

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L' ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR



ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ MENTOURI 1 CONSTANTINE
FACULTÉ DES SCIENCES DE LA TERRE, DE L'AMENAGEMENT
DU TERRITOIRE ET DE LA GÉOGRAPHIE

DÉPARTEMENT DES SCIENCES GÉOLOGIQUE

MÉMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de MAGISTER
(Intitulé : *Ressources en eau et protection des systèmes aquifères*)

Hydrodynamisme et minéralisation du complexe aquifère du bassin frontalier d 'El Ma El Abiod Wilaya de Tébessa (S-E Algérien)

Option
Hydrogéologie

Présenté Par:
LEKRINE Yacine
(Ingénieur d'État en Hydrogéologie)

DEVANT LE JURY

PRESIDENTE :

Dr DIB H.

Université de Constantine1

PROMOTEUR :

Dr DEMDOUM A.

Université de Sétif

EXAMINATEURS :

Dr CHABOUR N.

Université de Constantine1

Dr DJEBBAR M.

Université de Constantine1

Année universitaire : 2015

Remerciements

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

*A Monsieur **Dr. DEMDOUM Abd el salem**, de l'université de Sétif a bien voulu suivre et orienter ce travail. Ses encouragements et ses recommandations ont permis de finaliser ce projet. Qu'il trouve ici l'expression de ma connaissance, de mon amitié et de ma profonde gratitude.*

*Au **Dr DIB .H** de l'université de Constantine 1 a agréé ma demande de présider le Jury d'examen. Qu'il en soit remercié. Au **Dr DJEBBAR .M** et au **Dr CHABOUR .N** de l'université de Constantine 1, qui ont examiné ce travail et ont accepté de faire partie du jury.*

Mes vifs remerciements s'adressent au corps des Enseignants pour le soutien qu'ils m'ont apporté lors de la préparation de ce mémoire, et pour les conseils avisés qu'ils ont su me donner tout au long de ma post graduation, notamment le Dr. GHEBOULI ; Dr. YOUSSEFI ; Dr. KASSIR ; Dr. GRIREM ; Mr.ALI LAOUAR.

Mes remerciements vont également au Mr. H.DJABARI de l'université d'Annaba, pour la documentation qu'il m'a fournie.

Mes remerciements s'adressent à toute l'équipe de l'ANRH de Constantine et surtout Mr. H.HAZMOUNE qui m'a facilité l'accès aux données de mesures et à la documentation.

Je remercie Mr. T.DJABASSI chef secteur de l'ANRH willaya de Tébessa, qui m'a toujours accueilli chez lui et qui m'ont consacré un temps énorme pour l'achèvement de ce mémoire. Également aux personnels de l'administration de la DHW de Tébessa.

Je n'oublis pas de remercier mes collègues et camarades de promotion de post-graduation, qui ont su m'accorder une partie de leur temps précieux lors de la préparation de ce mémoire.

Et aussi toute l'équipe de la promo et tous amis, pour leur soutien et encouragements. Qu'ils trouvent ici mes meilleures salutations les plus distinguées.

Merci à ma famille et à tous mes proches pour leur patience et soutien de tous les jours, particulièrement pour mes chers parents et ma petite famille.

TABLE DES MATIÈRES

Table de matière.....	01
Listes des Figures.....	06
Liste des Tableaux.....	08
Résumé.....	09
Introduction Générale.....	11

Chap. I. Cadre général et milieu physique

I – Introduction.....	15
I.1 – Situation géographique.....	15
I.2 – Le couvert végétal.....	17
I.3 – Topographie.....	17
I.4 – Activités économiques.....	18
I.5 – Aperçu géomorphologique.....	18
I.5 – 1- Le bassin versant	18
I.5 – 2- La cuvette du Miocène	18
I.5 – 3- Les collines.....	19
I.5 – 4- La limite Bassin versant – Cuvette du Miocène	19
I.5 – 5- Les lits des oueds	19
I.5 – 6- Les alluvions quaternaires	19
I.5 – 7- Les sources	19
I.5 – 8- Les barrières rocheuses.....	19
I.6 – Étude physique du bassin versant.....	20
I.6 – 1- La superficie du bassin versant	20
I.6 – 2- Le Périmètre du bassin versant.....	20
I.6 – 3- L'indice de compacité (Kc).....	20
I.6 – 4- Les dimensions du rectangle équivalent.....	20
I.6 – 5- Etude des paramètres de relief	20
I.6 – 5- 1 - La courbe hypsométrique.....	21
I.6 – 5- 2- Les altitudes caractéristiques.....	21
I.6 – 5- 2- a- Les altitudes maximale et minimale.....	21
I.6 – 5- 2- b- L'altitude moyenne.....	21
I.6 – 5- 2- c- L'altitude médiane.....	22
I.6 – 5- 3- Les Indices de pentes.....	22
I.6 – 5- 3- a- Indice de pente moyenne.....	22
I.6 – 5- 3- b- L'indice global de pente (I_g).....	22
I.6 – 5- 3- c- La dénivelée spécifique (D_s).....	23
I.6 – 5- 3- d- L'indice de pente de Roche (I_p).....	23
I.7 – Réseau Hydrographique.....	24
I.7 – 1- Densité de drainage D_d	25
I.7 – 1- Temps de concentration.....	25
Conclusion.....	27

Chap. II. Aperçu géologiques

Partie A : Géologie du bassin d'El Ma El Abiod

II.A.1 – Introduction.....	29
II.A.2 – Stratigraphie-Lithologie.....	29

II.A.2 - 1- Le Trias.....	29
II.A.2 - 2- Le Crétacé.....	29
II.A.2- 2- 1 Aptien moyen et inférieur	29
II.A.2- 2- 2 Aptien supérieur.....	30
II.A.2- 2- 3 Albien inférieur.....	30
II.A.2- 2- 4 Albien supérieur.....	30
II.A.2- 2- 5 Cénomanién.....	30
II.A.2- 2- 6 Turonien.....	31
II.A.2- 2- 7 Campanien inférieur- Emscherien.....	31
II.A.2- 2- 8 Campanien supérieur – maestrichtien.....	31
II.A.2- 3- Tertiaire.....	35
II.A.2- 3- 1- Miocène.....	35
II.A.2- 4 – Quaternaire	35
II.A.2- 4– 1 Conglomérats.....	35
II.A.2- 4– 2 Les dépôts de sources	35
II.A.2- 4– 3 La nappe des cailloux	35
II.A.2- 4– 4 Les dépôts actuels	35
II.A.3 – Tectonique de la région.....	36
II.A.3 –1– Style tectonique.....	36
II.A.3 – 2- Phases tectoniques.....	36
II.A.3– 3- Les mouvements récents.....	38
II.A.4 – La paléogéographie.....	39
Conclusion.....	41

Partie B : Géophysique du bassin d’El Ma El Abiod

II.B.1 – Introduction.....	42
II. B.2- Interprétation des coupes géo-électriques	43
II. B.2 – 1 Profil transversal I (Nord-Sud).....	43
II. B.2 – 1-a Horizon-1.....	43
II. B.2 – 1-b Horizon-2.....	43
II. B.2 – 1-c Horizon-3.....	44
II. B.2 – 2 Profil transversal II (Nord-Sud).....	44
II. B.2 – 2-a Horizon-1	44
II. B.2 – 2-b Horizon-2.....	44
II. B.2 – 2-c Horizon-3	45
II. B.2 – 3 Profil transversal III (Nord-Sud).....	45
II. B.2 – 4 Profil longitudinal IV (Sud-Ouest–Nord-Est).....	46
II. B.2 – 4- a Horizon-1.....	46
II. B.2 – 4- b Horizon-2.....	47
II. B.2 – 4- c Horizon-3.....	47
II. B.2 – 5 Profil longitudinal V (Sud-Ouest Nord-Est).....	47
II. B.3 – Commentaire des résultats.....	47
II. B.4 – Les cartes isopaques.....	48
II. B.4 – 1- Délimitation des zones favorables.....	48
II. B.4 –1-a Carte d’égale épaisseur des sables.....	48
II. B.4 –1-b Carte d’égale épaisseur des grès.....	49
II. B.4 –1-c Carte d’égale épaisseur des argiles sableuses.....	49
Conclusion.....	50

Chap. III. Hydroclimatologie

III.1 – Introduction.....	52
III.2 – Réseau hydro-climatique de la zone d'étude	52
III.3 – L'humidité relative de l'air.....	52
III.4 –La neige.....	53
III.5 – La pluviométrie.....	53
III.5.1- Variations interannuelles des précipitations	54
III.5. 2- Estimation de la lame d'eau précipitée.....	56
III.5.2- a- Méthode de la moyenne arithmétique.....	56
III.5.2-b- Méthode de la moyenne de <i>Thiessen</i>	56
III.5.2-c- Méthode des isohyètes.....	57
III.5. 2- d- Discussion des méthodes	58
III.5. 3- Les précipitations mensuelles.....	58
III.5. 4- Le régime mensuel.....	60
III.6 – Les températures.....	61
III.6 – 1- Modèle de <i>Laplace</i>	61
III.6 – 2- Modèle de <i>BNEDER</i>	61
III.6 – 3- Corrélation entre les deux modèles.....	61
III.6 – 4- Variation des températures et régime thermique	63
III.7 – Détermination des indices climatiques.....	65
III.7 – 1- L'indice d'aridité de <i>E. DE Martone</i>	65
III.7 – 2- L'indice d'aridité mensuel.....	65
III.7 – 3- Diagramme pluviothermique.....	67
III.8 – Le bilan hydrique.....	68
III.8 – 1- Étude de l'Évapotranspiration.....	68
III.8 – 1- 1- Estimation de l'évapotranspiration potentielle (<i>ETP</i>).....	68
III.8 – 1- 1- a- Formule de <i>C.W. Thornthwaite</i>	68
III.8 – 1- 1- b- Formule de <i>L. Turc</i>	69
III.8 – 1- 2- Estimation de l'évapotranspiration réelle (<i>ETR</i>).....	69
III.8 – 1- 2- a- Formule de <i>L. Turc</i>	70
III.8 – 1- 2- b- Formule de <i>Coutagne</i>	70
III.8 – 1- 2- c- Abaque de <i>P. Verdeil</i>	70
III.8 – 2- Estimation de la réserve facilement utilisable.....	71
III.8 – 3- Indice thermique mensuel.....	71
III.8 – 4- Indice thermique annuel.....	71
III.8 – 5- Bilan d'eau par la méthode de <i>C. W. Thornthwaite</i>	71
III.8 – 6- Interprétation du bilan hydrologique.....	73
III.9 – 6- Répartition des précipitations.....	74
III.9 – 6- 1- Le ruissellement.....	74
III.9 – 6- 2- L'infiltration.....	74
Conclusion.....	75

Chap. IV. Hydrogéologie

IV.1 – Introduction.....	77
IV.2 – Structure du système.....	77
IV.2 – 1- La nappe alluviale.....	77
IV.2 – 1- 1- Exploitation de la nappe.....	77
IV.2 – 2- La nappe du Miocène.....	77
IV.2 - 2 –1- Extension et alimentation de la nappe.....	78

IV.2 – 2 – Structure et intérêt des formations calcaires et gréseuses.....	79
IV.3 – Apports du système et conditions aux limites.....	81
IV.4. Essais de Pompage.....	82
IV.4. 1- Forage <i>M₈ bis</i>	82
IV.4. 2 - Forage <i>M₁₃ bis</i>	83
IV.4. 3 - Estimation et répartition des paramètres hydrodynamiques.....	84
IV.4. 3 -1 Répartition spatiale de la perméabilité.....	85
IV.4. 3 -2 Répartition spatiale de la transmissivité.....	86
IV.4. 3 -3 Synthèse des deux cartes (transmissivité / perméabilité).....	86
IV.5. Piézométrie.....	86
IV.5.1 - Évolution de la Piézométrie.....	87
IV.5.2 - Dans le temps et dans l'espace.....	87
IV.5.3 - Etablissement des cartes piézométriques.....	88
IV.5.4 - Inventaire des points d'eau.....	89
IV.5.5 - Carte piézométrique. Avril 2013.....	89
IV.5.6 - Carte piézométrique Septembre 2013.....	90
Conclusion.....	91

Chap. V. Hydrochimie

V.1 – Introduction.....	94
V.2 – Echantillonnage et analyse hydrochimique.....	94
V.3 – Description sommaire des paramètres physico-chimiques.....	94
V.3 –1 Paramètres physiques.....	94
V.3 –1-a Température de l'eau (T°).....	94
V.3 –1-b Potentiel d'Hydrogène (PH).....	95
V.3 –1-c Conductivité électrique (CE).....	95
V.3 –2 Paramètres et Faciès chimiques.....	96
V.3 –2-1 Les eaux de sources.....	96
V.3 –2-2 Les eaux de surface.....	98
V.3 –2-3 Les eaux souterraines.....	99
V.4 – Détermination des faciès hydrochimiques.....	100
V.4-1 Représentation graphique et identification des faciès.....	100
V.4-1-1 Diagramme de SCHOELLER-BERKALLOF.....	100
V.4-1-2 Diagramme de PIPER.....	101
V.4-1-2-1 Période d'avril 2013.....	101
V.4-1-2-2 Période de Septembre 2013.....	103
V.4.2 Répartition des faciès chimiques.....	104
V.5. Cartographie hydrochimique.....	105
V.5.1. Cartographie des Sulfates.....	105
V.5-1-1 Période d'Avril 2013.....	105
V.5-1-2 Période de Septembre 2013.....	105
V.5-2 Cartographie des Bicarbonates.....	106
V.5-2-1 Période d'Avril 2013.....	106
V.5-2-2 Période de Septembre 2013.....	107
V.5-3 Cartographie des Chlorures.....	107
V.5-3-1 Période d'Avril 2013.....	107
V.5-3-2 Période de Septembre 2013.....	108
V.5-4 Cartographie des Nitrates.....	108
V.5-4-1 Période d'Avril 2013.....	108
V.5-4-2 Période de Septembre 2013.....	109
V.5-5 Cartographie de Calcium.....	110

V.5-5-1 Période d'Avril 2013.....	110
V.5-5-2 Période de Septembre 2013.....	110
V.5-6 Cartographie de Sodium.....	111
V.5-6-1 Période d'Avril 2013.....	111
V.5-6-2 Période de Septembre 2013.....	111
V.5.7. Cartographie de Magnésium.....	112
V.5-7-1 Période d'Avril 2013.....	112
V.5-7-2 Période de Septembre 2013.....	113
V.6 Etude de l'origine du chimisme des eaux souterraines.....	113
V.7 Utilisation agricole des eaux souterraines.....	114
Conclusion.....	116

Chap. VI. Pollution et vulnérabilité des eaux souterraines

VI. Introduction.....	118
VI.2- Les principales sources de pollution du bassin d'El Ma El Abiod.....	118
VI.2- a- Pollution urbaine.....	119
VI.2- b- Pollution industrielle.....	119
VI.2- c- Pollution agricole.....	120
VI.3- Etude de la vulnérabilité de la nappe D'El Ma El Abiod.....	120
VI.3.1 Introduction.....	120
VI.3.2 Vulnérabilité à la pollution chimique des eaux souterraines.....	120
VI.3.3 Présentation de la méthode DRASTIC.....	121
VI.3.4 Validité de la méthode DRASTIC.....	122
VI.3.5 Etablissement de la carte de vulnérabilité de la nappe d'El Ma El Abiod.....	122
VI.3.5.1. Profondeur de la nappe.....	123
VI.3.5.2. Recharge efficace.....	123
VI.3.5.3. Nature de la zone saturée.....	124
VI.3.5.4. Nature du sol.....	125
VI.3.5.5. Topographie (pente).....	126
VI.3.5.6. Nature de la zone non saturée (vadose).....	126
VI.3.5.7. Perméabilité.....	127
VI.3.5.8. Carte de vulnérabilité.....	128
VI.3.5.9. Conclusion.....	129
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS.....	131
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	134
ANNEXE.....	139

LISTE DES FIGURES

N°		Page
01	Situation géographique et Administrative de plaine D'El Ma El Abiod.....	16
02	Représentation en 3D.de la plaine D'El Ma El Abiod	17
03	Courbe hypsométrique et diagramme des fréquences altimétriques du bassin d'El Ma El Abiod.....	22
04	Carte du réseau hydrographique/Bassin d'El Ma El Abiod.....	25
05	Permis djebel Doukkane forage pétrolier Boudjellal-2 [BDJ-2].....	32
06	Carte géologique de la région d'El Ma El Abiod d'après G. DUROZOY. 1948.....	33
07	Coupes géologiques à travers le bassin d'El Ma Abiod.....	34
08	Esquisse tectonique de la zone d'étude (W.M.Kowalski et al. 1997).....	36
09	Carte de système de failles (UGF-BRNO 1971).....	38
10	Carte des profils géo-électriques/Bassin d'El Ma El Abiod	42
11	Profil géo-électrique transversal (N/S) n° I traversant les forages ; M_7 , M_5 , M_4 et M_{15}	43
12	Profil géo-électrique transversal (N/S) n° II traversant les forages ; M_{10} , M_9 , et M_6	44
13	Profil géo-électrique transversal (N/S) n° III traversant les forages ; M_1 , M_6 et le puits P_{23}	45
14	Profil géo-électrique (SW/NE) n° IV traversant les forages M_{15} , M_2 , M_{13} et M_{10}	46
15	Profil géo-électrique (SW/NE) n° V traversant les forages M_3 , M_8 , M_5 et le S_{23}	47
16	Carte d'égale épaisseur des sables	48
17	Carte d'égale épaisseur des grès.....	49
18	Carte d'égale épaisseur des argiles sableuses.....	49
19	Station pluviométriques et leurs codes/Bassin d'El Ma El Abiod	53
20	Distribution des précipitations annuelles aux stations d'observation/Bassin d'El Ma El Abiod.....	55
21	Polygones de Thiessen/Bassin d'El Ma El Abiod.....	57
22	Moyennes des précipitations mensuelles (1980 ÷ 2010).....	59
23	Corrélations entre les températures calculées par les deux modèles	63
24	Température moyenne mensuelle aux stations d'observations (1980-2010).....	64
25	Abaque de l'Indice d'aridité annuel d'E. DE Martone PV. 1923/Bassin d'El Ma El Abiod.....	65
26	Abaque de l'Indice d'aridité Mensuel de E. DE. Martone PV 1923/Bassin d'El Ma El Abiod.....	66
27	Diagrammes pluviothermiques aux stations d'observation (1980 ÷ 2010)/Bassin d'El Ma El Abiod.....	67
28	Bilan hydrologique à la station d'El Ma El Abiod, par la méthode de Thornthwaite pour la période (1980/1981 -2010/2011).....	73
29	Structures géologique et hydrogéologique du système aquifère du bassin d'El Ma El Abiod.....	79
30	Puits traditionnelle à sec au niveau de Chaâchaa/ Bassin d'El Ma El Abiod (Y.Lekrine 2013).....	80
31	Profil hydrogéologique passant par les forages M_3 , M_5 , FC_{1bis} , M_{10} et M_1 . /Bassin d'El Ma El Abiod.....	80
32	Coupes hydrogéologiques à travers la plaine d'El Ma El Abiod	81
33	Carte des conditions aux limites du système aquifère du bassin d'El Ma El Abiod.- In Rouabhia 2001 Modifiée -.....	82
34.1	Courbe de descente $S=f(\log t)$ Forage M_8bis	83
34.2	Courbe de Remontée Forage M_8bis	83
35.1	Courbe de descente $S=f(\log t)$ Forage M_{13bis}	84
35.2	Courbe de Remontée Forage M_{13bis}	84
36	Carte de Perméabilité/Bassin d'El Ma El Abiod.....	85
37	Carte de Transmissivité/Bassin d'El Ma El Abiod.....	86
38	Evolution de la profondeur du plan d'eau dans le piézomètre N°1 /Bassin d'El Ma El Abiod.....	87
39	Evolution de la profondeur du plan d'eau dans le piézomètre N°2 /Bassin d'El Ma El Abiod.....	88
40	Evolution de la profondeur du plan d'eau dans le piézomètre N°3/Bassin d'El Ma El Abiod... ..	88
41	Carte des Points d'eau/Bassin d'El Ma El Abiod.....	89
42.1	Carte piézométrique d'Avril 2013/Bassin d'El Ma El Abiod	90
42.2	Carte piézométrique Septembre 2013/Bassin d'El Ma El Abiod.....	91
43.1	Carte de Conductivité d'Avril 2013/Bassin d'El Ma El Abiod	95
43.2	Carte de Conductivité Septembre 2013/Bassin d'El Ma El Abiod	96
44.1	diagramme de <i>Schealler-berkaloff</i> .les Sources Bassin d'El Ma El Abiod. (1984).....	97
44.2	diagramme de <i>Schealler-berkaloff</i> .les Sources Bassin d'El Ma El Abiod. (2013).....	97
45.1	Diagramme de <i>Piper</i> /Les Sources d'El Ma El Abiod. (1984).....	98
45.2	Diagramme de <i>Piper</i> /Les Sources d'El Ma El Abiod. (2013).....	98
46	Les eaux de surfaces selon le diagramme de <i>Schoeller-Berkaloff</i> /Bassin d'El Ma El Abiod.....	99
47.1	Diagramme de <i>Schoeller Berkalof</i> . Période, avril 2013.....	101

LISTE DES FIGURES (Suite)

N°		Page
47.2	Diagramme de <i>Schoeller Berkalof</i> . Période, Septembre 2013.....	102
48.1	Diagramme de <i>Piper</i> . Avril 2013.....	103
48.2	Diagramme de <i>Piper</i> . Avril 2013.....	104
49	Carte de Répartition des faciès chimique 2013/Bassin d'El Ma El Abiod	104
50.1	Carte des Sulfates d'Avril 2013/Bassin d'El Ma El Abiod.....	105
50.2	Carte des Sulfates Septembre 2013/Bassin d'El Ma El Abiod.....	106
51.1	Carte des Bicarbonates d'Avril 2013/Bassin d'El Ma El Abiod.....	106
51.2	Carte des Bicarbonates Septembre 2013/Bassin d'El Ma El Abiod.....	107
52.1	Carte des Chlorures d'Avril 2013/Bassin d'El Ma El Abiod.....	107
52.2	Carte des Chlorures Septembre 2013/Bassin d'El Ma El Abiod.....	108
53.1	Carte des Nitrates d'Avril 2013/Bassin d'El Ma El Abiod.....	109
53.2	Carte des Nitrates Septembre 2013/Bassin d'El Ma El Abiod.....	109
54.1	Carte des Calciums d'Avril 2013/Bassin d'El Ma El Abiod.....	110
54.2	Carte des Calciums Septembre 2013/Bassin d'El Ma El Abiod.....	110
55.1	Carte des Sodiums d'Avril 2013/Bassin d'El Ma El Abiod.....	111
55.2	Carte des Sodiums Septembre 2013/Bassin d'El Ma El Abiod.....	112
56.1	Carte des Magnésium d'Avril 2013/Bassin d'El Ma El Abiod.....	112
56.2	Carte des Magnésium Septembre 2013/Bassin d'El Ma El Abiod.....	113
57.1	Diagramme de Wilcox, El Ma El Abiod (avril 2013).....	114
57.2	Diagramme de Wilcox, El Ma El Abiod (Septembre 2013).....	115
58	Carte d'aptitude des eaux à l'irrigation selon le diagramme de Wilcox (sept 2013).....	116
59	Carte d'Inventaire des sources de pollutions/Bassin d'El Ma El Abiod.....	118
60	Exemple de rejets domestiques dans les principaux oueds/Bassin d'El Ma El Abiod.....	119
61	Exemple de rejets industriels liquides/Bassin d'El Ma El Abiod.....	119
62	Exemple d'Utilisation des Engrais dans la région d'El Houidjbet/Bassin d'El Ma El Abiod.....	120
63	Carte des indices de la profondeur de la nappe d'El Ma El Abiod.....	123
64	Carte de la recharge efficace de la nappe d'El Ma El Abiod	124
65	Carte des matériaux de la nappe d'El Ma El Abiod.....	124
66	Carte des types de sols de la nappe d'El Ma El Abiod.....	125
67	Carte des pentes topographiques de la nappe d'El Ma El Abiod.....	126
68	Carte de l'impact de la couche vadose de la nappe d'El Ma El Abiod.....	127
69	Carte des indices de perméabilités de la nappe d'El Ma El Abiod.....	127
70	Carte de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la nappe d'El Ma El Abiod.....	128

