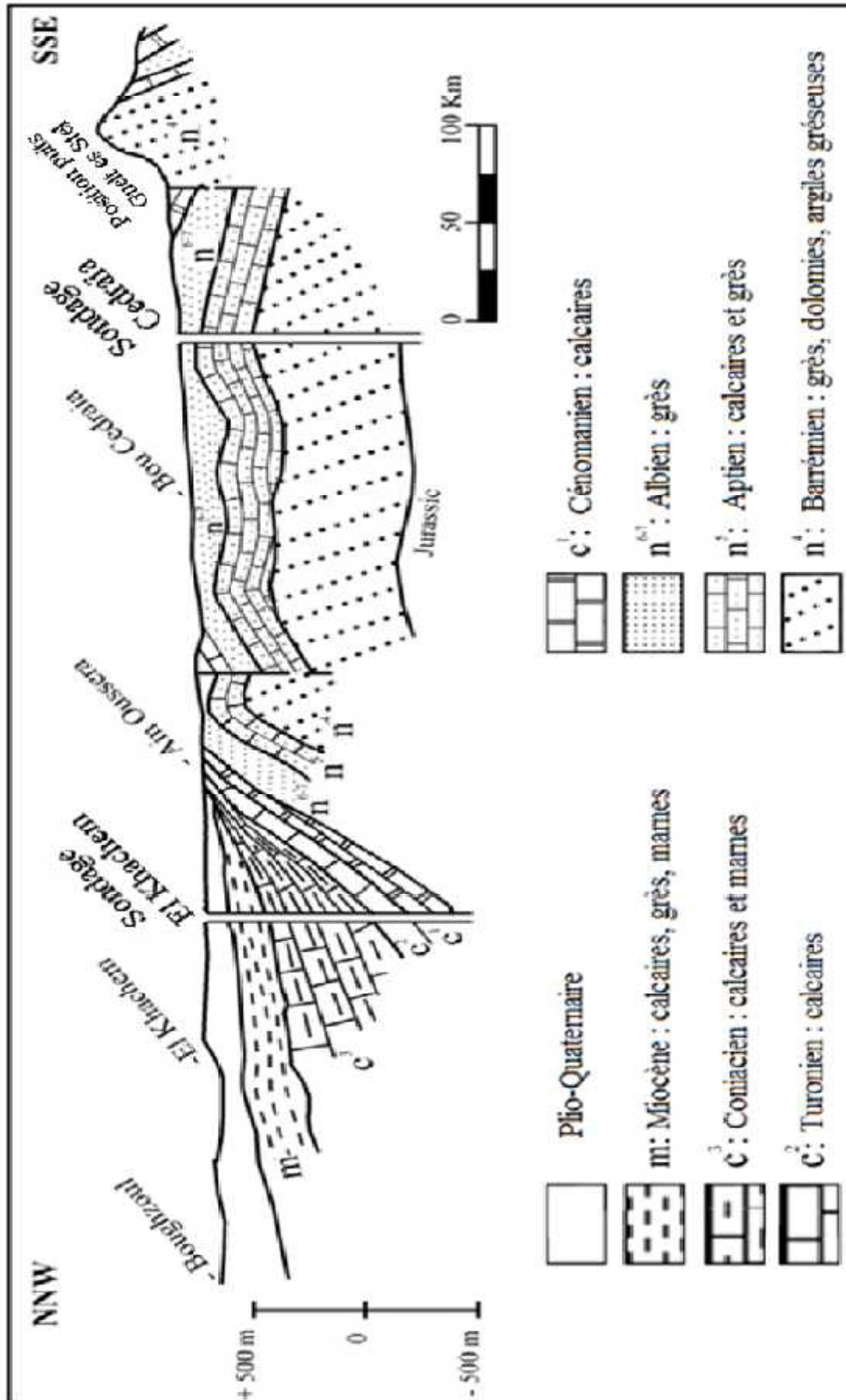


Figure 18 : Coupe géologique schématique de la région d'Ain Oussera (BECHTEL, 1977)




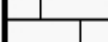
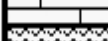


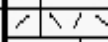
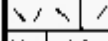
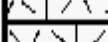

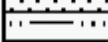

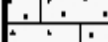










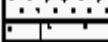

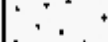
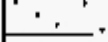
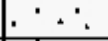
Etage		Coupe	Description lithologique	Epaisseur
TERTIAIRE	Quaternaire		Alluvions récentes, encroutement calcaire	< 15 m
	Miocène Inf - Locène	 	Grès grossiers Marnes argileuses	150 m
CRETACE SUPERIEUR	Sénonien		Calcaires blanchâtres parfois détritiques	100 m
	Turonien	  	Calcaires poreux cristallins avec intercalations marneuses	200 m
	Cénomanién	  	Calcaires poreux microcristallins, calcaires marneux	200 m
CRETACE INFÉRIEUR	Albien	  	Grès grossiers Alternances d'argiles marneuses Grès grossiers	150 m
	Aptien	  	Calcaires gréseux à orbitolines Calcaires et calcaires gréseux avec quelques niveaux marneux et argileux	200 m
	Barrémien	       	Grès grossiers à rares niveaux argileux Calcaires gréseux Grès argileux fins	> 650 m
	Néocomien	    	Grès argileux fins avec deux niveaux de grès à ciment calcaire	200 m

Figure 19 : Log litho-stratigraphique synthétique de la plaine d'Ain Oussera

.2/ APPROCHE GEOPHYSIQUE :

.2.1/ Introduction :

Il existe plusieurs méthodes de prospection électrique dont la méthode de la résistivité est la plus utilisée dans le domaine de l'hydrogéologie. Elle se base sur la mesure de la résistivité des formations géologiques et permet de déterminer leur épaisseur. Elle permet aussi de mieux comprendre la structure du sous-sol grâce à l'étude de la résistivité électrique des formations qui le composent .

Deux campagnes de géophysique ont été réalisées dans la région de Ain Oussera avec la méthode des sondages électriques :

- La première par STROJEXPORT (PRAGUE) en 1976, elle s'étend de Ain Oussera à Ain El Hadjel . Son but était de déterminer la position et la structure du Crétacé sous la couverture Mio-Plio-Quaternaire d'une part, et de préciser les zones de meilleure perméabilité de l'Albien d'autre part (MEBROUK, 1994) .

- La deuxième campagne a été réalisée par la Société Algérienne de Géophysique (ALGEO) en 1980, elle s'étend presque sur toute la plaine . L'objectif de cette prospection était de préciser les puissances des différentes formations, en particulier le recouvrement Mio-Plio-Quaternaire, l'Albien, l'Aptien et le Barrémien, et de permettre également de dégager un schéma structural de l'Albien .

Dans ce contexte nous nous sommes basé sur l'étude d'ALGEO (1980) pour cette approche géophysique .

.2.2/ Sondages réalisés :

Soit au total 210 sondages électriques répartis sur 19 profils de direction NW-SE et NE-SW, ont été exécutés avec les longueurs de ligne suivantes :

- 60 SE en AB = 1000 m ;
- 80 SE en AB = 2000 m ;
- 30 SE en AB = 4000 m ;
- 40 SE en AB = 6000 m .

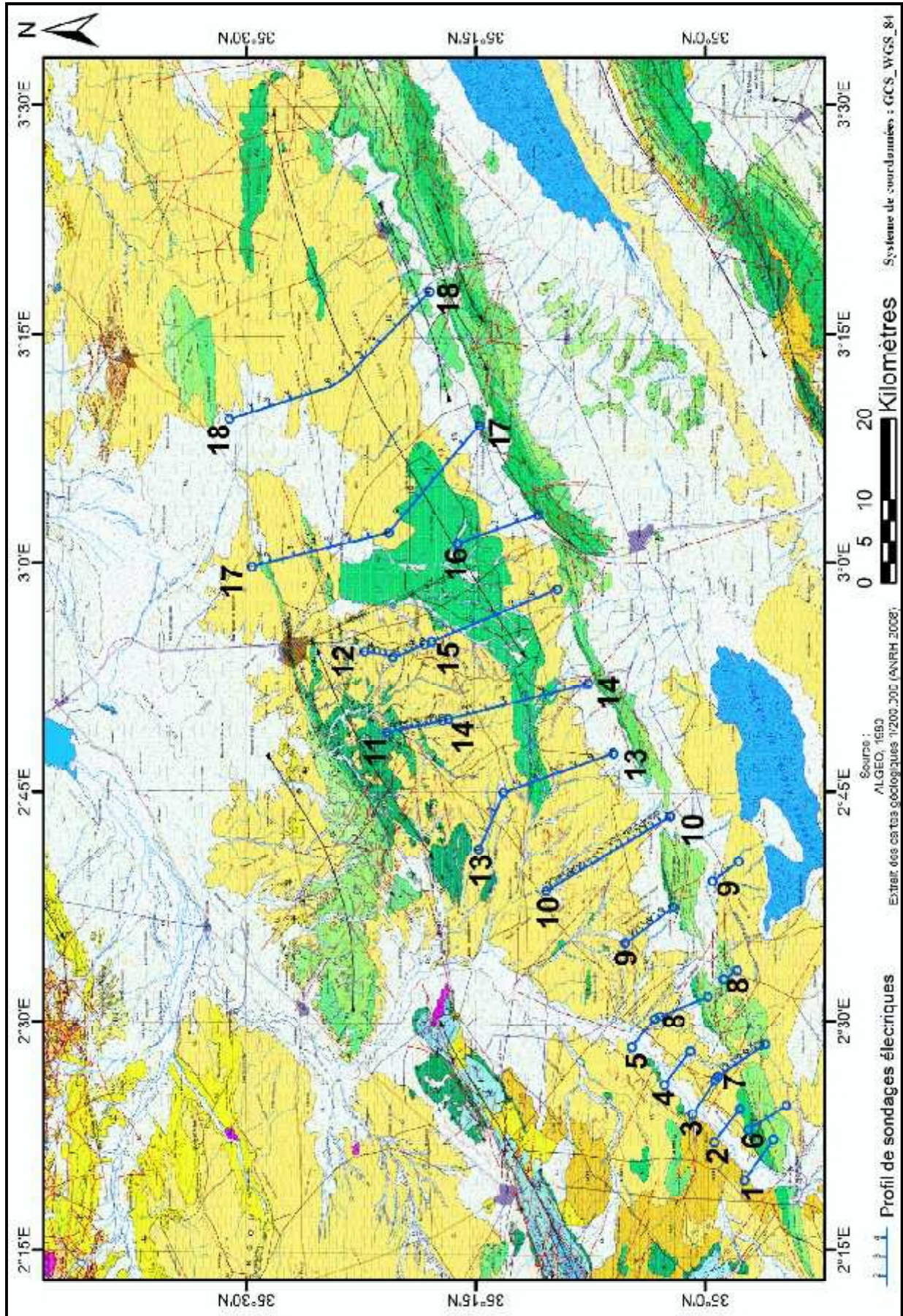


Figure 20 : Carte de position des profils électriques

.2.3/ Echelle des résistivités :

On résume dans le tableau suivant, les caractéristiques géo-électriques des formations présentes dans la région de Ain Oussera :

Tableau 29 : Caractéristiques géo-électriques des formations

Formation	Résistivité (Ohm.m)
Recouvrement Mio-Plio-Quaternaire	14 - 80
Turonien Calcaire	20 - 120
Cénomanién Marno-calcaire	20 - 100
Albien Gréseux	45 - 1600
Aptien Gréseux, Carbonaté	20 - 70
Barrémien	10 - 400

.2.4/ Interprétation des coupes géo-électriques :

Nous avons pris en considération les 6 profils qui nous paraissent les plus représentatifs : 10, 11, 13, 14, 17 et 18 .

- **Profil 10** : (fig. 21)

Sur la majorité du profil, les sédiments du Mio-Plio-Quaternaire et du Cénomanién couvrent l'Albien. Ce dernier, se présente tout au long de ce profil comme une couche résistante d'épaisseur variant entre 80 et 200 m. Du point de vue aquifère, on peut dire que l'ensemble du profil ne révèle que des grès consolidés, qui ne peuvent donc constituer un bon réservoir .

- **Profil 11** : (fig. 21)

Dans la partie Nord (SE3), l'ensemble des formations : Turonien, Cénomanién, Albien et Aptien sont mal définies, mais à mesure que l'on s'éloigne du SE3 vers le Sud-Est, l'Albien se dessine distinctement, tandis que son épaisseur diminue dans le même sens jusqu'au sondage SE7. A partir de ce sondage, une augmentation brusque de l'épaisseur qui s'accompagne d'un enrichissement d'éléments conducteurs (résistivités 60 Ohm.m) causé par la proximité d'une zone accidentée. Donc il est probable qu'il y ait présence de faille entre les SE7 et SE8.

- **Profil 13** : (fig. 22)

Au niveau de ce profil, l'Albien est caractérisé par une forte résistivité, épaisseur moyenne (140 m environ) peu variable et absence d'accidents. On peut remarquer l'importance du conglomérat, qui est présent dans la majorité du profil .

La forte résistivité de cette zone dénote une consolidation des grès Albien, ce caractère affecte gravement la perméabilité du réservoir Albien et l'absence d'accidents élimine toute hypothèse d'une éventuelle perméabilité due à la fissuration .

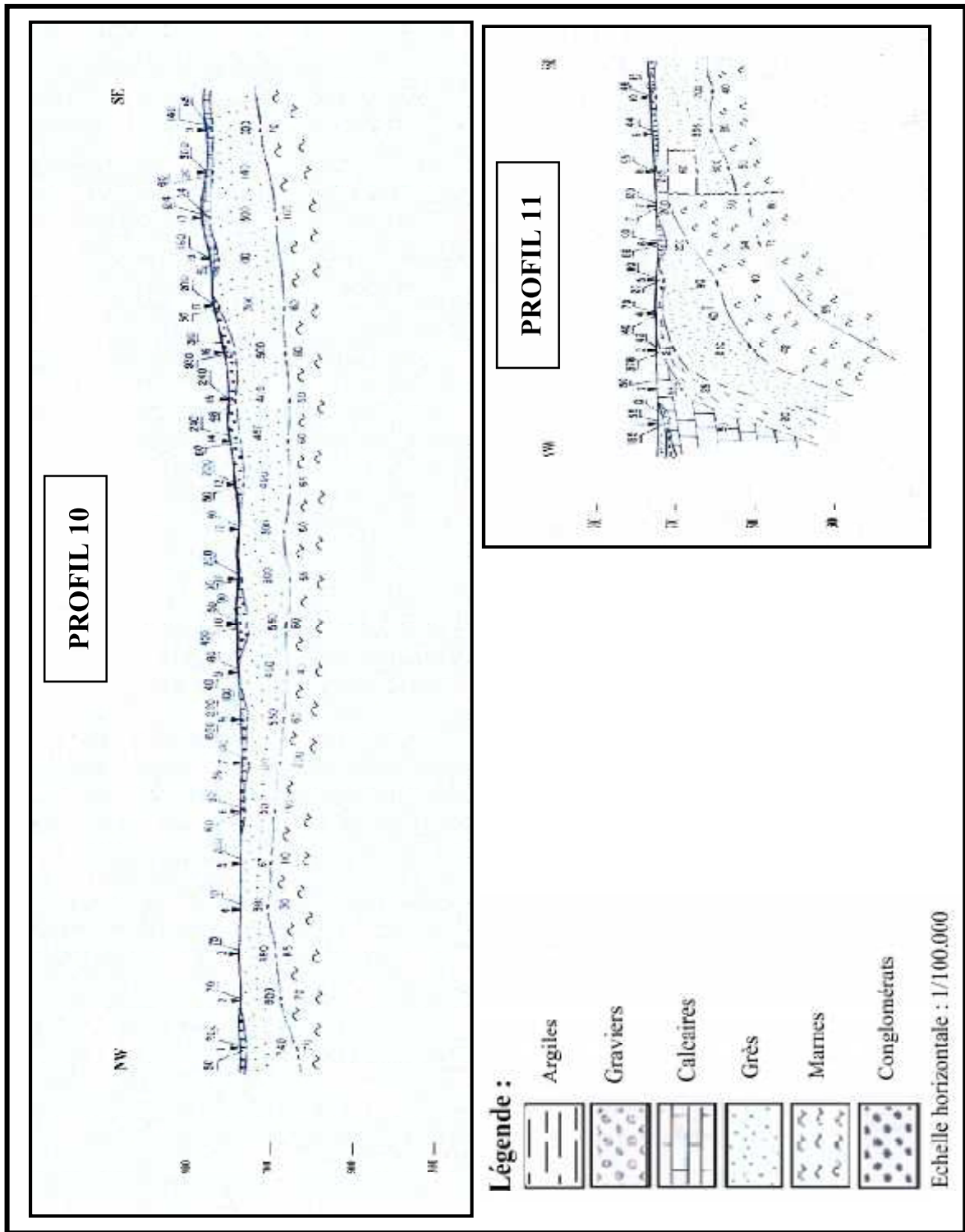


Figure 21 : Coupes géo-électriques 10 et 11 (ALGEO, 1980)

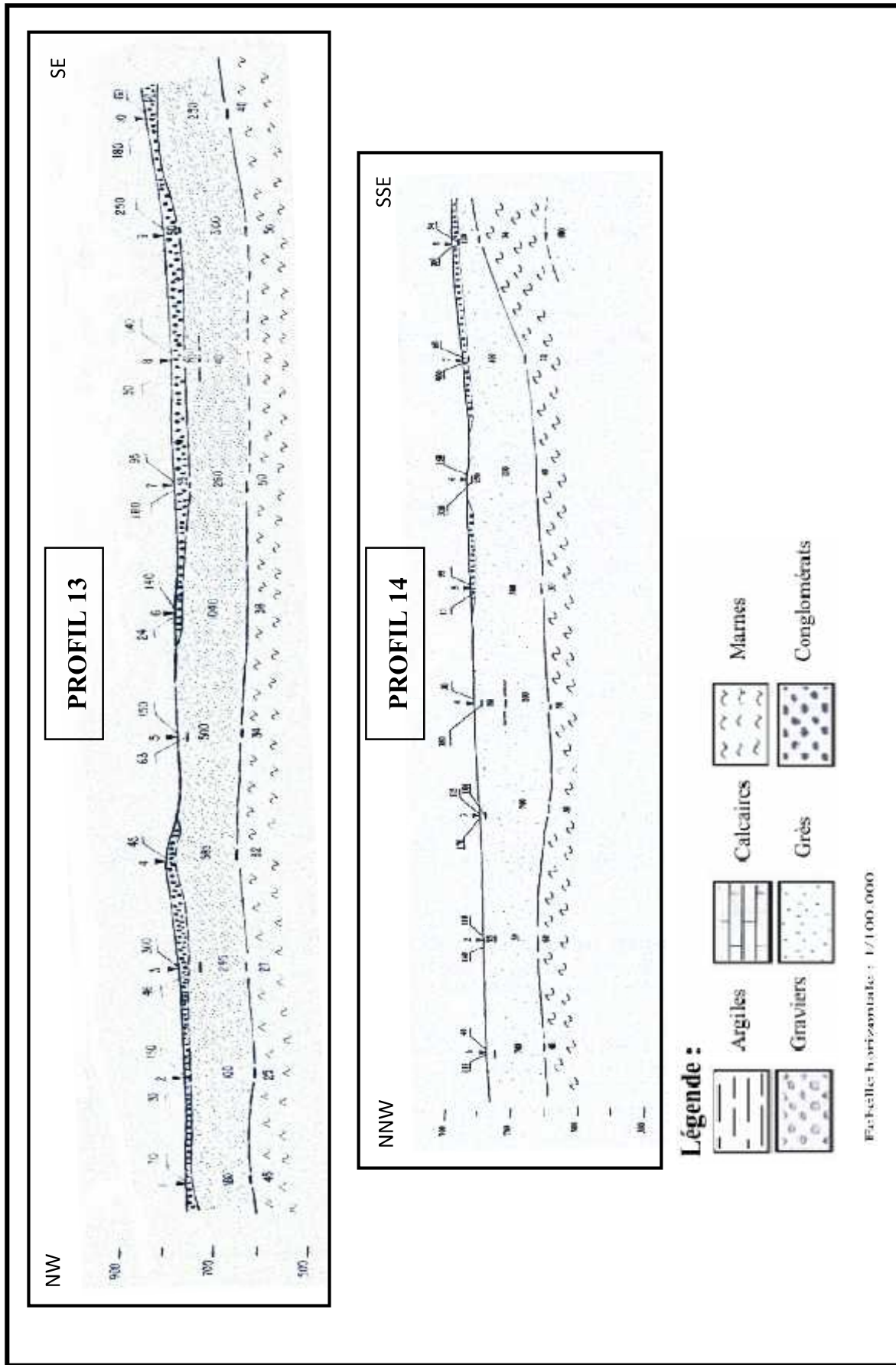


Figure 22 : Coupes géo-électriques 13 et 14 (ALGEO, 1980)

- **Profil 14 :** (fig. 22)

L'Albien est affleurant sur la majorité du profil, de résistivité variable comprise entre 120 et 700 Ohm.m. L'épaisseur de la formation Albienne est importante, dans ce profil toutefois elle diminue brusquement à partir du SE7 pour atteindre une valeur minimale de 60 m environ au SE8, à ce niveau une diminution brusque de la résistivité (120 Ohm.m) a été constatée également .

- **Profil 17 :** (fig. 23)

Ressemble au précédent, l'Albien se trouve sur la majorité du profil près de la surface voire affleurant. Cette zone constitue le cœur de l'anticlinal. Entre le SE1 et SE4 (Koudiat El Fia), la situation se présente de la manière suivante :

Près de la surface, les résistivités sont faibles (16 à 26 Ohm.m), appartenant au Mio-Pliocène dont l'épaisseur est relativement importante dans cette zone. Au dessous de ce recouvrement, on distingue deux sous zones : la première d'une résistivité de 46 à 58 Ohm.m, qui correspond aux calcaires du Turonien ; la seconde qui est plus conductrice (25 à 34 Ohm.m), d'épaisseur élevée appartient au Cénomaniens .

L'Albien est caractérisé dans l'ensemble du profil, par des résistivités modérées, mais plus résistant que les formations sus et sous-jacentes. Près du SE5, au niveau du Koudiat El Fia, il plonge sous l'angle de 20° environ, de ce sondage on peut suivre son toit facilement jusqu'aux sondages 13 et 14 où l'ensemble des couches plongent vers le Sud-Est avec un angle de 10° environ .

- **Profil 18 :** (fig. 23)

L'Albien apparaît dans ce profil comme une couche subaffleurente d'épaisseur peu variable, ce qui confère au toit une allure monotone. Dans l'ensemble la résistivité de l'Albien est de l'ordre de 110 Ohm.m, un léger soulèvement du toit de l'Aptien entre les SE3 et SE5, et à partir du SE11 un plongement de l'Albien vers le Sud-Est et il est probable que l'épaisseur augmente dans ce sens. Sur l'ensemble du profil, la puissance du Mio-Plio-Quaternaire est très faible et discontinue. Une importante augmentation de l'épaisseur des marnes au niveau des SE6 et SE7, et dans cette zone le Barrémien n'est pas atteint .