LISTE DES TABLEAUX

N°		Page
01	Répartition des superficies en fonction des tranches d'altitudes/Bassin d'El Ma El Abiod.....	21
02	Indice de pente de Roche/Bassin d'El Ma El Abiod.....	24
03	Récapitulation des paramètres morpho métriques/Bassin d'El Ma El Abiod.....	26
04	Lithologie et résistivités des forages M4 et M5.....	44
05	Lithologie et résistivités des forages M6, M9 et M10.....	45
06	Lithologie et résistivités des forages M1, P23 et M6.....	45
07	Lithologie et résistivités des forages M12, M13 M2, M10 et M15.....	46
08	Références des stations pluviométriques/Bassin d'El Ma El Abiod.....	52
09	Moyenne annuelle des précipitations (1980/81 ÷ 2010/2011)/Bassin d'El El Abiod.....	54
10	Écart à la normale des précipitations annuelles (1980/81 ÷ 2010/11)/Bassin d'El Ma El Abiod.....	54
11	Résultats de calcul de la lame d'eau par polygone /Bassin d'El Ma El Abiod.....	57
12	Résultats de calcul de la lame d'eau par la méthode des isohyètes /Bassin d'El Ma El Abiod.....	58
13	Mois humide et mois sec dans chaque station pluviométrique/Bassin d'El Ma El Abiod.....	58
14	Précipitations moyennes mensuelles et saisonnières aux stations /Bassin d'El Ma El Abiod.....	59
15	Coefficient pluviométrique relatif mensuel aux stations (<i>Angot</i>) /Bassin d'El Ma El Abiod.....	60
16	Coefficient pluviométrique saisonnier aux stations d'observation /Bassin d'El Ma El Abiod.....	60
17	Résultats de calcul de la température (°C), modèle de <i>Laplace</i> /Bassin d'El Ma El Abiod.....	65
18	Résultats de calcul de la température (°C), modèle de <i>BNEDER</i> /Bassin d'El Ma El Abiod.....	62
19	Récapitulation des données de température (°C), et corrélation des deux modèles.....	62
20	Moyennes mensuelles des températures (°C), 1980 ÷ 2010/Bassin d'El Ma El Abiod.....	64
21	Indice d'aridité d'E. <i>DE Martone</i> et type de climat/Bassin d'El Ma El Abiod.....	65
22	Indice d'aridité mensuel/Bassin d'El Ma El Abiod.....	66
23	Résultats de calcul de l' <i>ETP</i> selon la formule de <i>C. W. Thornthwaite</i> /Station d'El Ma El Abiod.....	69
24	Résultats de calcul de l' <i>ETP</i> par la méthode de <i>L. Turc</i> /Station d'El Ma El Abiod.....	69
25	<i>ETR</i> selon la méthode de <i>L. Turc</i> annuelle/Bassin d'El Ma El Abiod.....	70
26	Applicabilité de la formule de <i>Coutagne</i> /Bassin d'El Ma El Abiod.....	70
27	Valeurs de l' <i>ETP</i> et de l' <i>ETR</i> et méthodes d'estimation/Bassin d'El Ma El Abiod.....	71
28	Bilan d'eau selon la méthode de <i>C. W. Thornthwaite</i> /Station d'El Ma El Abiod (1980/2010).....	72
29	Bilan d'eau selon la méthode de <i>C. W. Thornthwaite</i> /Station de Ain Khanga (1980÷ 2010).....	72
30	Bilan d'eau selon la méthode de <i>C. W. Thornthwaite</i> /Station d'E'Zouaïria (1980÷ 2010).....	72
31	Bilan d'eau selon la méthode de <i>C. W. Thornthwaite</i> /Station de Ouled M'hamed (1980 ÷ 2010).....	73
32	Estimation du ruissellement selon la méthode de <i>Tixeront-Berkaloff</i> /Bassin d'El Ma El Abiod.....	74
33	Estimation de l'infiltration/Bassin d'El Ma El Abiod.....	74
34	Épaisseur des diverses formatons dans différents ouvrages de captage/Bassin d'El Ma El Abiod.....	78
35	Valeurs de perméabilité et de transmissivité issues de forages/Bassin d'El Ma El Abiod.....	85
36	Les campagnes d'échantillonnage effectuées durant l'étude.....	94
37	Analyses et faciès chimiques des eaux de sources/Bassin d'El Ma El Abiod.....	97
38	Analyses et faciès chimiques des eaux de surface/Bassin d'El Ma El Abiod.....	98
39	Evolution des classes d'irrigation selon la méthode de <i>Wilcox</i>	115
40	Classes et notes des sept paramètres (<i>Lallemand Barès 1994</i>).....	121
41	Facteur de pondération.....	122
42	Notation et pondération du paramètre de la profondeur.....	123
43	Notation et pondération du paramètre de la recharge.....	123
44	Notation et pondération selon la nature de la zone saturée.....	125
45	Notation et pondération selon la nature du sol.....	125
46	Notation et pondération selon la topographie du terrain.....	126
47	Notation et pondération de la couche vadose.....	127
48	Notation et pondération selon la perméabilité.....	128

RESUME

La plaine d'El Ma El Abiod est située à l'extrême Est algérien, dans la wilaya de Tébessa et faisant partie du bassin versant de Chott Melhrir, elle est soumise à un climat semi-aride où la moyenne pluviométrique n'excède guère les 250mm/an.

Au cours de ces dernières décennies, la région d'EL Ma El Abiod a été marquée par une sécheresse intense (irrégularité des précipitations, une augmentation des températures et une forte évapotranspiration), également la surexploitation des réserves hydriques donnant lieu un rabattement très significatif du niveau piézométrique de la nappe miocène, qui sont la principale source de l'alimentation dans la région ; ceci conduisant à une désertification progressive de la plaine.

À partir de l'analyse de la situation actuelle du terrain, le présent travail permet d'expliquer les mécanismes de fonctionnement de la nappe des sables miocène, depuis ses conditions aux limites jusqu'à ses caractéristiques hydrodynamiques et physico-chimiques, à savoir la présence de polluants et leurs origines.

Cette étude est basée sur l'élaboration d'un inventaire des sources de pollution en tenant compte de plusieurs facteurs, tels que la nature lithologique des terrains, ainsi que les conditions climatiques, l'emplacement des rejets des eaux usées, de l'activité agricole et l'élevage des animaux,

La vulnérabilité des eaux souterraines de la plaine d'El Ma EL Abiod est fonction du développement important du contexte industriel, agricole et urbain. Malgré une relative richesse des ressources potentielles en eau, la croissance économique accompagnée par l'industrialisation, la concentration urbaine accélérée et la modernisation de l'agriculture, ont entraîné un accroissement considérable des besoins en eau et par conséquent un fort degré de pollution, suivi une dégradation de la qualité des eaux de la plaine.

Mots clés : El Ma El Abiod-sècheresse- surexploitation- pollution- nappe- vulnérabilité.

ملخص

يقع سهل الماء الأبيض في أقصى الشرق الجزائري في ولاية تبسة. والذي يشغل جزءا من حوض شط ملغيج. حيث يتميز هذا السهل بمناخ شبه جاف أين لا يتعدى معدل سقوط الأمطار 250 ملم في السنة إلا نادرا. لقد عرف سهل الماء الأبيض خلال هذه السنوات الأخيرة فترة جفاف حادة (ندرة الأمطار , زيادة درجات الحرارة و شدة التبخر), بالإضافة إلى الاستغلال المفرط للمياه الجوفية, الذي تسبب في انخفاض محسوس في مستوى الخزان الميوساني, والذي يعتبر المصدر الأساسي لتزويد المنطقة بالمياه الصالحة للشرب, مما قد يجعل هذا السهل عرضة للتصحّر.

بعد المعاينة الميدانية والتحليل الحديث للمياه الجوفية, يهدف هذا الموضوع إلى توضيح آليات عمل مائدة المياه الجوفية للخزان الرملي من حدوده إلى خصائصه الهيدروديناميكية والفيزيوكيميائية. لقد اعتمدت هذه الدراسة على إبراز مصادر التلوث الناجمة على العديد من العوامل منها : التركيب الجيولوجي, الظروف المناخية, إلى جانب تأثير المياه القذرة الناتجة عن الأنشطة الصناعية , الزراعية و تربية المواشي.

إن حساسية المياه الجوفية في سهل الماء الأبيض لخطر التلوث راجع إلى التطور الملحوظ للنشاط الزراعي و الصناعي, بالرغم من توفر ثروة مائية فهي محدودة بالنظر إلى الطلب المتزايد لسد الاحتياجات الخاصة بمياه الشرب , الزراعة والصناعة بالمنطقة, نتج عنه ارتفاع في درجة التلوث بالتالي تدهور نوعية المياه الجوفية للمنطقة.

كلمات مفتاحية: الماء الأبيض, جفاف, الاستغلال, التلوث, خزان, حساسية التلوث.

ABSTRACT

The plain of El Ma El Abiod is located in the extreme eastern Algeria, in Tébessa and part of the watershed Chott Melhrir, it is subject to a semi-arid climate where the average rainfall scarcely exceeds the 250mm / year.

During recent decades, the area of El Ma El Abiod was marked by intense drought (erratic rainfall, higher temperatures and high evapotranspiration) also overexploitation of water reserves resulting a very significant downwash groundwater level of the Miocene tablecloth, which are the main source of food in the region; This leads to progressive desertification of the plain.

From the analysis of the current situation on the ground, this work helps to explain the operating mechanisms of the water of Miocene sands from its boundary conditions to its hydrodynamic and physicochemical characteristics, namely presence of pollutants and their sources.

This study is based on the development of an inventory of pollution sources, taking into account several factors, such as lithology land and climatic conditions, the location of discharges from sewage, farming and animal husbandry.

The vulnerability of groundwater in the plain of El Ma EL Abiod depends on the major expansion of the industrial, agricultural and urban context Despite a relative wealth of potential water resources, economic growth accompanied by industrialization, urban concentration accelerated and modernization of agriculture, led to a large increase in demand for water and therefore a high degree of pollution, monitoring degradation of water quality in the plain.

Keywords: El Ma El Abiod-sècheresse- surexploitation- pollution-nappe- vulnerability.

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

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

Dans ce mémoire, la présente étude s'additionne à des anciens travaux de recherche, et ceux pour donner un aperçu scientifique sur l'état actuel de la nappe d'El Ma El Abiod, du point de vue qualitatif et quantitatif. La qualité des eaux de cette région a subi ces dernières années une certaine dégradation, à cause des activités anthropiques, elles modifient le chimisme de l'eau et la rendent impropre aux usages souhaités. Ainsi que la forte exploitation des eaux avec le climat semi-aride qui règne provoquent la désertification progressive de la région.

La région d'étude a connu, durant ces dernières années, un certain développement économique et particulièrement agricole et industriel, Ceci a augmenté la demande en eau et a exposé la ressource à différentes sources de pollutions résultant de ces activités.

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

Plusieurs études, déjà réalisées sur la plaine d'El Ma El Abiod (mémoires d'ingénieurs, des Magisters et des thèses de Doctorat, confer aux références), ont révélée l'influence de la nature lithologique sur la minéralisation des eaux souterraines. Les facteurs climatiques ont également participé à la modification de cette minéralisation.

Dans cette étude, nous allons essayer de mieux comprendre l'impact des paramètres climatiques et lithologiques sur la qualité de cette ressource souterraine et d'améliorer l'interprétation des analyses physico-chimiques en utilisant des moyens plus appropriés.

Pour concrétiser ce travail, un suivi saisonnier (basses et hautes eaux) de la qualité physico-chimique et piézométrique des eaux souterraines a été réalisé, à travers deux campagnes (avril et septembre 2013). Plusieurs outils (géologique, hydrodynamique, chimique et informatique) ont été adoptés afin de mieux traduire les données acquises.

Notre thème qui s'intitule : l'Hydrodynamisme et la minéralisation du complexe aquifère du bassin frontalier d'El Ma El Abiod Wilaya de Tébessa (S-E Algérien), et s'articule autour des chapitres suivants:

Le premier chapitre concerne l'étude des caractéristiques physiques du bassin versant d'El Ma El Abiod (la situation géographique, le milieu naturel, la végétation...).

Le deuxième chapitre comprend deux parties :

- La première partie sera destinée à définir les différents facies lithologiques et tectoniques liés à l'histoire de la région. Pour avoir une idée sur les horizons perméables et imperméables.
- La deuxième partie utilise les travaux de prospection géophysique antérieurs avec réinterprétation des coupes géo-électrique et des cartes d'isopaques pour visualiser l'extension des aquifères.

Ce chapitre, nous a permis d'acquérir une vision plus précise sur la géométrie et l'extension des couches qui pourraient être aquifères ainsi que sur leur composition lithologique.

Le troisième chapitre sera réservé à l'étude des différents paramètres climatiques, tels que le type de climat, l'évolution des précipitations, l'évolution des températures, l'estimation de l'évaporation et le calcul du bilan hydrologique par la méthode de G.W.Thornthwaite.

Le quatrième chapitre traite de l'hydrogéologie de la nappe, Elle étudie les propriétés hydrogéologiques des aquifères, où nous avons abordé les conditions aux limites, la piézométrie, les paramètres hydrodynamiques de la nappe (Transmissivité, perméabilité).

Le cinquième chapitre présente l'évolution et la répartition des paramètres chimiques dans le temps et dans l'espace pour avoir une idée sur l'acquisition de la minéralisation des eaux souterraines et la salinité des eaux (le suivi saisonnier des paramètres physico-chimiques, leur représentation cartographique).

Le sixième chapitre concerne l'étude de l'aspect environnemental de la nappe d'El Ma El Abiod, ainsi les différentes sources de pollution dégradant la qualité des eaux souterraines ont été déterminées, avec également l'établissement d'une carte de vulnérabilité par la méthode DRASTIC qui illustre les différentes zones contaminées.

Par ailleurs nous avons tenu à formuler certaines recommandations en gardant à l'esprit qu'aucune œuvre n'est parfaite et que le souci majeur est de contribuer à l'amélioration des méthodes de gestion et pour une utilisation préférable des ressources hydriques.

**Cadre général
et
milieu physique**

CADRE GÉNÉRAL ET MILIEU PHYSIQUE

I-Introduction

I.1-Situation géographique

La région d'étude se situe au Sud-est du territoire algérien. Aux confins algéro-tunisiens, elle se trouve à *260 km* au Sud-est de la ville d'Annaba. Elle appartient entièrement au bassin versant saharien et fait partie intégrante des hauts plateaux (Fig. 01).

Elle se présente comme une dépression cernée par deux ensembles montagneux d'orientation Est-Ouest et Nord-est – Sud-ouest, entre ces derniers s'intercale une vaste plaine mio-plio-quaternaire appelée la plaine d'El Ma El Abiod.

- La limite Nord de la plaine d'El Ma El Abiod est formée par les massifs calcaires de Dj. Doukkane, Dj. Anoual et Dj. Bouroumane. cet axe constitue la limite entre les grands bassins versant : Medjerdah à écoulement vert le Nord et Oued Melrhir à écoulement vers le Sud.
- La limite Est de la plaine s'approche du territoire tunisien dans la région de Koudiat Sidi Salah, qui matérialise les confins du côté du territoire tunisien.
- La limite Ouest est formée par Guebel Er'Rouiss et Draâ Douamiss.
- La limite Sud est constituée par les monts de Boudjellal, El Guelia et Ed'Dalâa. et par le synclinal de Bir Sbeikia d'âge Mio-Quaternaire.

L'altitude de la dépression, décroît du nord vers le sud depuis le Djebel Doukkane (*1712m*) jusqu'à la ville d'El Ma El Abiod (*1019m*). Elle est drainée par de multiples ravins à écoulement temporaire et torrentiel durant les fortes précipitations qui provoquent les creusements des lits qui sont très profonds (*2 à 3m*), Elles sont caractérisées par un tracé sinueux, résultant de la faible pente de la plaine, à l'exception d'Oued El Ma El Abiod ayant un écoulement pérenne ce qui est à l'origine du cours d'eau drainant les eaux vers chott Melghir au Sud (*-40m*).

La communication dans la plaine se fait généralement par deux routes principales la RN16 qui relie la ville de Tébessa avec la ville d'El Ma El Abiod et Bir El Ater, et la RN10 qui relie la ville de Tébessa avec Bouchebka vers la Tunisie, avec une voie ferroviaire principale à voie unique.

El Ma El Abiod est une circonscription administrative de Tébessa, située à *29km* de Tébessa chef-lieu de la wilaya, Elle est l'une des Daïras que compte la wilaya. Selon le découpage administratif, ses confins sont (Fig. 01):

- Au Nord, la ville de Tébessa.
- Au Sud, la Daïra d'Oum Ali.
- A l'Est, La frontière algéro- tunisienne.
- A l'Ouest, la Daïra de Chéria.

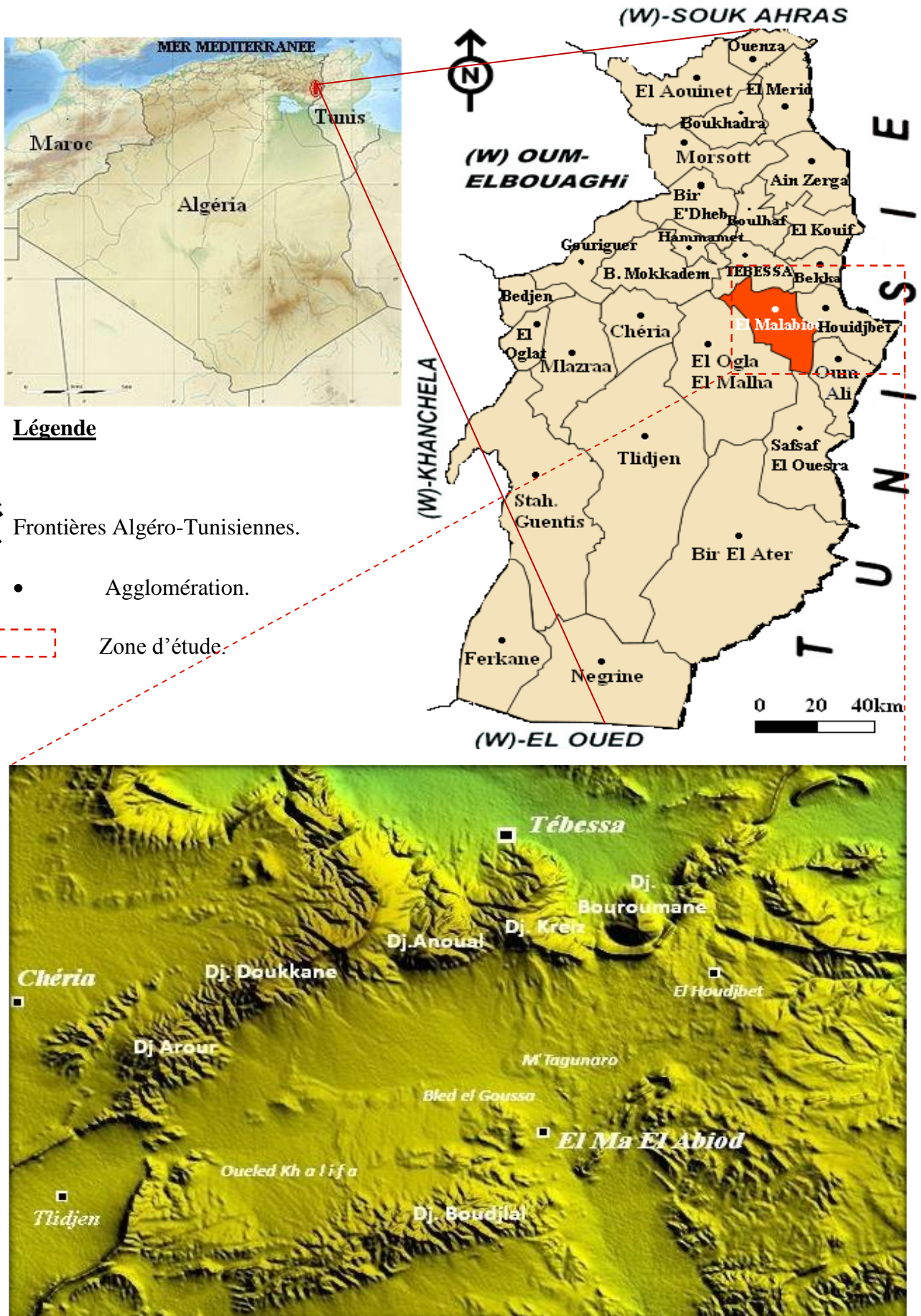


Fig. 01 – Situation géographique et Administrative de la plaine El Ma El Abiod.

I.2- Couvert végétal

La plaine d'El Ma El Abiod appartient à un domaine sub-saharien, qui bénéficie d'un climat semi-aride à faibles précipitations et par conséquent le développement du couvert végétal est limité. Elle est constituée principalement de forêts de pin d'Alep, et développée au nord de la zone d'étude et devient de plus en plus rare vers le sud jusqu'à la limite du Dj. Boudjellal. On note également les cultures pastorales et céréalières seront réduites et on se contente des céréales pour seulement équilibrer les revenus des agriculteurs.

On remarque aussi les genévriers épais au niveau du Djebel Abiod et surtout des basses pentes méridionales du Djebel Arour. Partout, ailleurs, la roche ou les sols affleurent entre les touffes d'une steppe basse où domine l'Alfa.

I.3-Topographie

La région d'étude présente au fait l'allure d'une dépression dont la forme d'une cuvette. Son altitude au centre de la cuvette varie entre 1050m et 1300m vers le nord de la région étudiée, le sommet le plus haut de la région est le Djebel Doukkane situé au nord et qui présente une altitude de 1712m. La partie centrale de la région est constituée d'une plaine à pente douce encadrée par des massifs calcaires au nord et au sud.

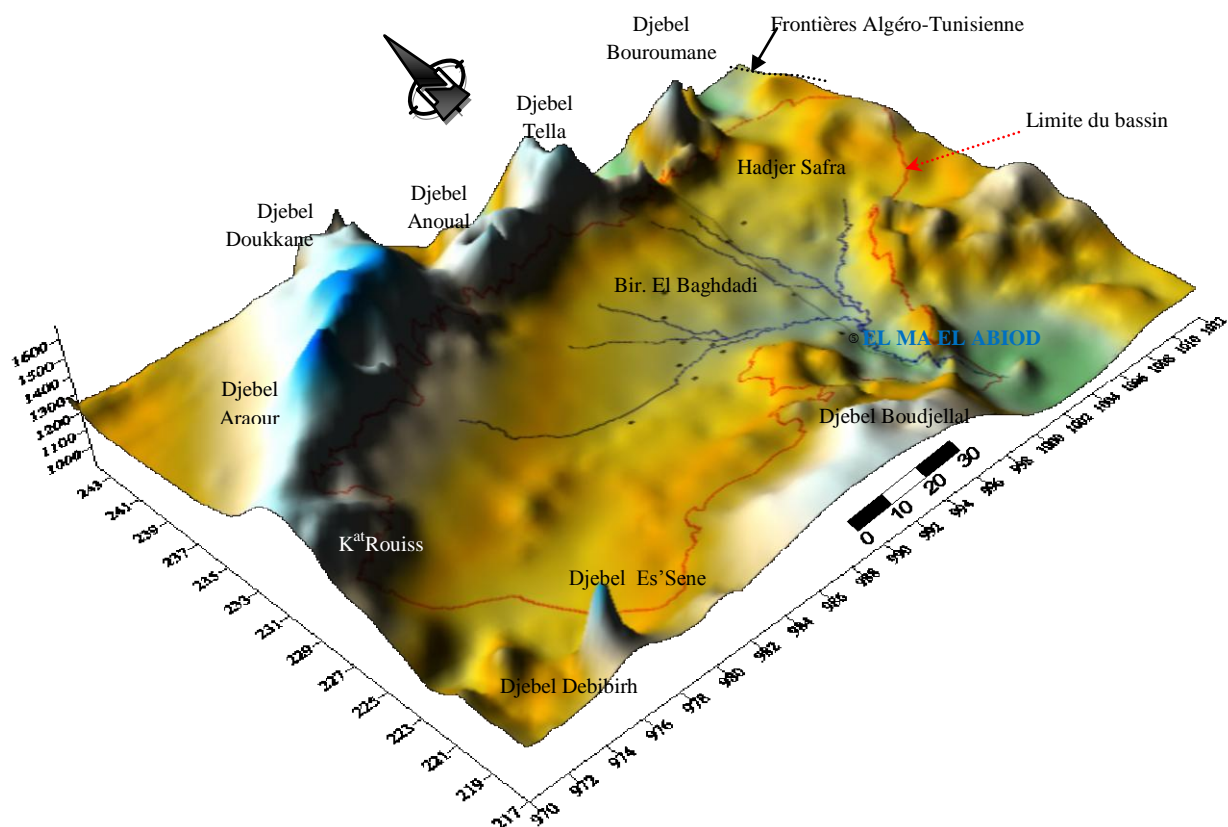


Fig. 02 - Représentation en 3D.de la plaine D'El Ma El Abiod

Il est à marquer que l'altitude de la plaine décroît du nord vers le sud depuis Dj Doukkane jusqu'à la ville d'El Ma El Abiod (1019m), aussi on note qu'ils existent quelques coteaux dispersés au sud de l'amont de l'oued El-Goussa, leur hauteur relative varie entre 10 et 20 mètres environs par rapport à la cuvette (Fig.02).

I.4-Activités économiques

Du point de vue économique la région est basée sur l'agriculture et le pastoralisme. C'est une région à forte vocation pastorale et a d'ailleurs constitué une zone de parcours et de transhumance des troupeaux ovins, Ces dernières années la région connaît une activité industrielle très importante et grande consommatrice d'eau, avec la création des usines concernant l'industrie légère, représentée principalement par l'industrie du ciment portland (ERCE), celle du verre (SOVEST) et celle des tubes roulés (ANABIB), Avec également des carrières au sud et des sablières au nord d'El Ma El Abiod.

La communication dans la plaine d'El Ma El Abiod se fait généralement par la grande voie de nord-sud : Tébessa – El Oued et Nord- SE : Tébessa – Bouchebka vers la Tunisie.

On trouve dans cette région quelques vestiges archéologiques qui témoignent de conditions biogéographiques différentes du milieu, à des époques reculées.

Des sites néolithiques, dénommés escargotières, à cause de l'importance considérable des tests d'escargots d'eau douce. Ces sites se développaient en bordures des lacs existant à l'époque capsienne.

On note aussi l'existence des sites romains plus récents et plus considérables qui marquent le paysage, et comprennent particulièrement des vestiges d'anciennes huileries, rappelant l'importance de la culture de l'olivier. La richesse de la région était mémorable, elle était appelée par les romains, « la Région du blé ».

I.5-Aperçu géomorphologique

L'apport des résultats de recherches géologiques ainsi que les études géomorphologiques est certain ; quant à son exploitation en hydrologie et surtout dans l'investigation des eaux souterraines, la connaissance des différentes formations qui peuvent se comporter comme aquifères, leurs modes d'alimentation, et par conséquent la détermination de leur intérêt hydrogéologique.

L'évolution morphologique se rapportant au dit secteur a conduit à un façonnement du relief, d'où diverses formes morphologiques typiques d'un terrain sédimentaire sont décelables dans le bassin d'El Ma El Abiod, les formes principales sont :

I.5-1. Le bassin versant

Le bassin d'EL Ma EL Abiod est particulièrement constitué par des massifs rocheux au nord et au sud d'âge Crétacé, (marnes, marno-calcaires) qui forment le socle ancien sur lequel se sont déposées les formations du Miocène (sable, grès...).

On remarque également que les formations du Crétacé, composant le bassin versant, sont affectées par la tectonique (failles et plissements). Les formations calcaires sont parfois très karstifiées ce qui laisse à penser à une grande importance du point de vue hydrogéologique.

I.5-2. La dépression du Miocène

C'est une vaste étendue plaine intra-montagneuse, qui s'allonge en direction Nord est-Sud ouest dont le remplissage des formations du Miocène, formé d'argiles rouges, de sable et de grès, recouverts de colluvions et d'alluvions qui bordent les rivières.

Du point de vue hydrogéologique, ces formations sont très perméables et forment une nappe importante reconnue par l'exploitation de plusieurs puits et forages.

I.5-3. Les collines

Ce sont des formes géomorphologiques, des horsts ou des restes du bassin versant qui a subi une tectonique très intense. Elles se présentent comme des « îles » dispersées entre les formations du Miocène, dont la dénivellation ne dépasse pas une dizaine de mètres.

Ces formes peuvent jouer un rôle très important dans l'alimentation de la nappe aquifère du Miocène (zone de captage). Selon leur caractère hydrogéologique (perméabilité) et leur situation sur le terrain, elles peuvent avoir deux rôles bien distincts.

- Elles peuvent jouer le rôle de pièges d'eau souterrains ; une fois qu'elles sont constituées de formations imperméables (argiles, marnes, calcaires compacts ...etc.)
- Comme elles peuvent aussi se comporter comme une source d'alimentation secondaire de la nappe principale, dans le cas contraire, elles peuvent être conférées par leurs aptitudes perméables, s'il pourrait s'agir de calcaires fissurés-karstifiés.

I.5-4. La limite Bassin versant – Cuvette du Miocène

Le contact entre les formations du Crétacé et celles du Miocène, est formé par des éboulis, qui sont bien marquées au nord de la région d'El Ma El Abiod. Ces dernières sont caractérisées par une bonne perméabilité et par conséquent très intéressantes pour la recherche des eaux souterraines.

I.5-5. Les lits des oueds

Les lits des oueds sont des formes qui résultent de l'érosion des écoulements torrentielles. Dans ces lits asséchés, on a pu distinguer la terrasse et les formations du Miocène supérieur.

I.5-6. Les alluvions quaternaires

Dans la région d'étude, la séparation entre haute, moyenne et basse terrasse n'est pas évidente, car l'épaisseur de ces formations alluvionnaires est faible et ne présente pas une grande importance du point de vue hydrogéologique.

I.5-7. Les sources

Le contact formation crétacé- remplissage miocène, favorise l'apparition de sources dans le secteur tel que les sources de Kreiz, Ain Rhorira et celle de T'noukla, avec un débit faible 2l/s. on peut citer également celles localisées dans la commune de Houidjbet tel que Ain Taga et Ain Mansoura.

I.5 -8. Les barrières rocheuses

Barrière du Nord ; formée par des séries de massifs montagneuses imposantes, dans une direction Nord-est – Sud-ouest, sur presque 60km sans discontinuités, dont les Djebels Arrour, Doukkane (culminant à 1712m), Tella, Anoual et Bouroumane. Elle constitue, une ligne de partage des eaux entre les deux grands bassins versants ; Mellègue et Melhrir (Fig. 02).

Barrière du Sud ; en similitude avec la précédente ; sur le plan orientation et comportement hydrologique (ligne de partage des eaux), elle se voit jouer le rôle d'une cordelière, du côté sud, par la série des monts de Fouwa, Botna et Saf Saf (Fig. 02).

Les massifs montagneux de Boudjellal, El Outed et Ed'Dalaâ font partager le secteur en épousant l'allure d'une troisième cordelière, au milieu, D'où la plaine de Boudjellal au Sud et celle d'El Ma El Abiod, au Nord.

I-6- Étude morpho-métrique du bassin versant

Les caractéristiques morpho-métriques du bassin versant d'El Ma El Abiod ont été déterminés à partir de la carte topographique (1/200 000) de Tébessa. Et à l'aide des données de mémoire de (O. Guefaïfa, 1996).

I-6-1-La superficie du bassin versant

La surface du bassin versant est la première et la plus importante des caractéristiques. Elle est calculée par planimétrie sur la carte topographique 1/200 000 de Tébessa. $A=648\text{km}^2$

I-6-2-Le Périmètre du bassin versant

Le périmètre du bassin versant peut être mesuré directement sur la carte topographique au moyen d'un Curvimètre. Elle a été estimée à **111.8 km**.

I.6.3. L'indice de compacité (Kc) :

L'indice de compacité de (Gravilus, 1914) "Kc" est défini comme le rapport du périmètre du bassin versant au périmètre ayant la même surface :

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \quad \text{Donc} \quad K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \text{Avec :}$$

A : surface du B.V (km²)

P : périmètre du B.V (km)

Selon la valeur de Kc, on peut caractériser la forme du bassin versant comme suit :

$K_c \leq 1$: bassin en forme circulaire

$K_c = 1.12$: bassin de forme carrée.

$K_c > 1.12$ bassin versant de forme allongée.

Le bassin d'El Ma El Abiod, dont la valeur de $K_c = 1.23$, présente donc une forme **allongée**.

I.6.4. Les dimensions du rectangle équivalent

Il s'agit d'une représentation géométrique, ayant une forme rectangulaire qui a le même périmètre et la même surface que ceux du bassin versant.

$$\text{Périmètre : } P = 2 (L + I)$$

$$\text{Surface : } A = L \cdot I$$

Le même coefficient de compacité : $K_c = 1.23$

Donc :

$$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.128} \left[1 + \sqrt{1 - \sqrt{\left(\frac{1.128}{K_c} \right)^2}} \right] \Rightarrow L = 39.67 \text{ km} \Rightarrow I = \frac{A}{39.67} \Rightarrow I = 16.33 \text{ Km.}$$

I.6.5. Etude des paramètres de relief

Les paramètres Hydrométéorologiques tels que (précipitations, températures...), dépendent en partie du relief. La morphologie du bassin versant influe sur la vitesse d'écoulement. Le relief s'identifie au moyen d'indices et des caractéristiques suivantes :

I.6.5.1 La courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique schématise l'allure de la pente du bassin, cette courbe repose sur la répartition de la surface du bassin versant en fonction des altitudes.

I.6.5.2 Les altitudes caractéristiques

a. Les altitudes minimale et maximale

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

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

* H max = 1650 m.

* H min = 1019 m.

Tranche d'altitude (m)	Surface partielle S_i (km ²)	Surface partielle S_i/S_t (%)	Surface cumulée S_i (km ²)	Surface cumulée S_i/S_t (%)
1650 ÷ 1600	4,2	0,64	4,2	0,64
1600 ÷ 1550	4,4	0,67	8,6	1,31
1550 ÷ 1500	8,7	1,34	17,3	2,65
1500 ÷ 1450	12,7	1,95	30,0	4,60
1450 ÷ 1400	9,8	1,51	39,8	6,11
1400 ÷ 1350	14,3	2,20	54,1	8,31
1350 ÷ 1300	40,7	6,28	94,8	14,59
1300 ÷ 1250	50,4	7,77	145,2	22,36
1250 ÷ 1200	53,4	8,24	198,6	30,60
1200 ÷ 1150	135,1	20,84	333,7	51,44
1150 – 1100	180,5	27,85	514,2	79,29
1100 ÷ 1050	113,3	17,48	627,5	96,77
1050 ÷ 1010	20,5	3,16	648,0	99,93
Total	648			

Tab. 1. Répartition des superficies en fonction des tranches d'altitudes/Bassin d'El Ma El Abiod.

D'après les données (Tab. 1) nous avons tracé la courbe hypsométrique (Fig.03), elle montre que la plaine présente 69.33% de la superficie totale du bassin ayant une altitude de 1020 m à 1200 m, soit une dénivelée de 180m. Et 26.36% de surface est comprise entre 1200 m et 1650 m. Les 5% restants c'est le secteur d'altitude dépassant les 1500m, matérialisé par les monts qui bordent la plaine du coté nord.

b. L'altitude moyenne - H_{moy} -

L'altitude moyenne se déduit de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique, est se définit par la formule suivante :

$$H_{moy} = \frac{\sum Ai.Hi}{A} \qquad H_{moy}=1148 m.$$

H_i : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau (m).

A_i : Surface partielle entre deux courbes de niveau(Km).

H_{moy} : Altitude moyenne du bassin (m).

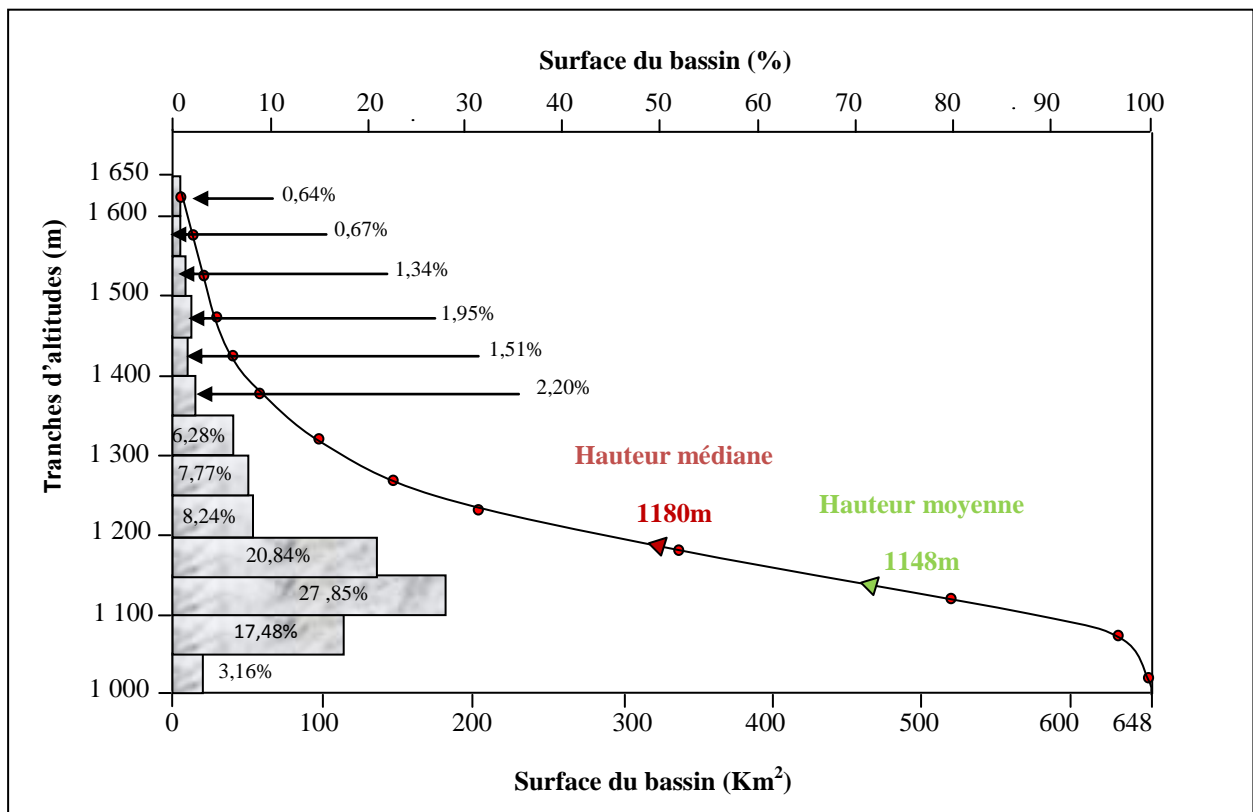


Fig.3. Courbe hypsométrique et diagramme des fréquences altimétriques du bassin d'El Ma El Abiod.

L'allure de la courbe hypsométrique montre que la plaine d'El Ma El Abiod, ayant une pente douce ce qui explique un relief sénile d'érosion (Fig.03).

c- L'altitude médiane

Elle correspond à la valeur lue, au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin (50%), sur la courbe hypsométrique. Elle est de l'ordre de : $H_{me}=1180m$.

I.6.5.3 Les Indices de pente

a. Indice de pente moyenne (I_m)

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

$$I_m = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{\sqrt{A}} \quad \Leftrightarrow \quad I_m = 22.84\%.$$

b. Indice de pente globale (I_g)

Il est calculé de la manière suivante: sur la courbe hypsométrique, on prend les deux points de tel sorte que la surface supérieure et inférieure soit égale à 5% de la surface totale (S), on aura les altitudes H5% et H95% avec lesquelles on calcule l'indice de pente globale à l'aide de la formule suivante:

L : longueur du rectangle équivalent. $L=39,67Km$.

D : Dénivelée utile (Km), donnée par : $D = H5\% - H95\%$.

A partir de la courbe hypsométrique on tire:

$H5\% = 1460m$ et $H95\% = 1087$ d'où $D = 373m$.

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

$$I_g = \frac{D}{L} = \frac{373}{39.67}$$

Donc $I_g = 9.40 m/km$ Ou $I_g = 0.94 \%$.

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

Selon la classification de l'ORSTOM, qui est faite pour des bassins de $25km^2$ notre bassin est caractérisé par un relief assez forte.

c. Dénivelée spécifique (D_s)

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

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

A.N :

$$D_s = 9.40 \sqrt{648.67} \quad \text{Soit} \quad D_s = 239.31m$$

D'après la deuxième classification de l'ORSTOM (Office de Recherche Scientifique de Territoire d'Outre Mer), la dénivelée spécifique du bassin d'El Ma El Abiod se trouve dans la classe R5, donc on a un relief assez fort. $100 < D_s < 250m$

d. L'indice de pente de Roche (I_p)

Il caractérise, au fait, la pente globale du bassin et s'exprime par la relation suivante :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{i=1}^n \sqrt{a_i d_i}$$

Avec :

L : Longueur de rectangle équivalent,

a_i : Représente la fraction en % de l'aire comprise entre deux courbes de niveau voisines, distantes de $d_i \cdot \sqrt{a_i \cdot d_i}$

Tranche d'altitude H_i (m)	Surface partielle a_i (%)	Différence de côte d_i	$a_i \cdot d_i$	$\sqrt{a_i \cdot d_i}$
1 650 ÷ 1 600	0,64	50,0	32,0	5,65
1 600 ÷ 1 550	0,67	50,0	33,5	5,78
1 550 ÷ 1 500	1,34	50,0	67,0	8,18
1 500 ÷ 1 450	1,95	50,0	97,5	9,87
1 450 ÷ 1 400	1,51	50,0	75,5	8,68
1 400 ÷ 1 350	2,20	50,0	110,0	10,48
1 350 ÷ 1 300	6,28	50,0	314,0	17,72
1 300 ÷ 1 250	7,77	50,0	388,5	19,71
1 250 ÷ 1 200	8,24	50,0	412,0	20,29
1 200 ÷ 1 150	20,84	50,0	1042,0	32,28
1 150 ÷ 1 100	27,87	50,0	1393,5	37,33
1 100 ÷ 1 050	17,48	50,0	874,0	29,56
1 050 ÷ 1 010	3,16	40,0	1580,0	39,75
Total	99,95	/	6 419,5	245,28

Tab. 02. Indice de pente de Roche/Bassin d'El Ma El Abiod.

$$AN : L = 39,67Km \quad \text{et} \quad \sum \sqrt{a_i \cdot d_i} = 245,28 \quad \text{D'où} \quad I_p = 38,94.$$

La valeur de cet indice s'avère assez importante et laisse conclure l'importante discontinuité qui marque le relief du bassin.

I.7--Réseau hydrographique

Les formes des réseaux hydrographiques constituent un caractère fondamental en géologie. Elles sont liées à la fois à la lithologie de leur substratum et à la structure géologique.

Dans la région d'étude le réseau hydrographique est dense bien marqué avec de nombreux ravins formants des affluents secondaires, sinueux, intermittents et à pentes raides.

Le drainage s'effectue grâce aux trois oueds secondaires confluent en amont de la ville d'El Ma El Abiod et forment L'Oued El Ma El Abiod à écoulement intermittent du nord vers le sud.

- **Oued El Ma Lassoued** : venant de Dj Taga qui après un parcours de 12km environ. il draine la partie Est de la plaine, il est considéré comme le collecteur des eaux de ruissellement du Nord et du Nord-est du secteur.
- **Oued Ez'Zned** : prend naissance au Nord, il reçoit l'Oued de T'noukla (issu de Kef T'noukla) et s'écoule, comme ses prédécesseurs, vers le Sud.

- **Oued El Goussa** : C'est le thalweg principal, sa longueur est 28.2 km, il est considéré comme un collecteur des affluents tel que oued Kriz et celui d'Oued Es-Sagui, son drainage s'effectue d'Ouest vers l'Est.
- **Oued El Ma El Abiod** : c'est l'oued principal avec un écoulement pérenne ou se conflue les différents oueds secondaires cités précédemment,

Malgré la forte densité de ce réseau hydrographique dans la région d'étude, il reste le type torrentiel avec un écoulement temporaire (Fig.04).

Il est à noter qu'un peu plus au Sud, l'Oued Berzguène et celui de Saf Saf, y prennent naissance. Ces derniers reçoivent à leur tour Oued Gh'routa, Guelb Es'sfa et El Ouesra, ce qui est à l'origine du cours d'eau drainant les eaux vers chott Melhrir au Sud.

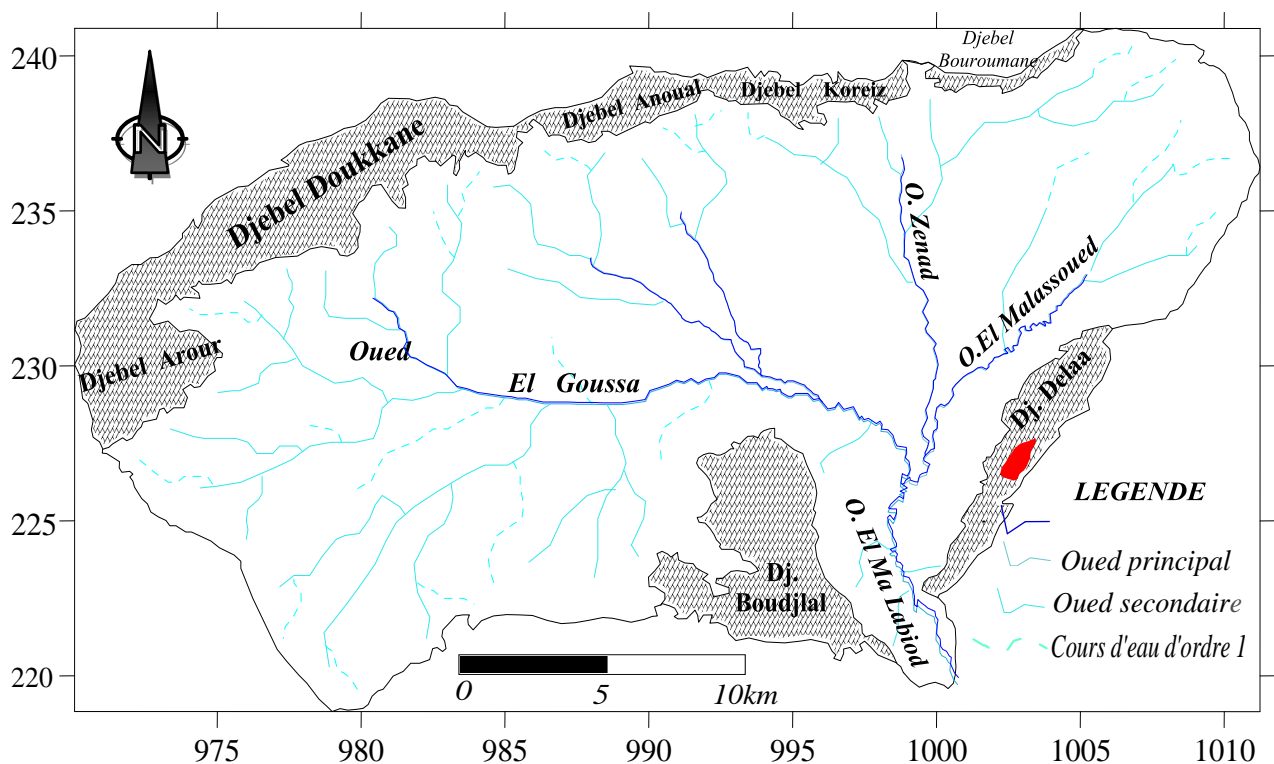


Fig. 4. Carte du réseau hydrographique/Bassin d'El Ma El Abiod.

I.7.1. Densité de drainage D_d

Elle est déterminée comme étant le rapport entre la longueur totale des cours d'eau de tout ordre (L_x) sur la surface du bassin versant (S). La longueur des thalwegs est mesurée à l'aide du curvimètre pour chaque ordre séparément.

La densité de drainage, introduite par *Horton*, est définie par la longueur totale des cours d'eau rapportée à la surface du bassin. C'est un paramètre qui renseigne sur le degré de densité ou de lâcheté du chevelu hydrographique.

L'expression suivante aide à lui donner une grandeur :

$$D_d : \text{Densité de drainage.} \quad D_d = \frac{\sum L_i}{A}$$

L_i : Longueur de cours d'eau (km).

A : Aire du bassin (Km^2).

AN: $A = 648 Km^2$; $\sum Li = 1473km$ OÙ $D_d = 2,27km/km^2$.

I.7.2 Temps de concentration T_c

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

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5 LP}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

Où:

Tc: temps de concentration en heures.

S: superficie du bassin versant en km^2 , $S = 648 km^2$.

Lp: longueur du talweg principal, $Lp = 30km$

H_{moy} : altitude moyenne du bassin versant ; $H_{moy} = 1180m$.

H_{min} : altitude moyenne du bassin versant ; $H_{min} = 1019m$.

AN : $T_c = 14,51h$. D'où $T_c = 14 \text{ heures, } 30 \text{ min}$.

Paramètre (symbole)	Unité	Formule / moyen de détermination	Résultat
Altitude maximale (H_{max})	m	Lue sur carte topographique	1712
Altitude médiane (H_m ou $H_{50\%}$)	m	Déduite de la courbe hypsométrique	1180
Altitude minimale (H_{min})	m	Lue sur carte topographique	1020
Altitude moyenne (H_{moy})	m	$H_{moy} = \frac{\sum A_i h_i}{A} \equiv m$	1148
Classe de relief (R)	m/km	Déduit de la D_s	Assez Fort
Dénivelée spécifique (D_s)	m	$D_s = D \sqrt{\frac{l}{L}}$	239,31
Densité de drainage (D_d)	$\frac{km}{km^2}$	$D_d = \frac{\sum L_i}{A}$	2,27
Indice de compacité (K_c)	/	$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$	1,23
Indice de pente moyenne (I_m)	%	$I_m = \frac{D}{l}$	22,84
Indice de pente global (I_g)	m/km	$I_g = \frac{D}{L}$	9,40
Indice de pente de Roche (I_p)	%	$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum \sqrt{a_i d_i}$	38,94
Largeur du rectangle équivalent (l)	km	$l = \frac{P - 2L}{2}$	16,33
Longueur du rectangle équivalent (L)	km	$L = \frac{P - 2l}{2}$	39,67
Périmètre (P)	km	Curvimétrée sur carte topographique	111,8

Surface (A ou St)	km^2	Planimérée sur carte topographique	648,00
Temps de concentration (t_c)	h	$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5LP}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$	14h30min

Tab.3. Récapitulation des paramètres morpho métriques/Bassin d'El Ma El Abiod.

Conclusion

Le bassin d'El Ma El Abiod objet de cette étude fait partie du grand bassin versant du Chott Melhrir et donc des hautes plaines orientales de l'Atlas saharien.

La pluviométrie faible explique la pauvreté de cette région en couverture végétale qui devient de plus en plus rare en se déplaçant vers le sud. Généralement l'écoulement se fait du nord vers le sud grâce à trois principaux oueds qui confluent en aval de la ville d'El Ma El Ma Abiod et drainent les eaux vers chott Melhrir.

La topographie du bassin est variée, où une plaine, a pente douce avec une altitude moyenne oscillant entre 1020 et $1200m$, est cernée par une série de monts au nord et au sud qui atteignent les 1400 voire les $1600m$ d'altitude.

Selon l'indice de compacité ($k_c = 1,23$) et les dimensions du rectangle équivalent, le bassin d'El Ma El Abiod a une forme allongée, le relief y est qualifié assez fort ($D_s = 239,31m$).

Toutes ces caractéristiques morpho-métriques influencent l'écoulement des eaux que l'impluvium est susceptible de recevoir, qui doivent mettre alors un temps de $14h\ 30mn$ (temps de concentration) pour arriver à l'exutoire, avec une densité de drainage de $2,27km/km^2$.