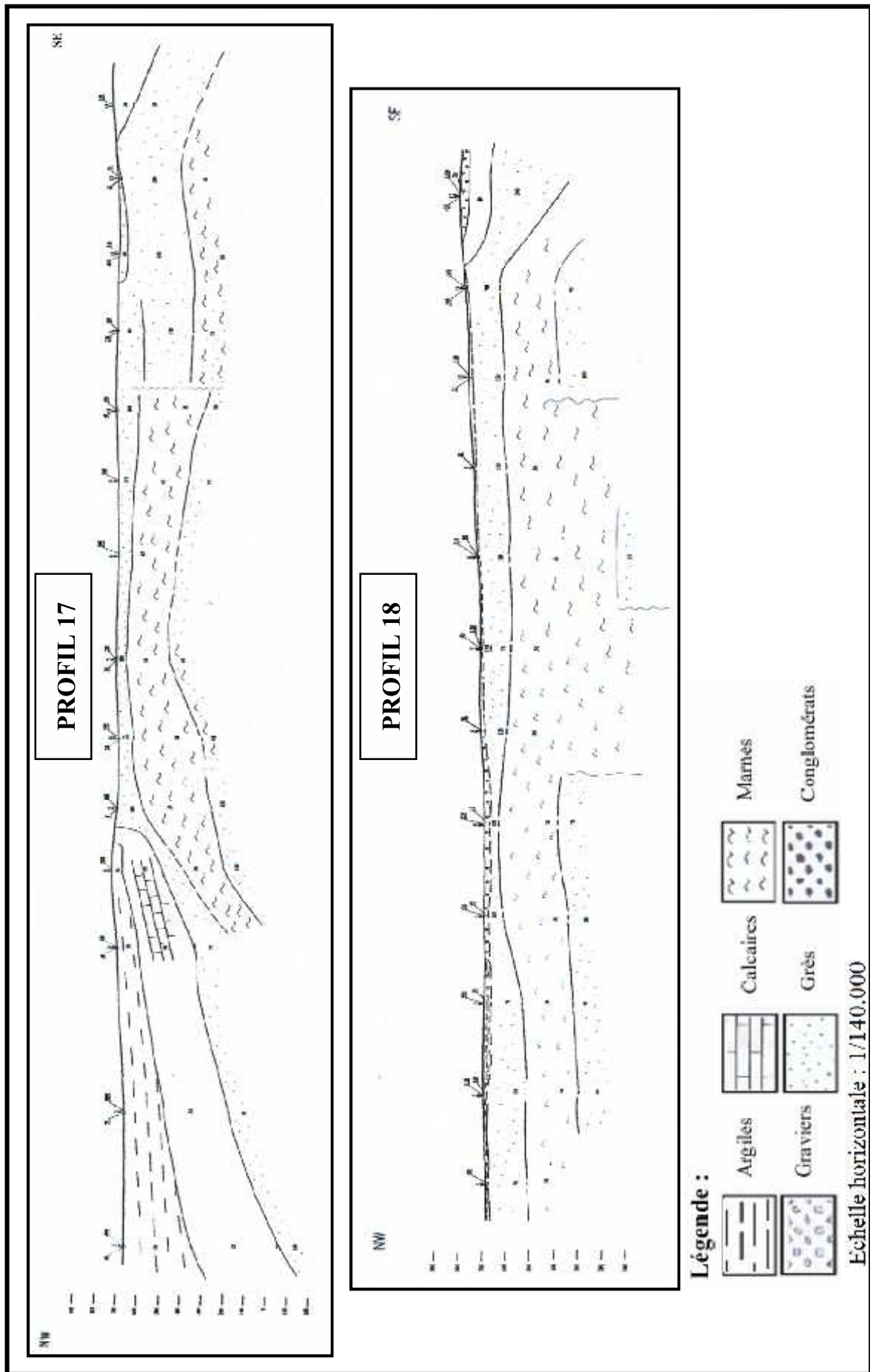


Figure 23 : Coupes géo-électriques 17 et 18 (ALGEO, 1980)

.2.4/ Carte des résistivités apparentes en ligne AB=1000 m :

La ligne d'émission choisie (AB = 1000 m) permet une profondeur d'investigation de 100 à 250 m environ, cette carte (fig. 24) montre que les valeurs des résistivités sont modérées sur l'ensemble de la plaine, elles varient de 40 à 300 Ohm.m. Les zones les plus résistantes se situent au Sud-Ouest, alors que les zones les plus conductrices se situent au Nord et Nord –Est de la plaine .

.2.5/ Carte en isobathes de l'Albien (fig. 25) :

Cette carte est basée sur la corrélation des coupes géo-électriques interprétatives établies pour chacun des profils. Les côtes du toit de l'Albien sont données en côtes absolues. La carte met en évidence deux zones distinctes :

- Dans la zone Nord, le sommet de l'Albien faisant partie du flanc Nord de l'anticlinal El Khatoua-Doghmane est érodé au Sud de la ville d'Ain Oussera, et plongeant ensuite en profondeur en direction du Nord. Il atteint plus de 1000 m au dessous de la surface à El Krachem (à 8 Km au Nord d'Ain Oussera) .
- Dans la zone Sud, les valeurs des côtes sont élevées (jusqu'à 900 m), le toit de l'Albien se situe donc à une faible profondeur, subaffleurant, et même affleurant dans quelques localités.

.2.6/ Carte en isopaques de l'Albien :

La cartographie des isopaques (d'égaies épaisseurs) des formations de l'Albien (fig. 26), montre que ces dernières ont une épaisseur moyenne de l'ordre de 150 m. Cependant, elle peut atteindre 250 m environ dans la région de Bouira Lahdab .

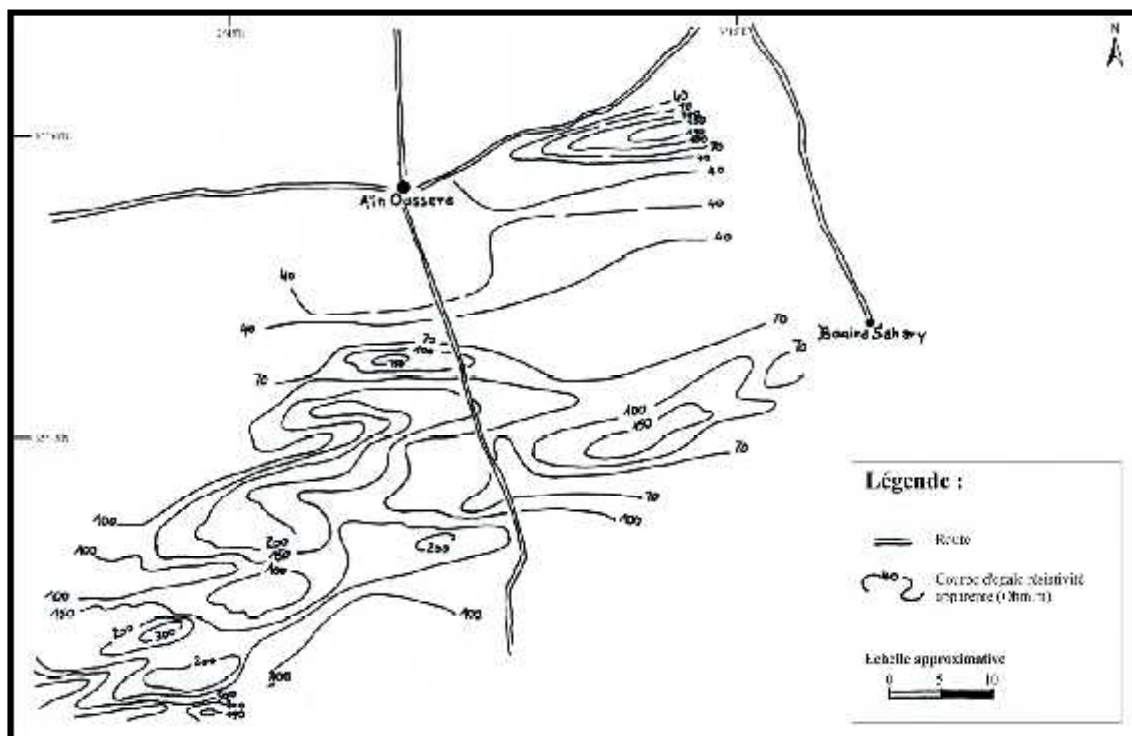


Figure 24 : Carte des résistivités apparentes en ligne AB=1000 m (ALGEO, 1980)

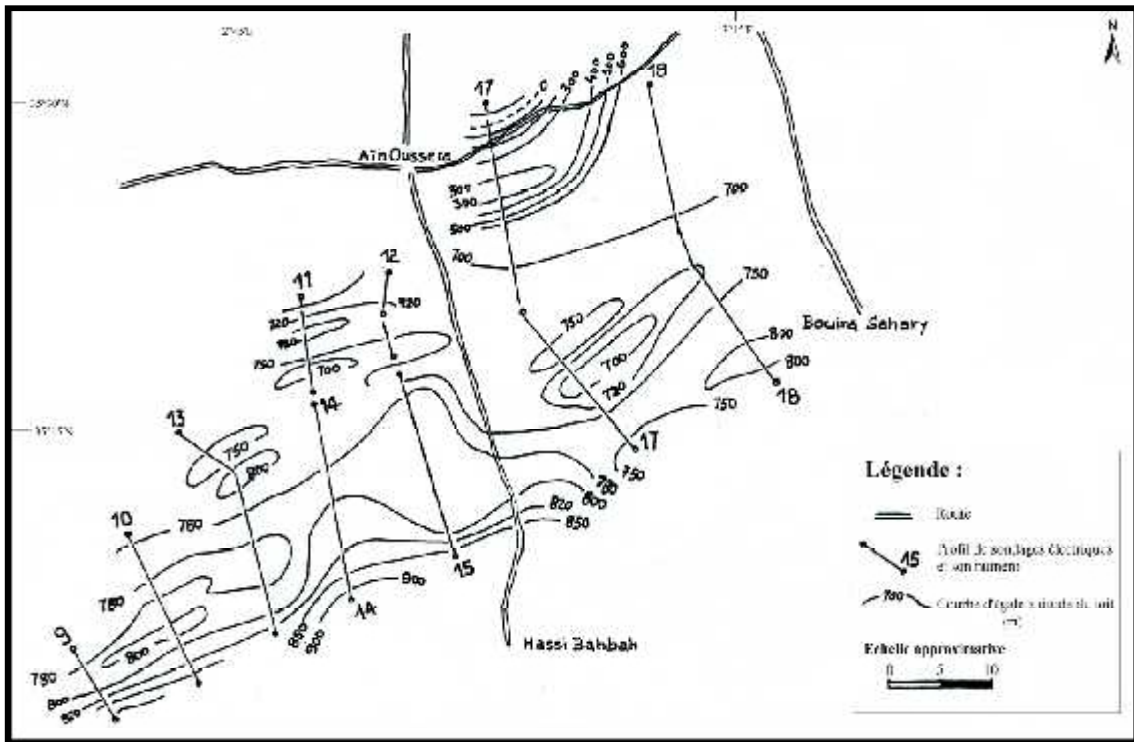


Figure 25 : Carte en isobathes des formations de l'Albien (ALGEO, 1980)

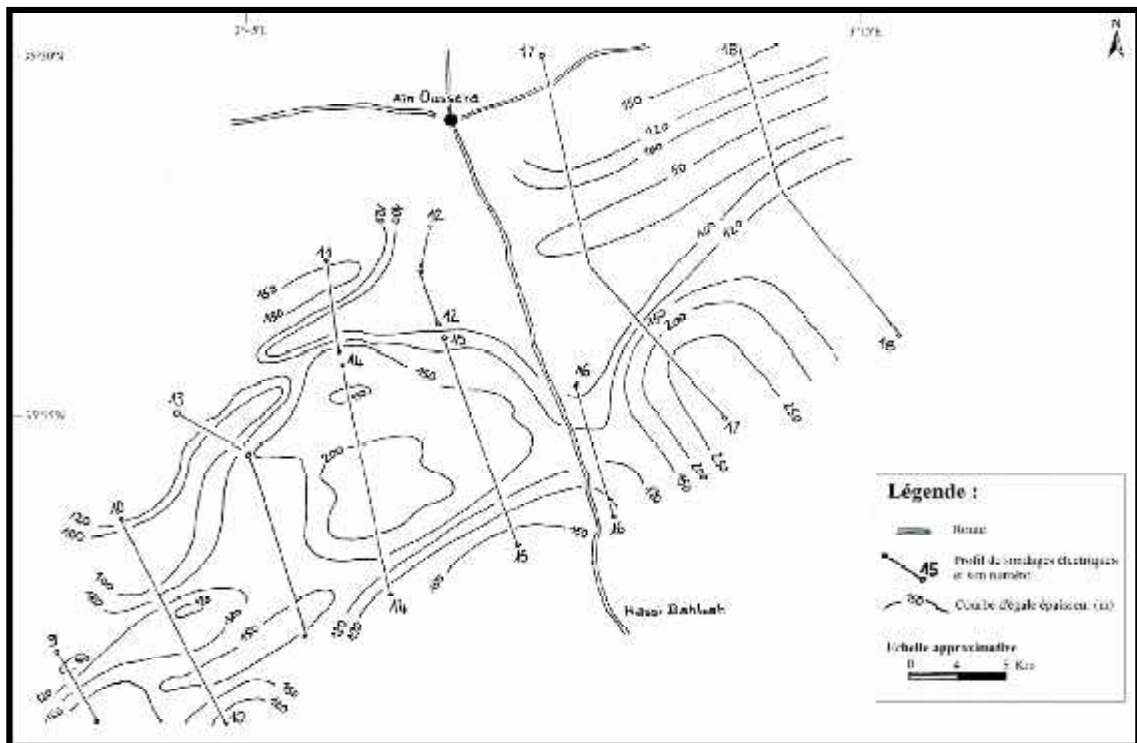


Figure 26 : Carte en isopaques des formations de l'Albien (ALGEO, 1980)

.3/ Conclusion :

L'approche géologique et géophysique nous a permis de ressortir les conclusions suivantes :

La géologie de la région de Ain Oussera est compliquée, l'anticlinal de Bou Cedraïa avec celui El Khatoua-Koudiat Doghmane présenteraient des ondulations secondaires et des fracturations plus ou moins importantes .

La direction la plus fréquente des failles est comprise entre N50°E à N70°E, celle-ci est quasiment atlasique .

L'Aptien et le Barrémien de résistivité très variable (10 à 400 Ohm.m) et d'épaisseur supérieure à celle de l'Albien (200 m pour l'Aptien, 650 m pour le Barrémien), recèlent des potentialités en eau non négligeables .

De résistivité comprise en général entre 50 et 200 Ohm.m, et d'épaisseur de l'ordre de 150 m, les grès de l'Albien constituent un bon réservoir. Ils présentent de bonnes possibilités d'exploitation surtout dans les endroits où ils s'affleurent .

On peut considérer donc, en ce qui concerne les ressources en eau souterraines, que l'ensemble formé par le Crétacé inférieur renferme plusieurs horizons aquifères dont le plus important dans la région de Ain Oussera est sans nul doute l'Albien gréseux .

CHAPITRE

CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES ET QUALITE CHIMIQUE DE L'EAU

.1/ CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES :

.1.1/ Introduction :

Les résultats du chapitre précédent nous ont permis de dire que les potentialités d'exploitation du Crétacé supérieur, du Miocène et du Quaternaire sont très limitées. Alors que les terrains du Crétacé inférieur présentent plusieurs niveaux aquifères. L'Albien, en particulier, renferme les meilleures potentialités en eau .

Le tableau 30 ci-après récapitule les caractéristiques hydrogéologiques de toutes les formations Post Jurassiques rencontrées dans la région de Ain Oussera .

.1.2/ Nappe de l'Albien :

Il existe plusieurs raisons qui expliquent l'importance régionale de la nappe Albienne, à savoir :

- Le toit de l'aquifère Albien est proche de la surface du sol sur la majeure partie de la plaine, et même affleure en plusieurs localités .
- Les propriétés lithologiques favorables et la puissance des formations Albiennes .
- La qualité de l'eau est généralement bonne, et supérieure à celle de l'eau contenue dans les formations Barrémiennes et Aptiennes .
- L'Albien est moins cloisonné par les argiles en comparaison avec les formations sous-jacentes (Aptien et Barrémien) .

Dans la région d'étude, l'Albien est affecté par de nombreuses failles qui facilitent la circulation des eaux. Les terrains Albiens constituent donc un milieu de circulation hétérogène, caractérisé par une double perméabilité, d'interstices et de fractures .

La nappe Albienne constitue donc la nappe la plus intéressante de la région. Elle est captée par de nombreux forages destinés à l'AEP et aux exploitations agricoles .

.1.3/ Piézométrie de la plaine d'Ain Oussera :

.1.3.1/ Réseau de surveillance :

Le réseau témoin actuel pour le suivi piézométrique de la plaine d'Ain Oussera (secteur d'étude) est composé de 40 points d'eau (30 puits et 10 piézomètres) répartis sur toute la plaine (Fig.27), dont les caractéristiques sont mentionnées dans le tableau 01 en annexe .

Tableau 30 : Récapitulatif des caractéristiques des aquifères existants dans la région de Ain Oussera (SOGREAH, 2006, modifié)

Epoque	Etage	Facès	Caractère de l'Aquifère	Exploitation de l'aquifère	Remarque
Quaternaire		Alluvions, Argiles sableuses	Formation perméable, Nappe superficielle peu productive	Sollicité par de nombreux puits traditionnels	Drainée par les oueds Niveau piézométrique à quelques mètres du sol
	Miocène	Grès, Marnes sableuses	Formation perméable Aquifère très limité	Sollicité par de nombreux puits	Drainée par les oueds
Tertiaire	Eocène	Calcaires, Calcaires marnes, Marnes gypseuses	Formation perméable Aquifère réduit	Exploité par quelques puits dans la région de Birine	Petites unités hydrogéologiques indépendantes (structure en écailles)
	Sénonien	Calcaires, Niveaux marnes	Formation peu perméable Stérile	Pas exploité	
	Turonien	Calcaires, Marnes, Calcaires dolomitiques	Formation perméable Aquifère limité	Pas exploité	
Crétacé Supérieur	Cénomaniens	Calcaires marnes	Formation peu perméable Aquifère très peu productif à stérile	Pas exploité	
	Albien	Grès grossiers	Formation très perméable Aquifère principal, productif	Capté par de nombreux forages	Fracturé Quelques passées argilo - marnes
Crétacé Inférieur	Aptien	Calcaires gréseux, Niveaux Marnes et argileux	Formation moyennement perméable (niveaux marnes) Peu aquifère	1 forage pour l'alimentation AFP de Ain Oussera (eau chargée)	Fracturé Peu / pas de circulation verticale de l'eau (nombreux niveaux marnes et argileux)
	Barrémien	Grès grossiers Niveaux argileux	Formation perméable Aquifère potentiellement important	Pas exploité 1 forage (région de Ain Oussera) : donne une eau de mauvaise qualité	Fracturé Aquifère multicouche : plusieurs niveaux productifs séparés par des passées argileuses parfois épaisses qui limitent considérablement la circulation verticale de l'eau

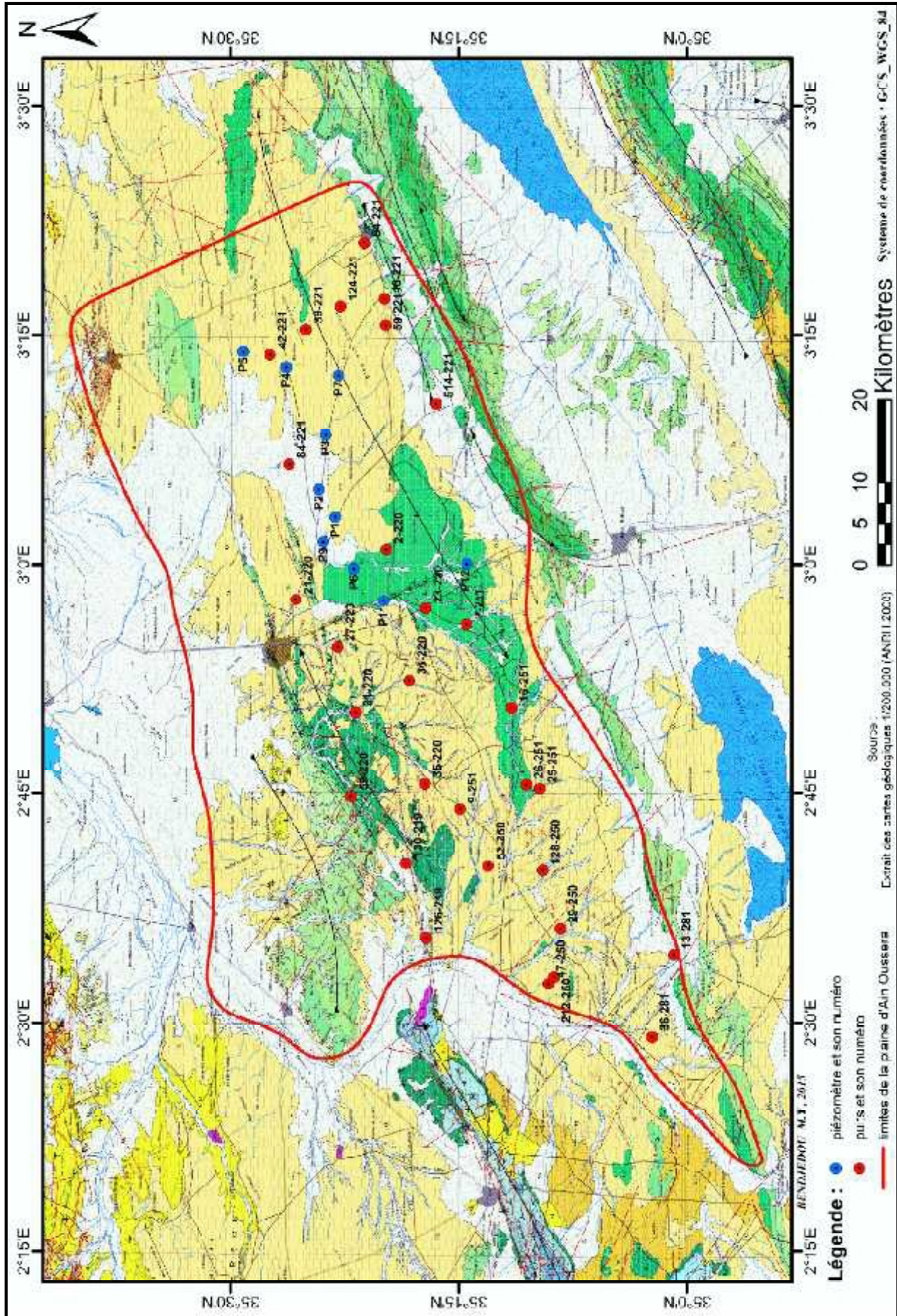


Figure 27 : Réseau actuel de surveillance piézométrique de la plaine de Ain Oussera

.1.3.2/ Etablissement et interprétation des cartes piézométriques :

L'Albien est proche de la surface voire affleure sur la majeure partie de la zone d'étude . Les formations sus-jacentes (Crétacé Supérieur, Miocène et Quaternaire) ont des potentialités aquifères moindres mais sont en communication hydraulique avec l'Albien (il y a une seule nappe, une seule carte piézométrique) (SOGREAH, 2007) .

Deux cartes piézométriques ont été réalisées (Mai 1985 et Mai 2014) à partir des campagnes piézométriques effectuées par l'ANRH, l'ensemble des points d'eau utilisés captent l'Albien .

Nous avons utilisé l'ArcGIS V 10.0 d'ESRI comme logiciel informatique pour la réalisation de la cartographie piézométrique, sachant qu'on a utilisé la méthode d'interpolation linéaire pour le traçage des courbes isopièzes .

.1.3.2.1/ Carte piézométrique de Mai 1985 : (fig. 28)

D'une manière globale, l'écoulement s'effectue du Sud vers le Nord, il se caractérise par une alimentation en provenance des reliefs (limites Sud de la plaine), et par un drainage modéré par l'oued Touil .

Dans la partie Ouest de la route Ain Oussera-Djelfa, les courbes isopièzes sont espacées, et la nappe est drainée par les oueds : Guernini, Mouilah, Makhloufi, Ben Maarouf et Boukhechba, qui se jettent soit dans l'oued Touil ou coulent vers le Nord .

En ce qui concerne le gradient hydraulique, il est faible sur la majorité de cette partie (généralement entre 1,7‰ et 5‰), sauf à l'Est de l'oued Guernini où il est relativement fort (de l'ordre de 11,5‰) .

Dans la partie Est, on remarque une convergence des axes principaux d'écoulement vers le Nord, vers une zone de dépression piézométrique formée par l'isopièze 680 m NGA .

Dans la moitié Sud de cette partie, les courbes isopièzes sont plus ou moins serrées et le gradient hydraulique est relativement fort, de l'ordre de 12,5‰ .

.1.3.2.2/ Carte piézométrique de Mai 2014 : (fig. 29)

Dans la région de Sersou à l'Est de la plaine de Ain Oussera, la piézométrie a été modifiée par l'exploitation intensive, ce qui a provoqué une baisse de la nappe dans cette zone. L'allure piézométrique est caractérisé par un recul de certaines isopièzes, notamment l'isopièze 680 m NGA et l'isopièze 700 m NGA .

Le reste de la plaine n'a pas subi de variation piézométrique remarquable .