Aperçu Géologique

PARTIE A : LA GEOLOGIE DU BASSIN D'EL MA EL ABIOD

II-A.1. Introduction

La plaine d'El Ma El Abiod, est située à la limite de la frontière Algéro-Tunisienne et appartient dans sa majeure partie à l'Atlas Saharien. Les reliefs y sont distincts, constitués essentiellement par des massifs calcaires allongés selon un axe SW-NE, et séparés par une cuvette de remplissage mio-quadernaire.

La limite nord que constitue l'axe Djebel Doukkane-Djebel Anoual- Djebel Bouroumane..., se comporte comme ligne de partage des eaux entre le grand bassin de la Medjerdah ; à écoulement vers le Nord (vers la mer) et celui de Melhrir ; qui lui, draine au Sud.

La région d'étude est affectée par deux phases tectoniques. La plaine d'El Ma El Abiod n'a pas fait l'objet d'une étude géologique précise, les connaissances géologiques sont mal connues.

II-A.2. Description Lithologique Des Formations :

Deux grands ensembles représentent la lithostratigraphie du bassin d'El Ma El Abiod:

- ◆ Le premier est constitué essentiellement par les formations crétaées et tertiaires qui affleurent sur les bordures ;
- ◆ Le second est formé, en général, par un recouvrement Miocène et Quaternaire qui occupe la quasi-totale de la superficie de la plaine.

Ces deux ensembles constituent une série stratigraphique pressente des lacunes (absence des formations éocènes) dont la description, est la suivante :

(Cette description est basée sur les travaux de *O.Guefaïfia 1997* et *A. Rouabhia 2006*).

II-A.2. 1- Trias

Le Trias est la formation la plus ancienne dans la région, il est formé par des calcaires dolomitiques et dolomies rouges et noires, des argiles rouges et vertes, des gypses gris et roses à quartz bipyramidés. Son affleurement a été remarqué en de nombreux endroits, en époinnements diapiriques, tel que Djebel Draâ M'taa El Ma El Abiod (Djebel Dalaâ Er-Rouaïl) ainsi qu'au Nord-est ; sur la majeure partie de Djebel Djebissa, où il a été d'ailleurs signalé l'existence de gisements métallifères (Limonite, Hématite).

II-A.2.2. Crétace

2.2.1. Aptien moyen et inférieur

A l'extrémité Nord de la zone d'étude, au flanc Est de Djebel Bouroumane affleure un ensemble de calcaire et de dolomie. La partie inférieure est presque entièrement dolomitique. Les orbitolines sont abondantes.

Dans les intercalations de calcaire rognoneux, on note la présence de quelques rudistes. L'épaisseur moyenne est de 400m.

Au sud de la plaine d'EL Ma El Abiod, à Koudiat Adeila, le forage pétrolier Boudjellal-2 [BDJ2] a intercepté l'Aptien moyen et inférieur respectivement aux côtes 2531m et 2786m. Ainsi l'Aptien moyen se présente sous forme de calcaire gris clair à gris brunâtres, durs, compacts, bioclastiques, pseudo-oolitique et légèrement dolomitiques, avec de fines passes d'argile verte et grise légèrement carbonatée, souvent feuilletée. Son épaisseur est de l'ordre de 225m.

L'Aptien inférieur se détermine par des alternances de marnes gris foncés, compactes, carbonatées et de calcaires gris foncés, compacts, cryptocristallins, parfois argileux. L'épaisseur moyenne est de 107m.

2.2.2. Aptien supérieur

Les affleurements qui datent de cet étage, elles se manifestent dans la partie Nord, à Djebel Bouroumane, sont des calcaires massifs, gris ou roux avec des intercalations de quelques mètres de marnes et de marno-calcaires. L'épaisseur moyenne est de 70m au Sud. Le forage BDJ2 a rencontré l'Aptien supérieur à la cote 2316m de profondeur, il s'agit de calcaires oolithiques gris-clairs, à gris foncés, bioclastiques, parfois cryptocristallins, rarement silteux et pyriteux. L'épaisseur est de 215m.

2.2.3. Albien inférieur

Cet étage se présente à Djebel Bouroumane sous forme de bancs calcaires bruns, épais, très durs à *Ostrea Latissima*, et de bancs de calcaires à rudistes. Au Sud de la zone d'étude le forage pétrolier BDJ2 donne de bas en haut la succession suivante :

- ◆ Des calcaires oolithiques gris-clairs, blanchâtres, brunâtres, compacts souvent crayeux bioclastiques ou graveleux, avec traces de foraminifères et intercalations d'argiles grises : 85m d'épaisseur.
- ◆ Alternance de calcaires, gris clairs, blanchâtres, souvent bioclastiques et rarement graveleux, argileux et d'argiles grises à gris foncées, noirâtres feuilletées : 87m.
- ◆ Dolomies blanches à grises brunâtres, microcristallines compactes : 40m.

2.2.4. Albien supérieur

L'Albien supérieur est présent en petits affleurement au contact du Trias de Draa M'taa El Ma El Abiod (Djebel Dalaâ Er Rouail), Il comprend des calcaires et des marno-calcaires en plaquettes.

A Adeila, où fut réalisé le forage pétrolier BDJ2, la succession de bas en haut est la suivante :

- ◆ Alternance de calcaires gris-clairs, beiges, argileux, et d'argile grise à grise foncée, feuilletée plus ou moins dolomitique : 116m d'épaisseur.
- ◆ Alternance de calcaires gris, gris-foncé, argileux et de marnes grises noirâtres, compactes, dures, silteuses : 129m d'épaisseur.

Dans la partie Nord, à Djebel Bouroumane, les assises qui datent de cet étage forment la base de ses pentes. Elles sont constituées d'un ensemble de calcaires et marno-calcaires gris en plaquettes et en petits bancs. On note la présence de nombreuses empreintes d'Ammonites et de Bélemnites, l'épaisseur est de 150m.

2.2.5. Cénomanién

Dans la partie sud-est, Il affleure assez largement en contact tectonique avec le Trias. C'est une série de marnes jaunes parfois grises et de bancs calcaires lumachelliques. La faune est très nombreuse (*Ostréa*, *Exogyra*, *Cardita*). L'épaisseur atteint les 560m. A Adeila, d'après le forage pétrolier BDJ2 où la série du cénomanién est la plus complète, on constate de bas en haut :

- ◆ Argile grise à grise foncée, carbonatée : 238m d'épaisseur.
- ◆ Alternances de calcaires gris-clairs et d'argile grise à gris, verdâtre, feuilletée : 130m.
- ◆ Calcaires gris à gris-clair cryptocristallins avec intercalation d'argile grise à grise verdâtre feuilletée : 76m.
- ◆ Alternance d'argiles grises foncées et de calcaire gris foncé à gris clair lumachellique : 73m d'épaisseur.

- ◆ Argile grise, gris verdâtre avec intercalations de calcaires blancs, crayeux : 209.5m.
- ◆ Alternance de calcaire blanc lithographique et d'argiles grises à gris verdâtres, feuilletées : 204m d'épaisseur.
- ◆ Calcaire blanc à crème parfois gris cryptocristallin à crayeux : 39m d'épaisseur.
- ◆ Argile grise verdâtre calcareuse, fossilifère devenant marneuse dans les 16 derniers mètres avec de fines passées de calcaire gris blanchâtre, lumachellique : 72m d'épaisseur.

2.2.6. Turonien

Au Nord cet étage affleure largement (Dj. Bouroumane, Dj. El-Koreiz, T'noukla). A sa base, on rencontre une série constante de calcaire marneux gris en petits bancs. L'épaisseur ne dépasse pas les 60 à 70m. Au-dessous, c'est une assise massive de calcaires beiges et de dolomies ou de calcaires dolomitiques. Des rognons de silex apparaissent dans la partie supérieure.

A proximité de T'noukla, le Turonien supérieur, épais de 150m, donne de haut en bas la succession suivante :

- ◆ Des marnes noires gypsifères.
- ◆ Des marno-calcaires gris en plaquettes.
- ◆ Des marnes noires souvent lumachelliques et rogneuses. Au sud à Djebel Ed-Dalaâ, on remarque l'existence de calcaires, marnes et bancs calcaires.

A 8 Km à l'Ouest de ces affleurements, le forage pétrolier BDJ2 donne de bas en haut la succession suivante :

- ◆ Des calcaires bruns, crayeux, légèrement dolomitiques, partiellement lumachelliques : 109,5m d'épaisseur.
- ◆ Des calcaires gris clairs, compacts, avec intercalation d'argile marneuse grise à gris foncée : 131.5m d'épaisseur.

2.2.7 Campanien inférieur – Emscherien

L'ensemble comprend des marnes avec intercalations des bancs de calcaires lumachelliques. Ces faciès affleurent largement à Djebel Doukkane au nord-ouest et à Djebel Ed-Dalaâ. Des affleurements de dimensions assez réduites sont à signaler à proximité de T'noukla, M'Taguinaro et à Adeila au sud sud-ouest de la ville d'El Ma El Abiod. D'après le forage pétrolier BDJ2 où la série est la plus complète, on constate de bas en haut :

- ◆ Argile brun rougeâtre et marnes gris verdâtres : 47m d'épaisseur.
- ◆ Argile grise avec quelques bancs de calcaires gris clairs : 83m d'épaisseur.
- ◆ Argile grise avec quelques bancs de calcaires gris clairs fossilifères : 242m.
- ◆ Calcaire gris compact, marneux à foraminifères : 24m.
- ◆ Marne grise indurée, légèrement dolomitique, intercalation de calcaire brun-rouge souvent marneux : 88m d'épaisseur.

2.2.8 Campanien supérieur – Maastrichtien

Cette formation est située au nord ouest à Djebel Koreiz et au centre de la plaine (M'Taguinaro), ainsi qu'aux environs de la ville d'El Ma El Abiod.

Il est caractérisé par des calcaires et marno-calcaires blancs à inocerames. A Adeila, il affleure largement sous forme de marno-calcaires blancs à inocerames. Le forage pétrolier BDJ2 a permis la reconnaissance, sur une épaisseur de 67m, du faciès suivant :

- ◆ Calcaire blanc compact, biomicrite argileuse à faune pélagique.

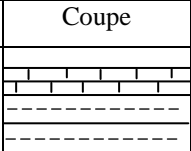
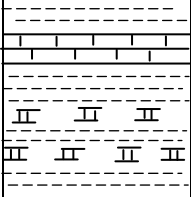
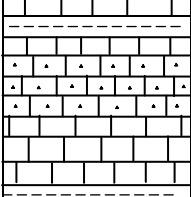
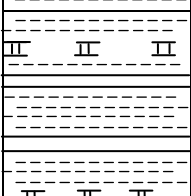
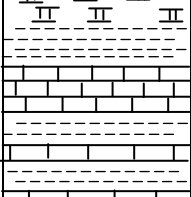
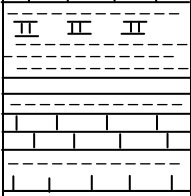
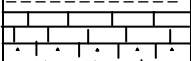
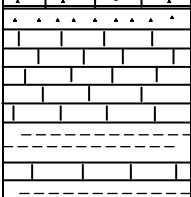
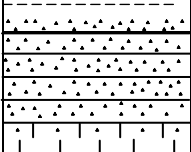
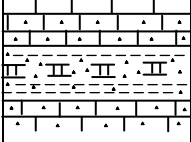
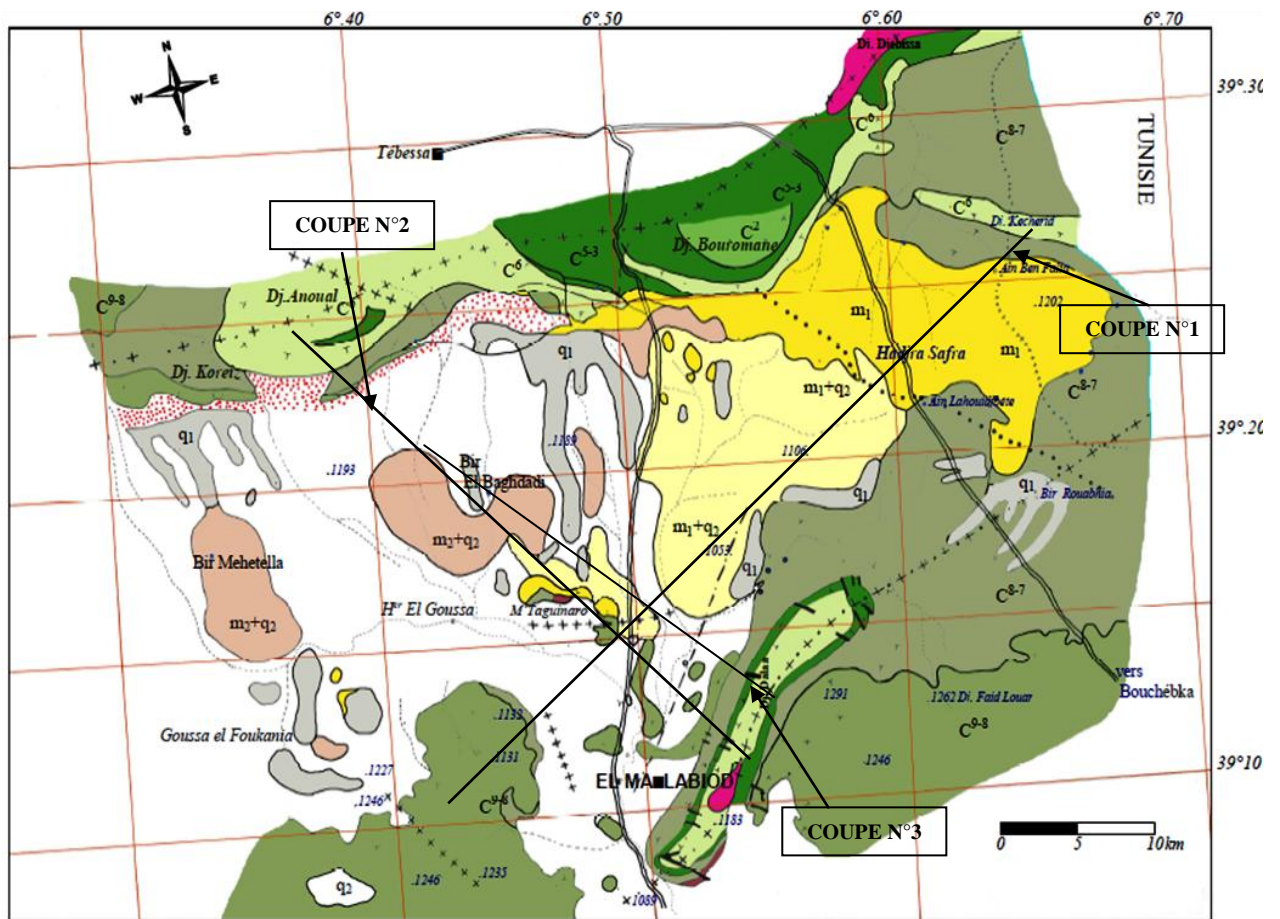
Cote	Coupe	Description lithologique	Étage
13		Calcaire blanc, compact Biomicrorite argileuse à faune pélagique	Maestrichtien, Campanien supérieur
		Marne gris verdâtre et argile brun rougeâtre Argile gris foncé, calcareuse avec de rares bancs calcaires gris clair Argile grise avec quelques bancs de calcaire gris clair fossilifères Calcaire gris compact, marneux à foraminifères Marne grise indurée, légèrement dolomitique, intercalation de calcaire brun-rouge, souvent marneux	Campanien inférieur Emschérien
576		Calcaire gris clair, argileux, graveleux, partiellement lumachellique, compact avec fractures remplies de calcite, intercalation d'argile marneuse, gris foncé, trace de calcite et de pyrite Calcaire brun, multicolore, moyen dur, crayeux légèrement dolomitique, partiellement lumachellique bitumeux, trace de calcite blanche, translucide, avec bande d'argile verte, à gris verdâtre, glauconieuse	Turonien
917		Argile gris verdâtre, calcareuse, pyriteuse, fossilifère devenant marneuse à partir de 873m avec fines passées de calcaire gris blanchâtre, lumachellique Calcaire blanc à crème parfois gris cryptocrystallin à crayeux, pyriteux Alternance de calcaire blanc lithographique, cryptocrystallin, crayeux moucheté, lumachellique d'argile gris à gris verdâtre, feuilletée marneuse	Cénomanién
1010		Argile grise, gris verdâtre, feuilletée, calcareuse, finement pyriteuse, parfois légèrement glauconieuse et lumachellique avec intercalation de calcaire blanc, grisâtre lithographique, cryptocrystallin, crayeux avec traces de calcite	
		Alternance d'argile gris foncé, feuilletée, marneuse légèrement silteuse et de calcaire gris à gris claire, microcristallin, lumachellique Calcaire gris à gris clair induré cryptocrystallin, parfois blanchâtre crayeux avec débris de fossiles, avec intercalation d'argile grise	
2050		Alternance de calcaires gris, gris foncés parfois noirâtres, argileux. Alternance de calcaire gris clair, beige, crayeux cristallin.	Albien supérieur
2093		Dolomie blanche à gris brunâtre, microcristallin bitumineuse, compacte. Alternance de calcaire, gris clair blanchâtre souvent bioclastique. Calcaire gris clair blanchâtre, brunâtre, compacte, souvent crayeux, rarement bioclastique ou graveleux, oolithique, traces de foraminifères. Calcaire gris clair, gris foncé, oolithique, bioclastique, parfois cryptocrystallin. Calcaire gris clair, légèrement dolomitique avec fines passées d'argiles vertes. Alternance de marnes gris foncée compactes, argiles grises à gris foncé, feuilleté, carbonaté.	Albo-Aptien
		Grès blanc à gris, fins à très fin, bien consolidé, quartzitique, ciment silico-dolomitique glauconieux avec passées d'argiles grise à gris noirâtre, compact, silteuse, carbonaté. Intercalations de grès quartzitique, de siltes, d'argiles dolomitiques et de dolomies.	Barrémien
3560		Dolomies, grises, brunes et beiges, cryptocrystallin à microcristalline, fines passées d'argiles grises et grises noirâtres. Dolomies moyennes à fantôme de débris. Alternance de dolomies oolithiques, de calcaires dolomitiques de grès quartzitiques et d'argiles dolomitiques silteuses à 3760m. dolomies fines à huitres.	Néocomien

Fig. 5 Permis Djebel Doukkane Forage Pétrolier Boudjellal-2 [BDJ-2] (source ANRH)

Coordonnées : Géographiques :
 X = 8°07'35''E
 Y = 35°13'12''N

Lambert :
 X = 993.533,5
 Y = 227.121,2 Z = 1120m (sol)



Légende :













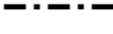

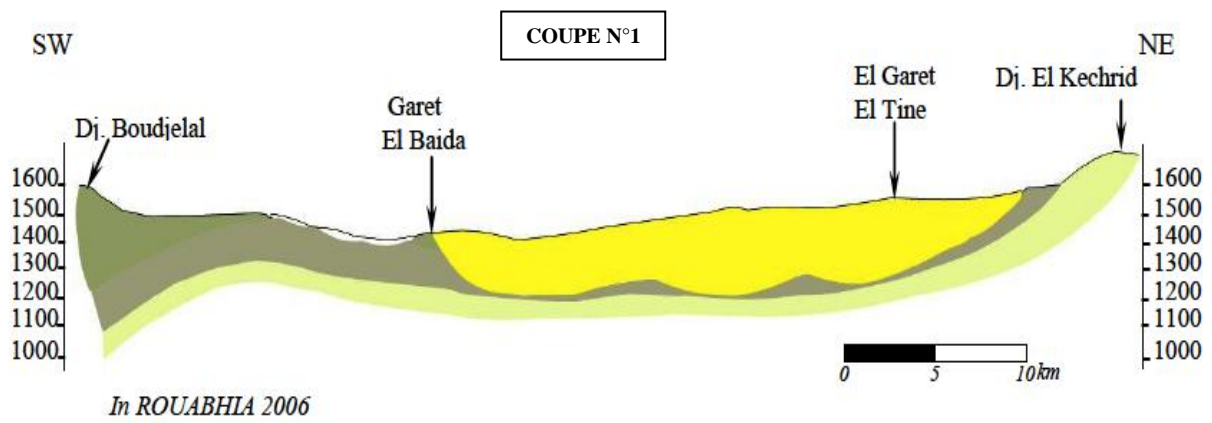
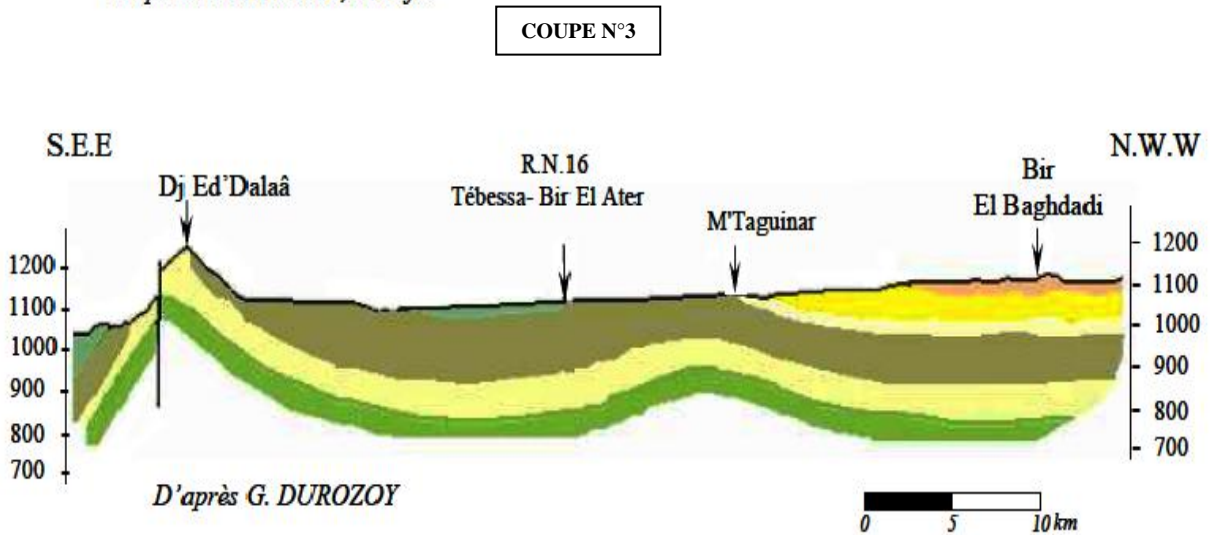
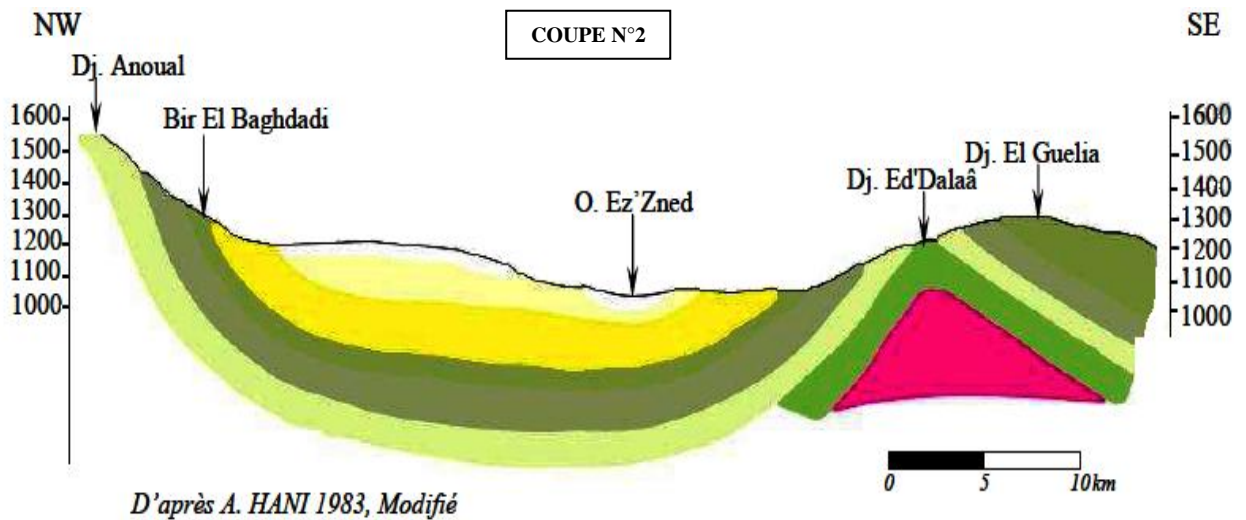
-  : QUATERNAIRE [a - alluvions b- éboulis].
 -  q1 : Quaternaire ancien (surface structurale et croûte).
 -  m₂+q₂ : VONDOBONIEN (Argiles sous faible couverture alluviale, Argiles rouges, Argiles bariolées)
 -  m₁+q₂  m₁ : BURDIGALIEN (Grès sous faible couverture alluviale, Poudings siliceux, Grès blancs, brun ferrugineux).
 -  C⁹⁻⁸ : MAESTRICHIEN - CAMPANIEN SUPÉRIEUR. (Calcaires blancs et Mamo-calcaires blanc à Inocérames).
 -  C⁸⁻⁷ : CAMPANIEN INFÉRIEUR - EMSCHERIEN (Marnes et intercalation de bancs calcaires à Lumachelles).
 -  C⁶ : TURONIEN (Calcaires, Marnes et bancs calcaires).
 -  C⁵⁻³ : CÉNOMANIEN (Marnes et bancs calcaires à Lumachelles).
 -  t : TRIAS (Argiles à Gypse, Calcaires et Cargneules)
-
-  Failles
 -  + · + · + Anticlinaux Anti-Miocène plis SW-NE
 -  - - - - - Synclinaux
 -  + + + Anticlinaux Ante-Miocènes Postérieur plis E-W et NW-SE

Fig. 6. Carte géologique de la région d'El Ma El Abiod d'après G. DUROZOY. 1948



Légende



⇒ Même légende que la carte géologique

Fig.7.Coupes géologique dans la région d'El Ma El Abiod

II-A.2.3. Tertiaire

II-A.2.3.1. Miocène

D'après le rapport de *G. Durozoy* du 18.04.1949 et les fiches techniques des forages hydrogéologiques implantés dans la région, le Miocène affleure largement dans la partie Est de la plaine d'El Ma El Abiod ; tandis qu'au centre de la plaine il est masqué par le Quaternaire.