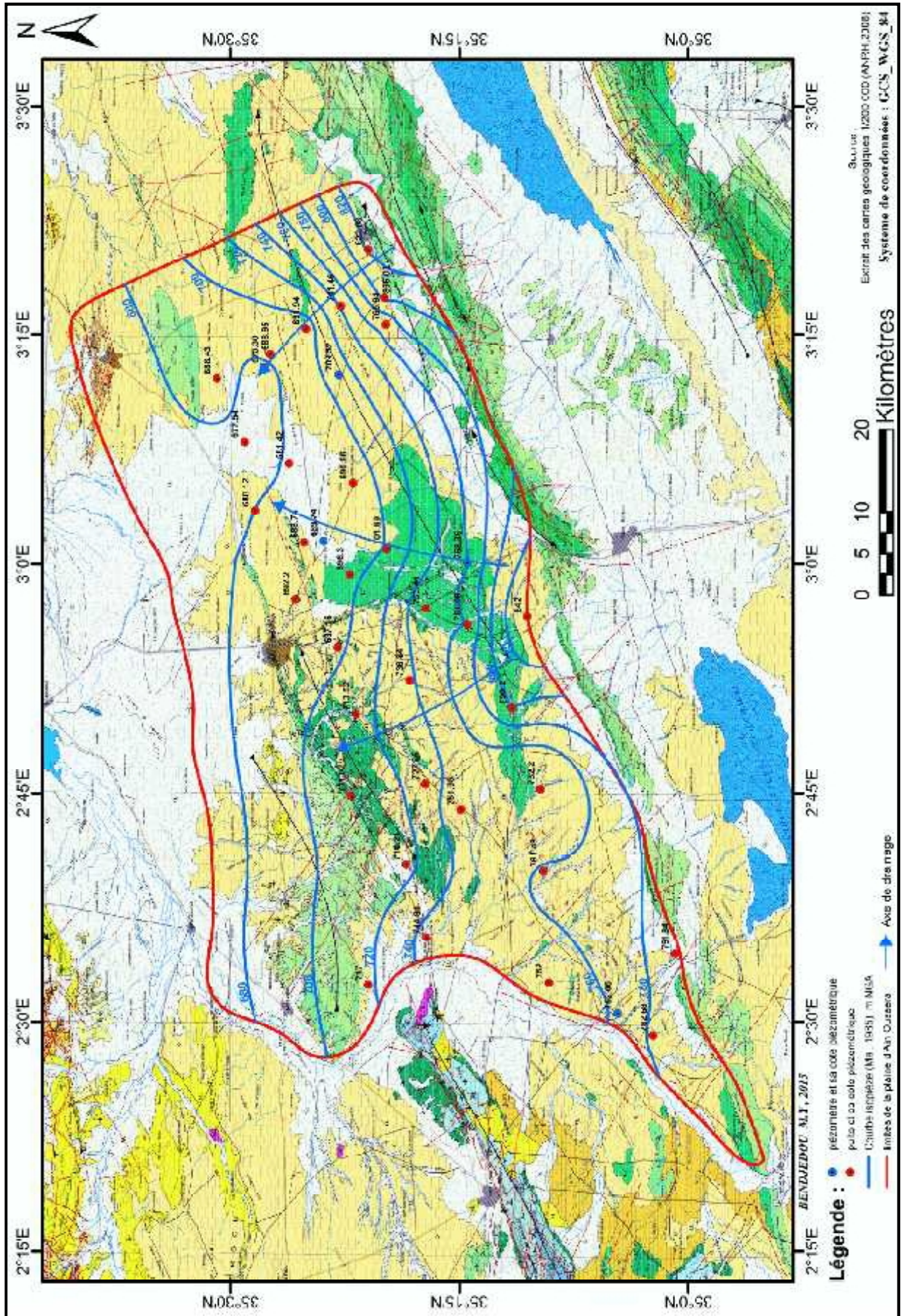


Figure 28 : Carte piézométrique de la plaine de Ain Oussera (Mai 1985)

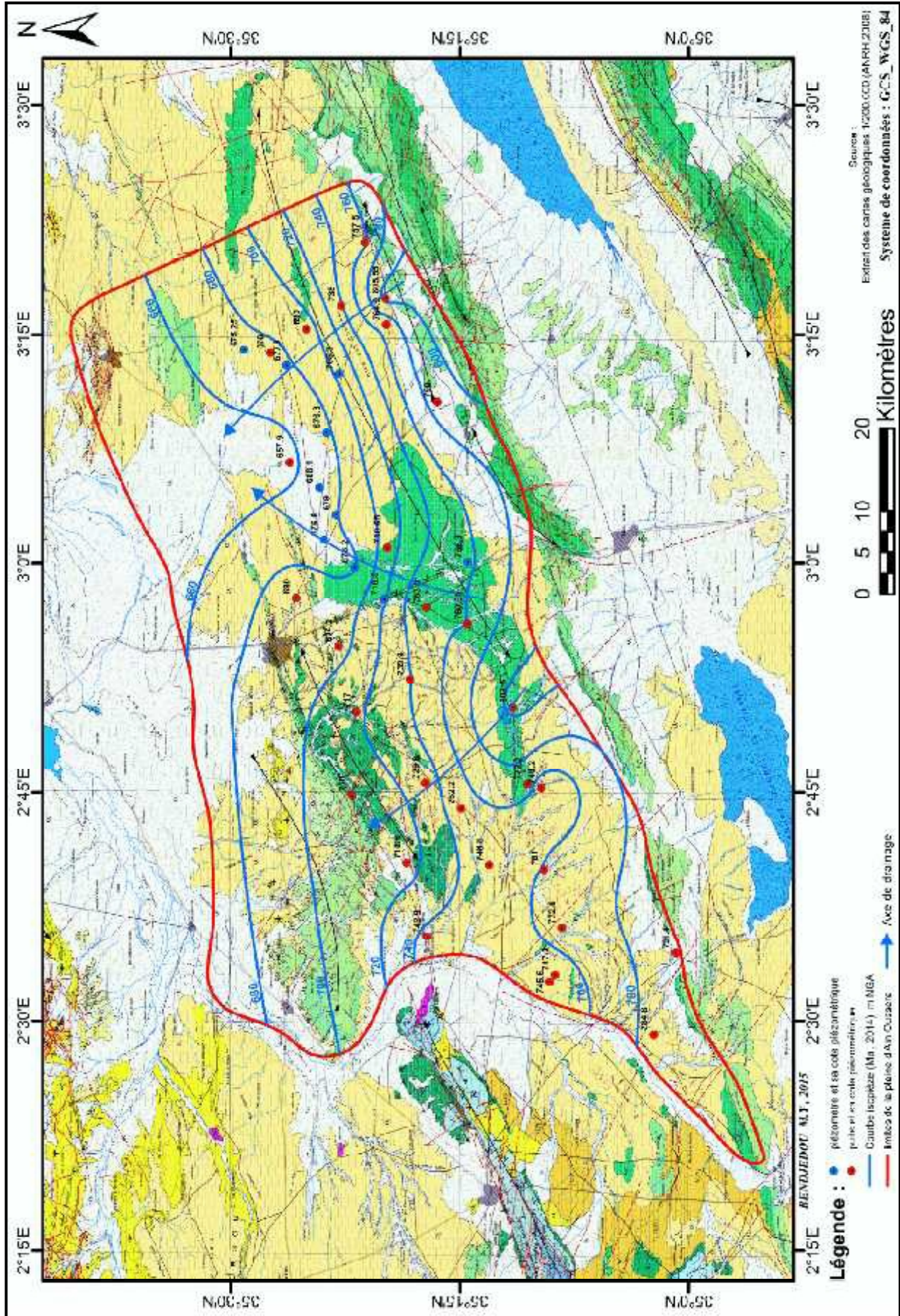


Figure 29 : Carte piézométrique de la plaine de Ain Oussera (Mai 2014)

.1.3.3/ Evolution de la piézométrie entre 1985 et 2014 :

Afin de dégager une vision globale de l'évolution piézométrique sur le secteur d'étude, nous avons réalisé une carte (fig. 30) qui montre l'évolution de la piézométrie entre 1985 et 2014 avec des chroniques piézométriques qui paraissent être les plus représentatives .

L'analyse de cette carte montre qu'il y a deux zones :

- La plaine de Sersou, située au Nord-Est de notre secteur d'étude, où il est enregistré une baisse du niveau d'eau non négligeable dans tous les points d'eau, qui peut atteindre les 13 mètres dans le piézomètre P9 et le puits 42-221 .
Cette baisse est due essentiellement à la surexploitation en grande partie à usage agricole, résultant d'un programme de mise en valeur agricole dans cette région .
- Sur le reste de la plaine, la quasi-totalité des chroniques piézométriques montre un niveau stable ou hausse du niveau de la nappe. Cette observation permet de dire que la recharge de la nappe par les précipitations efficaces a été relativement stable sur cette période .

.1.4/ Caractéristiques hydrodynamiques :

A la lumière des résultats des essais de pompages réalisés sur le réseau de piézomètres implanté par l'ANRH et des rapports de fin de sondages de la DHW et des études précédentes, SOGREA (2006) a établi une synthèse des données relatives aux paramètres hydrodynamiques : transmissivité (T), perméabilité (K) et coefficient d'emmagasinement (e), pour des ouvrages captant l'Albien. Le détail des résultats est présenté dans le tableau 02 en annexe. A partir de ces données, nous avons réalisé deux cartes qui montrent la répartition spatiale des transmissivités et celle des perméabilités .

.1.4.1/ Répartition spatiale des transmissivités : (fig. 31)

La carte des transmissivités montre que ces dernières sont généralement comprises entre $1-10 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. On peut distinguer aussi, deux zones de plus faible transmissivité : l'une au Sud-Est du secteur d'étude, et l'autre au Nord-Ouest. Ces faibles valeurs de transmissivité peuvent être expliquées par un changement de faciès de l'aquifère Albien, qui devient plus argileux .

.1.4.2/ Répartition spatiale des perméabilités : (fig. 32)

La répartition spatiale des perméabilités prend presque la même allure que celle des transmissivités. Les valeurs dominantes sont comprises entre $1-10 (10^{-5} \text{ m/s})$. En effet, l'hétérogénéité des valeurs observées peut s'expliquer par des variations latérales de faciès et par l'existence d'une perméabilité secondaire de fracture modifiant localement le comportement hydrodynamique de l'aquifère (SOGREA, 2006) .

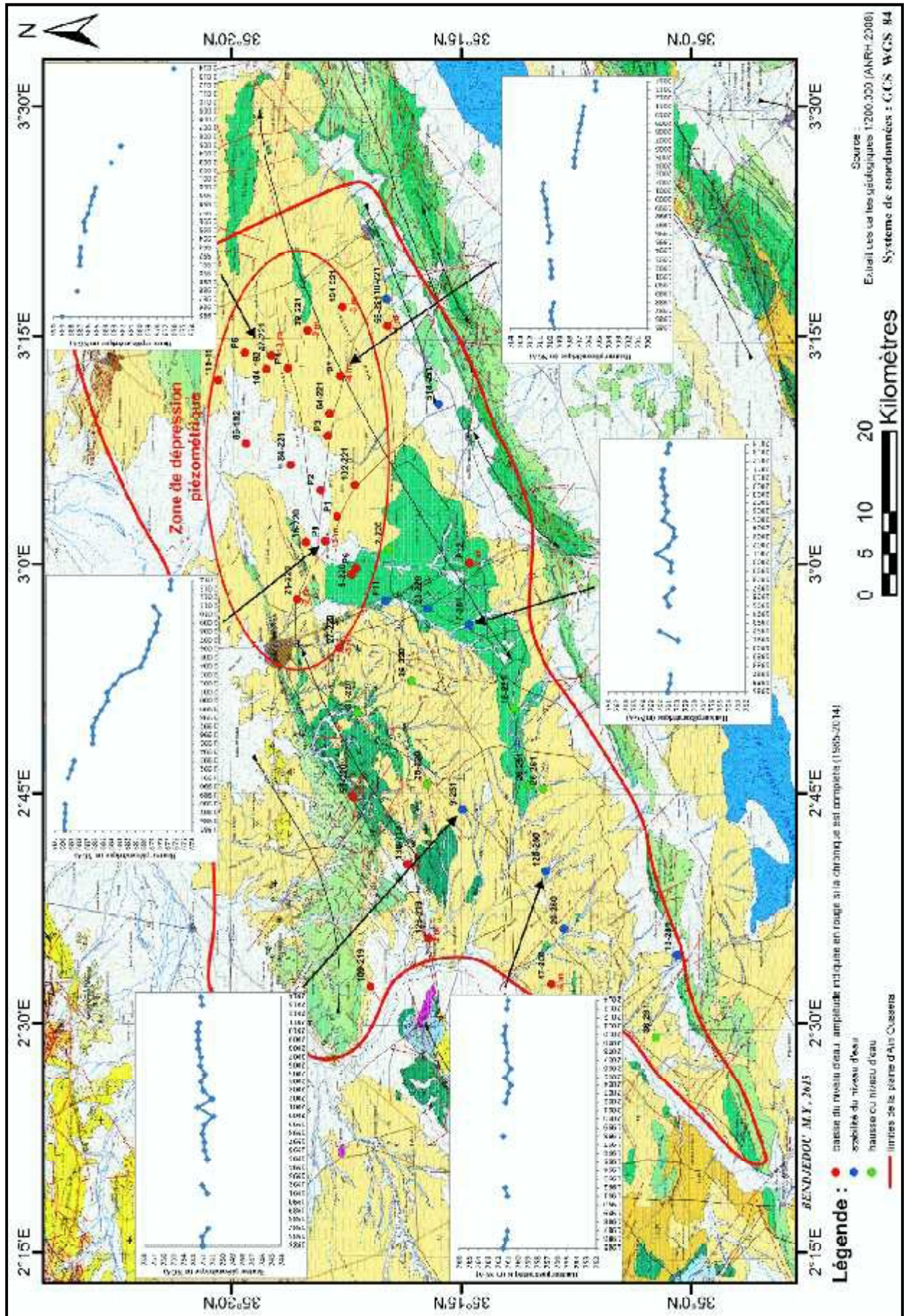


Figure 30 : Evolution de la piézométrie entre 1985 et 2014

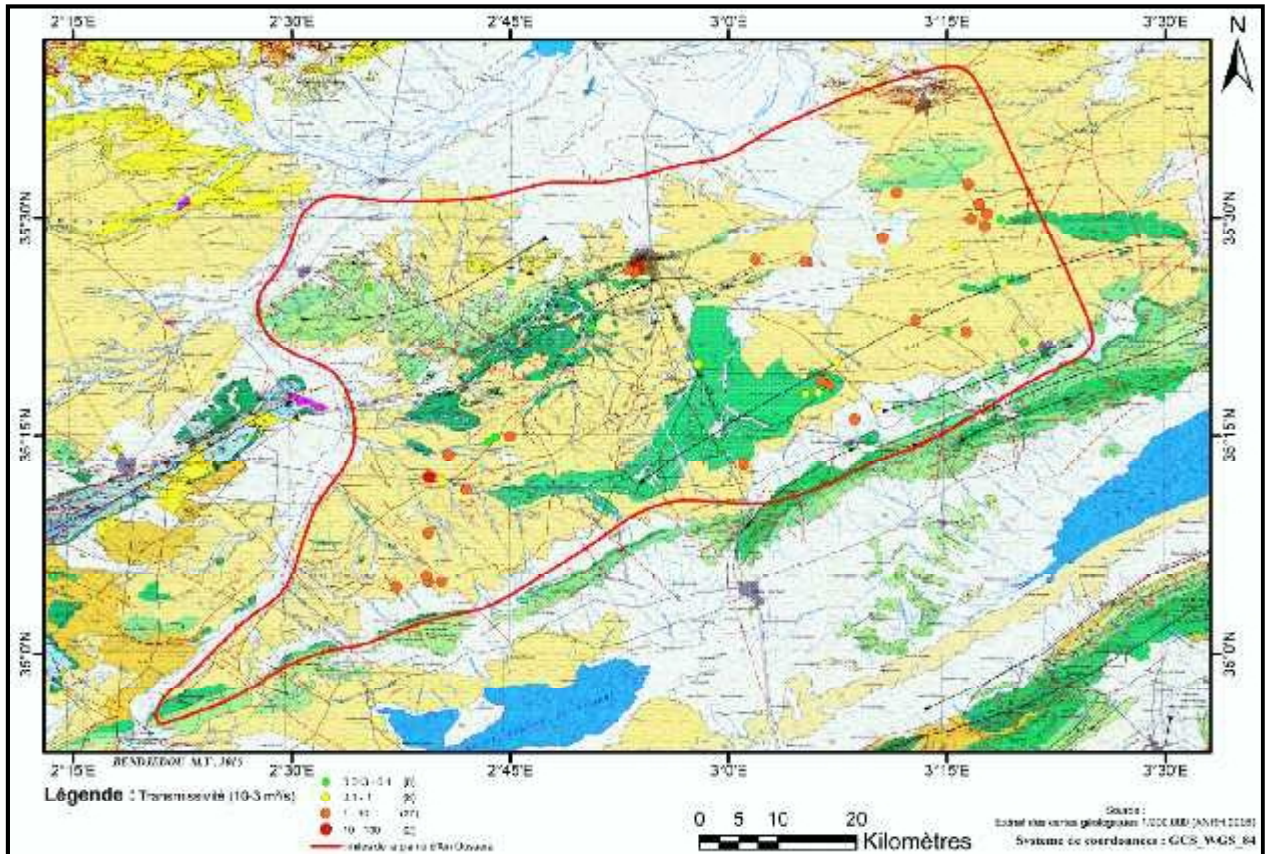


Figure 31 : Carte des transmissivités de la plaine d'Ain Oussera

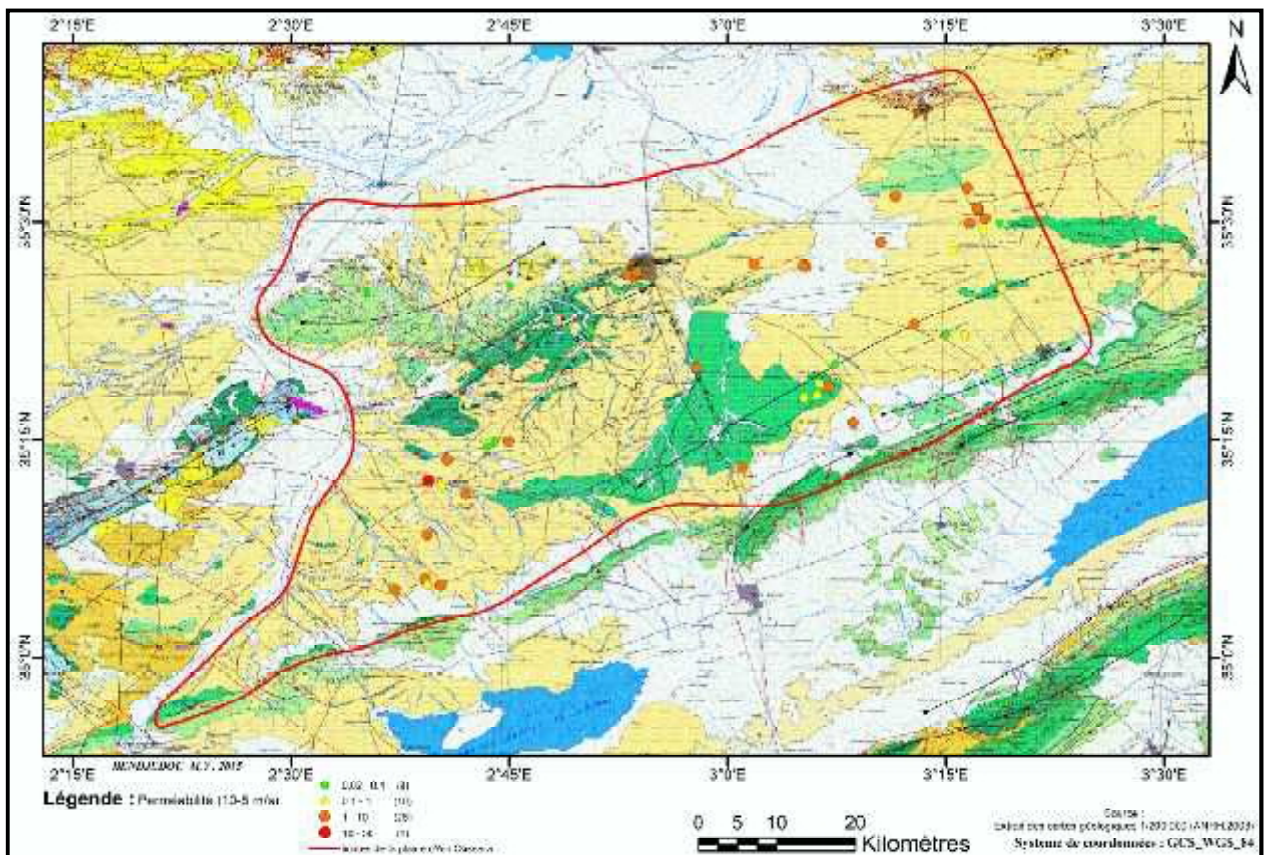


Figure 32 : Carte des perméabilités de la plaine d'Ain Oussera

.2/ QUALITE CHIMIQUE DE L'EAU :

.2.1/ Introduction :

Le but de cette étude hydrochimique est la détermination des faciès chimiques des eaux souterraines de la plaine de Ain Oussera et l'appréciation de la potabilité des eaux et leurs aptitudes à l'irrigation .

Pour aboutir à ces objectifs, nous avons utilisé les données recueillies au niveau de l'ANRH de Djelfa, qui a effectué en Mai 2006 une campagne d'échantillonnage et d'analyse sur 28 points d'eau (fig. 34), répartis à travers la plaine de Ain Oussera. Les résultats d'analyses exprimés en mg/l et en meq/l sont consignés dans le tableau 03 en annexe .

.2.2/ Analyse des paramètres physico-chimiques :

.2.2.1/ Le potentiel d'Hydrogène :

Le pH exprime la concentration en ion H^+ d'une solution. C'est un paramètre physique qui caractérise l'acidité ou la basicité (alcalinité) de l'eau .

Les valeurs mesurées du pH sont comprises dans l'intervalle de 7,69 à 9,97, ce qui reflète l'alcalinité des eaux de la plaine .

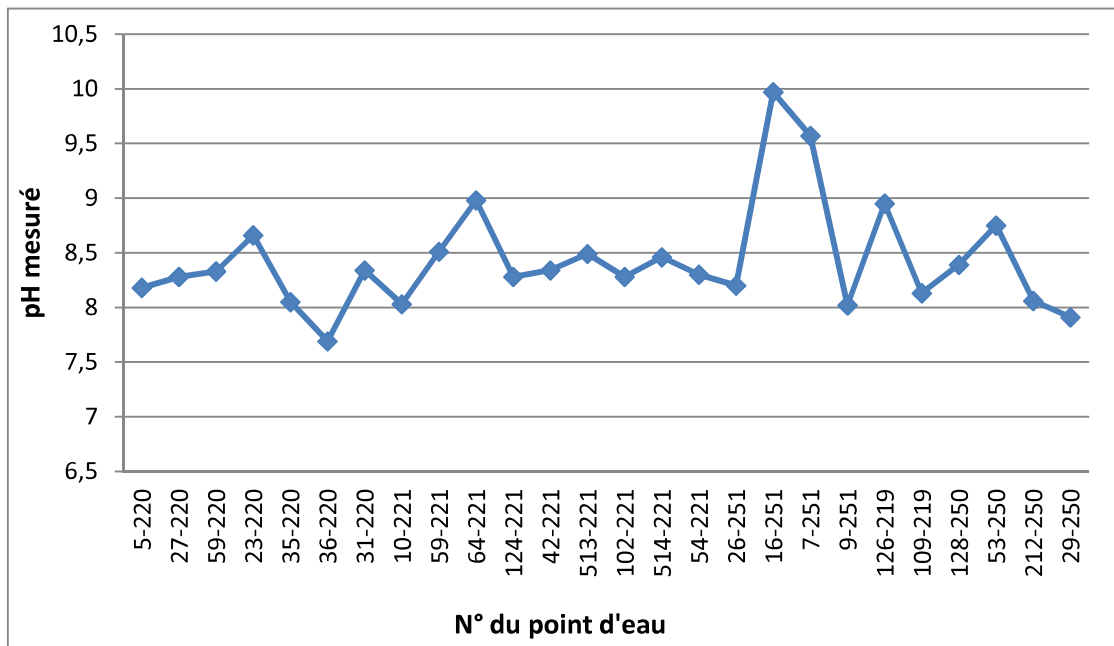


Figure 33 : Variation du pH des échantillons d'eau analysés (Mai 2006)

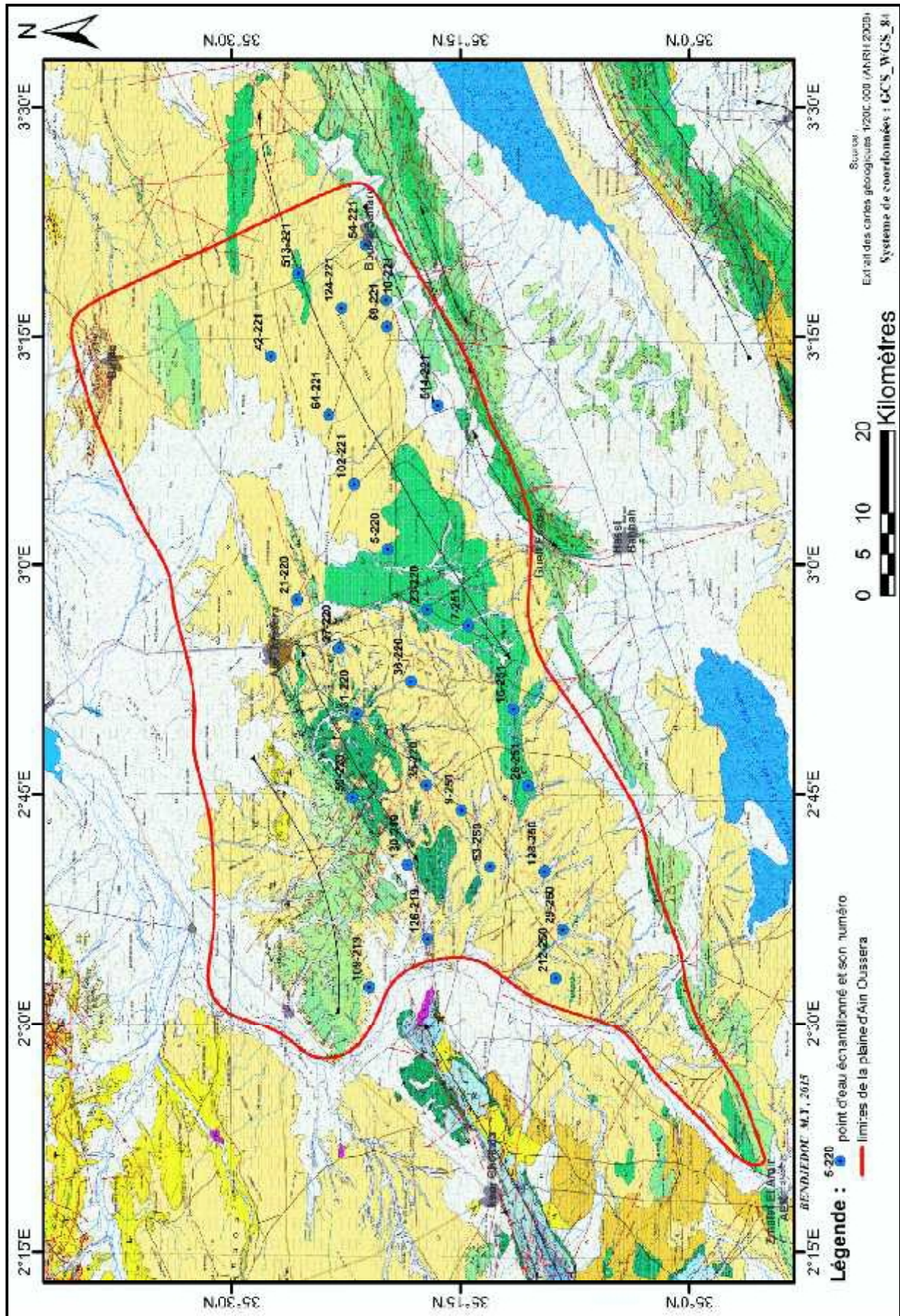


Figure 34 : Carte d'inventaire des points d'eau échantillonnés (Mai 2006)

.2.2.2/ Dureté totale ou degré hydrotimétrique (D.H.T) :

La dureté totale d'une eau indique globalement sa teneur en ions alcalino-terreux, en particulier les ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}), mais aussi les ions strontium (Sr^{2+}) et baryum (Ba^{2+}) (OFEFP, 2003) .

D'après le tableau 31 ci-dessous qui classe les eaux selon la dureté totale, on peut classer 8 échantillons d'eau comme très dure, avec une valeur maximale de 133,33 °F observée au niveau du puits 109-219 situé au Nord-Ouest de la plaine, près de l'oued Touil ; 7 échantillons comme dure et 13 échantillons comme assez douce et modérément douce .

Tableau 31 : Classification des eaux selon leur D.H.T (d'après W. THEOBALD et A.GAMA, 1969)

D.H.T en °F	0 - 7	7 - 22	22 - 32	32 – 54	> 54
Qualification de l'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure

.2.2.3/ Cartes des résidus secs :

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

Les valeurs des résidus secs s'échelonnent entre 272 mg/l et 2030 mg/l . La répartition spatiale des résidus secs des eaux de la plaine de Ain Oussera (fig. 35,36), montre que la minéralisation totale augmente globalement du Sud vers le Nord, c'est-à-dire de l'amont vers l'aval de la nappe, liée à la circulation de l'eau dans les formations, et confirmant le sens d'écoulement déduit de la carte piézométrique. Exception faite au Sud Est de la plaine, au niveau de la région de Bouira Sahary, où on remarque des valeurs relativement importantes (1389 mg/l au puits 10-221 ; 1883 mg/l au puits 54-221), que l'on peut attribuer à l'influence des formations traversées .

On note également que les points d'eau situés à proximité de l'oued Touil, présentent des concentrations plus ou moins importantes (jusqu'à 2030 mg/l), ceci est expliqué sans aucun doute par l'influence de l'évaporation .

.2.3/ Classification chimique des eaux :

Plusieurs méthodes ont été définies par divers auteurs pour classer et connaître les différents faciès chimiques des eaux naturelles .

Dans le cadre de cette étude, nous avons appliqué les méthodes principales les plus utilisées : la classification de Stabler, de Schoeller-Berkaloff et celle de Piper. Toutes ces classifications sont basées essentiellement sur la composition chimique .

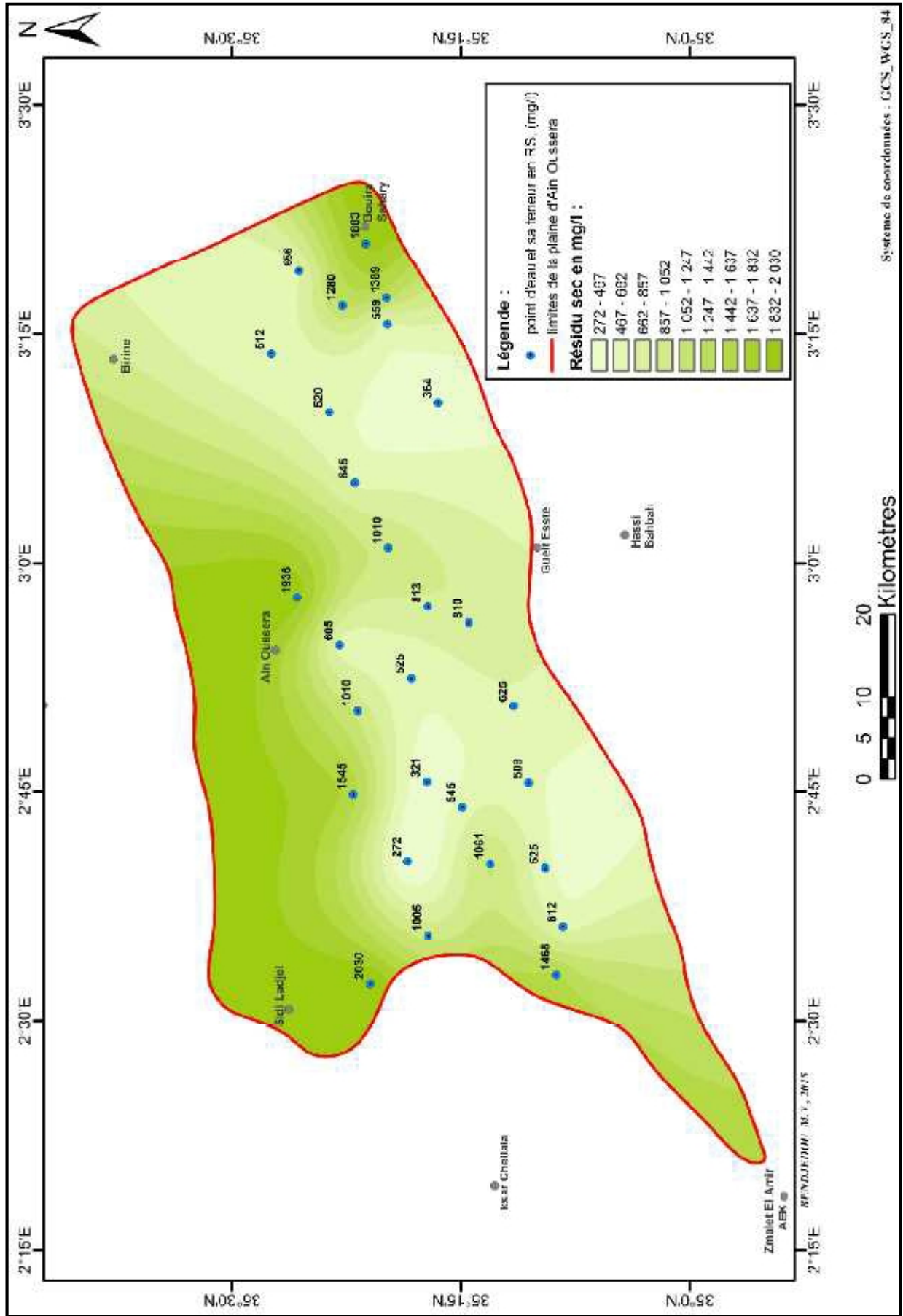


Figure 35 : Evolution spatiale des résidus secs des eaux de la plaine de Ain Oussera (campagne Mai 2006)

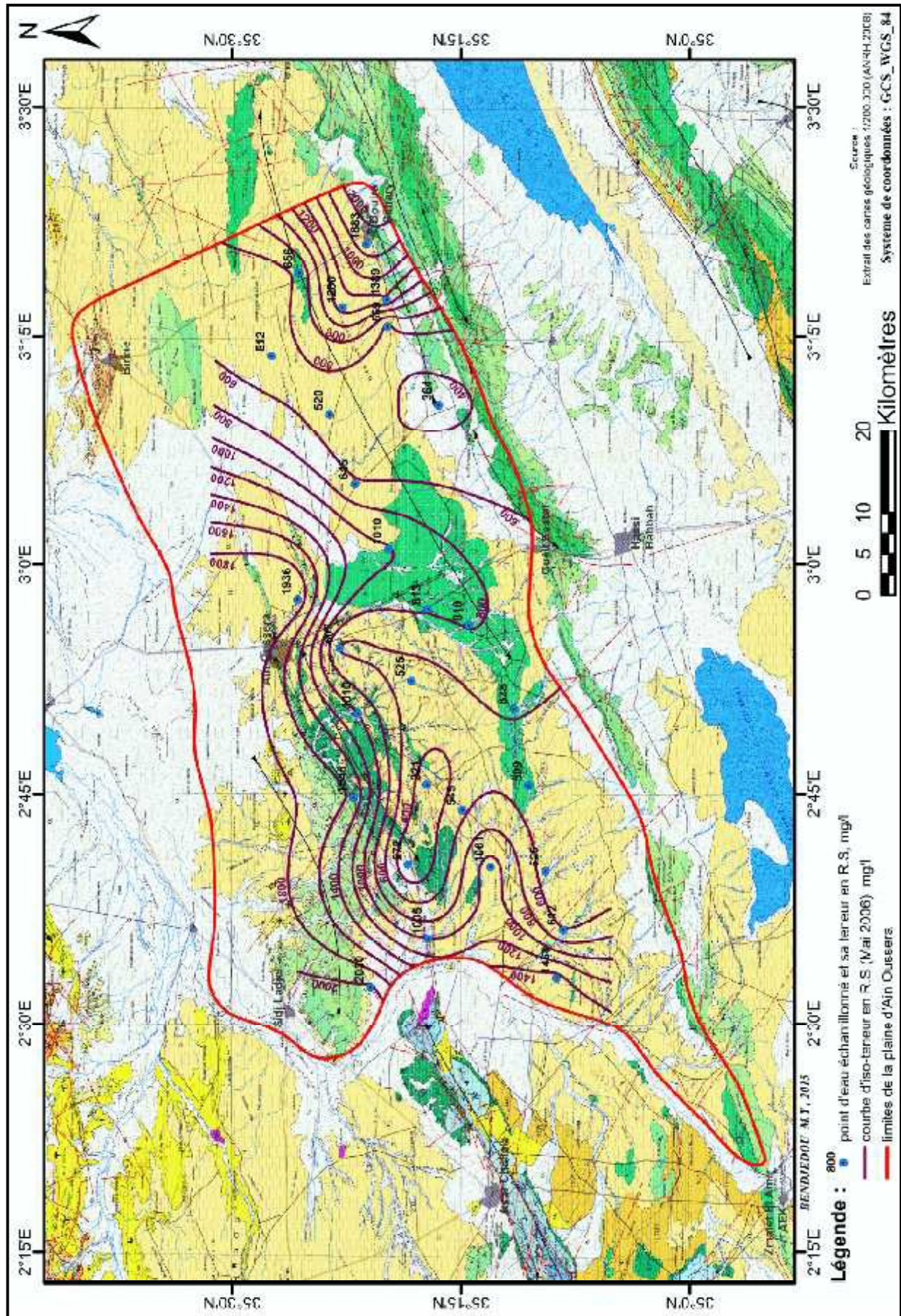


Figure 36 : Carte d'isoteneurs en résidus secs des eaux de la plaine de Ain Oussera (campagne Mai 2006)

.2.3.1/ Classification des eaux d'après Stabler :

Cette classification permet de connaître les différents faciès chimiques des eaux, où nous avons converti les masses pondérales de chaque élément en (még/l), puis on réduit ces derniers en pourcentage (%) du nombre total du (még/l). On classe par ordre de grandeur, d'abord les anions suivis des cations. Les formules caractéristiques sont résumées dans le tableau 4 en Annexe .

De ce classement, nous définissons les eaux de la plaine de Ain Oussera en trois familles : chloruré calcique, magnésien et sodique (78,57 %) avec prédominance du faciès chloruré calcique (39,28 %) ; sulfaté sodique, magnésien et calcique (17,86 %) ; bicarbonaté calcique (3,57 %) .



Figure 37 : Classification des eaux de la plaine de Ain Oussera selon Stabler (campagne Mai 2006)

.2.3.2/ Classification des eaux d'après Piper :

Le diagramme de Piper permet de représenter plusieurs échantillons d'eau simultanément . Il est composé de deux triangles permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique, et d'un losange synthétisant le faciès global (fig. 38) .

Le report des résultats chimiques sur ce diagramme (fig. 39) montre deux familles des eaux :

- Chlorurée et sulfatée, calcique et magnésienne (92,86 %) ;
- Chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique (7,14 %) .

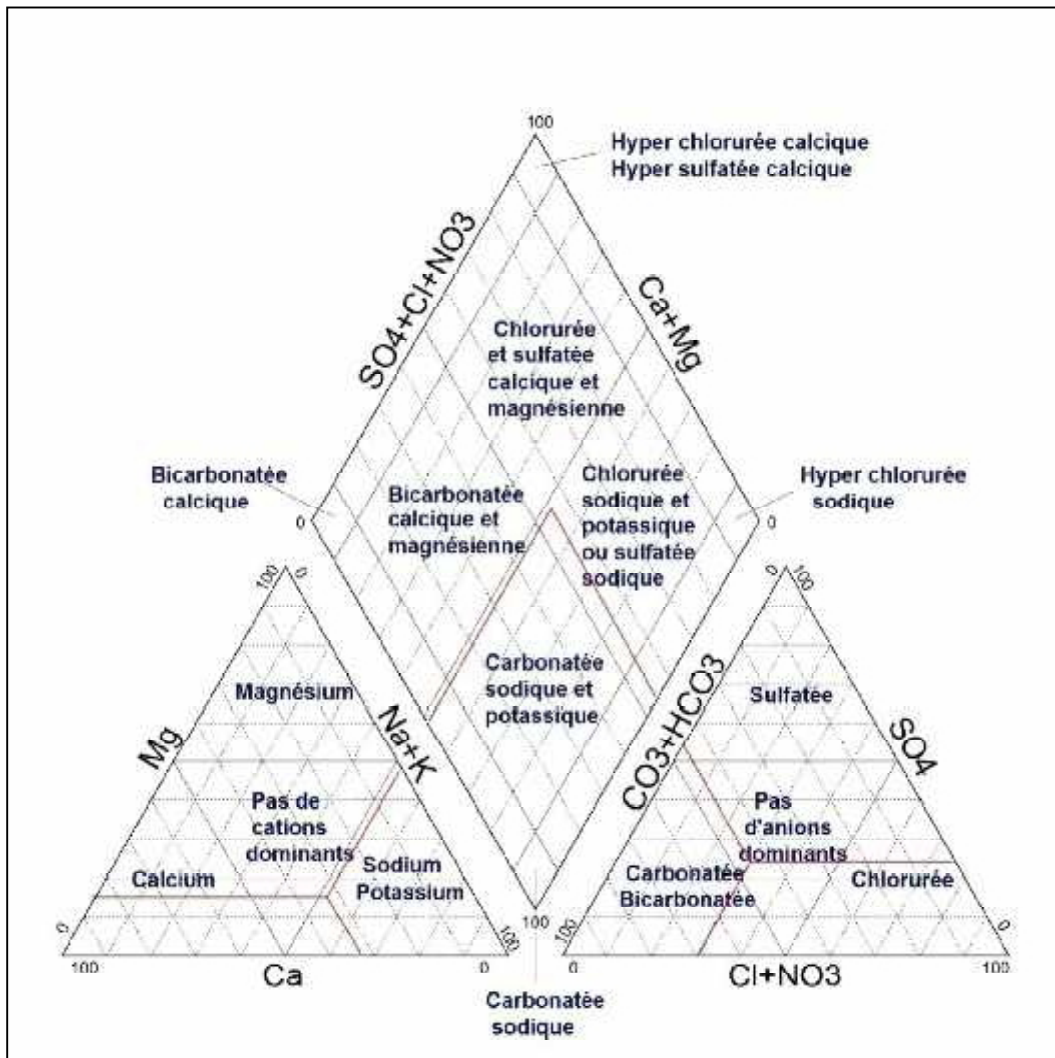


Figure 38 : Diagramme de classification des eaux d'après Piper

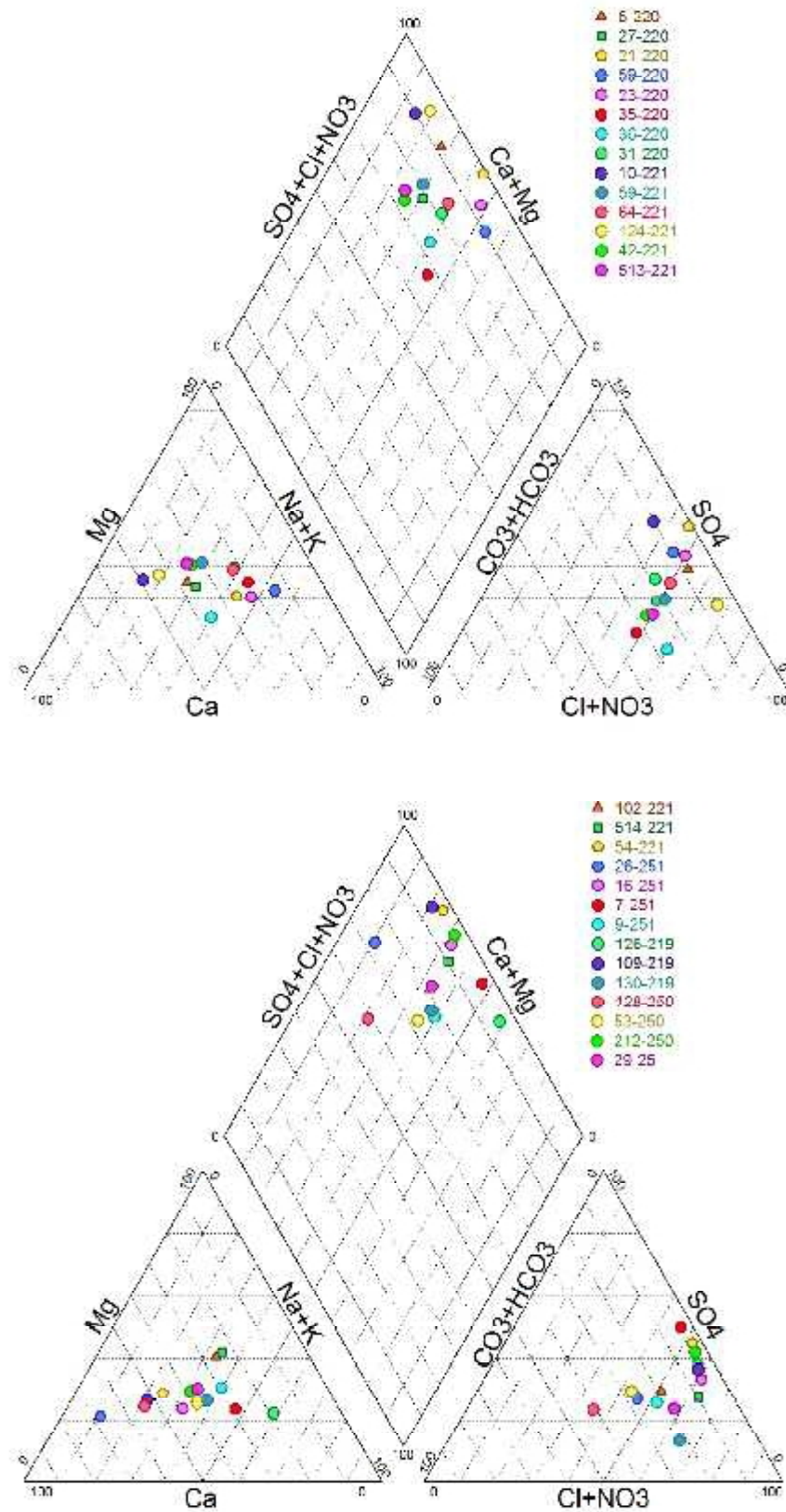


Figure 39 : Classification des eaux de la plaine de Ain Oussera selon Piper (campagne Mai 2006)

.2.3.3/ Classification des eaux d'après Schoeller-Berkaloff :

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff permet de représenter le faciès chimique de plusieurs échantillons d'eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique. La ligne brisée est formée en reliant tous les points qui représentent les différents éléments chimiques .

Les deux diagrammes de Schoeller-Berkaloff tracés pour les points d'eau analysés, montrent la dominance des faciès chloruré sodique et chloruré calcique (15 points d'eau soit 53,57 % des échantillons). Secondairement on observe les faciès : sulfaté sodique et sulfaté calcique (10 échantillons) ; bicarbonaté calcique et bicarbonaté sodique (3 échantillons) .

.2.4/ Indice d'échange de base :

Au cours de son trajet, l'eau souterraine entre en contact avec les constituants de la formation encaissante où des échanges peuvent se faire entre les ions de cette eau et ceux des terrains traversés. D'après Schoeller (1934), l'indice d'échange de base (i.e.b) est le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existants. L'indice d'échange de base ou encore indice de déséquilibre chloro-alkalin, s'exprime selon la formule suivante :

$$\text{i.e.b} = \frac{r\text{Cl}^- - r(\text{Na}^+ + \text{K}^+)}{r\text{Cl}^-}$$

L'examen des valeurs de l'indice d'échange de base mentionnées dans le tableau 05 en annexe, montre que la région d'étude est caractérisée, à majorité, par un i.e.b positif, soit : i.e.b > 0 (78,57 %) ; i.e.b < 0 (21,43 %). Donc, le sodium (Na⁺) et le potassium (K⁺) de l'eau sont échangés contre le calcium et le magnésium du sol. Ces résultats permettent de conclure que la formation aquifère encaissante libère beaucoup plus de calcium et magnésium que de sodium et potassium et marquée par un échange des alcalins traduisant la relation : $r\text{Cl}^- - r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) > 0$.