II-A.2.3.1.1 Miocène inférieur et moyen (Vindobonien et Burdigalien)

En se référant au rapport de *J. L. Bles* et *J. J. Fleury* (1970), il s'agit d'une série qui débute par des conglomérats ; de l'Aquitano-Burdigalien (à l'Est d'El Kouif et à Houidjbet). Ces derniers sont siliceux, extrêmement durs, à gros rognons de silex plus ou moins arrondis.

G. Durozoy (1949), confirme le large affleurement des dits conglomérats, dont il dit qu'ils deviennent masqués, au centre de la plaine, par le Quaternaire.

Au centre (Oglat chaâchaa), les éléments siliceux de la roche ont une taille plus réduite.

À l'Est et au Sud de M'taguinaro, les conglomérats en question, renferment des silex de tailles plus importantes.

II-A.2.3.1.2 Miocène supérieur (Pontien)

Les formations datant de cet étage ont été signalées du côté de T'noukla, ce sont beaucoup plus des sables fins à grossiers et des grès directement en transgression sur les calcaires Maestrichtiens ou les marnes Emschériennes ainsi que des marnes rouges continentales, quelquefois bariolées.

II-A.2.4 Quaternaire

La formation du Quaternaire recouvre largement la totalité de la plaine. L'épaisseur est très réduite ne dépassant pas une dizaine de mètres. Le Quaternaire est constitué en général de faciès anciens (conglomérats, croûte calcaire) et de faciès récents (éboulis limoneux).

II-A.2.4.1. Conglomérats

Ils sont formés par un mélange d'argiles, de galets, de gravillons et de cailloutis calcaires.

Le sondage hydrogéologique situé un peu au nord du village d'El Ma El Abiod, (x = 999,100 y = 228,175) a traversé une série épaisse de 20 mètres, constituée par une alternance de graviers calcaires, de gros galets à la base ou des sables grossiers et des galets calcaires. A l'Est ce conglomérat n'existe pas. L'épaisseur de la série est variable mais reste faible.

II-A.2.4.2 Dépôts de sources

Au niveau de la source de T'noukla, des tufs et des travertins ont été rencontrés ; ils sont probablement le fait de dépôts de carbonates de chaux. Les tufs ont été signalés aussi lors de la réalisation du sondage S₁(X= 988.350 - Y= 230.750), mais seulement à une épaisseur de 4,5m.

II-A.2.4.3 Nappe des cailloux

Ce sont des matériaux de faibles dimensions, du côté du relief et des coteaux. Ils deviennent remarquablement épais, surtout à l'Ouest de la RN 16, là où la nappe couvre un vaste domaine, mais ne constituent au fait aucune accumulation important.

II-A.2.4.4 Dépôts actuels

Les couches limoneuses sont considérées comme le dépôt le plus actuel. Elles recouvrent la majeure partie du bas fond de la cuvette et se chargent ainsi de plus en plus en sel ; qui devient perceptible au niveau des petits marais temporaires du côté de Oglat Chaâchaa, ou encore en saison estivale. Le sel atteint la surface même, en formant des cristaux.

II-A.3 – Tectonique de la région

II-A.3.1 Style tectonique

Deux directions structurales dominantes, Sud-ouest Nord-est et Est-Ouest, sont reconnues dans la région. Elles se manifestent dans les accidents tectoniques, tels que les plissements, les flexures, l’allongement de bassins et les cassures. Elles sont susceptibles dans la morphologie topographique et partiellement dans l’hydrographie (Fig.08).

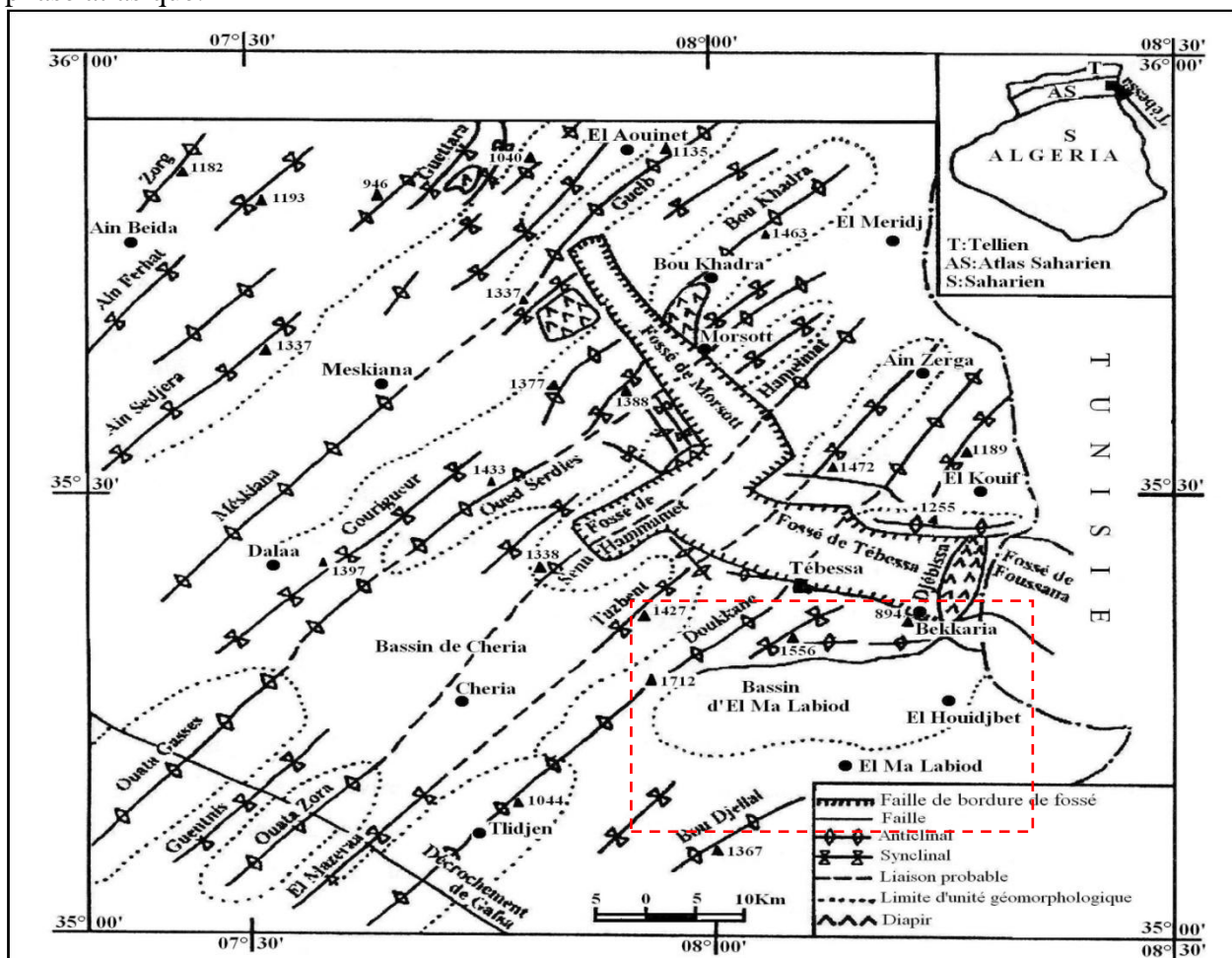
Les plis sont du type isopaques ; leur provenance est alors du niveau structural moyen. Ils sont souvent serrés, dressés en plans verticaux. Ils sont typiques des structures reconnues généralement dans l’Atlas saharien.

Ce genre de plissements traduit un fort raccourcissement de la couverture sédimentaire, par contre le socle qui, d’autant plus, était plus rigide. Ce qui laisse supposer qu’il s’agit alors d’une tectonique de couverture.

II-A.3.2- Phases tectoniques

Une succession de mouvements compressifs et distensifs et bien d’autres, représente la structure tectonique de la région, qui a du être édiflée suite à la manifestation de deux phases orogéniques.

L’impulsion distensive du Crétacé- Éocène a favorisé la formation d’un milieu subsident, où les dépôts néritiques ont pris place. Alors que celui compressif, de l’Éocène terminal (phase finilutétienne et priabonienne), d’une contrainte maximale orientée Nord-Ouest Sud-Est, est responsable des plissements de couverture de direction Sud-ouest Nord-est, et appartenant à la phase atlasique.



Zone d'étude.

Fig.8 : Esquisse tectonique de la zone d'étude (W.M.Kowalski et al. 1997)

La faille de T'noukla et celles d'orientation Sud-Est Nord-Ouest ; orthogonales à ces plissements, remontent à cette époque.

La distension miocène a eu lieu après la dénudation oligocène, elle est à l'origine de la formation du bassin subsident d'El Ma El Abiod. La phase accroissante de la subsidence miocène a généré une ingression marine au Langhien-Serravalien suivie d'une sédimentation deltaïque. Celle décroissante, quant à elle, a manifesté par un ralentissement de la subsidence jusqu'à son arrêt total, et l'apparition de la croûte ferrugineuse à la fin du Langhien-Serravalien.

La réactivation de la phase distensive a provoqué l'apparition de nouveaux bassins subsidents, à l'Ouest de Hadjer Sefra, comblés par une sédimentation tortonienne présumable. Dans les limites de la feuille de Tébessa (*G. Durozoy. 1956*), la phase fini-lutétienne se manifeste par une structure synclinale (Djebel Dyr-Gastel-Kef Rebiga), suivi vers le Sud-est par l'anticlinal du foret Rbaia-Gouraya et le synclinal d'El Kouif, qui sont mieux visibles sur la feuille de Morsott (*J. L. Bles, J. F. Fleury. 1970*).

La phase tectonique du Pliocène inférieur (*Philip et al. 1986*), correspond dans la région à la tectonique tellienne attardée (au Nord de Souk Ahras), elle est à l'origine des plis d'orientation Ouest-Est, et est plus développée à Tébessa (*G. Durozoy. 1956*), (*A. Zerdazi. 1990*).

Elle a transformé les directions atlasiques, en créant de nouvelles structures, entre autres, le synclinal de Draâ Es Snouber l'anticlinal de Djebel Tebega, et ceux de Djebel Kechrid, Djebel Sif-Bouroumane, Djebel Khorza, Djebel Anoual, qui ont conservé certaines directions structurales de la phase atlasique.

Visible dans la structure compliquée de Djebel Bouroumane, elle est considérée comme flexure (*J. M. Vila. 1969*), alors que d'autres la prennent pour une structure polyphasée (*W. M. Kowalski et al. 1996*).

Le plissement du Pliocène inférieur de Djebel Kechrid a facilité l'apparition des séries basales du Miocène aux limites du bassin d'El Ma El Abiod, près de Mechta Ben Falia et Aioun El Ksob.

Le stade distensif de cette phase a provoqué l'effondrement, partiel de l'anticlinal de Djebel Kechrid, et total du fossé de Foussana, qui était probablement contemporain à celui du fossé de Morsott et précédait l'enfoncement du fossé de Tébessa.

La phase distensive du Pliocène a favorisé le diapirisme à Djebel Djebissa. L'action du Trias était déjà ressentie à l'Albo-Aptien, par la diminution locale de l'épaisseur des séries albo-aptiennes, qui sont venues se déposer sur le Trias sans percement diapirique aucun.

L'affaiblissement des poussées diapiriques a généré une sédimentation marneuse au Cénomanién et au Turonien. La présence de galets des roches carbonatées autour du diapir, témoigne que la première manifestation diapirique à la surface, remonte (peut être) au Pliocène-Plio-Quaternaire.

La seconde qui elle, est compressive locale, du Plio-quaternaire a manifesté par des plis de direction Nord nord ouest - Sud sud est et parallèles au fossé de Morsott ; anticlinal de Djebel Belkfif et synclinal de Oued Faid El Obbiz (*F. Morel. 1957, J. L. Bles. 1969, A. Zerdazi. 1990, K. Boufaa et al. 1996*).

La phase distensive a donné naissance au fossé de Tébessa avec l'effondrement et le basculement de certaines structures antérieures, d'autre part, elle a renouvelé la montée du diapir

de Djebissa, dont la continuité occidentale est probablement responsable de la verticalité des séries miocènes du Nord de la région avec le Turonien en dessous.

II-A.3.3- Mouvements récents

L'organisation des plissements plus anciens n'a, en aucun cas, été perturbée par la tectonique récente ; responsable de la genèse du fossé d'El Ma El Abiod et qui est qualifiée de typique des formations autochtones de la Tunisie et de l'Algérie orientale (G. Castany.1954, Dubourdieu.1965).

On distingue l'intensité de la tectonique, plicatrice affectant le Miocène (plissement des grès miocènes du col de T'noukla) de celle cassante, affectant les formations du crétacé (dislocation de l'anticlinal cénomanien-turonien de Draâ M'taa El Ma El Abiod, fractures brisant la falaise turonienne de T'noukla). Comme signalé plus haut, c'est sans doute la phase atlasique qui en est responsable, suite à un phénomène compressif à contrainte principale d'orientation Nord-Ouest Sud-est.

Ces structures résultent d'importants coulissements ayant touché le socle au Plio-Quaternaire.

La distension dans la couverture a généré des déchirures qui sont à l'origine des fossés, en partie entraînés par les déplacements méditerranéens dans la région d'El Ma El Abiod.

De nombreuses déchirures de direction dominante Nord-est Sud-ouest, dont des failles d'une longueur d'environ 30Km, illustrent bien ce mouvement (Fig.09), on cite ;

- ◆ La faille F₁; localisée à l'Est du chef lieu d'El Ma El Abiod, elle s'étend sur 6Km de long.
- ◆ La faille F₂; ayant un rejet autour des 30Km et un décrochement très important, elle longe le milieu de la plaine. Sa direction initiale s'est modifiée du Nord-est Sud-ouest vers l'Ouest-Est, du côté de Houidjbet (à l'Est).
- ◆ La faille F₃; marquée un peu au Nord de la plaine, son rejet est de l'ordre de 22Km. Elle est orientée du Nord-est vers le Sud- Ouest.

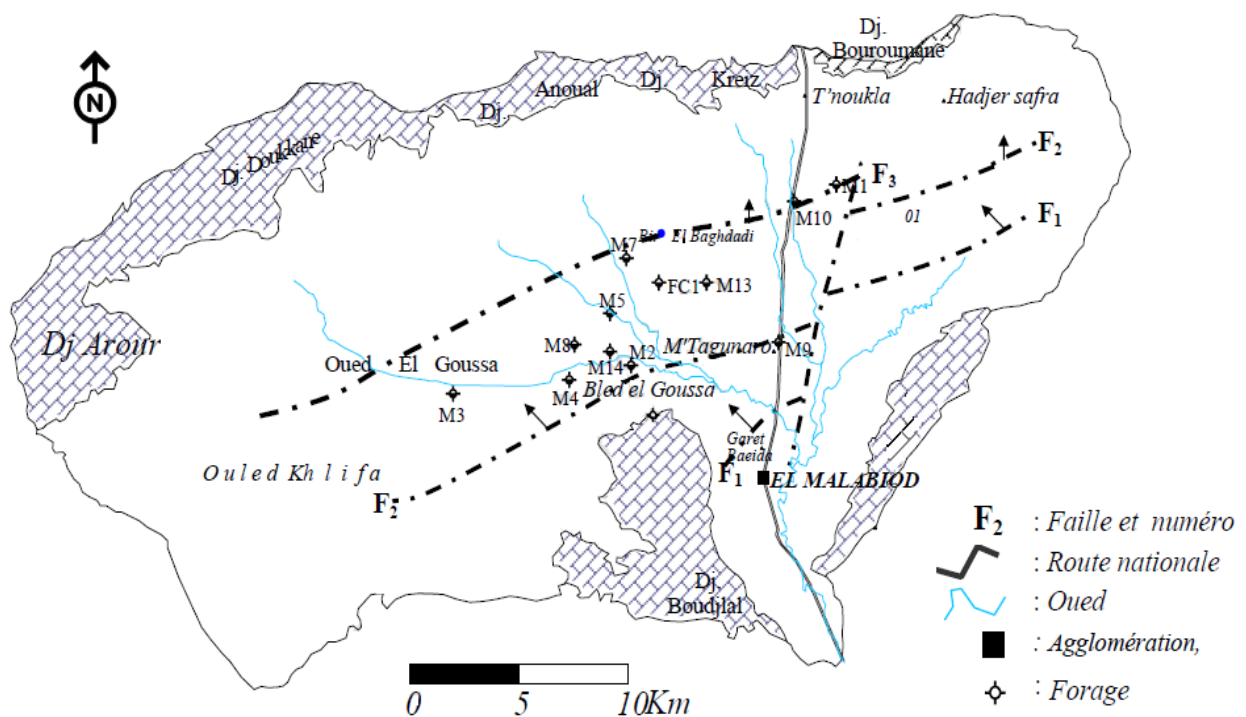


Fig. 9 Carte de système de failles (UGF-BRNO 1971)

II-A.4 – Paléogéographie

L'Aptien est connu comme étant la plus ancienne formation autochtone qui affleure dans la région d'El Ma El Abiod, matérialisé par l'anticlinal de Bouroumane.

Le Crétacé inférieur, représenté par le Barrémien, qui se situe, selon le log stratigraphique du sondage *BDJ-2*, à une profondeur d'au moins *2890m*, et le Néocomien à environ *3368m*, suivant la coupe du même sondage.

Le Néocomien se distingue par une sédimentation néritique des dolomies fines à huîtres, au dessous, les dépôts alternes grés, argiles, dolomies et dolomies calcaires. Ces derniers sont typiques d'une mer pourvue d'une influence continentale.

Au Jurassique, *R. F. Burollet* a indiqué un apport terrigène près de Tataouine (Tunisie) suite à un mouvement d'émersion au Sud. Cet apport atteint son paroxysme au Barrémien où les dépôts gréseux dépassent les *400m* d'épaisseur (*BDJ-2*), mais ne se fait plus sentir au Néocomien inférieur, et la sédimentation redevient typique d'une mer peu profonde.

On signale le début d'une régression à l'Hauterivien, et un envahissement progressif par les dépôts continentaux.

Il a été signalé que l'ensemble de la Tunisie centrale a été recouvert de sable sur une épaisseur variable (*R. F. Burollet. 1956, A. Jouzein. 1962*). Il s'agit au fait d'un passage terrigène venant du Sud, synonyme d'une reprise de l'orogénèse qui s'étale du Néocomien inférieur à l'Aptien inférieur, où les continents émergés ont subi une action érosive dégradante, ce qui a constitué une source d'alimentation en sable, des régions septentrionales.

Cette régression régionale, après avoir accompagné le Barrémien, prend sa fin à l'Aptien inférieur, où une transgression marine commence à se faire sentir, caractérisée par des dépôts d'une mer peu profonde. Une sédimentation carbonatée de type plate forme, marque cette époque, avec une subsidence qui prend plus d'envergure au Nord qu'au Sud.

Une réduction dans l'espace des dépôts carbonatés illustre le début de l'Albien. La région d'El Ma El Abiod semble connaître alors, de manière générale, des dépôts terrigènes essentiellement calcaire-argileux, de caractère plus profond que leurs prédécesseurs carbonatés. Des matériaux calcaire-argileux suivis d'autres ; carbonatés, prennent place au fil de la continuation de la période. La région de Morsott, du Nord, n'était pas sujette à l'extension du faciès de plateforme, alors qu'à l'Ouenza, se sont développés des faciès terrigènes marneux.

Des mouvements orogéniques importants étaient à l'origine d'une réduction de la sédimentation albienne, qui passe de *700m* au Nord à *100m* en surface, et à *250m* en sondage, dans la zone d'étude.

Dès l'Aptien supérieur, s'est ébauchée une zone de haut fond. Plus au Sud-Est (en Tunisie), l'île de Kasserine commence à s'individualiser (*A. Jouzein. 1962*).

La réduction, signalée plus haut, est placée au début de la migration du Trias (*J. M. Vila. 1980*). L'enfoncement de la plate forme et la réapparition des faciès terrigènes, calcaire-argileux, marquent la fin de l'Albien et le début du Cénomaniens.

R. F. Burollet. 1957, signale l'arrivée de la transgression sur de vastes surfaces. La description du paysage, lors du Crétacé, par *R. Laffite* en 1949, était comparable aux côtes basses et les estuaires actuels des contrées sénégalaises.

Lors de la suite du Cénomaniens, la sédimentation reste homogène avec des dépôts de mer épinéritique. Le début du Turonien s'illustre par des dépôts carbonatés, qui vont envahir l'ensemble de la région étudiée.

Les dépôts d'une mer agitée et renouvelée sont caractérisés par une sédimentation carbonatée turonienne, de type récifale plutôt que de plate forme.

Une réduction sédimentaire importante (environ 30m) marque cette série. *R. F. Burollet, 1975*, décrit ce même phénomène du côté de Kasserine (Tunisie), où il est la conséquence de la mise en place des formations deltaïques. L'île de Bouroumane s'est probablement arrangée durant le Turonien.

Les temps coniacien, santonien et campanien sont marqués par l'enfoncement de la région d'El Ma El Abiod. Cette région voyait le retour progressif de la sédimentation marine dans un secteur où une sédimentation carbonatée s'était installée au turonien. La grande extension de cette mer vers le sud s'accorde avec l'absence d'apports détritiques grossiers en provenance du continent africain, mais par contre la masse des matériaux terrigènes fins sédimentaires (marnes et argile) surtout dans la première partie de cette période fut considérable dans l'espace ; la subsidence est relativement faible (500m).

Le campanien inférieur est représenté par des faciès carbonatés et de gypse à la base, qui caractérise un milieu lagunaire néritique (régression).

La période maestrichtienne est marquée par des faciès carbonatés type plate-forme. La variation sédimentaire maestrichtienne dans la plaine d'étude montre que la barre calcaire est comprise entre deux discordances, témoins du caractère particulièrement instable du sénonien supérieur.

Au dessus de ces formations crétacées (dépôt marin), vient une série néogène continentale discordante, traduisant une lacune sédimentaire de toute la série nummulitique; plus au nord vers M'Daurouch *L. David (1959)* note une lacune sédimentaire à partir du maestrichtien.

Ce mouvement orogénique du maestrichtien terminal est le responsable de l'émersion définitive de la région d'El Ma El Abiod qui persiste depuis les temps maestrichtiens jusqu'à nos jours.

Au sud-est *J. Flandrin* et *Burollet* ont marqué dans la zone Sidi Aiche, Feriana, Kasserine l'absence des affleurements éocènes qu'ils imputent à l'émersion de l'île de Kasserine, de dimension importante s'étendant jusqu'à la région d'El Ma El Abiod.

Le retour de la mer miocène aux environs de Kasserine et Chambi au sud de la région d'étude n'a pas affecté la zone s'étendant d'El Ma El Abiod jusqu'à Morsott qui reste éloignée de la transgression miocène.

II-A.6- Conclusion

Le présent aperçu géologique de la région d'étude permet de distinguer quelques remarques, sur l'évolution rapportant à ce contexte, lors de deux phases orogéniques, la structure de la région a dû être édiflée. Il s'agit d'un haut plateau appartenant à l'Atlas saharien, où des plis, d'orientation NE-SW au Nord et au Sud, cernent un bassin subsident.

Le bassin étudié présente deux grands ensembles ; les affleurements d'âge crétacé sur les bordures, les formations du Miocène et du Quaternaire dominant la quasi-totalité de la plaine.

La plaine se présente comme une cuvette avec un substratum calcaireux et marneux. Ce dernier remonte au Crétacé, et il est séparé du Miocène par des éboulis très perméables.

Les formations de bordures (environ 100m de calcaire), constituent une source d'alimentation du système aquifère.

Les formations de la plaine dont l'épaisseur est plus de 50m de grés et de 40 à 250m de sable, se comportent comme réservoir principal, et ce grâce à leurs propriétés hydrodynamiques et leur potentiel hydraulique intéressant du point de vue hydrogéologique.

Le matériau alluvial qui leur vient au dessus de ces derniers, constitue un autre aquifère, mais de moindre importance, vue sa puissance relativement réduite et son extension limitée.

PARTIE B : GEOPHYSIQUE DU BASSIN D'EL MA EL ABIOD

II-B.1 – Introduction

La géophysique est un moyen indispensable dans toute étude hydrogéologique. Elle permet de déterminer les différentes structures, la géométrie des réservoirs, déceler les accidents tectoniques et définir les zones susceptibles d'être aquifères. Pour un tel objectif, nous allons combiner entre les mesures fournies par les prospections géophysiques et les logs des forages.

La société TRANSAKT GEOMETAL a réalisé une prospection géo-électrique en 1970 sur une superficie de 420Km qui couvre une grande partie de la plaine d'El Ma El Abiod, représentée par 315 mesures de sondage électrique en $AB = 2000m$, également 120 mesures de sondage électrique en $AB = 6000m$, (Fig.10).

A partir des résultats enregistrés de mesures paramétriques en comparaison avec les coupes stratigraphiques des forages situés dans le même périmètre, les plages concernant les différentes formations ont été déterminées comme suit :

- ◆ Argiles : 2 à 15 Ωm .
- ◆ Argiles sableuses : 20 à 60 Ωm .
- ◆ Alluvions, et formations quaternaires : 20 à 150 Ωm .
- ◆ Sables et graviers : 50 à 250 Ωm .
- ◆ Grès ou calcaires : plus de 200 Ωm .