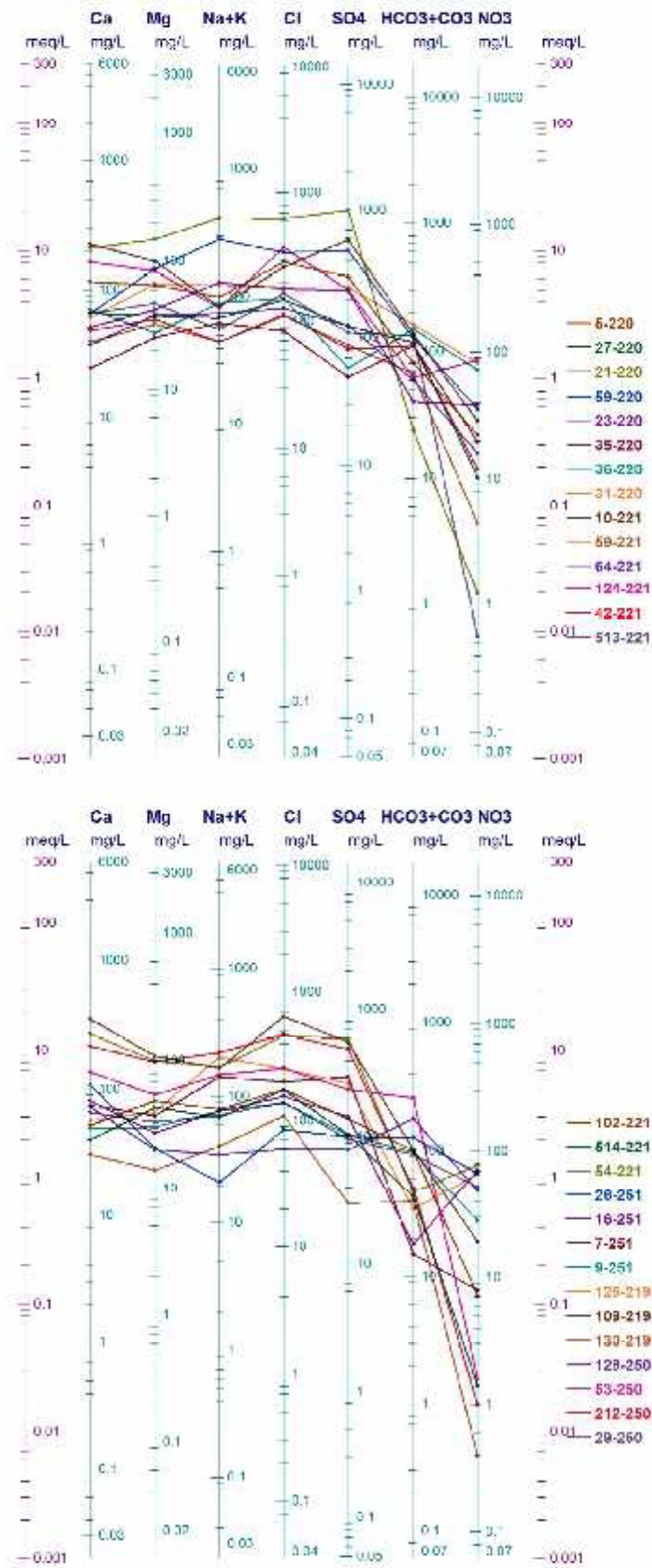


Figure 40 : Classification des eaux de la plaine de Ain Oussera selon Schoeller-Berkaloff (campagne Mai 2006)

.2.5/ Potabilité minéralogique des eaux :

Pour définir la potabilité des eaux étudiées, nous allons baser sur les normes qui ont été établies par l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S) .

Tableau 32 : Normes applicables aux eaux destinées à l'alimentation humaine d'après l'O.M.S

Eléments	Concentration maximale acceptable (mg/l)	Concentration maximale admissible (mg/l)	% des échantillons ayant une concentration inf à la concentration maximale admissible
Ca ⁺⁺	75	200	85,71
Mg ⁺⁺	50	150	100
Na ⁺	20	150	78,57
K ⁺	10	10	78,57
SO ₄ ²⁻	200	400	78,57
Cl ⁻	200	600	92,86
NO ₃ ⁻	50	50	71,43
R.S	500	1500	85,71
pH	7 à 8,5	6,5 à 9,2	92,86

Ces normes définissent deux types de concentrations maximales, traduisant les limites de potabilité :

- Une concentration maximale acceptable à partir de laquelle une eau peut provoquer une certaine réticence chez le consommateur .
- Une concentration maximale admissible correspondant à la quantité maximale de substance à tolérer et dont la teneur supérieure peut être dangereuse pour la santé .

Comparant les résultats des analyses physico-chimiques des eaux de la plaine de Ain Oussera aux normes de l'O.M.S (tableau 32), nous trouvons que la majorité des points d'eau donne des valeurs admissibles. Ce qui nous permet de dire que les eaux de la plaine de Ain Oussera sont généralement de bonne qualité chimique .

.2.6/ Aptitude des eaux à l'irrigation :

Dans les zones arides et semi-arides, l'approvisionnement en eau d'irrigation constitue l'un des facteurs déterminants dans la production agricole, aussi bien dans l'intensification des cultures, que dans l'extension des surfaces irriguées. Pour les régions tempérées, les eaux superficielles constituent la principale source d'eau d'irrigation ; alors que dans les zones semi-

arides, où cette ressource est rare ou inexistante, on fait appel aux eaux souterraines. Le développement de l'agriculture dans ces zones rencontre actuellement, en dehors de la rareté des ressources hydriques, de nouveaux problèmes tels que le risque de salinisation des sols qui peut être apprécié par la conductivité électrique et celui de l'alcalinisation des sols. Cette dernière est due aux échanges ioniques (du sodium, du calcium et du magnésium) entre l'eau et le sol irrigué . (GOUAIDIA, 2008) .

Afin d'apprécier la valeur agricole d'une solution, Wilcox (1948) a proposé le premier diagramme délimitant des classes basées sur la minéralisation totale et le pourcentage du sodium absorbé par l'eau ; puis en 1954 le laboratoire de salinité du département de l'agriculture en USA (Richards) a proposé un deuxième diagramme délimitant aussi des classes fondées sur la minéralisation totale et le sodium absorbé par le sol (S.A.R) .

.2.6.1/ Classification des eaux par la méthode de Richards :

Cette classification est très utile et fiable pour caractériser une eau d'irrigation. Une eau chargée en sels peut provoquer un risque pour l'irrigation. Ce risque est déterminé à l'aide de la valeur du sodium absorbable (Sodium Absorption Ratio, SAR) .

L'eau avec un SAR se situant entre 0 et 6 peut généralement être utilisée sur tout type de sol avec une faible accumulation de sodium. Quand le SAR se situe entre 6 et 9, les risques de problèmes liés avec la perméabilité du sol augmentent. Dans ce cas, le sol devrait être échantillonné tous les 1 ou 2 ans pour déterminer si l'eau augmente la teneur en sodium du sol . (GOUAIDIA, 2008) .

Le taux de sodium absorbé par le sol (S.A.R) est donné par la formule suivante :

$$S.A.R = \frac{rNa^-}{\sqrt{\frac{(rCa^{2+} + rMg^{2+})}{2}}}$$

Les résultats du S.A.R obtenus, oscillent entre 0,41 et 5,21 mentionnés dans le tableau 05 en annexe.

La classification de Richards se fait donc, en reportant sur le diagramme les conductivités électriques en (µS/cm) à 25°C, en fonction du taux d'absorption du sodium (S.A.R). Elle permet de définir plusieurs classes d'eau, présentant chacune un danger de salinisation et d'alcalinisation variable (voir tableau 06 en annexe) .

La représentation des échantillons analysés sur le diagramme de Richards (fig. 41), a montré que les eaux des échantillons analysés appartiennent aux 5 classes : C₂S₁ , C₃S₁ , C₃S₂ , C₄S₁ , C₄S₂ ; avec une majorité dans la classe C₃S₁ (64,29%). Elles se manifestent donc par un faible danger d'alcalinisation et par une salinisation moyenne .

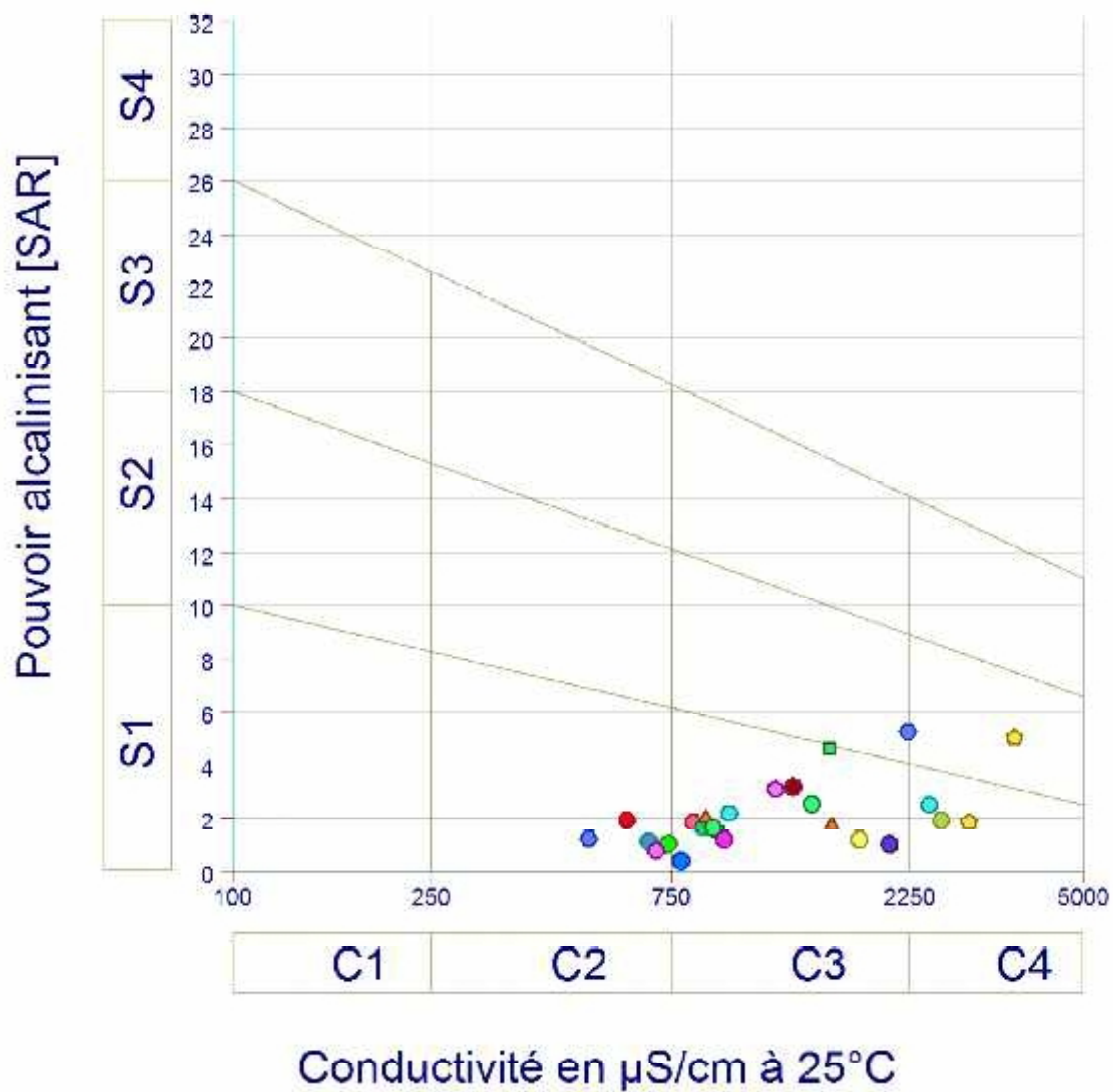


Figure 41 : Diagramme de classification des eaux d'irrigation (méthode de Richards), campagne Mai 2006

.3/ Conclusion :

Sur le plan hydrogéologique, la richesse de la région d'étude réside essentiellement dans les formations du Crétacé inférieur, notamment dans les grès de l'Albien .

L'examen des cartes piézométriques établies pour la nappe de la plaine de Ain Oussera a révélé un écoulement général du Sud vers le Nord. il se caractérise par une alimentation en provenance des reliefs (limites Sud de la plaine), et par un drainage par les oueds de la région . Le gradient hydraulique est relativement faible (généralement entre 1,7‰ et 5‰) sur l'ensemble de la plaine, sauf pour le SE où il accuse une pente plus accentuée de l'ordre de 12,5‰ .

L'étude de l'évolution de la piézométrie entre 1985 et 2014 a signalé une zone de dépression piézométrique « plaine de Sersou », située au Nord-Est du secteur d'étude, où les rabattements peuvent dépasser les 10 mètres dans certains piézomètres. Cette baisse est due essentiellement à la surexploitation, notamment à usage agricole .

Du point de vue chimique, les eaux de la plaine de Ain Oussera présentent généralement un faible résidu sec (<1500 mg/l). L'interprétation des différentes classifications hydrochimiques a montré la dominance des faciès chloruré calcique, magnésien et sodique. Pour la qualité chimique des eaux, on peut considérer que les eaux de la plaine de Ain Oussera sont généralement de bonne qualité chimique, potables, présentant un faible danger d'alcalinisation et une salinisation moyenne. Elles sont considérées comme excellentes à bonnes pour l'irrigation .

CHAPITRE IV

GESTION DES RESSOURCES EN EAU

V.1/ Introduction :

Dans les zones arides et semi-arides, la question de la ressource en eau, sa sauvegarde et ses usages constituent un enjeu majeur. Depuis des millénaires, les sociétés vivant dans ces zones ont dû construire des savoirs et développer des techniques adaptées. Aujourd'hui, la croissance démographique et les besoins alimentaires exercent une pression sur la ressource en eau de plus en plus grande et révèlent de nouvelles tensions qu'il est urgent d'étudier (WATARID, 2009) .

Dans cette optique, il est utile d'élaborer une analyse exhaustive (selon les données disponibles) sur l'état et les efforts de mobilisation des ressources en eau dans la plaine de Ain Oussera et leur allocation intersectorielles et sur le bilan hydraulique ressource-demande aussi bien au plan sectoriel que global .

V.2/ Les fonctions socio-économiques de la plaine de Ain Oussera :

V.2.1/ La population :

La démographie joue un rôle fondamental dans le niveau de satisfaction des besoins de la population et notamment dans le secteur de l'eau (BAZIZ, 2008) .

La plaine de Ain Oussera comprend les communes (fig. 42) : Ain Oussera, Guernini, Birine, Benhar, Sidi Ladjel, El Khemis, Had Sahary, Bouirat Lahdeb. Elle regroupe d'après les résultats du dernier recensement de 2008, 213 856 habitants et selon l'estimation de 2014, 245 331 habitants soit une évolution globale de l'ordre de 14,72 % représentant un taux d'accroissement annuel moyen de l'ordre de 2,45 % . La densité démographique est de 46,21 hab/Km² .

Tableau 33 : Répartition spatiale de la population communale dans la plaine de Ain Oussera

Commune	Superficie (Km ²)	Population			Population par dispersion (2014)			Densité (hab/Km ²)
		RGPH 1998	RGPH 2008	Est 2014	ACL	AS	ZE	
Ain Oussera	809,49	82 597	100 630	113 260	110 420	0	2 840	139,91
Guernini	523,90	4 038	4 594	4 964	1 121	0	3 843	9,47
Birine	800,00	26 617	30 914	33 823	29 180	1 116	3 527	42,28
Benhar	1070,00	10 380	17 208	23 298	2 294	6 029	14 975	21,77
Sidi Ladjel	373,11	11 776	13 661	14 935	8 958	0	5 977	40,03
El Khemis	500,24	4 769	5 405	5 827	1 150	0	4 677	11,65
Had Sahary	854,09	22 227	30 451	36 743	26 836	0	9 907	43,02
Bouirat Lahdeb	378,40	8 897	10 993	12 482	6 081	0	6 400	32,99
Total	5309,23	171 301	213 856	245 331	186 040	7 145	52 146	46,21

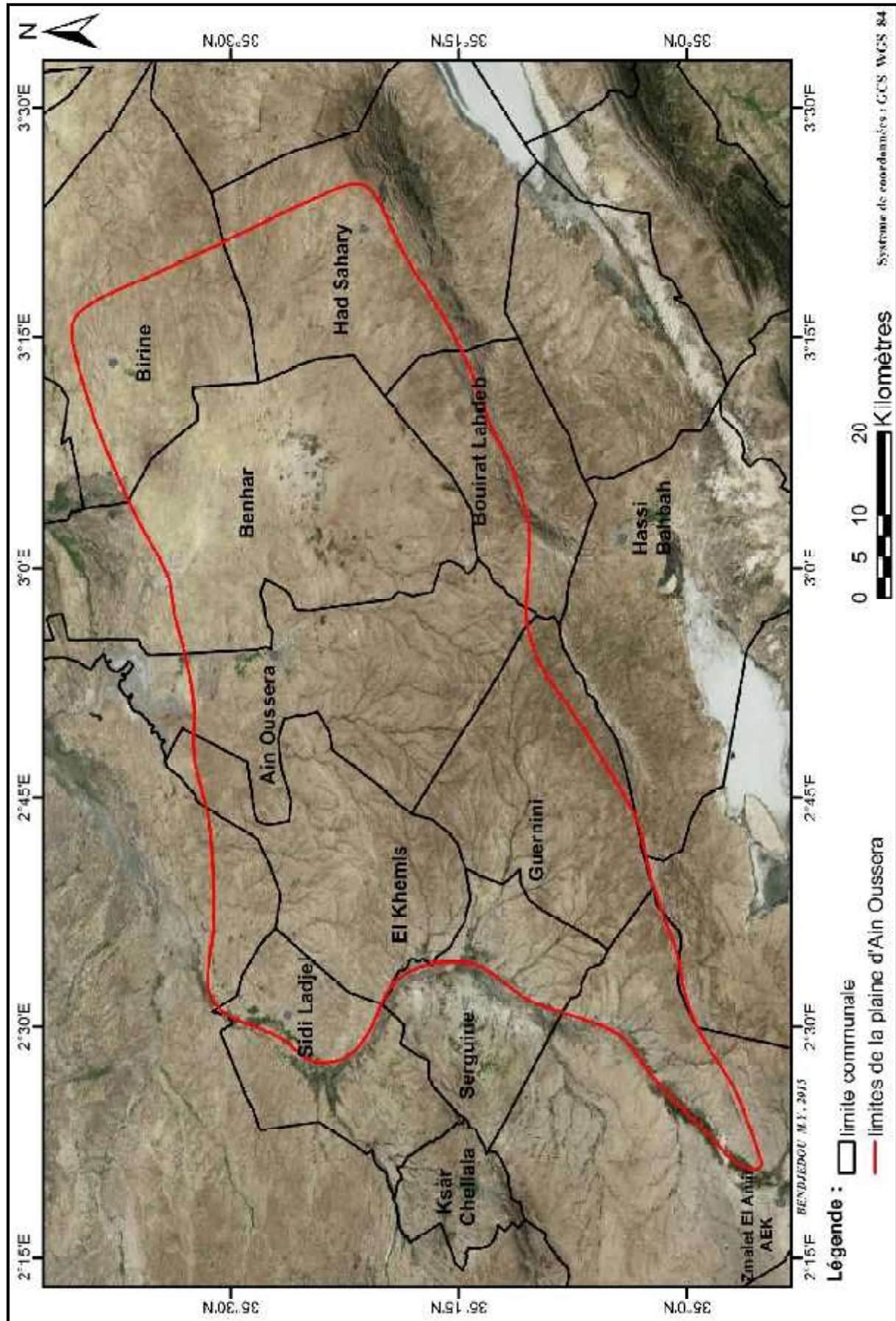


Figure 42 : Découpage administratif communal de la plaine de Ain Oussera

La distribution de la population (fig. 43) fait ressortir que 75,83 % des habitants vivent dans les chefs-lieux, 2,91 % dans les agglomérations secondaires et 21,26 % dans les zones éparses .

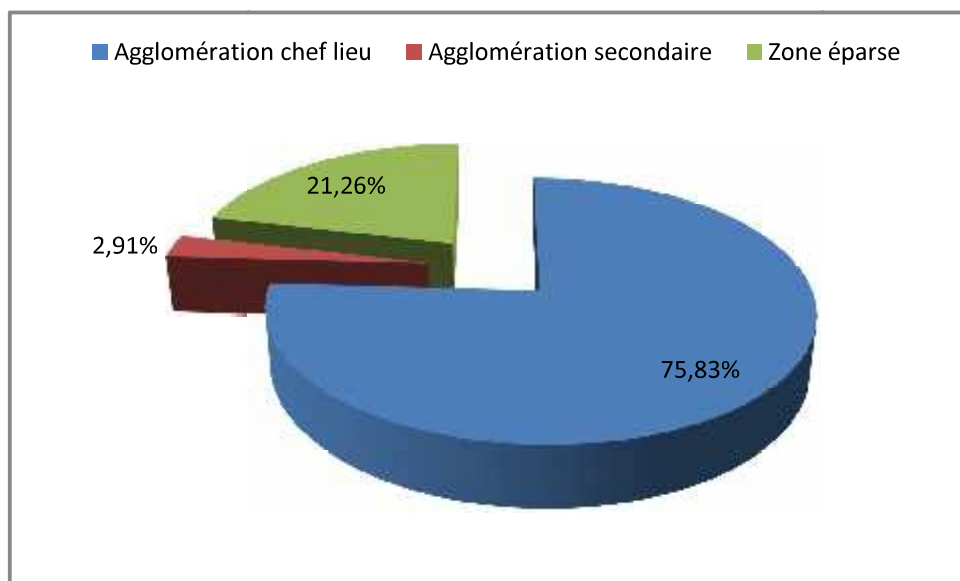


Figure 43 : Distribution de la population dans la plaine de Ain Oussera

V.2.1.1/ Evolution de la population :

Avec un taux d'accroissement annuel moyen de 1,26 à 5,18 selon la commune, la projection du nombre d'habitants dans la plaine de Ain Oussera pour les différents horizons (court, moyen et long terme) est citée dans le tableau suivant :

Tableau 34 : Evolution de la population communale dans la plaine de Ain Oussera

Commune	Taux d'accroissement annuel moyen	Population 2014	Population 2020	Population 2030	Population 2040
Ain Oussera	1,99	113 260	127 474	155 238	189 048
Guernini	1,30	4 964	5 364	6 103	6 944
Birine	1,51	33 823	37 005	42 988	49 939
Benhar	5,18	23 298	31 545	52 270	86 614
Sidi Ladjel	1,50	14 935	16 331	18 953	21 995
El Khemis	1,26	5 827	6 282	7 120	8 069
Had Sahary	3,18	36 743	44 335	60 632	82 920
Bouirat Lahdeb	2,14	12 482	14 172	17 515	21 645
Total		245 331	282 508	360 819	467 174

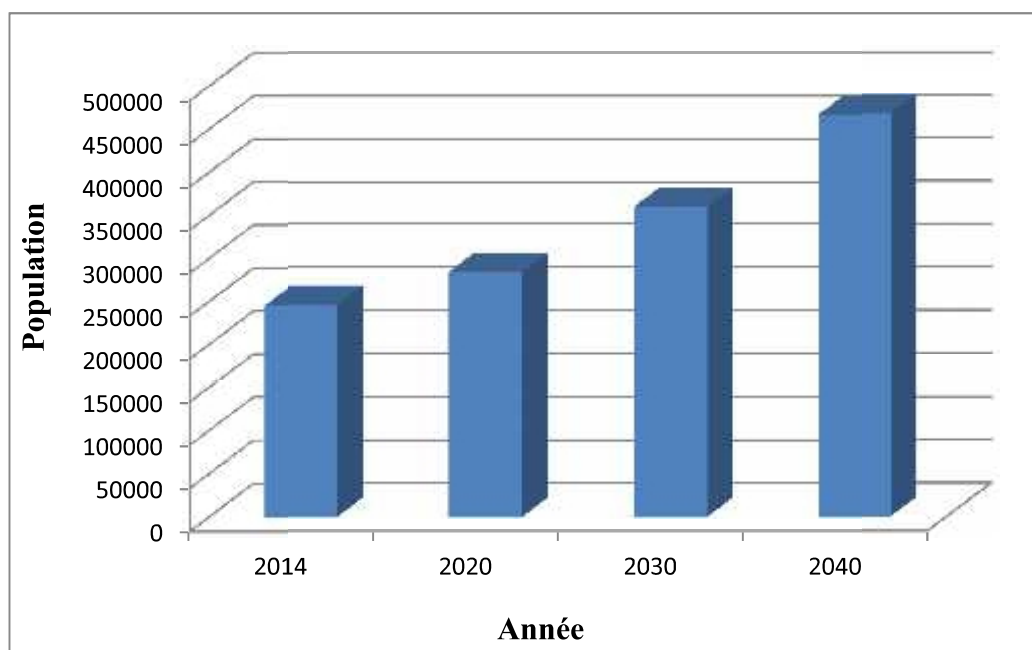


Figure 44 : Evolution de la population dans la plaine de Ain Oussera (2014-2040)

V.2.2/ L'agriculture :

La plaine de Ain Oussera est une région à vocation agro-pastorale. La superficie agricole totale (S.A.T) de la plaine est de 439 096 Ha, dont 132 400 Ha de la superficie agricole utile (S.A.U), soit environ 30,15 % de la S.A.T. Les terres irriguées sont de l'ordre de 10 942 Ha, soit 08,26 % de la S.A.U (tableau 35) .

Tableau 35 : Répartition générale des terres agricoles de la plaine de Ain Oussera (compagne 2014 ; source : DSA de Djelfa)

Commune	S.A.T (Ha)	S.A.U (Ha)	S.A.U en irrigué (Ha)
Ain Oussera	67 488	23 800	861
Guernini	48 700	14 450	109
Birine	74 951	37 775	1 387
Benhar	101 080	17 300	5 382
Sidi Ladjel	36 790	13 425	926
El Khemis	49 425	9 250	115
Had Sahary	46 284	9 100	1 401
Bouirat Lahdeb	14 378	7 300	761
Total	439 096	132 400	10 942

Les principales productions concernent l'arboriculture, la céréaliculture, les cultures maraîchères et les cultures fourragères (fig. 45) .