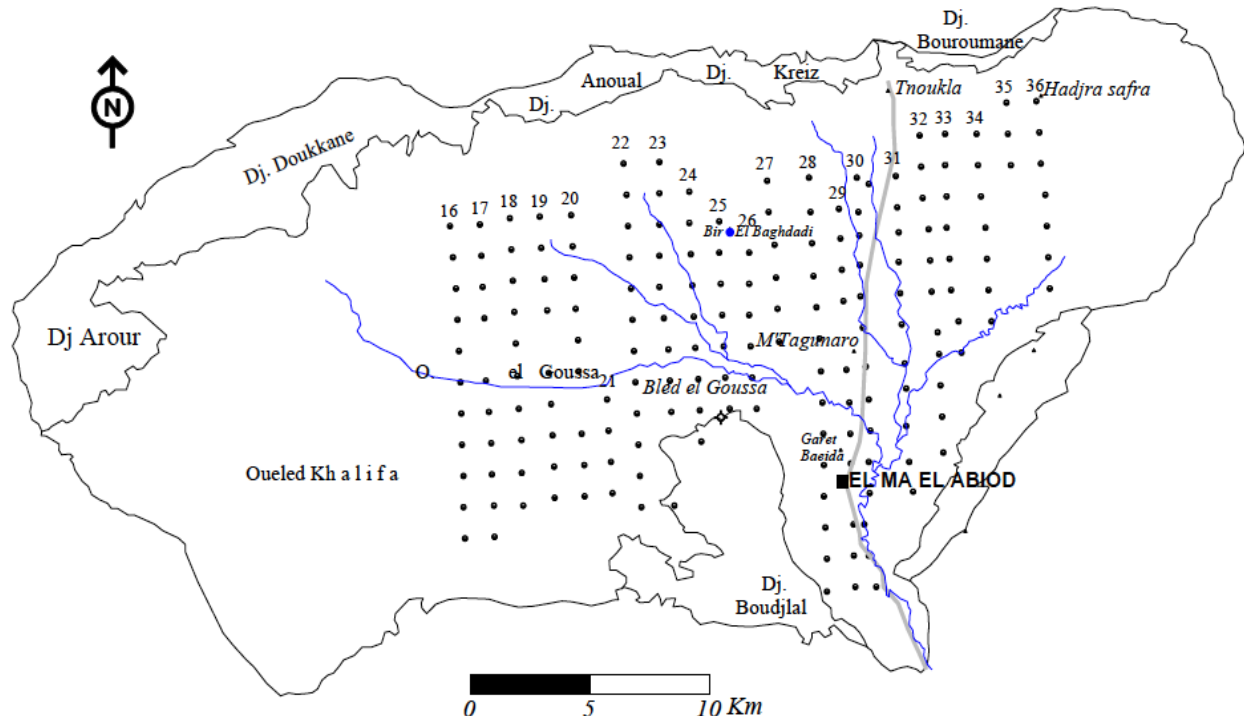


Fig. 10 Carte des profils géo-électriques/Bassin d'El Ma El Abiod.

On note que les valeurs de résistivité des formations, ne sont pas toujours correctes, les calcaires fissurés s'expriment par la même résistivité que les grès, et les formations altérées disposent généralement d'une résistivité égale à celle des sables ou des graviers, Pour éviter toute ambiguïté, il a été question de faire recours aux coupes géo-électriques.

II-B.2- Interprétation des coupes géo-électriques :

Le sondage électrique réalisé dans cette zone ont permis d'établir cinq coupes géo-électriques, selon la disposition des profils géophysiques et avec un alignement meilleur des forages hydrogéologiques.

II-B.2.1. Coupe transversale I (Nord-Sud)

Traversée par les forages *M7*, *M5*, *M4*, *M15* la coupe est exposée par quatre horizons pratiquement homogènes et de résistivités variables, sauf le dernier horizon. De part sa faible résistivité (3 à 7 Ωm), se comporte comme substratum conducteur, au contraire des horizons supérieurs qui sont résistants (Fig.11).

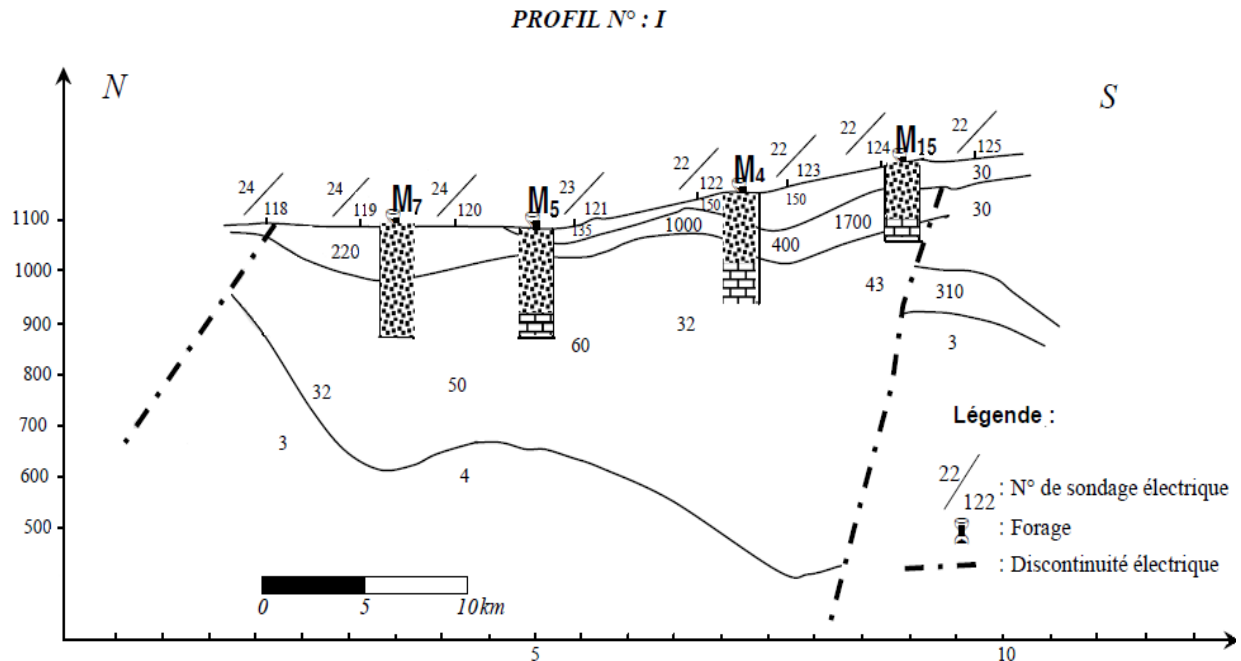


Fig. 11 – Profil géo-électrique transversal (N/S) N° I traversant les forages ; *M7*, *M5*, *M4* et *M15*. (Source ANRH)

a- Le premier horizon

Son épaisseur maximale atteint les 85m, or que sa continuité n'est pas ressentie tout au long du profil. Une variation perceptible dans les valeurs de résistivité, qui vont de 90 à 150 Ωm , qu'on interprète par une hétérogénéité dans la composante de la strate géologique.

Cette variation s'est confirmée lors de la consultation des logs stratigraphiques, qui montrent les différents faciès géologiques, traduits par une alternance de couches argileuses, sables grossiers et fins, graviers et argiles sableuses.

Les valeurs de résistivité sont fonction des variations d'épaisseur des couches constituant cet horizon, ce qui est analogue aux résultats des prospections électriques.

b - Le deuxième horizon

Il longe tout le profil, et se reconnaît par une large plage de valeurs de résistivité allant de 220 à 1700 Ωm , sur une puissance oscillant entre 35 et 120 Ωm , que forme une couche de grés consolidés. Les résultats enregistrés sont en concordance avec les valeurs de résistivité corrélées à la stratigraphie des forages.

c - Le troisième horizon

Une diminution de la résistivité est signalée, ce qui explique la variation dans la lithologie des couches. Puisqu'il s'agit des argiles sableuses du Miocène et des calcaires marneux du Maestrichtien. Les résistivités obtenues corrélées à la stratigraphie des forages sont semblables, le tableau suivant schématise cette similitude.

Forage	Profondeur	Lithologie	Résistivité (P. électrique)
M ₄	0 – 87 m	argiles et argiles sableuses	0 – 50 m : $\rho = 150 \Omega m$
	87 – 150 m	sables argileux avec passées argileuses	50 – 100 m : $\rho = 400 \Omega m$
	150 – 164 m	sables moyen	>100 m : $\rho = 32 \Omega m$
M ₅	0 – 29 m	alternance d'argile et de grès	0 – 25 m : $\rho = 135 \Omega m$
	29 – 61 m	sables argileux et grès	25 – 65 m : $\rho = 330 \Omega m$
	51 – 156 m	alternance d'argile et de sable	> 65 m : $\rho = 60 \Omega m$

Tab.4 : Lithologie et résistivités des forages M4 et M5 (source ANRH)

II-B.2.2.Coupe transversale II. (Nord-Sud)

La coupe est traversée par trois forages M₁₀, M₉, M₆, qui fait apparaître aussi trois horizons discontinus et hétérogènes (Fig.12).

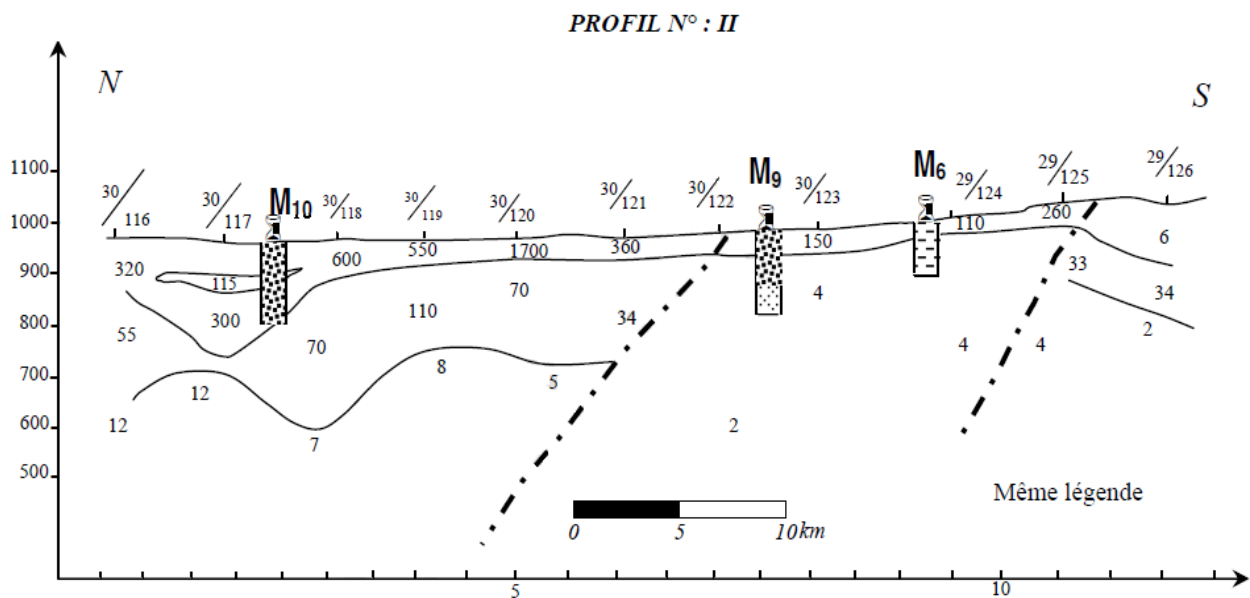


Fig. 12 Profil géo-électrique transversal (N/S) N° II traversant les forages ; M₁₀, M₉, et M₆. (Source ANRH).

a – Le premier horizon

Constitué par une formation résistante où on a retenu une plage de résistivité de 110 à 600 Ωm , sur une épaisseur de 85m. Cette dernière reste régulière à travers pratiquement tout le profil, quoi qu'elle atteigne les 175m puisque le profil tend à devenir presque bombé en épousant l'allure d'un synclinal.

b - Le deuxième horizon

Sa continuité est interrompue à deux reprises ; au milieu de la région et au flanc sud, et une structure conductrice y vient le remplacer. Composé d'une structure ayant environ 200m d'épaisseur et donnant des valeurs de résistivités comprises entre 50 et 110 Ωm .

c - Le troisième horizon

Constitue le mur de ces formations géologiques. Il est conducteur, représenté par des résistivités qui varient de 2 à 16Ωm. Ce profil est également marqué par deux discontinuités électriques mettant en relief la présence de deux failles.

Forage	Profondeur	Lithologie	Résistivité (P. électrique)
M ₆	0 – 16 m 16 – 20 m	gravier, calcaire argileux argile et graviers	0 – 20 m : ρ = 110 Ωm > 20 m : ρ = 160 Ωm
M ₉	0 – 5 m 5 – 45 m	Argiles Argile, sables argileux	0 – 55 m : ρ = 140 Ωm > 55 m : ρ = 60 Ωm
M ₁₀	0 – 152 m	Grès avec variation de faciès dépendant de la grosseur des graviers et une faible présence d'argiles.	0 – 150 m : ρ = 140 Ωm 150 – 350 m : ρ = 70 Ωm

Tab.5 : Lithologie et résistivités des forages M6, M9 et M10.

(Source ANRH)

II-B.2.3 Coupe transversale III. (Nord-Sud)

Cette coupe révèle des caractéristiques similaire que la coupe II, elle est traversée par les forages M₁, P₂₃, M₆. La corrélation entre la lithologie et les mesures géophysique est présentée dans le tableau 06.

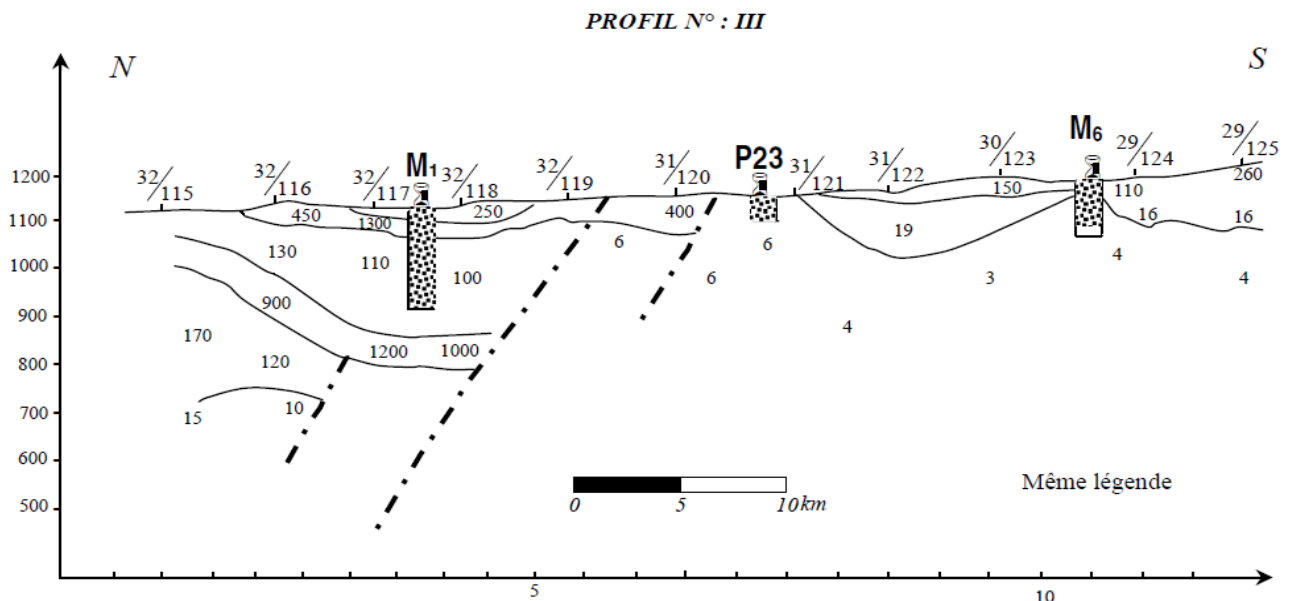


Fig. 13 – Profil géo-électrique transversal (N/S) N° III traversant les forages ; M₁, M₆ et le puits P₂₃. (Source ANRH)

Forage	Profondeur	Lithologie	Résistivité (P. électrique)
M ₁	0 – 125 m 125 – 200 m	sables argileux, les grains sont plus fins au niveau du toit. marnes grises	0 – 55 m : ρ= 250 à 1500Ωm 55 – 285 m : ρ = 100Ωm 285 – 325 m : ρ = 1000Ωm > 325 m : ρ = 10Ωm
P ₂₃	0 – 7 m 7 – 41 m	Argiles sableuses Sable à grains moyen	0 – 40 m : ρ = 19 -60Ωm > 40 m : ρ = 6Ωm
M ₆	0 – 16 m 16 – 20 m	Gravier, calcaire argileux graviers argiles et graviers	0 – 20 m : ρ = 110Ωm > 20 m : ρ = 16Ωm

Tab.6 : Lithologie et résistivités des forages M1, P23 et M6

(Source ANRH)

II-B.2.4 Coupe transversale IV. (Sud-ouest - nord-est)

Quatre forages (M_{15} , M_2 , M_{13} , M_{10}) traversent le profil, qui apparaît composé de trois horizons bien distincts, deux parmi eux sont résistants et l'autre bien évidemment conducteur(Fig.14).

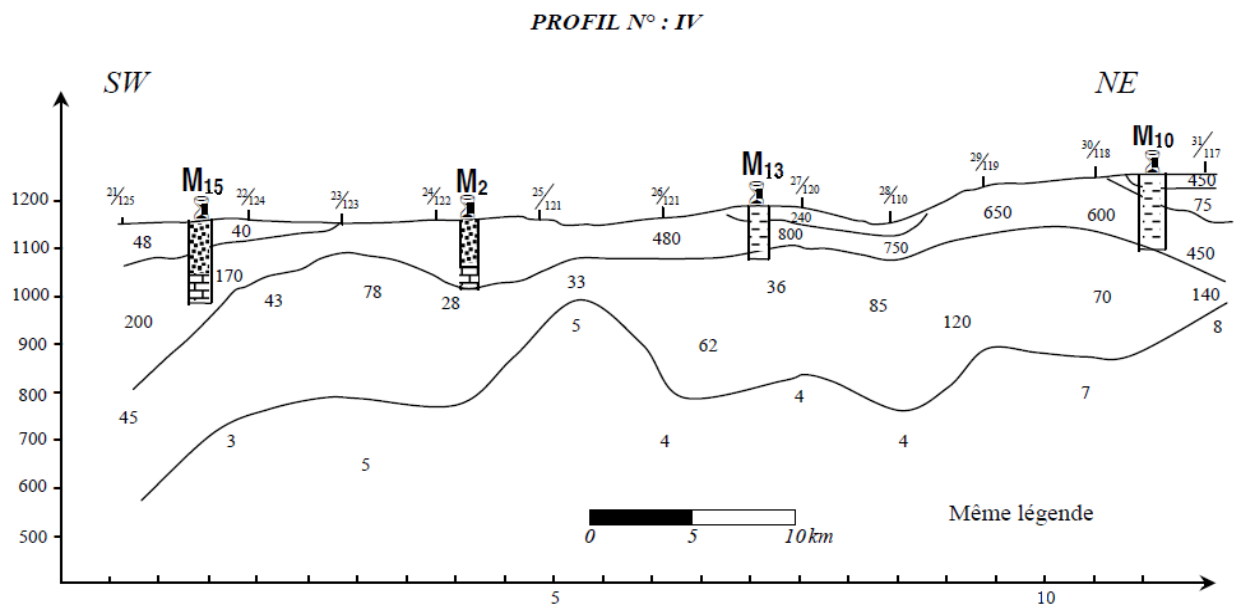


Fig14. Profil géo-électrique (SW/NE) N° IV traversant les forages M_{15} , M_2 , M_{13} et M_{10} . (Source ANRH)

a – Le premier horizon

L'épaisseur de cet horizon est de l'ordre de 170m aux flancs, et commence à se rétrécir tout en allant vers le centre. Les formations qui le composent donnent des valeurs de résistivité qui vont de 250 à 650 Ωm , au centre, et deviennent hétérogènes au flanc nord sur une plage de 75 à 1500 Ωm .

Forage	Profondeur	Lithologie	Résistivité (P. électrique)
M_{13}	0 – 30 m 30 – 70 m 70 – 88 m 88 – 100 m	sables fins et moyens grès argile sableuse marnes grises	0 – 30m : $\rho = 240 \Omega m$ 30 – 70m : $\rho = 800 \Omega m$ 70 – 270m : $\rho = 36 \Omega m$ >270m : $\rho = 40 \Omega m$
M_2	0 – 77,5 m 77,5 – 110 m	Sable quartzeux avec parfois des passages Argileux marno-calcaires et calcaire-marneux.	0 – 120m : $\rho = 200 \Omega m$
M_{10}	0 – 152 m	grès avec une variation de faciès, qui dépendent de la grosseur des graviers, et faible présence d'argile	0 – 30m : $\rho = 400 \Omega m$ 30 – 110m : $\rho = 75 \Omega m$ 110 – 260m : $\rho = 450 \Omega m$
M_{15}	0 – 16 m 16 – 25 m 25 – 48 m 48 – 55 m 55 – 70 m 70 – 142 m	argiles avec graviers marnes bariolées sable gros à moyen marnes verdâtres sables grossiers calcaires blancs friables avec parfois des passées marneuses	0 – 70m : $\rho = 90 \Omega m$ > 90m : $\rho = 200 \Omega m$

Tab.7- Lithologie et résistivités des forages M_{12} , M_{13} , M_2 , M_{10} et M_{15}

(Source ANRH)

b - Le deuxième horizon

Il est également résistant, est traversé par un seul forage (M_{13}). Sa résistivité oscillant de $28\Omega m$ à $120\Omega m$, l'importance de cette variation s'explique par l'hétérogénéité dans la composition lithologique de cet horizon. Son épaisseur est de l'ordre de $300m$.

c - Le troisième horizon

Il se comporte comme substratum, puisque les valeurs de résistivité qui y sont enregistrées sont variées de 3 et $10\Omega.m$, et c'est déjà un indice sur la conductivité de la couche qui le forme.

Ainsi nous remarquons une disparition des discontinuités électriques, ce qui suppose que le bassin d'El Ma El Abiod est recoupé par deux failles longitudinales juste sur les limites Nord et Sud, la seconde remarque concerne l'inexistence de certaines couches apparentes sur les coupes transversales et l'homogénéité des formations existantes.

II-B.2.5 Profil longitudinal V (Sud-ouest Nord-est) : (Fig.15)

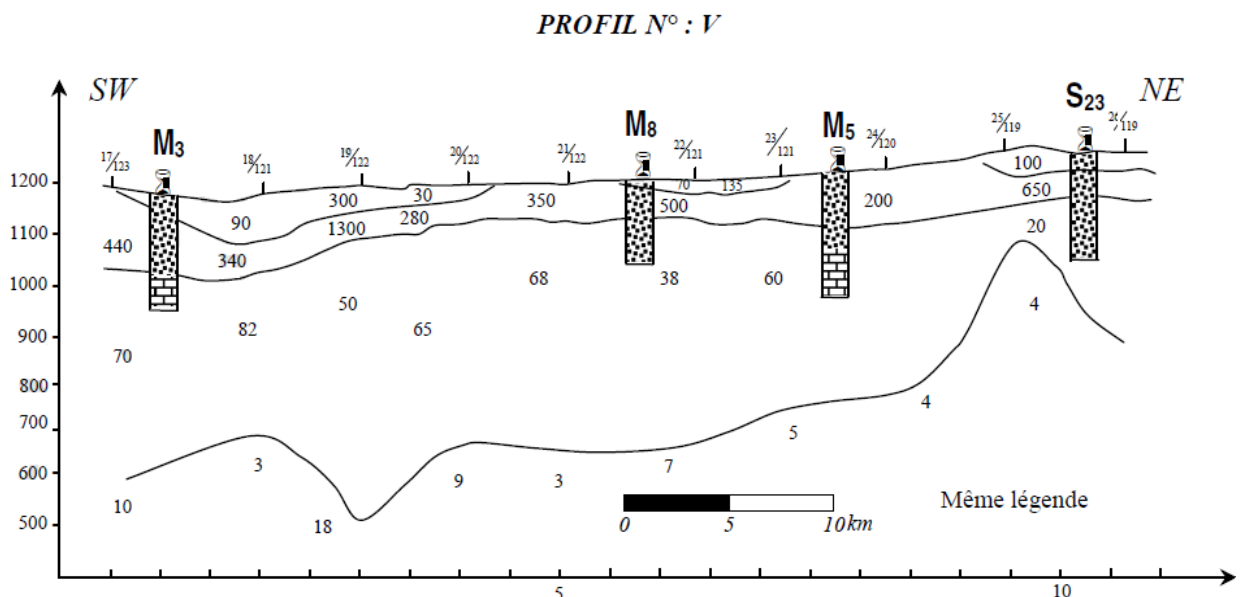


Fig.15. Profil géo-électrique (SW/NE) N°V traversant les forages M_3 , M_8 , M_5 et le S_{23} . (Source ANRH)

Deux horizons résistants et un autre conducteur marquent aussi ce profil, Leurs résistivités et leurs épaisseurs varient comme suit :

- ◆ Le premier horizon : $R = 90$ à $1300\Omega m$ et $H = 60$ à $150m$.
- ◆ Le deuxième horizon : $R = 50$ à $150\Omega m$ et $H = 250$ à $450m$.
- ◆ Le troisième horizon : $R = 3$ à $10\Omega m$, l'épaisseur est indéterminée.