Tableau 36 : Répartition de la superficie irriguée par type de culture de la plaine de Ain Oussera (compagne 2014 ; source : DSA de Djelfa)

Commune	Maraîchages (Ha)	Cultures Fourragères (Ha)	Céréales (Ha)	Espèces Noyaux et Pépins (Ha)	Olivier (Ha)	Vigne (Ha)	Total (Ha)
Ain Oussera	0	0	4	171	686	0	861
Guernini	0	0	50	35	24	0	109
Birine	538	85	200	51	513	0	1 387
Benhar	593	90	100	2 001	2 573	25	5 382
Sidi Ladjel	301	100	240	95	190	0	926
El Khemis	4	50	16	2	43	0	115
Had Sahary	262	280	100	133	626	0	1 401
Bouirat Lahdeb	169	70	60	79	383	0	761
Total en %	17,06	6,17	7,04	23,46	46,04	0,23	10 942

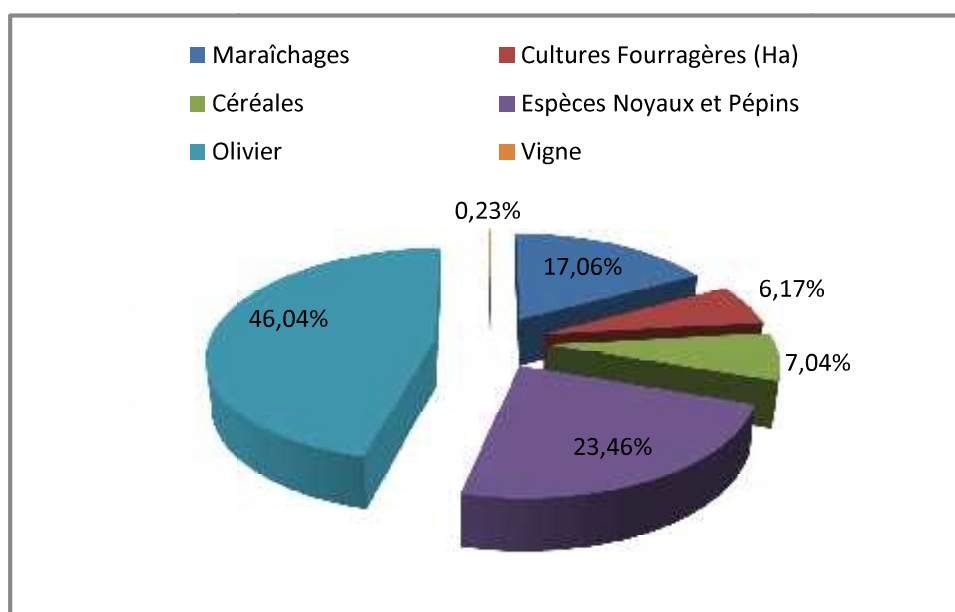


Figure 45 : Répartition de la superficie irriguée par type de culture de la plaine de Ain Oussera (compagne 2014)

V.2.3/ Les activités industrielles :

Le secteur industriel est très faiblement représenté au niveau de la plaine de Ain Oussera et demeure à l'état embryonnaire et ce malgré l'existence d'importantes assiettes foncières aménagées. Il est représenté par une seule zone d'activités se trouvant au niveau de la commune de Ain Oussera et comportant 13 unités industrielles (tableau 37). A noter que la ville de Ain Oussera a bénéficié dernièrement d'une zone industrielle d'une superficie de 400 Ha en cours de création .

Tableau 37 : Unités industrielles de la plaine de Ain Oussera
(Source : Direction de l'industrie - Djelfa)

Branche d'activités	Dénomination de l'entreprise	Localisation	Type de production
Electricité et électronique	ENIE (FEREM)	ZA Ain Oussera	Fabrication des chariots pour panneaux solaires
Agro-Alimentaire	SARL BGB BADR	ZA Ain Oussera	Boissons gazeuses
	SARL SWEETLE	ZA Ain Oussera	Produits laitiers
	Moulin Ain SARA	ZA Ain Oussera	Minoterie
Transformation plastique	SARL-CANAPEAHP	ZA Ain Oussera	Fabrication des tubes en plastique
	SARL EL HILAL	ZA Ain Oussera	Plaques en Polystyrène
	SARL S.A.I.P.A.M	ZA Ain Oussera	Fabrication de matelas en mousse
	SARL Famous	ZA Ain Oussera	Fabrication de matelas en mousse
Autre	EURL TASSILI	ZA Ain Oussera	Fabrication de peinture
	SARL-SIV LAGHOUATI	ZA Ain Oussera	Verrerie
	EPE Germain	Ain Oussera	Fabrication de transpalettes
	Centre Enfûteur NAFTAL	Ain Oussera	Stockage et remplissage de gaz Butane
	ECO-Recyclage Batteries	ZA Ain Oussera	Recyclage des batteries

V.3/ Infrastructures hydrauliques :

La région d'étude ne contient aucun ouvrage de mobilisation des eaux superficielles. Par conséquent, les potentialités en eau de la région sont toutes d'origine souterraine. La situation actuelle des équipements hydrauliques se résume dans le tableau 38 .

V.3.1/ Forages :

D'après l'inventaire des forages qui a été réalisé à partir des données recueillies auprès de la DRE de la wilaya de Djelfa, on recense 35 forages à des fins d'AEP avec un volume annuel total prélevé de 12,41 Hm³/an .

Concernant les ouvrages (forages et puits) destinés à l'irrigation, le dernier bilan de la compagnie d'irrigation (service hydraulique agricole de la DRE de Djelfa) en 2014, permet le recensement de 2608 forages et 1380 puits. Cependant, leur répartition spatiale (fig. 46) montre que la zone de Sersou, située au Sud-Ouest de Birine, concentre la plupart de ces ouvrages, ce qui confirme bien les résultats obtenus dans le chapitre précédent concernant la baisse du niveau piézométrique dans cette zone et qu'on a déjà attribué à la surexploitation .

V.3.2/ Réservoirs et capacités de stockage :

La plaine de Ain Oussera dispose de 42 châteaux d'eau et réservoirs avec une capacité de stockage totale de l'ordre de 21 375 m³, dont 9 900 m³ de la commune de Ain Oussera, soit 46,32% de la capacité totale. On peut dire qu'actuellement cette capacité de stockage est satisfaisante pour la population de cette région .

Tableau 38 : Répartition par commune des infrastructures hydrauliques de la plaine de Ain Oussera, situation 2014 (Source : DREW de Djelfa)

Commune	Forages (AEP)		Châteaux d'eau et Réservoirs		Taux de raccordement au réseau d'AEP (%)
	Nombre	Production totale (m ³ /j)	Nombre	Capacité (m ³)	
Ain Oussera	10	18 516	9	9 900	97
Guernini	2	745	2	650	100
Birine	7	3 345	9	3 600	99
Benhar	4	3 110	4	950	99
Sidi Ladjel	4	2 585	4	2 000	100
El Khemis	2	864	1	150	100
Had Sahary	4	3 456	8	2 925	89
Bouirat Lahdeb	2	1 382	5	1 200	86
Total	35	34 003	42	21 375	96

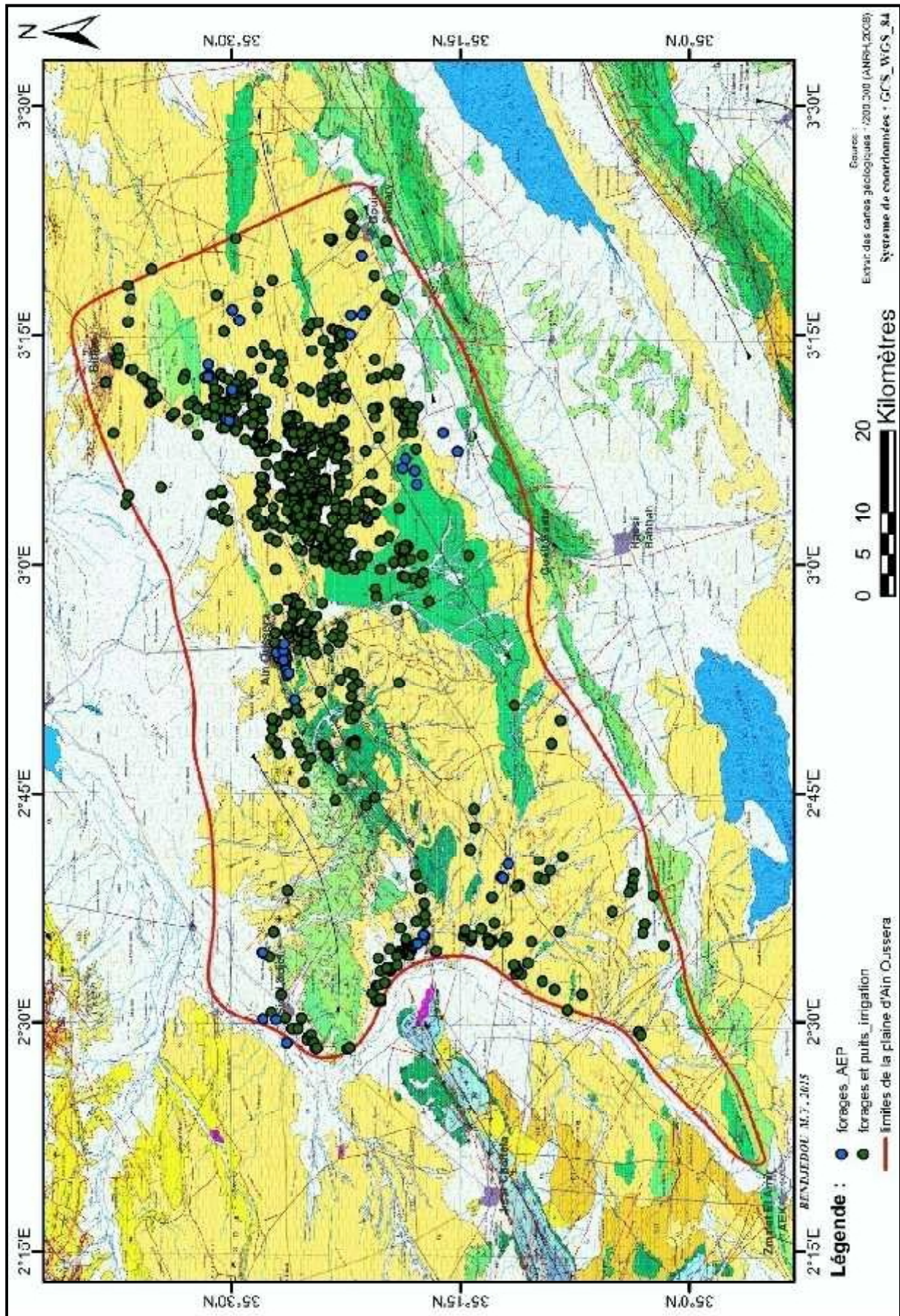


Figure 46 : Localisation des forages d'AEP et des forages et puits d'irrigation, plaine de Ain Oussera

V.4/ Mobilisation des ressources en eau :

La mobilisation des ressources en eau est très dépendante de deux facteurs à savoir le contexte climatique et le développement socio-économique de la région considérée (BENSAOULA, ADJIM, 2008 in BIR, 2010).

Les ressources en eau de la plaine de Ain Oussera sont mobilisées pour l’approvisionnement des besoins en eau des populations, essentiellement pour l’alimentation en eau potable, l’irrigation des terres agricoles et l’usage industriel. Ces ressources qui sont toutes d’origine souterraine, sont évaluées au maximum à 55 hm³/an, dont les ressources mobilisées pour l’AEP sont estimées à 31,84 hm³/an (DREW de Djelfa).

Tableau 39 : Ressources en eau de la plaine de Ain Oussera, situation 2014
(Source : DREW de Djelfa)

Commune	Potentialités en eau (Hm ³ /an)		Ressources en eau mobilisées pour AEP (Hm ³ /an)
	Total	Dont Souterraine	
Ain Oussera	55	55	13,6
Guernini			1,1
Birine			6,3
Benhar			3,3
Sidi Ladjel			1,94
El Khemis			0,9
Had Sahary			3,2
Bouirat Lahdeb			1,5
Total			55

V.5/ Réseaux d’assainissement :

La population de la plaine de Ain Oussera qui dépasse les 245 000 habitants, déverse annuellement dans le milieu naturel un volume de 12,04 millions de m³ d’eaux usées .

L’assainissement à travers les 8 communes de la plaine est assuré par un réseau constitué par 358 Km de canalisation (dont 145 Km dans la commune de Ain Oussera). Ce réseau arrive à satisfaire presque la totalité de la population avec un taux de raccordement moyen de 98% et 11 points de rejet. Il est à noter que jusqu’à l’heure actuelle, aucune agglomération de la plaine ne possède une station d’épuration des eaux usées (il y a une seule station en cours de réalisation prévue pour l’agglomération de Ain Oussera).

Tableau 40 : Etat du réseau d'assainissement des agglomérations de la plaine de Ain Oussera

Commune	Gestion	Taux de racc (%)	Linéaire du réseau (Km)			Volume d'eaux usées rejeté (m ³ /j)	Nbre points de rejet	Milieu récepteur des collecteurs d'assainissement	Volume d'eaux usées traité (m ³ /j)
			Primaire	Secondaire	Linéaire total				
Ain Oussera	ONA	98	69	76	145	21 902	1	Oued	0
Guernini	APC	100	1,3	5,2	6,5	829	1	Oued	0
Birine	ONA	98	12	50	62	3 940	1	Oued	0
Benhar	ONA	98	5,5	11	16,5	520	1	Oued	0
Sidi Ladjel	ONA	98	11	24	35	1 002	1	Oued	0
El Khemis	ONA	97	4	3	7	179	1	Oued	0
Had Sahary	APC	96	73	0	73	3 456	3	Oued	0
Bouirat Lahdeb	APC	98	13	0	13	1 164	2	Oued	0
Total	/	98	188,8	169,2	358	32 992	11	/	0

V.6/ Evaluation de la demande socio-économique en eau :

Les eaux souterraines représentent la seule source exploitée à la plaine de Ain Oussera pour satisfaire les besoins en eau des différents secteurs. Ces ressources sont soumises à la forte croissance de la demande en eau.

Dans ce contexte nous essayons donc de suivre l'évolution des besoins en eau à court, moyen et long terme (2014 - 2040) des différents secteurs usagers à savoir : l'alimentation en eau potable (AEP), l'alimentation en eau agricole (AEA) et l'alimentation en eau industrielle (AEI) ; et de les comparer avec les potentialités hydriques disponibles. Ceci nous permettra de faire ressortir les écarts prévisibles entre offres et besoins dans le temps .

Pour déterminer les besoins en eau de chaque secteur, on s'est basé sur les dotations moyennes fournies par la DREW de Djelfa .

V.6.1/ Les besoins en eau potable :

Aujourd'hui la population de la plaine de Ain Oussera est estimée à 245 331 habitants, le volume d'eau produit annuellement est de 12,410 Hm³, ce qui correspond à une dotation réelle unitaire moyenne de 139 l/hab/jour. En revanche, les besoins actuels sont estimés à 17,484 Hm³/an ce qui correspond à un déficit de l'ordre de 5,074 Hm³/an (tableau 41) .

Tableau 41 : Alimentation en eau potable dans la plaine de Ain Oussera (situation actuelle)

Commune	Population 2014	Volume réel délivré (hm ³ /an)	Dotation réelle (l/hab/jour)	Dotation atteindre (l/hab/jour)	Besoin en eau potable (hm ³ /an)	Déficit (hm ³ /an)
Ain Oussera	113 260	6,758	163	200	8,268	1,510
Guernini	4 964	0,272	150	150	0,272	Pas de déficit
Birine	33 823	1,221	99	200	2,469	1,248
Benhar	23 298	1,135	133	200	1,701	0,566
Sidi Ladjel	14 935	0,944	173	200	1,090	0,146
El Khemis	5 827	0,315	148	150	0,319	0,004
Had Sahary	36 743	1,261	94	200	2,682	1,421
Bouirat Lahdeb	12 482	0,504	111	150	0,683	0,179
Total	245 331	12,410	139	/	17,484	5,074

Les projections du nombre d'habitants prévoient un passage de 245 331 en 2014 à 467 174 en 2040. Cela entraîne que les besoins en eau potable passeraient de 17,484 Hm³/an en 2014 à 43,665 Hm³/an en 2040 soit une augmentation de 149,7 % (tableau 42). L'importance des quantités demandées implique un prélèvement dans le capital propre des nappes dont le renouvellement est faible vu le climat subaride qui caractérise la région de Ain Oussera .

Tableau 42 : Bilan prévisionnel des besoins en A.E.P par rapport à des dotations préconisées

Commune	Horizon 2014			Horizon 2020			Horizon 2030			Horizon 2040		
	Pop	Dot (l/hb/j)	Besoin (Hm ³ /an)	Pop	Dot (l/hb/j)	Besoin (Hm ³ /an)	Pop	Dot (l/hb/j)	Besoin (Hm ³ /an)	Pop	Dot (l/hb/j)	Besoin (Hm ³ /an)
Ain Oussera	113 260	200	8,268	127 474	220	10,236	155 238	240	13,599	189 048	260	17,941
Guernini	4 964	150	0,272	5 364	170	0,333	6 103	190	0,423	6 944	210	0,532
Birine	33 823	200	2,469	37 005	220	2,972	42 988	240	3,766	49 939	260	4,739
Benhar	23 298	200	1,701	31 545	220	2,533	52 270	240	4,579	86 614	260	8,220
Sidi Ladjel	14 935	200	1,090	16 331	220	1,311	18 953	240	1,660	21 995	260	2,087
El Khemis	5 827	150	0,319	6 282	170	0,390	7 120	190	0,494	8 069	210	0,618
Had Sahary	36 743	200	2,682	44 335	220	3,560	60 632	240	5,311	82 920	260	7,869
Bouirat Lahdeb	12 482	150	0,683	14 172	170	0,879	17 515	190	1,215	21 645	210	1,659
Total	245 331	/	17,484	282 508	/	22,214	360 819	/	31,047	467 174	/	43,665

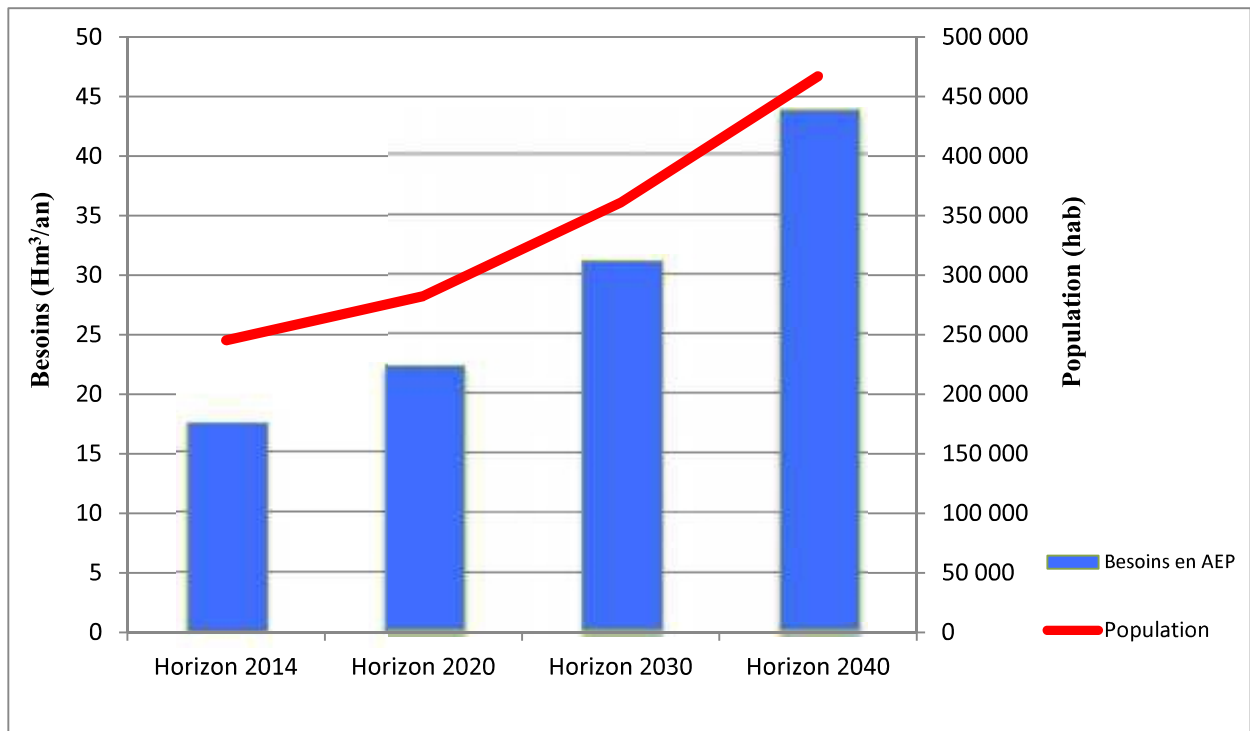


Figure 47 : Besoins en eau potable dans la plaine de Ain Oussera

V.6.2/ Les besoins en eau d'irrigation :

L'irrigation est le premier consommateur d'eau en Algérie. Dans le Nord de l'Algérie l'irrigation se fait globalement dans un contexte de bilan déficitaire avec prélèvement sur un capital souterrain non renouvelable face à une demande d'AEP prioritaire continuellement croissante, d'une part, et au développement incontrôlé de la PMH privée, d'autre part (AMIRECH, 2014).

Pour la plaine de Ain Oussera, après discussion avec les ingénieurs de la DSA et de la DRE de la Wilaya de Djelfa, nous avons considéré que : les pompes pour les besoins d'irrigation s'effectuent pendant 8 à 9 mois par an en moyenne à raison de 4 heures par jour ; le débit spécifique est de 0,8 l/s/ha. Le calcul de la dose d'irrigation annuelle nous donne une valeur de 2765 m³/ha. Cette dernière est inférieure à la dose annuelle optimale requise de 5000 m³/ha . Les résultats de l'estimation des prélèvements d'eau d'irrigation sont consignés dans le tableau 43 ci-après. Pour la totalité de la plaine, les prélèvements sont estimés à une valeur de 30,254 hm³/an .

Tableau 43 : Situation actuelle de l'alimentation en eau d'irrigation dans la plaine de Ain Oussera

Commune	S.A.U en irrigué (ha)	Ressources en eau	Système d'irrigation	Dotation (m ³ /an/ha)	Besoins en eau (hm ³ /an)
Ain Oussera	861	Forages et puits	Aspersion et goutte à goutte	2765	2,381
Guernini	109	Forages et puits	Aspersion et goutte à goutte	2765	0,301
Birine	1 387	Forages et puits	Aspersion et goutte à goutte	2765	3,835
Benhar	5 382	Forages et puits	Aspersion et goutte à goutte	2765	14,881
Sidi Ladjel	926	Forages et puits	Aspersion et goutte à goutte	2765	2,560
El Khemis	115	Forages et puits	Aspersion et goutte à goutte	2765	0,318
Had Sahary	1 401	Forages et puits	Aspersion et goutte à goutte	2765	3,874
Bouirat Lahdeb	761	Forages et puits	Aspersion et goutte à goutte	2765	2,104
Total	10 942	/	/	/	30,254

L'évolution des besoins en eau d'irrigation est liée directement à l'augmentation des terres irrigables. En effet, pour un taux d'accroissement annuel moyen des terres irriguées de 5 %, et une dose d'irrigation annuelle théorique de 5000 m³/ha. Les besoins en eau d'irrigation s'élèvent donc de 30,254 hm³/an en 2014 à 73,315 hm³/an en 2020, pour atteindre un volume de 194,525 hm³/an en 2040 .