II-B.3 Commentaire des résultats :

À travers ce qu'on vient d'avancer plus haut, La synthèse des données géophysiques en corrélation avec la géologie a permis de conclure ce qui suit :

- La quasi-totalité des profils géo-électriques recoupent clairement les formations lithologiques traversées par les ouvrages de captage déjà existants.
- Deux grandes failles ont été mises en relief, suite à cette analyse. Ces dernières cernent du Nord comme du Sud une structure synclinale.

➤ L'étude géophysique entreprise, comparée à la géologie, à travers une interprétation globale, a permis de déceler l'existence de trois horizons aquifères superposés :

- ◆ Le premier constitué d'une nappe de Sables à grains fins et moyens.
- ◆ Le second à nappe de Grès.
- ◆ Le troisième formé d'Argiles sableuses.

Il est à noter que ces trois horizons remontent à l'âge Miocène.

II-B.4 Les cartes isopaques

C'est une représentation graphique en courbes dites isopaques, des horizons aquifères, cités plus haut les sables ($50\Omega.m \leq R \leq 250\Omega.m$), les grès aussi ($R > 250\Omega.m$) ainsi que les argiles sableuses ($20\Omega.m \leq R \leq 50\Omega.m$). Pour lesquels, épaisseur et coordonnées, ont pu être déduites dans les divers sondages électriques.

II-B.4.1 Délimitation des zones favorables

II-B.4.1-a- Carte d'égale épaisseur des sables

Leur répartition n'est pas uniforme ; en effet, à l'Ouest de la région, ils sont connus par une faible extension sur des épaisseurs n'excèdent pas $65m$. Elle commence à prendre de l'envergure et devient plus importante au centre et à l'Est, avec des épaisseurs qui peuvent atteindre respectivement les 100 et les $145m$, (Fig.16).

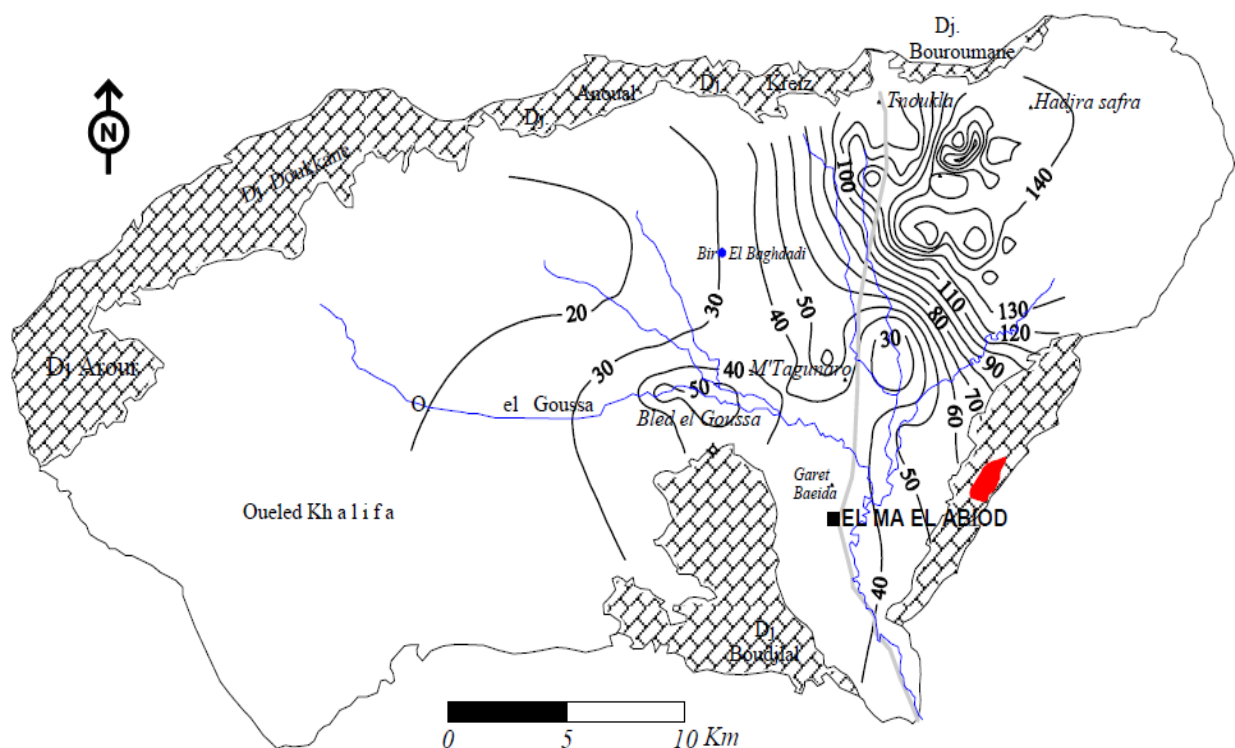


Fig. 16– Carte d'égale épaisseur des sables –In ROUBHIA 2006-

II-B.4.1-b- Carte d'égalé épaisseur des grès

La même remarque pourra être faite quant à l'extension des grès, lesquels se localisent à l'Est, d'une manière aussi importante qu'à l'Ouest du secteur, mais avec des puissances sensiblement différentes, pouvant atteindre respectivement un maximum de 75m à l'Ouest et les 90m à l'Est, (Fig.17).

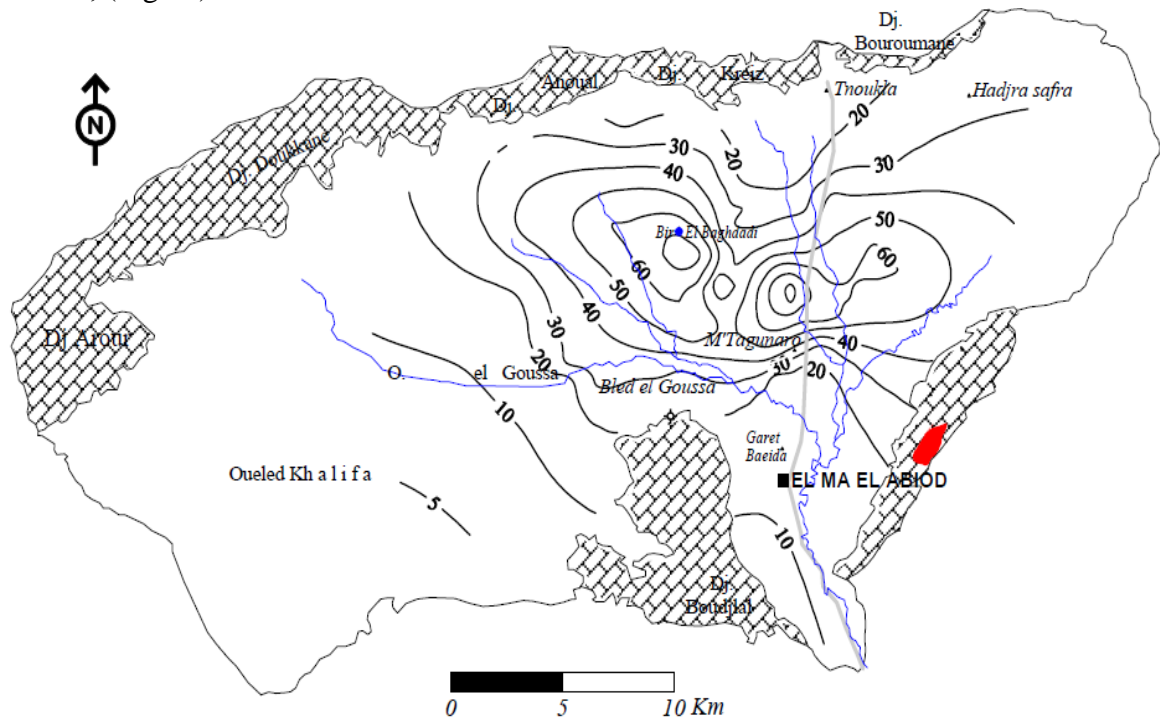


Fig. 17 Carte d'égalé épaisseur des grès –In ROUBHIA 2006-

II-B.4.1-c- Carte d'égalé épaisseur des argiles sableuses

Une certaine hétérogénéité marque la répartition de ces horizons, mais l'Est et l'Ouest de la région s'individualisent par deux zones d'extension importantes, (Fig.18)

Du côté Est, surtout au voisinage de Draâ El Herakel, elle atteint les 270m d'épaisseur, tandis qu'à l'Ouest ; à Bled El Goussa, elle est légèrement supérieur, elle atteint 290m.

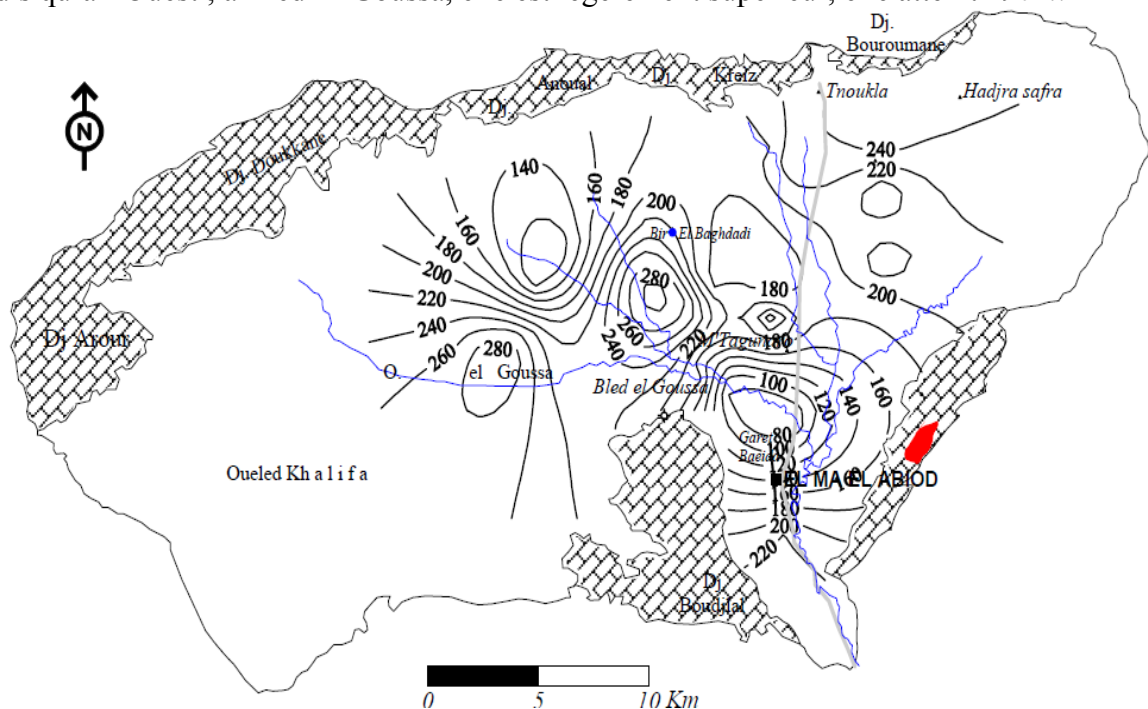


Fig. 18– Carte d'égalé épaisseur des Argiles sableuses –In ROUBHIA 2006-

II-B.5 - Conclusion :

À travers les corrélations de l'étude géophysique avec la géologie, on remarque une correspondance des résultats enregistrés.

Les horizons géo-électriques recourent clairement les formations lithologiques rencontrées par les forages hydrogéologiques.

L'examen des coupes a mis en évidence la présence de deux grandes failles longitudinales qui limitent au Nord et au Sud une structure synclinale.

D'après l'interprétation globale et les différentes données géologiques et géophysiques avec les corrélations possibles, ont permis de déceler l'existence de trois horizons aquifères superposés:

- ◆ Le premier constitué de sables à grains fins et moyens
- ◆ Le second constitué de grès.
- ◆ Le troisième constitué d'argiles sableuses.

Ces trois formations, qui remontent au Miocène, représentent un intérêt hydrogéologique non négligeable. Leur importance se voit par conséquent, en tant que zones favorables, notamment à l'Est (*Draâ El Herakel*) et surtout à l'Ouest (*Bled El Goussa*),

L'ensemble des forages qui y sont implantés dans la région d'étude avec des débits qui comprise entre 20 et 60l/s, vont expliquer leur importance et leur productivité.

Hydroclimatologie

CARACTÉRISTIQUES HYDROCLIMATIQUES

III.1 .Introduction :

Le bassin d'El Ma El Abiod se situe au Sud-est du territoire algérien, se localisant à mi-chemin entre la Méditerranée et le début du domaine saharien, ce qui lui confère un climat se caractérisant par un régime semi aride. Peu pluvieux en hiver et très chaud et sec en été avec des vents parfois violents.

Le comportement des nappes aquifères et la variation du niveau piézométrique dépendent étroitement des précipitations et des prélèvements. Il est important de signaler à cet effet que l'alimentation est régie par la fraction de pluie qui s'infiltré vers la zone saturée, constituant à moyen terme la véritable ressource mobilisable.

III.2 .Réseau hydroclimatique de la zone d'étude

L'étude des paramètres hydrodynamiques nécessite un traitement détaillé des observations hydroclimatologiques. Tels que les précipitations, la température et des paramètres calculés par différentes formules empiriques, tels que l'évapotranspiration potentielle, l'évapotranspiration réelle et le ruissellement. A cet effet, il s'avère nécessaire, dans ce chapitre, de quantifier et d'analyser les principaux apports d'eau du bassin. Pour se faire, nous disposons de quatre stations pluviométriques qui sont situées à l'intérieur du sous bassin (Fig.19).

<i>Station</i>	<i>Code ANRH</i>	<i>Altitude (m)</i>	<i>Coordonnées</i>		<i>Appareil</i>	<i>mise en service</i>
			<i>X (km)</i>	<i>Y (km)</i>		
Ain Khanga	06-28-06	1330	985,25	236,85	Pluviomètre	02-11-1 973
El Ma El Abiod	06-28-02	1030	997,62	225,15	pluviographe Pluviomètre	01-01-1 974
Mechtet E'Zouaïria	06-28-07	1058	997,75	230	Pluviomètre	01-03-1 974
Ouled M'hamed	06-28-04	1335	980,85	235	Pluviomètre	01-09-1 973

Tab. 8 Références des stations pluviométriques/Bassin d'El Ma El Abiod.

III.3- Humidité relative de l'air

Ce paramètre correspond à la tension de vapeur réelle observée, rapportée à la tension de vapeur saturante, à la même température.

Faute d'absence d'équipement de mesure, la station de Tébessa nous sert, encore une fois, de référence, dont les chiffres qui y sont enregistrées donnent une moyenne mensuelle.

Toutefois, cette valeur va être revue à la baisse, à l'échelle du bassin d'El Ma El Abiod, suite à l'écran que forment la chaîne montagneuse séparant le bassin versant de Mellègue et celui de Melhrir.

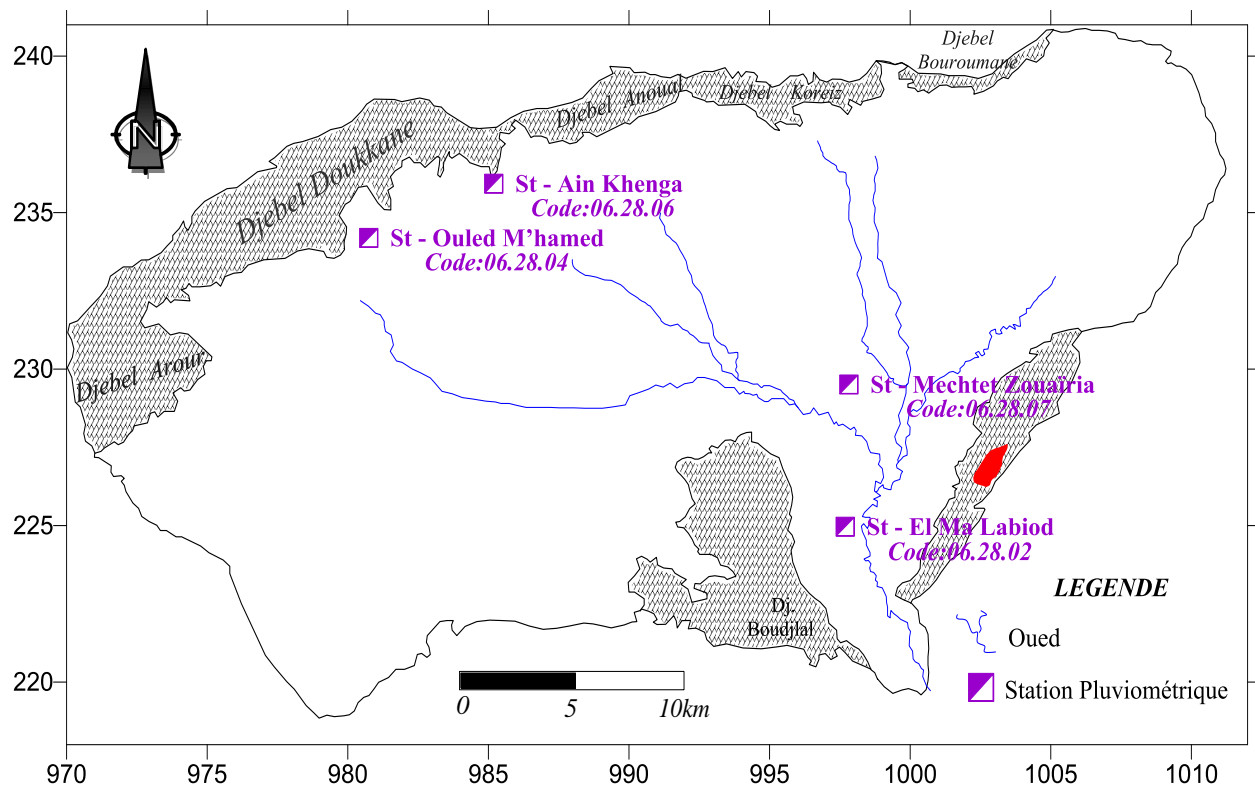


Fig.19-Station pluviométriques et leurs codes/Bassin d'El Ma El Abiod (Source ANRH)

III. 4- Neige

Selon *P. Seltzer*, notre région se trouve incluse dans la zone d'enneigement moyen au sol ; de cinq à dix jours par an. En effet tous les massifs cernant et surplombant le bassin, en particulier le versant nord des reliefs et notamment les monts de Djebel Doukkane, connaissent des quantités considérables de neige.

Des relevés fragmentaires témoignent qu'il a neigé pendant sept jours (saison 83/84), ce qui a représenté un apport d'environ 60mm. En 2001, début Février, les bordures nord du bassin étaient recouvertes de neige presque une semaine entière.

La contribution de cette frange de précipitation, qui fond lentement, est concrète par les apports sous forme d'infiltration efficace, considérant, l'envergure des monts qui bordent le bassin.

III. 5- Pluviométrie

L'étude pluviométrique présente un intérêt considérable en hydroclimatologie, car elle permet de décrire le régime d'écoulement. En outre, leur contrôle et leur enregistrement est indispensable pour toute tentative d'estimation de lames d'eau encaissées, à l'échelle de l'impluvium, et en déduire par la suite les diverses franges ; écoulement superficiel et souterrain, infiltrations...etc.

Sur notre bassin, ces dernières sont caractérisées par une irrégularité et une variabilité saisonnières et annuelles, typiques des régions semi arides.

III.5.1- Variations interannuelles des précipitations

L'analyse de la courbe des variations interannuelles des précipitations, sur une période de 30 ans (80/81-2010/2011), enregistrées au niveau des quatre stations contrôlant le bassin, a révélé que leur variation en fonction du temps est marquée par un écart considérable entre l'année la plus arrosée (418.7mm/an pour la station d'El Ma El Abiod, en 2008/09, 376.188mm/an à Ouled M'hamed en 2009/10, 415.93mm/an à E'Zouaïria en 1981/82 et 564.60mm/an à Ain Khanga en 2003/04) et celle la plus sèche (68.0mm/an à El Ma El Abiod durant 1996/97, 78.2mm/an à Ouled M'hamed durant 1987/88 et 60.1mm/an en 2000/01 à E'Zouaïria et Ain Khanga), (Tab.9).

Station	Code	Moyenne annuelle des précipitations (mm)
Ain Khanga	06-28-06	245.67
El Ma El Abiod	06-28-02	232.37
E'Zouaïria	06-28-07	221.77
Ouled M'hamed	06-28-04	227.67

Tab. 9. Moyenne annuelle des précipitations (1980/81 ÷ 2010/2011)/Bassin d'El El Abiod.

L'irrégularité pluviométrique d'une année sur l'autre, peut être traduite par plusieurs facteurs, dont les écarts à la normale, relatifs surtout aux cycles le plus arrosé et le plus sec. Ils sont donnés par l'expression ci-après :

$$e_i = \frac{P_i - P_n}{P_n} \cdot 100 \quad \text{Avec :}$$

e_i : Écart à la normale de l'année considérée,

P_i : Total de l'année, humide ou sèche, considérée (mm),

P_n : Moyenne interannuelle des précipitations de la série d'observation -30ans- (mm).

L'écart à la moyenne indique le déficit ou l'excédent des précipitations de l'année considérée par rapport à la moyenne (de trente ans dans notre cas) (Tab.10).

Paramètre	Pi (mm) total année extrême				Écart à la normale	
	Sèche	Période	Humide	Période	Année sèche	Année humide
Ain Khanga	60,1	2000/01	564,60	2003/04	-75,54	129,82
El Ma El Abiod	68,0	1996/97	418,70	2008/09	-70,73	80,19
E'Zouaïria	60,1	2000/01	415,93	1981/82	-72,90	87,55
Ouled M'hamed	78.2	1987/88	376.18	2010/11	-65,65	65,23

Tab. 10. Écart à la normale des précipitations annuelles (1980/81 ÷ 2010/11)/Bassin d'El Ma El Abiod.

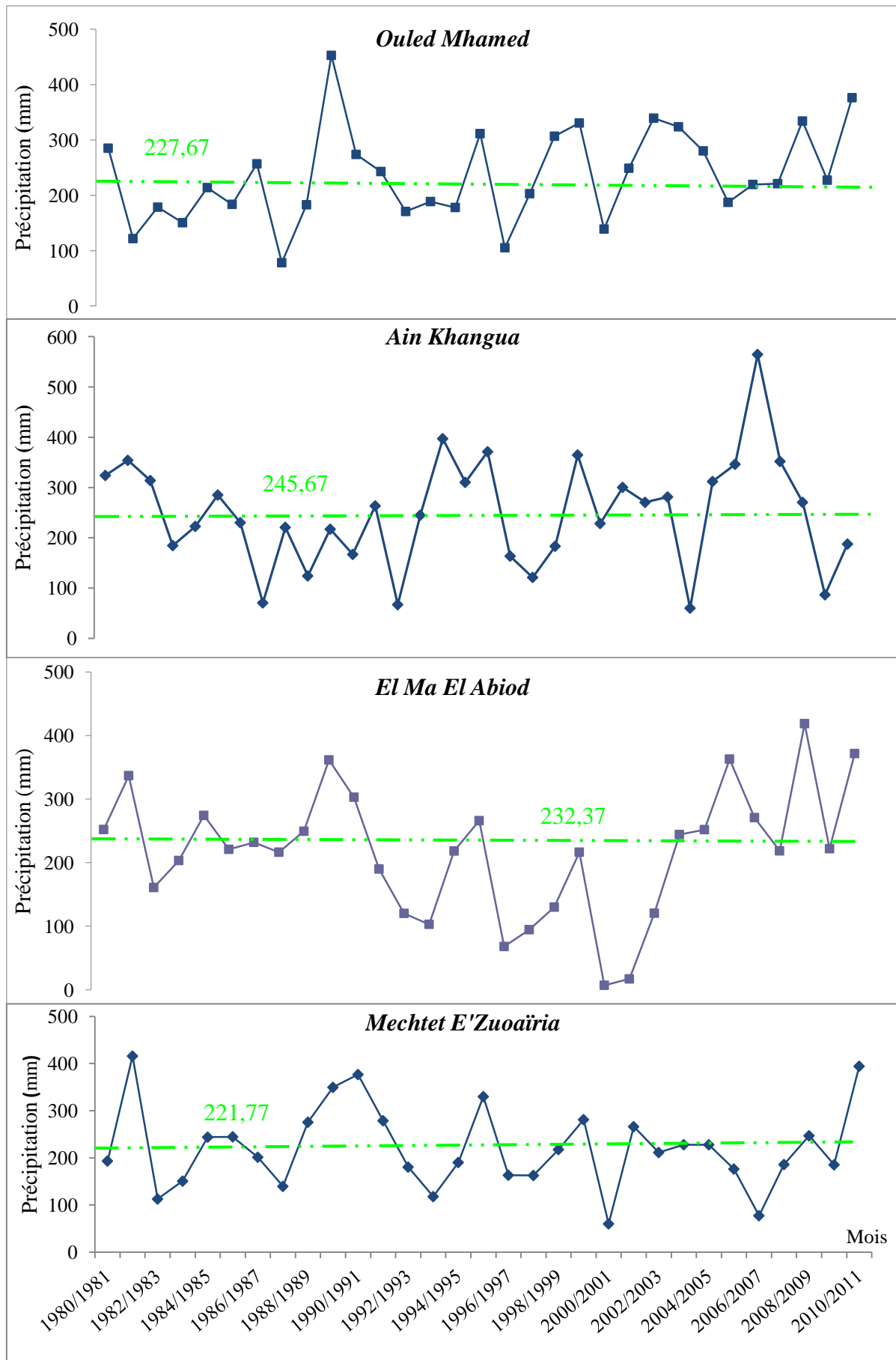


Fig. 20. Distribution des précipitations annuelles aux stations d'observation/Bassin d'El Ma El Abiod.