Tableau 44 : Besoins en eau d'irrigation pour les différents horizons dans la plaine de Ain Oussera

Horizon	2014	2020	2030	2040
Superficie irriguée (ha)	10 942	14 663	23 884	38 905
Besoins en eau (hm ³ /an)	30,254	73,315	119,420	194,525

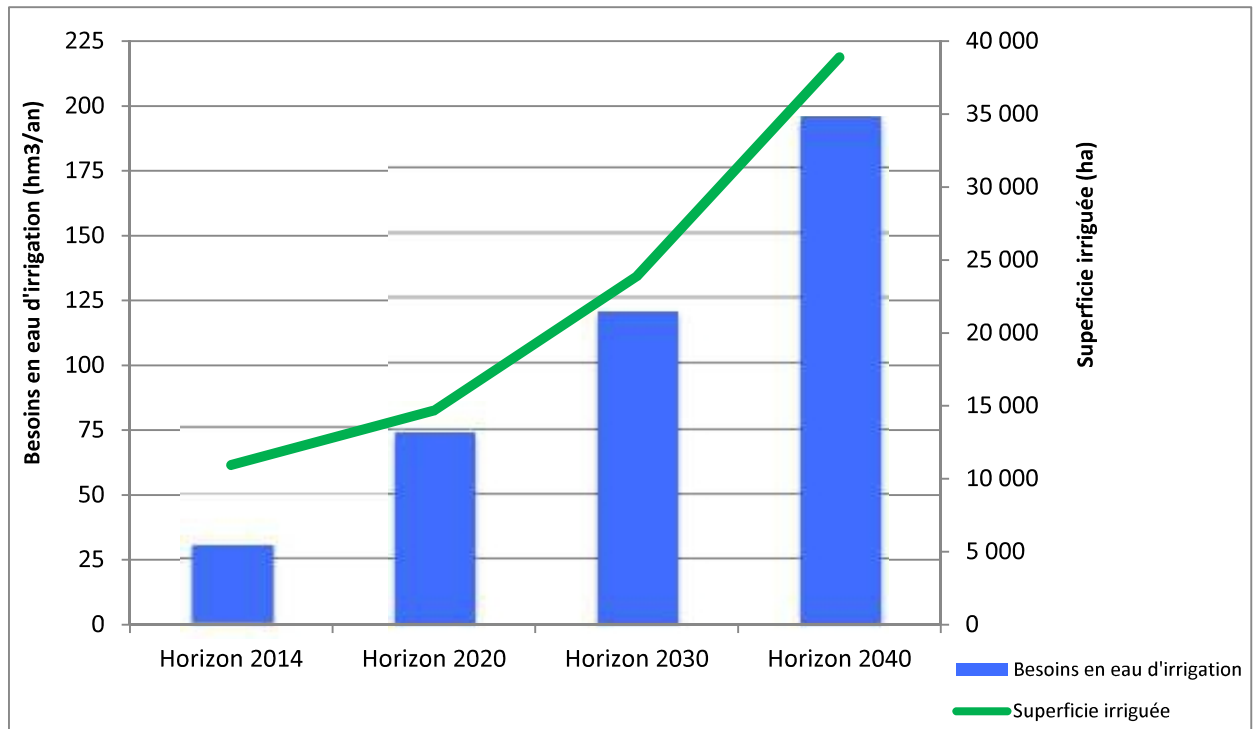


Figure 48 : Evolution dans le temps des besoins en eau d'irrigation dans la plaine de Ain Oussera

V.6.3/ Les besoins industriels en eau :

Il est très difficile de cerner la consommation réelle des industries car elles sont le plus souvent branchées sur le réseau général, et donc utilisent l'eau potable. Il s'agit là d'un gaspillage important de ce type d'eau (BOUDJADJA et al, 2003) .

D'après les estimations données par la DRE de la wilaya de Djelfa, actuellement les besoins industriels en eau dans la plaine de Ain Oussera sont de l'ordre de 1 260 m³/jour soit environ 0,46 hm³/an .

Pour les années à venir, on peut faire une projection dans le temps des besoins industriels en eau avec une augmentation de 2 % par année des besoins actuels (tableau 45). Les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau ci-après .

Tableau 45 : Evolution des besoins industriels en eau dans la plaine de Ain Oussera pour les différents horizons (court, moyen et long terme)

Horizon	2014	2020	2030	2040
Besoins industriels en eau (m ³ /jour)	1 260	1 419	1 730	2 109
Besoins industriels en eau (hm ³ /an)	0,460	0,518	0,631	0,770

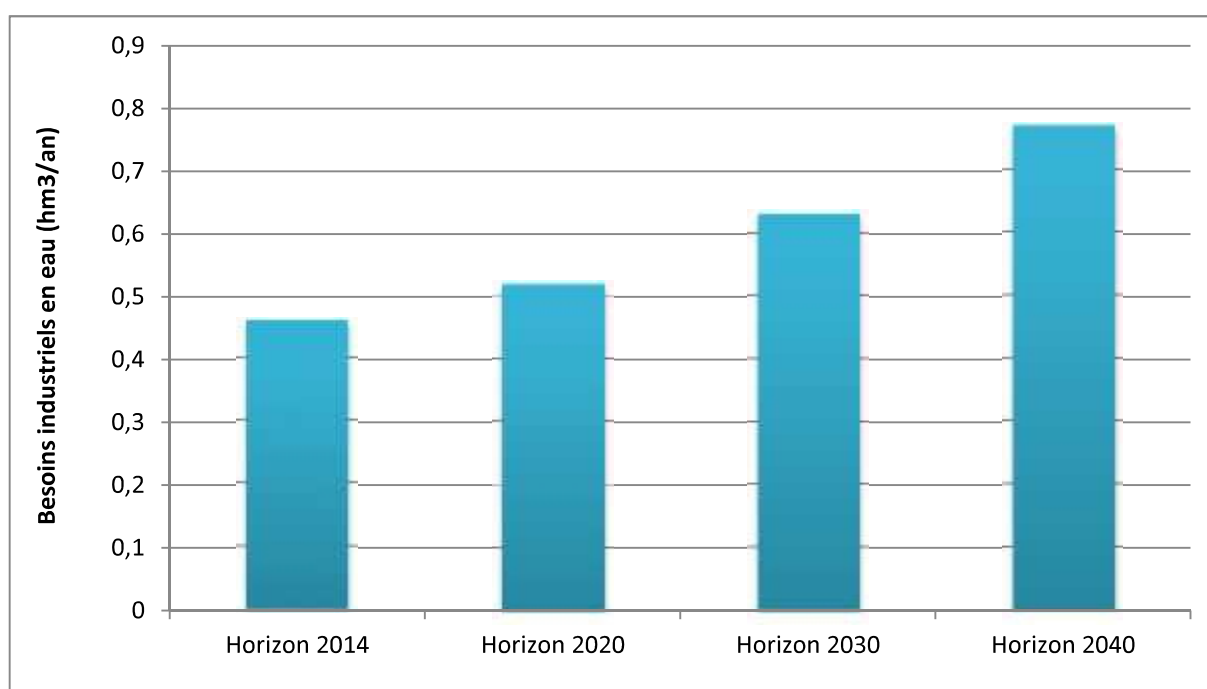


Figure 49 : Evolution dans le temps des besoins industriels en eau dans la plaine de Ain Oussera

V.7/ Bilan des besoins globaux et confrontation avec les ressources disponibles :

Les besoins globaux en eau sont estimés à l'heure actuelle à environ 48,198 hm³/an. L'irrigation est la mieux dotée, puisque les 62,77 % des besoins lui sont affectés .

La demande en eau ne cesse de croître, surtout pour le secteur agricole, en connaissant que la surface irriguée actuelle ne représente que 8,26 % de la surface agricole utile, donc une possibilité d'augmenter largement la surface irriguée, surtout avec la politique nationale de

développement agricole mise en œuvre par les programmes FNDRA (Fonds National de Régulation et de Développement Agricole) et PSD (Programmes Sectoriels de Développement) .

Actuellement les besoins globaux en eau ne dépassent pas les potentialités totales reconnues estimées aux maximum à 55 hm³/an, mais à court terme (2020), ces besoins seront doublés ce qui aboutit à un déficit annuel de 41,047 hm³/an. A moyen et long terme, le déficit sera plus accentué et atteindra un volume de 96,098 hm³/an et 183,96 hm³/an respectivement (fig. 50,51) .

Devant l'urgence, les moyens (humains et financiers) ont été mis en œuvre pour la réception rapide des infrastructures en phase de réalisation ainsi que l'accélération des projets de transfert. En effet, une station d'épuration des eaux usées (STEP) est en cours de réalisation dans la ville de Ain Oussera, principale agglomération de la plaine. La réutilisation des eaux usées épurées (REUE) constitue une potentialité en tant que ressource en eau non conventionnelle pour l'agriculture et l'industrie .

Pour les projets de transfert, les importantes réserves que recèle l'Atlas Saharien ont orienté par leur disponibilité la politique du pays en matière de mobilisation à puiser dans les ressources de l'Albien (SASS) pour pallier le déficit de la région des hauts plateaux par de gigantesques transferts Sud-Nord. Parmi ces transferts, le projet Djelfa P1 (transfert des eaux du Sahara septentrional vers les hauts plateaux). La consistance de ce méga projet comprend 80 forages d'une profondeur de 1000 à 1500 m et un volume de 63 Hm³ par an (LADJAL, 2013) .

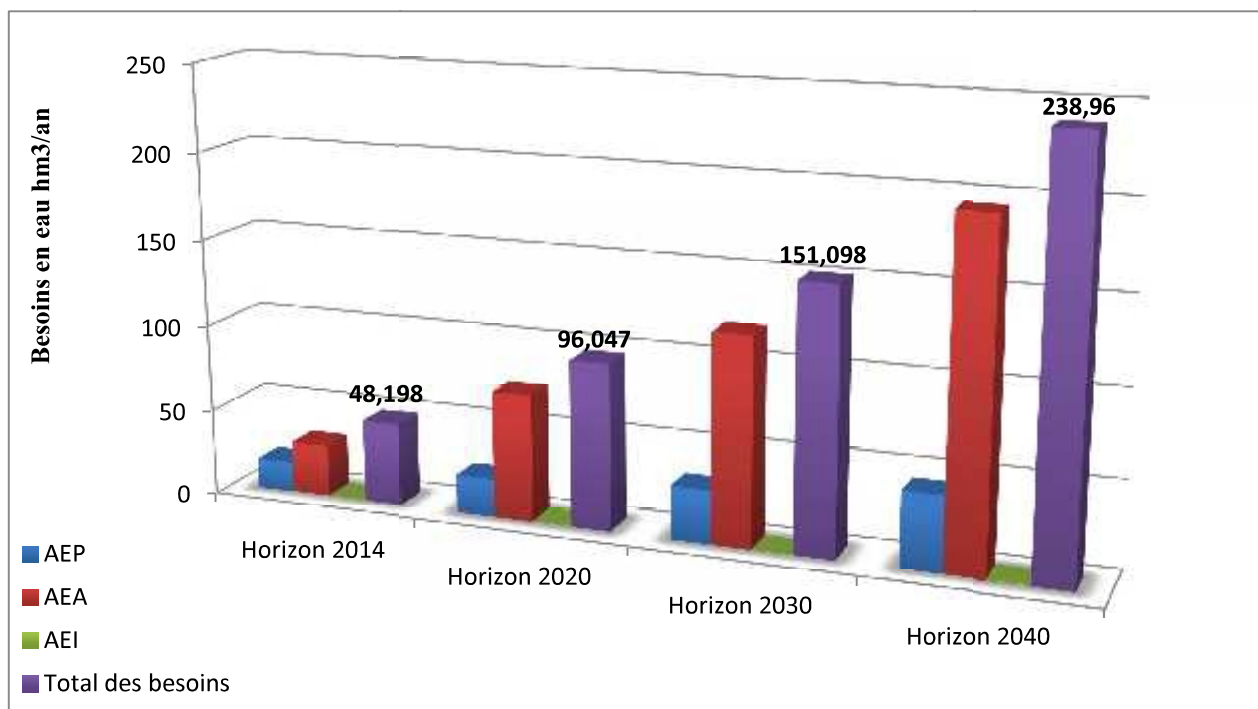


Figure 50 : Evolution des besoins globaux dans la plaine de Ain Oussera aux différents horizons (2014-2040)

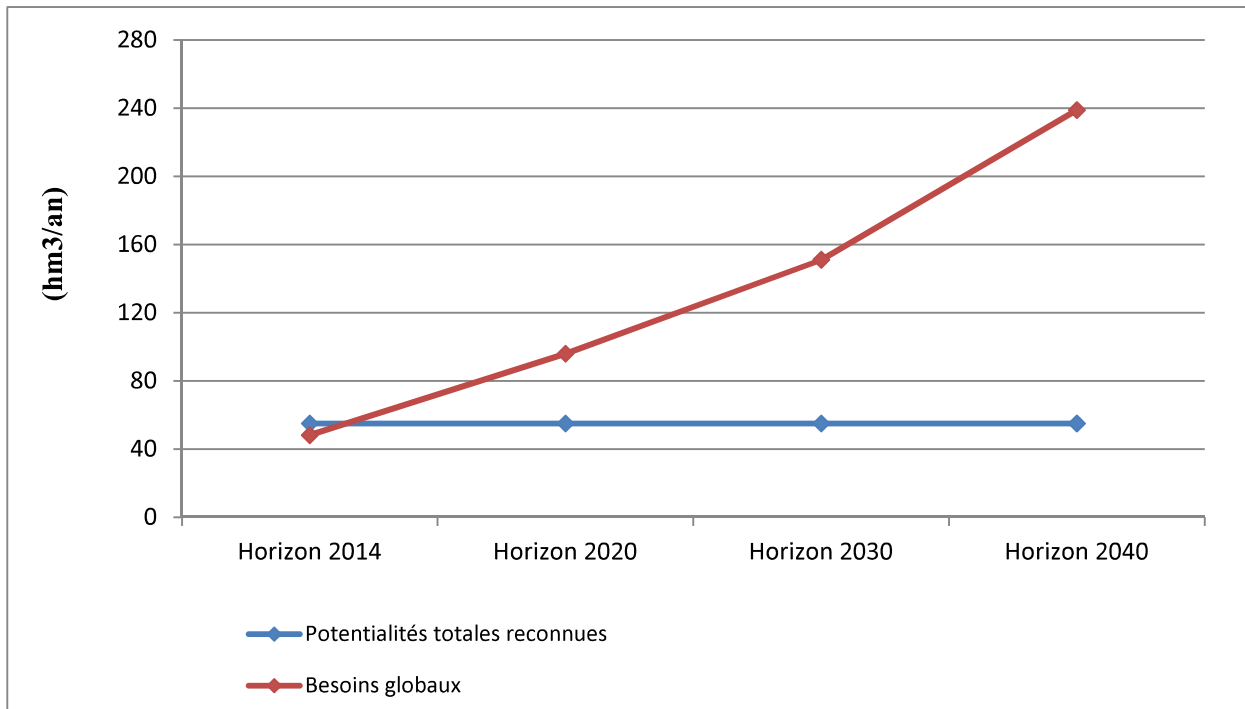


Figure 51 : Bilan potentialités reconnues-besoins globaux en eau dans la plaine de Ain Oussera

V.8/ Conclusion :

La plaine de Ain Oussera d'une superficie de 3790 Km², occupe la partie Nord de la wilaya de Djelfa. Elle contient une population de 245 331 habitants (estimation 2014) .

En matière d'approvisionnement en eau potable, les dotations en eau présentées par habitant sont globalement proches à inférieures à la moyenne nationale (150 l/hab/jour), elles seraient en moyenne de l'ordre de 139 l/hab/jour. Les besoins actuels en eau sont estimés à 17,484 hm³/an. Cependant, le volume d'eau produit annuellement est de 12,41 hm³/an, soit un taux de satisfaction de près de 71 % .

Pour le secteur agricole, Les besoins en eau d'irrigation s'élèvent de 30,254 hm³/an en 2014 à 73,315 hm³/an en 2020, pour atteindre un volume de 194,525 hm³/an en 2040 .

Les besoins industriels en eau sont très faibles par rapport aux besoins des autres secteurs, ils ne représentent que 1 % des besoins globaux .

On peut dire que les potentialités totales existantes dans la plaine de Ain Oussera (55 hm³/an) suffisent pour les besoins actuels (48,198 hm³/an), mais pour les années à venir, il y aura un déficit, car ces potentialités ne suffiront même pas les besoins à court terme .

Devant cette situation, des mesures d'urgence doivent être prises pour permettre une gestion rationnelle de l'eau (amélioration des techniques d'irrigation, réduction de gaspillage, ...). Ainsi le recours à l'utilisation des ressources en eau non conventionnelles (eaux usées épurées), les transferts d'eau et la construction des retenues collinaires, permettent de préserver cette ressource rare .

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

La présente étude, qui a porté sur la plaine de Ain Oussera, située dans les hautes plaines Algéroises, au Nord des bassins des Zahrez, nous a permis d'aboutir aux conclusions suivantes :

- L'étude géomorphologique à l'aide du MNT et d'un SIG (ArcGIS), a permis de déterminer les caractéristiques géométriques et morphométriques des trois sous bassins versants correspondant à la plaine de Ain Oussera. La topographie de la plaine est globalement plate, monotone, avec des altitudes comprises généralement entre 700 et 900 m qui augmentent faiblement du Nord vers le Sud. Le chevelu hydrographique est peu développé, surtout dans la partie Est de la plaine.

- La plaine de Ain Oussera est soumise à un climat continental de type aride à semi-aride à hiver froid, caractérisé par une pluviosité irrégulière et faible (224 mm/an en moyenne). Le bilan de Thornthwaite est dans son ensemble déficitaire, avec un déficit d'écoulement égal à 215,03 mm/an, soit 97,15% des précipitations. L'infiltration ne représente que 1 % de ces dernières. Le ruissellement ne bénéficie également que de 2 % de ces précipitations. Notons que ces valeurs obtenues restent à vérifier, en tenant compte de la lithologie du terrain, la topographie, le climat et la végétation qui caractérise cette région .

- L'étude géologique et l'étude géophysique révèlent l'existence d'un vaste anticlinal érodé à cœur d'âge Crétacé. L'axe de l'anticlinal est orienté ENE-WSW et passerait par Djebel Touil, Bou Cedraïa et Sidi Aïssa. Les fracturations sont plus ou moins importantes et la direction la plus fréquente des failles est comprise entre N50°E à N70°E, celle-ci est quasiment Atlasique .

Les potentialités en eau du Crétacé supérieur et du Mio-Plio-Quaternaire sont très limitées, alors que les terrains du Crétacé inférieur essentiellement gréseux renferment plusieurs horizons aquifères dont le plus important est l'Albien. Ce dernier est une formation généralement de bonne perméabilité, proche de la surface du sol, avec une épaisseur moyenne de l'ordre de 150 m .

- L'étude piézométrique a montré un écoulement qui s'effectue d'une manière générale du Sud vers le Nord, il se caractérise par une alimentation en provenance des reliefs et par un drainage modéré par l'oued Touil. L'évolution de la piézométrie dans le temps (1985-2014), a révélé une baisse considérable et inquiétante du niveau piézométrique dans la zone dite "Sersou" au Sud-Est de Birine, constituant par conséquent une zone de dépression piézométrique, où en certains points d'eau, la baisse atteint 13 m. Cette baisse due essentiellement à la surexploitation notamment à usage agricole, où un grand nombre des forages sont illicites et non contrôlés par les services étatiques concernés .

- Sur le plan qualitatif, la distribution spatiale des résidus secs montre un gradient croissant de ce paramètre dans le sens général de l'écoulement. Les valeurs les plus ou moins importantes sont localisées dans le secteur aval (Nord) et près de l'oued Touil. L'acquisition de la minéralisation serait donc liée principalement au lessivage des formations encaissantes et à l'effet de l'évaporation. D'une manière générale les eaux de la nappe de la plaine de Ain Oussera présentent un faible résidu sec (<1500 mg/l). L'interprétation des différentes classifications hydrochimiques a mis en évidence la prédominance des faciès : chloruré calcique, magnésien et sodique .

Concernant la potabilité, selon les normes de l'O.M.S, les eaux de la plaine de Ain Oussera sont généralement de bonne qualité chimique, potables et considérées comme excellentes à bonnes pour l'irrigation .

- En matière de potentialités hydriques, les ressources en eau totales reconnues dans la plaine de Ain Oussera sont estimées à 55 Hm³/an .

Concernant l'affectation des ressources en eau, la partie la plus importante des eaux mobilisées est destinée à la satisfaction des besoins agricoles avec un taux de 62,77 %. L'alimentation en eau potable tient aussi une place prépondérante. Les besoins actuels pour l'AEP sont estimés à 17,484 hm³/an soit 36,27 % des besoins globaux (AEP AEA et AEI) .

Pour l'activité industrielle, elle est très faible dans la région de Ain Oussera. Par conséquent ses besoins en eau ne représentent que 1 % des besoins globaux .

- Les potentialités en eau existantes dans la région couvrent actuellement les besoins des différents secteurs (estimés à 48,198 hm³/an), mais dans l'avenir et à court terme (horizon 2020), il y aura un déficit (41,047 hm³/an) vu la croissance démographique et le développement socio-économique .

Devant cette situation, une exploitation et une utilisation rationnelles de l'eau s'imposent et des mesures doivent être prises à savoir :

- La mobilisation des eaux superficielles reste le premier choix qu'il faut appliquer. Malgré le régime subaride qui caractérise la région, il existe des méthodes simples, non coûteuses et efficaces pour la mobilisation des eaux de surfaces à des fins agro-pastorales, tel que les ouvrages : djoub, retenue, digue, Ced de dérivation, seguia, ... Elles permettent toutes de mieux économiser et valoriser l'eau de pluie. Ainsi, la recharge des nappes d'eau souterraines, la fertilisation des sols par les apports solides et la lutte contre l'érosion hydrique sont des avantages additionnels aux techniques de collecte des eaux de surface .

- Aussi, la réutilisation des eaux usées épurées (REUE) constitue une potentialité en tant que ressource en eau non conventionnelle, qui sera très utile d'une part pour compenser le volume limité fourni par les aquifères, et d'autre part la protection des nappes contre toute éventuelle pollution d'origine industrielle ou urbaine .

- Les transferts d'eau tel que "le transfert des eaux du Sahara Septentrional vers les hauts plateaux" constituent également une solution indispensable pour pallier au déficit inévitable dans les années à venir .

Enfin et malgré les efforts des pouvoirs publics et institutions nationales, en faveur de la sauvegarde et de l'exploitation durable des ressources en eau dans les régions arides et semi-arides tel que le cas de la plaine de Ain Oussera, beaucoup reste à faire pour une meilleure valorisation et gestion du potentiel d'eau .

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

AHMED SALEM (M), 2012 « Approches hydrodynamique et géochimique de la recharge de la nappe du Trarza, Sud-Ouest de la Mauritanie ». Thèse Doct. Univ. PARIS-SUD.151p.

ALGEO, 1980 « Prospection géophysique de la région d'Ain Oussera ». 25p. (ANRH, Djelfa).

AMIRECH (L), 2014 « Evaluation quantitative et qualitative des ressources en eau du sous BV de Boumerzoug, Wilaya de Constantine et d'Oum el Bouaghi, Algérie ». USTHB. 229p. Alger.

Ayad (A), 1983 « Etude hydrogéologique de la nappe d'Ain Oussera ». n°83. DHYG. 011. 48p. A.N.R.H. Alger.

Ayad (A), 1984 « Notes sur les caractéristiques hydrodynamiques de la nappe Albienne de la plaine de Ain Oussera ». n°84. DHYG. 018. 22p. A.N.R.H. Alger.

Ayad (A), 1984 « Projet de champ de captage pour la ville nouvelle d'Ain Oussera ». n°84. DHYG. 032. 22p. A.N.R.H. Alger.

BAZIZ (N), 2008 « Etude sur la qualité de l'eau potable et risques potentiels sur la santé : cas de la ville de Batna ». Mémoire de Magister. Université Elhadj Lakhder. Batna.

BECHTEL, 1977 « Rapport d'étude de l'aérodrome d'Ain Oussera. A.N.R.H. Alger.

BENCER (S), 2005 « Etat actuel des ressources hydriques de la région de Ain Djasser et estimation de la qualité chimique des eaux souterraines. Wilaya de Batna (Est Algérien). Mémoire de Magister. Université Elhadj Lakhder. 120p. Batna.

BENSAOULA (F), ADJIM (M), 2008 « La mobilisation des ressources en eau : Contexte climatique et contraintes socio-économiques (cas de la wilaya de Tlemcen). Larhyss Journal. ISSN 1112-3680. n°07. Juin 2008. pp. 79-92.

BIR (H), 2010 « Contribution à l'étude des ressources en eau de la wilaya de Bejaia. Mémoire de Magister. Université M'hamed Bougara-Boumerdes. 148p.

BOUDJADJA (A), MESSAHEL (M), PAUC (H), 2003 « Assessment of water resources in Northern Algeria. Journal of water science. Vol 16. n°3. 2003. p. 285-304.

CARATINI (C), 1970 « Etude géologique de la région de Chellala-Reibell. Publ. Serv. Carte géologique. Algérie. Alger. Série n°40. 2 vol. pp. 1-311.

FOUCAULT (A), 2009 « Climatologie et paléoclimatologie ».

GOUAIDIA (L), 2008 « Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi-aride, cas de la nappe de Meskiana - Nord Est Algérien ». Thèse de Doctorat. Université d'Annaba.131p.

KHEMMOUDJ (K), 2009 « Dynamique des systèmes et stratégie d'aménagement et gestion de la ressource en eau en zone semi aride : cas de la région d'El Eulma. WILAYA DE SETIF ». Thèse de Doctorat. Université d'Annaba.226p.

LADJAL (R), 2013 « Problématique de la mobilisation et de la préservation des ressources hydriques dans le Sersou (Bassin Cheliff amont Boughzoul). Université de Tlemcen. 125p.

LARABI (S), 1983 « Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine de Ain Oussera ». Mémoire d'ingénieur d'Etat. USTHB. 58p. Alger.

LEDUC (C), 2003 « Dynamiques hydrologiques en milieu semi-aride ». Habilitation à Diriger des Recherches. Université de Montpellier II. 81p. France.

MEBROUK (N), 1994 « Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine d'Ain Oussera Algérie. Thèse Magister. Université d'Oran. 296p.

MECIBAH (I), 2008 « Les ressources en eau et gestion intégrée du bassin versant d'Oued Guebli (Nord-Est Algérien). Mémoire de Magister. Université d'Annaba. 205p.

MRAD (D), KHOULADIA (W), BOURAS (F), DJEBBAR (Y), 2009 « Concepts de probabilité dans la planification des projets de ressources en eau. Colloque internationale sur la gestion intégrée des ressources en eau. Proceeding conférence internationale sur la gestion des ressources en eau. pp. 104-116. Tipaza. 2009. Alger.

OFEFP, 2003 « Guide pratique : échantillonnage des eaux souterraines ». Berne.

OUANOUKI (B), 2012 « Modélisation de la demande en eau dans une région aride. Cas de la Wilaya de Djelfa ». Revue Nature et Technologie. n°06/Janvier 2012. pp. 93-105.

SOGREAH, 2006 « Modélisation des grands aquifères. Etude de modélisation de 4 systèmes d'aquifères. Plaine de Ain Oussera ». Opération : ND5.312.6.261.375.02.

WATARID, 2009 « 2^{ème} conférence internationale : Eau, écosystèmes et développement durable en zones arides et semi-arides ». Téhéran-Yazd. IRAN.

ANNEXES

Tableau 01: Caractéristiques des points d'eau du réseau actuel de Surveillance piézométrique de la plaine de Ain Oussera

N° du points d'eau	Coordonnées Lambert		Coordonnées Géographiques		Altitude (m)	Prof de l'ouvrage (m)
	X (m)	Y (m)	Long	Lat		
2-220	528783	225675	3° 0' 59.971" E	35° 19' 45.980" N	724	26.51
21-220	523780	236659	2° 57' 42.994" E	35° 25' 42.993" N	720	35.2
23-220	522887	220883	2° 57' 5.967" E	35° 17' 10.994" N	777	25.34
27-220	518999	231533	2° 54' 32.968" E	35° 22' 56.982" N	736	40.9
31-220	512539	229334	2° 50' 16.822" E	35° 21' 45.978" N	725	12.12
35-220	505456	220947	2° 45' 35.974" E	35° 17' 13.976" N	785	58.6
36-220	515709	222839	2° 52' 21.968" E	35° 18' 14.991" N	780	49.08
59-220	504214	229881	2° 44' 46.978" E	35° 22' 3.988" N	745	37.27
514-221	543230	219665	3° 10' 30.986" E	35° 16' 28.997" N	803	14.27
39-221	550492	235538	3° 15' 21.985" E	35° 25' 2.968" N	733	46.24
42-221	547972	239900	3° 13' 43.008" E	35° 27' 25.008" N	720	34.95
59-221	550976	225867	3° 15' 38.969" E	35° 19' 48.970" N	800	35.96
84-221	537167	237506	3° 6' 33.990" E	35° 26' 8.989" N	693	
124-221	552812	231331	3° 16' 52.975" E	35° 22' 45.975" N	777	39.4
10-221	553600	226000	3° 17' 22.925" E	35° 19' 52.784" N	815	
54-221	559089	228506	3° 21' 0.982" E	35° 21' 12.992" N	770	18.45
7-251	521283	215888	2° 56' 1.999" E	35° 14' 28.991" N	808	48.10
9-251	502957	216664	2° 43' 56.995" E	35° 14' 54.992" N	792	42.18
16-251	513025	210419	2° 50' 34.979" E	35° 11' 31.991" N	831	35.68
25-251	504975	206950	2° 45' 16.623" E	35° 9' 39.656" N	770	40.73
26-251	505363	208624	2° 45' 31.998" E	35° 10' 33.985" N	788	33.08
126-219	490225	220800	2° 35' 33.066" E	35° 17' 9.084" N	750	5.85
130-219	497575	223256	2° 40' 23.982" E	35° 18' 28.968" N	755	42.25
29-250	491116	204468	2° 36' 8.982" E	35° 8' 18.994" N	788	16.23
47-250	485650	205950	2° 32' 32.919" E	35° 9' 6.866" N	763	16.45
128-250	496887	206620	2° 39' 56.972" E	35° 9' 28.972" N	785	
212-250	486334	205275	2° 32' 59.990" E	35° 8' 44.992" N	762	22.10
53-250	497345	213244	2° 40' 14.994" E	35° 13' 3.985" N	765	17.10
13-281	488500	190700	2° 34' 26.324" E	35° 0' 52.007" N	800	7.25
36-281	480375	193350	2° 29' 5.562" E	35° 2' 17.561" N	799	18
P9	529515	233313	3° 1' 29.970" E	35° 23' 53.824" N	708	59.83
P6	526852	229612	2° 59' 43.965" E	35° 21' 53.968" N	716	100
P11	523687	225999	2° 57' 38.175" E	35° 19' 56.986" N	749	100
P7	545973	231540	3° 12' 21.989" E	35° 22' 53.997" N	741	167.27
P2	534700	233891	3° 4' 55.591" E	35° 24' 11.975" N	700	100
P3	540112	233082	3° 8' 29.988" E	35° 23' 44.973" N	706	100
P1	531993	231879	3° 3' 7.992" E	35° 23' 6.998" N	714	100
P4	546747	237921	3° 12' 53.999" E	35° 26' 20.985" N	717	100
P5	548256	243105	3° 13' 54.967" E	35° 29' 8.988" N	713	100
P12	527400	215874	3° 0' 3.997" E	35° 14' 27.992" N	804	99.30

2-220 : Puits N°2 se trouvant sur la carte topographique au 1/50.000 , N°220 d'Ain Oussera .

P9 : Piézomètre N°9 .

Tableau 02 : Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère Albien de la plaine d'Ain Oussera (SOGREAH, 2006)

Nom du point	Coordonnées Lambert		T (10 ⁻³ m ² /s)	S (10 ⁻³)	K (10 ⁻⁵ m/ s)	Se (10 ⁻⁵ 1/m)
	X (m)	Y (m)				
P1	553250	246330	2	0.93	1.02	0,47
P2	517350	237850	5.85		2.52	
P4	555750	236450	0.32		0.29	
P6	550750	241150	0.836		0.44	
P7	546700	231600	1.88		1.11	
P8	535400	239000	4.7		1.88	
P9	530000	239350	1.08		1.21	
P10	542650	220800	0.553		0.26	
P11	524050	225925	0.82		1.19	
P12	528850	213350	4.6		4.89	
P15	492650	197600	1.8		2.05	
P16	513000	230600	0.047		0.05	
AEP F10 Ain Oussera	516825	237930	5.7		2.85	
AEP F2 Bouiret Lahdeb	540400	219000	7.4		2.96	
AEP F4 Had Sahary	551950	230200	1.57		0.75	
AEP F5 Had Sahary	550050	230250	0.095		0.05	
AEP F8 Ain Oussera	517800	238250	10.5		5.25	
AEP G3 Saadat	489785	235739	0.058		0.02	
AEP Had Sahary	558000	228950	0.013			
AEP L3 Boumidouna	504568	236389	0.031		0.02	
F1 Boughzoul	543200	242100	6.5		2.60	
Guernini G1	502250	216000	0.086		0.06	
Guernini G2	503000	216600	0.044		0.03	
IRR 1 Guernini	498100	214300	5.2		2.80	
IRR 2 Guernini	504500	216700	5.6		2.92	
IRR 3 Guernini	496000	204500	6.7		3.42	
IRR ZC2	496000	198250	1.83		0.77	
IRR ZC3	497400	198200	4		1.60	
IRR ZC4	495800	199000	4.72		2.36	
UP1 Benhar	536850	223900	2		0.80	
UP1 Guernini	500000	210000	3.2		1.60	
UP2 Benhar	537800	223500	2.8		1.12	
UP2 Birine	552400	244550	2.6		1.30	
UP3 Benhar	536600	222400	0.24		0.10	
UP3 Birine	554000	245200	3.9		1.56	
UP4 Benhar	535250	222150	0.85		0.34	
UP5 Benhar	538500	226350	0.108		0.05	
F5	535150	239050	4.95		1.59	
Morrich	544650	247900	7	1.3	4.96	0,92
B1 Afia	553200	246500	2.44		1.37	
B2 Khadjane	555500	244500	0.0627		0.03	
B3	553800	243650	2		0.67	
B4	552100	249000	4.2		1.68	
Hassi Guernini G1	497500	211000	0.8		0.84	
Hassi Guernini G2	496100	211650	43		43.00	

Tableau 03 : Résultat des analyses physico-chimiques des échantillons d'eau prélevés (compagne Mai 2006)

Point d'eau	Paramètres chimiques														Paramètres physiques			
	Anions							Cations							Résidus Secs (mg/l)	D.H.T	Cond à 20°C	pH
	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	°F	me/l	(mg/l)						
/	mg/l	me/l	me/l	me/l	me/l	mg/l	me/l	me/l	me/l	me/l	me/l	me/l	me/l	me/l	me/l	ms/cm	/	
5-220	288	300	0	81	22.32	115.12	5.76	65.66	5.47	95.4	4.15	5.36	0.14	56.14	11.23	1010	1.64	8.18
27-220	148	123	0	117	10.34	66.44	3.32	38.02	3.17	63.14	2.75	4.85	0.12	32.45	6.49	605	0.99	8.28
21-220	635	988	0	24	1.23	209.27	10.46	148.66	12.39	389.24	16.92	26.29	0.67	114.26	22.85	1936	4.02	/
59-220	345	480	5	122	35.62	65.05	3.25	88.79	7.40	276.5	12.02	5.48	0.14	53.26	10.65	1545	2.47	8.33
23-220	178	236	6	34	0.56	50.81	2.54	42.74	3.56	125.13	5.44	5.05	0.13	30.51	6.10	813	1.49	8.66
35-220	84	50	0	110	1.80	24.15	1.21	25.25	2.10	58.11	2.53	4.91	0.13	16.56	3.31	321	0.6	8.05
36-220	152	58	0	149	2.44	70.38	3.52	27.71	2.31	86.01	3.74	4.28	0.11	29.14	5.83	525	0.23	7.69
31-220	185	251	5	156	81.58	60.65	3.03	67.3	5.61	121.35	5.28	3.81	0.10	43.20	8.64	1010	1.44	8.34
10-221	265	585	0	137	28.8	227	11.35	101.1	8.43	76.41	3.32	7.48	0.19	98.88	19.78	1389	2.3	8.03
59-221	110	88	6	61	4.45	39.2	1.96	32.48	2.71	39.84	1.73	4.81	0.12	23.33	4.67	559	0.91	8.51
64-221	125	125	11	49	16.04	36.62	1.83	38.32	3.19	68.04	2.96	6.37	0.16	25.12	5.02	520	0.9	8.98
124-221	375	239	0	62	85.5	163.12	8.16	84.31	7.03	75.8	3.30	7.4	0.19	75.91	15.18	1280	2.02	8.28
42-221	114	82	5	105	11.9	47.9	2.40	35.36	2.95	40.11	1.74	4.61	0.12	26.71	5.34	512	0.82	8.34
513-221	166	110	9	125	0.56	64.8	3.24	46.92	3.91	50.99	2.22	4.97	0.13	35.75	7.15	656	1.15	8.49
102-221	175	139	16	83	7.12	51.6	2.58	48.88	4.07	72.51	3.15	6.17	0.16	33.27	6.65	645	/	8.28
514-221	174	105	3	40	1.42	39.66	1.98	42.93	3.58	63.21	2.75	5.49	0.14	27.80	5.56	364	1.03	8.46
54-221	463	589	0	47	78.16	270.58	13.53	100.95	8.41	150.64	6.55	19.45	0.50	109.71	21.94	1883	2.9	8.3
26-251	85	100	0	125	67.33	106.76	5.34	20.64	1.72	17.62	0.77	3.53	0.09	35.29	7.06	509	0.83	8.2
16-251	154	145	15	3	70.67	81.26	4.06	27.24	2.27	60.07	2.61	16.41	0.42	31.67	6.33	625	/	9.97
7-251	200	298	12	3	7.86	74.46	3.72	37.13	3.09	135.49	5.89	6.07	0.16	34.09	6.82	810	1.67	9.57
9-251	138	104	16	80	27.79	48.81	2.44	30.42	2.54	72.11	3.14	4.81	0.12	24.88	4.98	545	0.93	8.02
126-219	256	264	8	26	66.4	56.57	2.83	39.88	3.32	185.9	8.08	19.46	0.50	30.76	6.15	1005	1.6	8.95
109-219	650	560	0	101	18.93	350	17.50	110	9.17	155.3	6.75	12	0.31	133.33	26.67	2030	3.32	8.13
130-219	108	30	24	15	0.4	30.42	1.52	13.89	1.16	32.34	1.41	7.79	0.20	13.39	2.68	272	0.9	/
128-250	60	80	0	177	49.1	72.24	3.61	20.08	1.67	29.67	1.29	5.1	0.13	26.43	5.29	525	0.87	8.39
53-250	258	240	24	235	1.61	136.17	6.81	54.71	4.56	138.14	6.01	9.68	0.25	56.84	11.37	1061	7.78	8.75
212-250	468	488	0	50	0.82	215.83	10.79	99.49	8.29	179.25	7.79	41.78	1.07	95.41	19.08	1468	2.54	8.06
29-250	140	96	0	92	52	65.45	3.27	32.97	2.75	65.96	2.87	5.54	0.14	30.10	6.02	612	1.09	7.91

Tableau 04 : Classification des eaux de la plaine de Ain Oussera selon Stabler (compagne Mai 2006)

Point d'eau	Formule caractéristique	Faciès chimique	
5-220	$r\% \text{Cl}^- > r\% \text{SO}_4^- > r\% \text{HCO}_3^- > r\% \text{NO}_3^-$ $r\% \text{Ca}^{++} > r\% \text{Mg}^{++} > r\% \text{Na}^+ > r\% \text{K}^+$	Chloruré Calcique	
27-220	$r\% \text{Cl}^- > r\% \text{SO}_4^- > r\% \text{HCO}_3^- > r\% \text{NO}_3^-$ $r\% \text{Ca}^{++} > r\% \text{Mg}^{++} > r\% \text{Na}^+ > r\% \text{K}^+$		
124-221	$r\% \text{Cl}^- > r\% \text{SO}_4^- > r\% \text{NO}_3^- > r\% \text{HCO}_3^-$ $r\% \text{Ca}^{++} > r\% \text{Mg}^{++} > r\% \text{Na}^+ > r\% \text{K}^+$		
54-221	$r\% \text{Cl}^- > r\% \text{SO}_4^- > r\% \text{NO}_3^- > r\% \text{HCO}_3^-$ $r\% \text{Ca}^{++} > r\% \text{Mg}^{++} > r\% \text{Na}^+ > r\% \text{K}^+$		
26-251	$r\% \text{Cl}^- > r\% \text{SO}_4^- > r\% \text{HCO}_3^- > r\% \text{NO}_3^-$ $r\% \text{Ca}^{++} > r\% \text{Mg}^{++} > r\% \text{Na}^+ > r\% \text{K}^+$		
16-251	$r\% \text{Cl}^- > r\% \text{SO}_4^- > r\% \text{NO}_3^- > r\% \text{HCO}_3^-$ $r\% \text{Ca}^{++} > r\% \text{Na}^+ > r\% \text{Mg}^{++} > r\% \text{K}^+$		
109-219	$r\% \text{Cl}^- > r\% \text{SO}_4^- > r\% \text{HCO}_3^- > r\% \text{NO}_3^-$ $r\% \text{Ca}^{++} > r\% \text{Mg}^{++} > r\% \text{Na}^+ > r\% \text{K}^+$		
130-219	$r\% \text{Cl}^- > r\% \text{SO}_4^- > r\% \text{HCO}_3^- > r\% \text{NO}_3^-$ $r\% \text{Ca}^{++} > r\% \text{Na}^+ > r\% \text{Mg}^{++} > r\% \text{K}^+$		
53-250	$r\% \text{Cl}^- > r\% \text{SO}_4^- > r\% \text{HCO}_3^- > r\% \text{NO}_3^-$ $r\% \text{Ca}^{++} > r\% \text{Na}^+ > r\% \text{Mg}^{++} > r\% \text{K}^+$		
212-250	$r\% \text{Cl}^- > r\% \text{SO}_4^- > r\% \text{HCO}_3^- > r\% \text{NO}_3^-$ $r\% \text{Ca}^{++} > r\% \text{Mg}^{++} > r\% \text{Na}^+ > r\% \text{K}^+$		
29-250	$r\% \text{Cl}^- > r\% \text{SO}_4^- > r\% \text{HCO}_3^- > r\% \text{NO}_3^-$ $r\% \text{Ca}^{++} > r\% \text{Na}^+ > r\% \text{Mg}^{++} > r\% \text{K}^+$		
59-221	$r\% \text{Cl}^- > r\% \text{SO}_4^- > r\% \text{HCO}_3^- > r\% \text{NO}_3^-$ $r\% \text{Mg}^{++} > r\% \text{Ca}^{++} > r\% \text{Na}^+ > r\% \text{K}^+$		Chloruré Magnésien
64-221	$r\% \text{Cl}^- > r\% \text{SO}_4^- > r\% \text{HCO}_3^- > r\% \text{NO}_3^-$ $r\% \text{Mg}^{++} > r\% \text{Na}^+ > r\% \text{Ca}^{++} > r\% \text{K}^+$		
42-221	$r\% \text{Cl}^- > r\% \text{HCO}_3^- > r\% \text{SO}_4^- > r\% \text{NO}_3^-$ $r\% \text{Mg}^{++} > r\% \text{Ca}^{++} > r\% \text{Na}^+ > r\% \text{K}^+$		
513-221	$r\% \text{Cl}^- > r\% \text{SO}_4^- > r\% \text{HCO}_3^- > r\% \text{NO}_3^-$ $r\% \text{Mg}^{++} > r\% \text{Ca}^{++} > r\% \text{Na}^+ > r\% \text{K}^+$		
102-221	$r\% \text{Cl}^- > r\% \text{SO}_4^- > r\% \text{HCO}_3^- > r\% \text{NO}_3^-$ $r\% \text{Mg}^{++} > r\% \text{Na}^+ > r\% \text{Ca}^{++} > r\% \text{K}^+$		
514-221	$r\% \text{Cl}^- > r\% \text{SO}_4^- > r\% \text{HCO}_3^- > r\% \text{NO}_3^-$ $r\% \text{Mg}^{++} > r\% \text{Na}^+ > r\% \text{Ca}^{++} > r\% \text{K}^+$		
23-220	$r\% \text{Cl}^- > r\% \text{SO}_4^- > r\% \text{NO}_3^- > r\% \text{HCO}_3^-$ $r\% \text{Na}^+ > r\% \text{Mg}^{++} > r\% \text{Ca}^{++} > r\% \text{K}^+$	Chloruré Sodique	
35-220	$r\% \text{Cl}^- > r\% \text{HCO}_3^- > r\% \text{SO}_4^- > r\% \text{NO}_3^-$ $r\% \text{Na}^+ > r\% \text{Mg}^{++} > r\% \text{Ca}^{++} > r\% \text{K}^+$		
36-220	$r\% \text{Cl}^- > r\% \text{HCO}_3^- > r\% \text{SO}_4^- > r\% \text{NO}_3^-$ $r\% \text{Na}^+ > r\% \text{Ca}^{++} > r\% \text{Mg}^{++} > r\% \text{K}^+$		
9-251	$r\% \text{Cl}^- > r\% \text{SO}_4^- > r\% \text{HCO}_3^- > r\% \text{NO}_3^-$ $r\% \text{Na}^+ > r\% \text{Mg}^{++} > r\% \text{Ca}^{++} > r\% \text{K}^+$		
126-219	$r\% \text{Cl}^- > r\% \text{SO}_4^- > r\% \text{NO}_3^- > r\% \text{HCO}_3^-$ $r\% \text{Na}^+ > r\% \text{Mg}^{++} > r\% \text{Ca}^{++} > r\% \text{K}^+$		
21-220	$r\% \text{SO}_4^- > r\% \text{Cl}^- > r\% \text{HCO}_3^- > r\% \text{NO}_3^-$ $r\% \text{Na}^+ > r\% \text{Mg}^{++} > r\% \text{Ca}^{++} > r\% \text{K}^+$	Sulfaté Sodique	
59-220	$r\% \text{SO}_4^- > r\% \text{Cl}^- > r\% \text{HCO}_3^- > r\% \text{NO}_3^-$ $r\% \text{Na}^+ > r\% \text{Mg}^{++} > r\% \text{Ca}^{++} > r\% \text{K}^+$		
7-251	$r\% \text{SO}_4^- > r\% \text{Cl}^- > r\% \text{NO}_3^- > r\% \text{HCO}_3^-$ $r\% \text{Na}^+ > r\% \text{Ca}^{++} > r\% \text{Mg}^{++} > r\% \text{K}^+$		
31-220	$r\% \text{SO}_4^- > r\% \text{Cl}^- > r\% \text{HCO}_3^- > r\% \text{NO}_3^-$ $r\% \text{Mg}^{++} > r\% \text{Na}^+ > r\% \text{Ca}^{++} > r\% \text{K}^+$	Sulfaté Magnésien	
10-221	$r\% \text{SO}_4^- > r\% \text{Cl}^- > r\% \text{HCO}_3^- > r\% \text{NO}_3^-$ $r\% \text{Ca}^{++} > r\% \text{Mg}^{++} > r\% \text{Na}^+ > r\% \text{K}^+$	Sulfaté Calcique	
128-250	$r\% \text{HCO}_3^- > r\% \text{Cl}^- > r\% \text{SO}_4^- > r\% \text{NO}_3^-$ $r\% \text{Ca}^{++} > r\% \text{Mg}^{++} > r\% \text{Na}^+ > r\% \text{K}^+$	Bicarbonaté Calcique	

Tableau 05 : Valeurs des indices d'échange de base (I.E.B) et des S.A.R des eaux de la plaine d'Ain Oussera (compagne Mai 2006)

Point d'eau	I.E.B	S.A.R	Point d'eau	I.E.B	S.A.R
5-220	0.47	1.75	102-221	0.33	1.73
27-220	0.31	1.52	514-221	0.41	1.65
21-220	0.02	5.01	54-221	0.46	1.98
59-220	- 0.25	5.21	26-251	0.64	0.41
23-220	- 0.11	3.11	16-251	0.30	1.47
35-220	- 0.12	1.96	7-251	- 0.07	3.19
36-220	0.10	2.19	9-251	0.16	1.99
31-220	- 0.03	2.54	126-219	- 0.19	4.61
10-221	0.53	1.06	109-219	0.61	1.85
59-221	0.40	1.13	130-219	0.47	1.22
64-221	0.11	1.87	128-250	0.16	0.79
124-221	0.67	1.20	53-250	0.14	2.52
42-221	0.42	1.07	212-250	0.33	2.52
513-221	0.50	1.17	29-250	0.24	1.65

Tableau 06 : Classification des eaux d'irrigation en fonction de la C.E et du S.A.R (Méthode de Richards)

Degré	Qualité	Classe	Etat d'utilisation
1 ^{ère}	Excellente	C ₁ S ₁	Eaux utilisables sans danger pour l'irrigation pour la plus part des cultures, sur la plus part des sols .
2 ^{ème}	Bonne	C ₂ S ₁ C ₁ S ₂	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle en particulier pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes aux sels sur sol .
3 ^{ème}	Admissible	C ₃ S ₁ C ₂ S ₃ C ₃ S ₂	En général, eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes aux sels sur sol bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée .
4 ^{ème}	Médiocre	C ₄ S ₁ C ₄ S ₂ C ₃ S ₃	Eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels sur sol et bien drainées .
5 ^{ème}	Mauvaise	C ₃ S ₄ C ₄ S ₃ C ₄ S ₄	Eau ne convenant pas généralement à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions : sol très perméable, bien lessivé, plantes tolérantes aux sels .