III.5.2- Estimation de la lame d'eau précipitée

L'analyse des précipitations sur l'ensemble d'un bassin repose sur l'hypothèse selon laquelle la pluie observée sur une station est répartie de manière homogène sur toute une surface plus ou moins étendue autour de cette station. Pour évaluer la lame d'eau moyenne annuelle précipitée dans le bassin versant d'El Ma El Abiod pendant une période de 1980 à 2010. Nous avons utilisée trois méthodes qui sont la méthode arithmétique, la méthode de Thiessen et la méthode des isohyètes.

III.5.2- a- Méthode de la moyenne arithmétique

C'est une méthode qui a donnée preuve d'efficacité pour les petits bassins hydrographiques, où l'impact de l'exposition, de l'altitude et de la latitude, sur les précipitations est identique, à l'échelle de cette entité naturelle.

Qualifiée de plus rapide, elle accorde, en outre, un intérêt particulier aux valeurs extrêmes, et consiste à calculé la moyenne arithmétique des valeurs de précipitations enregistrées au niveau de chaque station, Elle s'obtient à partir de la formule suivante:

$$\bar{H} = \frac{\sum P_i}{n} \equiv mm \quad \text{Ou bien} \quad \bar{P} = \frac{\sum P_i}{n} \equiv mm \quad \text{Où :}$$

\bar{P} Ou \bar{H} : Lamme d'eau moyenne précipitée sur l'ensemble du bassin versant (mm).

P_i : Est la précipitation annuelle moyenne de chaque poste pluviométrique (mm).

n : Nombre de postes pluviométriques.

À l'échelle du bassin d'El Ma El Abiod, et pour une période d'observation de trente 30 ans, la lame d'eau tombée est de l'ordre de :

$$\bar{P} = \bar{H} = 231,87mm/an$$

Si on veut vérifier l'adéquation de la méthode, on fait intervenir l'expression suivante :

$$Er = \frac{C_v}{\sqrt{N}} \equiv \% \quad \text{Où :}$$

C_v : le coefficient de variation, $C_v = 100 \cdot \frac{\sigma}{\bar{x}}$, σ : Écart type : $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (P_i - \bar{P})^2}{n}}$.

\bar{x} : Moyenne des valeurs, N : Nombre de station, Er : Incertitude en %.

III.5.2-b- Méthode de la moyenne de Thiessen

C'est l'une des méthodes la plus rapide et la plus utilisée, elle consiste à diviser la surface du bassin en polygones, dans lesquels on attribue à chaque poste pluviométrique un poids proportionnel à une zone d'influence; Un point situé dans cette zone est soumis à la même précipitation que celle du poste pluviométrique (Fig.21).

La lame d'eau ainsi précipitée est obtenue par la sommation des valeurs de volumes d'eau recueillis, à l'échelle de chaque polygone, rapportée à la surface totale du bassin versant.

La précipitation moyenne est calculée à l'aide de la formule suivante:

$$\bar{H} = \frac{\sum (P_i \cdot A_i)}{A} \equiv mm \quad \text{Avec :}$$

\bar{H} : Lamme moyenne annuelle d'eau précipitée (mm). A : Surface totale du bassin (km^2).

P_i : Précipitation moyenne annuelle observée à la station représentative du polygone.

A_i : Surface du polygone considérée (km^2).

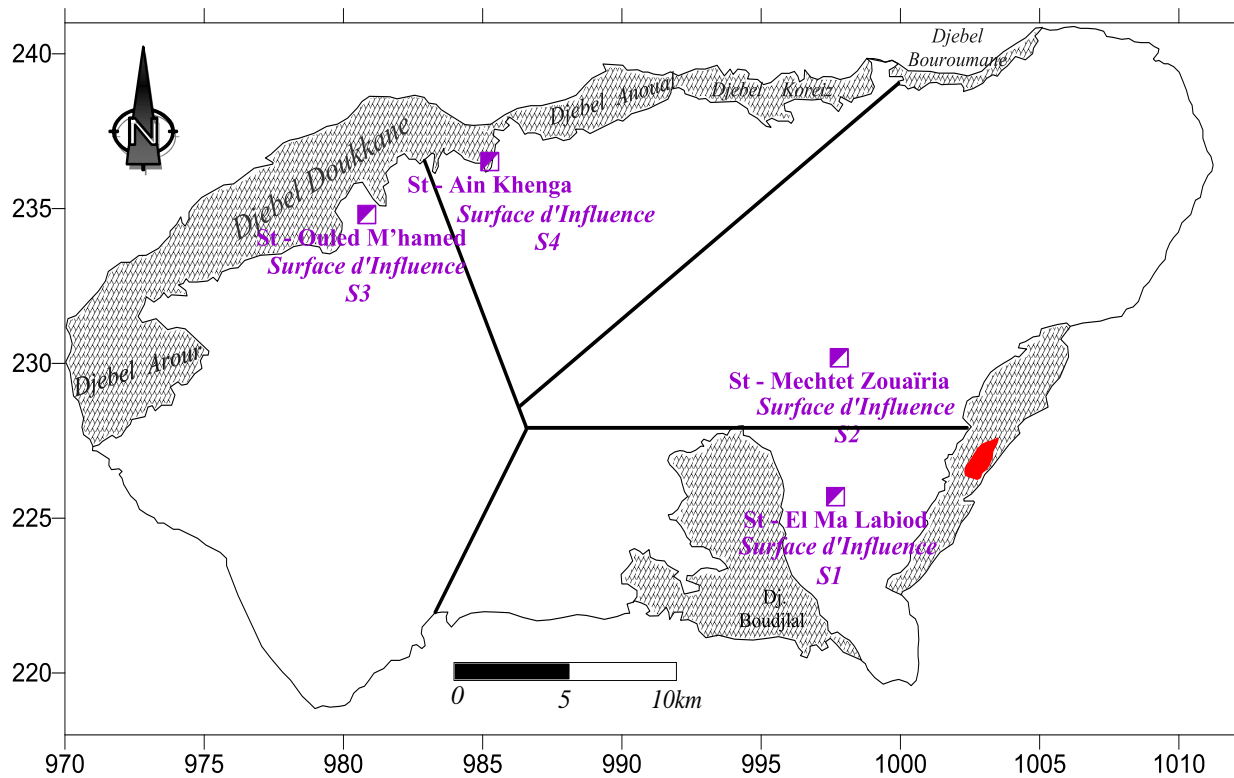


Fig. 21. Polygones de Thiessen/Bassin d’El Ma El Abiod.

Les données relatives au bassin d’El Ma El Abiod, nécessaires au calcul de la lame d’eau précipitée, par l’application de cette méthode, sont regroupées au tableau suivant (Tab. 11).

Station/polygone	Code	Pluie au poste P_i (mm)	Surface partielle A_i (km ²)	$P_i.A_i$ (mm/km ²)
Ain Khanga/1	06-28-06	245,67	100,5	24689,84
El Ma El Abiod /2	06-28-02	232,37	199,5	46357,82
E’Zouaïria/3	06-28-07	221,77	213,3	47303.54
Ouled M’hamed/4	06-28-04	227,67	134,7	30667.15
Total/Bassin			648,00	

Tab. 11. Résultats de calcul de la lame d’eau par polygone /Bassin d’El Ma El Abiod.

Par une simple application numérique, on obtient :

$$\bar{H} = 229.97mm/an .$$

III.5.2-c- Méthode des isohyètes

L’estimation de la lame d’eau par cette méthode est la plus fiable (Tab.12), car elle tient compte non seulement de la variation de la pluie avec l’altitude, mais aussi de la variation de la pluie la plus précise que les deux précédentes. Cette méthode consiste à déterminer les surfaces partielles liées à l’exposition aux vents, Et de mesurer les surfaces comprises entre deux courbes isohyètes successives, La lame d’eau tombée sur le bassin versant d’El Ma El Abiod est calculée par la formule suivante:

$$P = \frac{P_i . S_i}{S} \equiv mm$$

Zone inter-isohitale	Précipitation (mm)	Surface S_i (km^2)	Pi. S_i (mm/km^2)
210 ÷ 220	215	47,04	10113,60
220 ÷ 230	225	66,24	14904,00
230 ÷ 240	235	133,44	31358,40
240 ÷ 250	245	226,24	55428,80
250 ÷ 260	255	175,04	44635,20
Total/Bassin		648,00	

Tab. 12. Résultats de calcul de la lame d'eau par la méthode des isohyètes

$$P = \frac{P_i \cdot S_i}{S} \equiv mm \quad \text{Alors} \quad P = 241,42 mm/an.$$

III.5. 2- d- Discussion des méthodes

Les résultats de calcul des trois méthodes, de la lame d'eau moyenne tombée sur la région d'étude, ont donné des valeurs rapprochées, pour la méthode arithmétique et de *Thiessen*, avec une incertitude insignifiante, alors que celle des isohyètes est un peu élevée. C'est d'ailleurs la valeur la plus proche de la réalité, car c'est le procédé le plus rationnel et le plus précis.

Ces valeurs comparées à celles observées aux différentes stations, apparaissent légèrement différentes ; ce qui est imputable à l'effet d'altitude des divers postes, ce qui n'est pas représentatif des fréquences altimétriques du bassin, et par conséquent, de la répartition de la pluviométrie.

Pour les diverses opérations et estimations de bilans, il est prudent d'estimer une moyenne des valeurs ; obtenues par les trois méthodes (arithmétique, des isohyètes et de *Thiessen*), qui est de **234,42 mm/an**.

III.5. 3- Précipitations mensuelles

Comme déjà signalé à maintes reprises, la répartition des précipitations (annuelles) a son impact direct sur les régimes hydrologiques (écoulements, infiltrations...etc.) et surtout les réserves.

Leur suivi devient alors obligé et leur estimation renseigne sur l'état des lieux en la matière.

Station	Code	Mois humide	Mois sec
Ain Khanga	06-28-06	Mars : 26,57mm	Juillet : 11,10mm
El Ma El Abiod	06-28-02	Septembre : 30,19mm	Juillet : 8,37mm
E'Zouaïria	06-28-07	Septembre : 25,75mm	Juillet : 8.92mm
Ouled M'hamed	06-28-04	Mai : 29,15mm	Juillet : 10.13mm

Tab. 13. Mois humide et mois sec dans chaque station pluviométrique/Bassin d'El Ma El Abiod.

Le dépouillement des données de trente années d'observation (1980 ÷ 2010) permet de retenir les valeurs extrêmes, récapitulées au tableau précédant (*Tab.13*), au niveau de chacune des stations couvrant le bassin versant.

Leur variation est interprétée par la représentation en histogramme, ci-dessous (*Fig. 22*).

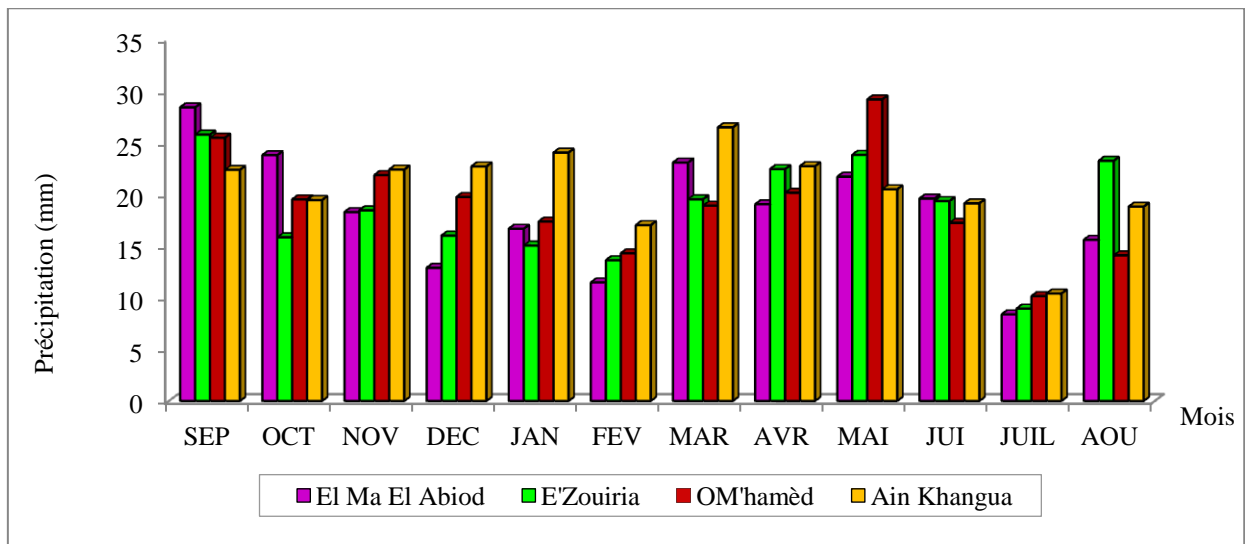


Fig. 22 Moyennes des précipitations mensuelles (1980 ÷ 2010)

Dans le tableau ci-après (Tab.14) sont reportées les valeurs des moyennes mensuelles et saisonnières, des hauteurs de précipitations observées, dans les quatre stations pluviométriques.

Station	Mois											
	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	juil	Août
Ain Khanga	21,07	19,57	23,88	23,95	19,98	18,32	26,57	26,56	21,89	18,66	11,1	18,07
	<i>Automne</i>			<i>Hiver</i>			<i>Printemps</i>			<i>Été</i>		
	64,53			62,24			75,02			47,83		
El Ma El Abiod	30,19	25,33	19,13	13,72	17,52	12,19	24,58	20,28	23,09	20,87	8,92	16,53
	<i>Automne</i>			<i>Hiver</i>			<i>Printemps</i>			<i>Été</i>		
	74,65			43,43			67,97			46,33		
E'Zouaïria	25,75	15,82	18,42	15,98	15,02	13,60	19,49	22,42	23,79	19,32	8,92	23,22
	<i>Automne</i>			<i>Hiver</i>			<i>Printemps</i>			<i>Été</i>		
	59,99			44,60			65,71			51,46		
Ouled M'hamed	25,45	19,48	21,84	19,72	17,34	14,27	18,88	20,13	29,15	17,21	10,13	14,07
	<i>Automne</i>			<i>Hiver</i>			<i>Printemps</i>			<i>Été</i>		
	66,76			51,33			68,15			41,42		

Tab. 14. Précipitations moyennes mensuelles et saisonnières aux stations du Bassin d'El Ma El Abiod.

III.5. 4- Le régime mensuel

Le régime pluvial mensuel peut être décelé par l'évaluation de coefficient dit pluviométrique relatif, à travers lequel, l'étude qui s'y rapporte devient ainsi pratique. Ce facteur s'exprime selon une formule dite D'Angot (1895), par la relation suivante :

$$i = 365 \cdot \frac{\left(\frac{p_i}{n_i}\right)}{P} \quad \text{Avec :}$$

i : Coefficient pluviométrique mensuel, P_i : Précipitation du mois considéré (mm).

P : Précipitation moyenne annuelle (mm), n_i : Nombre de jours du mois considéré.

Par application numérique, des valeurs enregistrées au niveau de chaque station, de cette formule, les résultats ainsi obtenus sont reportés au tableau suivant (Tab. 15).

Selon les valeurs du coefficient pluviométrique relatif mensuel, on peut se prononcer quant à la nature du mois ; il est pluvieux (*si* $i \geq 1$), dans le cas contraire ($i < 1$), il est sec.

Mois Station	Saison humide						Saison sèche					
	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	juil	Août	Sep	Oct
Ain Khanga	1,17	1,17	0,98	0,90	1,30	1,30	1,07	0,91	0,54	0,88	1,03	0,96
El Ma El Abiod	1,00	0,70	0,89	0,68	1,25	1,06	1,17	1,09	0,45	0,84	1,58	1,28
E'Zouaïria	1,03	0,88	0,82	0,75	1,07	1,23	1,31	1,06	0,49	1,27	1,41	0,87
Ouled M'hamed	1,20	1,09	0,94	0,78	1,04	1,13	1,64	0,94	0,56	0,78	1,40	1,07

Tab.15.Coefficient pluviométrique relatif mensuel aux stations d'observation / Bassin d'El Ma El Abiod.

Généralement l'année hydrologique se composera en conséquence (saison sèche et humide).

Dans le cas du bassin d'El Ma El Abiod, la continuité des saisons est à chaque fois interrompue, ce qui témoigne ce que nous avons déjà avancé pour ce qui est de l'irrégularité de la répartition des précipitations.

Malgré cela, les valeurs de ce facteur confirment bien qu'à la station d'Ain Khanga, le mois de Mars est le plus pluvieux, à celle d'El Ma El Abiod et de Mechtet E'Zouaïria c'est le mois de Septembre, alors qu'à Ouled M'hamed, c'est le mois de Mai.

Autrement dit, selon les valeurs de R qui est égal au coefficient pluviométrique de la saison sèche (i_{ss}) rapporté à celui de la saison humide (i_{sh}), on peut déterminer la nature du climat :

Si $1 < R < 1,75$ le climat est semi- aride (pour El Ma El Abiod et E'Zouaïria et Ouled M'hamed). Si $R < 1$ alors il est aride c'est le cas de Ain Khanga (Tab.16).

Saison/Station	Saison humide	Saison sèche	$R = \frac{i_{ss}}{i_{sh}}$
Ain Khanga	6,82	5,39	0,79
El Ma El Abiod	5,58	6,41	1,15
E'Zouaïria	5,78	6,41	1,11
Ouled M'hamed	6,18	6,39	1,03

Tab. 16. Coefficient pluviométrique saisonnier aux stations d'observation /Bassin d'El Ma El Abiod.

III.6. Températures

La température est un élément fondamental du climat. Elle est liée à la radiation solaire. Sa variation influe sur la transformation des eaux en vapeur, que ce soit à la surface ou dans le sous sol. De ce fait, elle influe sur le degré d'évapotranspiration et par conséquent elle agit sur le taux de salinité des eaux. Toutefois, la température a un rôle important dans la variation des composantes du bilan hydrologique.

Le manque des stations thermométrique dans la région d'étude, ceci nous a obligé d'utiliser les données enregistrées à la station la plus proche qui est celle de Tébéssa, afin de pouvoir définir les variations de la température sur la région d'El Ma El Abiod.

Pour une fiabilité souhaitée, on a vu commode d'avoir recours à deux modèles ; de *Laplace* et celle de *BNEDER*.

III.6. 1- Modèle de *Laplace*

Il part du principe que la variation verticale de la température virtuelle de l'air est proportionnelle au gradient vertical de pression et que l'accélération de la pesanteur ($g = 9,81m/s^2$) est constante.

Il est évident de définir au préalable la notion de température virtuelle ; qu'est celle qu'aurait l'air sec, dont la masse spécifique et la pression seraient semblables à celles de l'air humide. Il est indispensable de procéder à la correction des pressions barométriques, observées dans divers postes, situés à différentes altitudes, pour rendre leurs comparaisons possibles.

Selon la norme utilisée, toutes les pressions doivent être ramenées au niveau de la mer, par une réduction faisant intervenir la loi de *Laplace*, dont l'auteur utilisa le même processus pour les températures, adoptant un gradient thermique vertical constant, égal à $-0,65^\circ C/100m$ d'altitude.

L'expression du modèle de *Laplace* est donnée par :

$$T_{vm} = \frac{2T_{vl} - 0,0065 \cdot (Z_2 - Z_1)}{2} \equiv ^\circ C \quad \text{Avec :}$$

T_{vm} : Température virtuelle moyenne recherchée entre la station de référence (Z_1) et celle considérée (Z_2), en $^\circ C$, T_{vl} : Température virtuelle à la station de référence, en $^\circ C$.

Z_1 et Z_2 : Altitudes de la station considérée (1) et celle de référence (2), en m .

Station	Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	juil	Août
Ain Khanga		23,42	18,96	13,51	9,15	8,31	9,43	12,20	15,10	20,12	25,03	28,56	27,65
El Ma El Abid		22,45	17,99	12,54	8,18	7,34	8,46	11,23	14,13	19,15	24,06	27,59	26,68
E'Zouaïria		22,54	18,08	12,63	8,27	7,43	8,55	11,32	14,22	19,24	24,15	27,68	26,77
OuledM'hamed		23,44	18,98	13,53	9,17	8,33	9,45	12,22	15,12	20,14	25,05	28,58	27,67

Tab. 17. Résultats de calcul de la température ($^\circ C$), modèle de *Laplace* /Bassin d'El Ma El Abiod.

III.6. 2- Modèle de *BNEDER*

Les services de ce bureau d'étude ont adopté des formules empiriques, conduisant à l'estimation de la température, suite à une série d'applications et de recherches expérimentales se rapportant aux divers types de climats à l'échelle du territoire national, résumées en l'expression suivante :

$$T = T_m \pm \left[\frac{h - h_m}{100} \right] \times (-0,73) \equiv ^\circ C \quad \text{Où :}$$

T : Température recherchée à la station se trouvant à l'altitude h (°C).

T_m : Température à la station référentielle, se trouvant à l'altitude h_m (°C).

$-0,73$: Gradient de correction thermique, attribué par le *BNEDER* au climat semi-aride.

La théorie de ce modèle part du principe que la température varie en fonction de l'altitude, le signe \pm signifie une hausse/baisse de température en fonction de l'altitude.

Station	Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	juil	Août
Ain Khanga		17,93	13,47	8,02	3,66	2,82	3,94	6,71	9,61	14,63	19,54	23,07	22,16
El Ma El Abiod		20,12	15,66	10,21	5,85	5,01	6,13	8,90	11,80	16,82	21,73	25,26	24,35
E'Zouaïria		19,91	15,45	10,00	5,64	4,80	5,92	8,69	11,59	16,61	21,52	25,05	24,14
OuledM'hamed		17,89	13,43	7,98	3,62	2,78	3,90	6,67	9,57	14,59	19,50	23,03	22,12

Tab. 18. Résultats de calcul de la température (°C), modèle de *BNEDER*/Bassin d'El Ma El Abiod.

III.6.3 - Corrélation entre les deux modèles

L'utilisation des modèles sus-évoqués était à l'origine de la détermination des valeurs de température sur l'étendue du bassin d'El Ma El Abiod, à travers ses quatre stations de contrôle, que nous avons récapitulées au tableau suivant (Tab. 19).

Station	Ain Khanga			El Ma El Abiod			E'Zouaïria			Ouled M'hamed		
	Modèle		Moy	Modèle		Moy	Modèle		Moy	Modèle		Moy
	LAPLACE	BNEDER		LAPLACE	BNEDER		LAPLACE	BNEDER		LAPLACE	BNEDER	
SEP	23,42	17,93	20,67	22,45	20,12	21,28	22,54	19,91	21,23	23,44	17,89	20,66
OCT	18,96	13,47	16,21	17,99	15,66	16,82	18,08	15,45	16,77	18,98	13,43	16,20
NOV	13,51	8,02	10,76	12,54	10,21	11,37	12,63	10,00	11,32	13,53	7,98	10,75
DÉC	9,15	3,66	6,40	8,18	5,85	7,01	8,27	5,64	6,96	9,17	3,62	6,39
JAN	8,31	2,82	5,56	7,34	5,01	6,17	7,43	4,80	6,12	8,33	2,78	5,55
FÉV	9,43	3,94	6,68	8,46	6,13	7,29	8,55	5,92	7,24	9,45	3,90	6,67
MAR	12,20	6,71	9,45	11,23	8,90	10,06	11,32	8,69	10,01	12,22	6,67	9,44
AVR	15,10	9,61	12,35	14,13	11,80	12,96	14,22	11,59	12,91	15,12	9,57	12,34
MAI	20,12	14,63	17,37	19,15	16,82	17,98	19,24	16,61	17,93	20,14	14,59	17,36
JUIN	25,03	19,54	22,28	24,06	21,73	22,89	24,15	21,52	22,84	25,05	19,50	22,27
JUIL	28,56	23,07	25,81	27,59	25,26	26,42	27,68	25,05	26,37	28,58	23,03	25,80
AOUT	27,65	22,16	24,90	26,68	24,35	25,51	26,77	24,14	25,46	27,67	22,12	24,89

Tab.19 Récapitulation des données de température et corrélation des deux modèles/Bassin d'El Ma El Abiod.

Dans une épreuve de déceler une éventuelle affinité entre ces dernières, nous étions amenés à étudier la réciprocité de ces méthodes afin de percevoir leur apparence. Pour ce faire, la station de Tébessa est prise comme référence, pour la comparaison des différentes valeurs obtenues, et corrélées par la suite, entre elles conformément aux représentations graphiques suivantes (Fig. 23).

Nous remarquons, suite à ce traitement, que les valeurs du coefficient de corrélation, ainsi obtenues, pour les diverses stations, sont au voisinage de l'unité ($0,9997 < R < 1,00$), et ce à fortiori, les expressions des deux modèles, en l'occurrence celui de *Laplace* ou de *BNEDER*, sont des équations de premier degré ; de forme ($y = ax + b$).

C'est, au fait, cette linéarité des fonctions en question, qui a conduit à en déduire de telles valeurs (du coefficient de corrélation), et qui de ce fait, laisse augmenter l'intervalle de confiance, et permet, avec d'avantage d'assurance, une quelconque utilisation ultérieure des valeurs de températures qui en découlent.

On constate, suite à ces calculs, que la méthode de *Laplace* est proportionnelle avec l'altitude, Et l'inverse par rapport à la méthode de *BNEDER*.

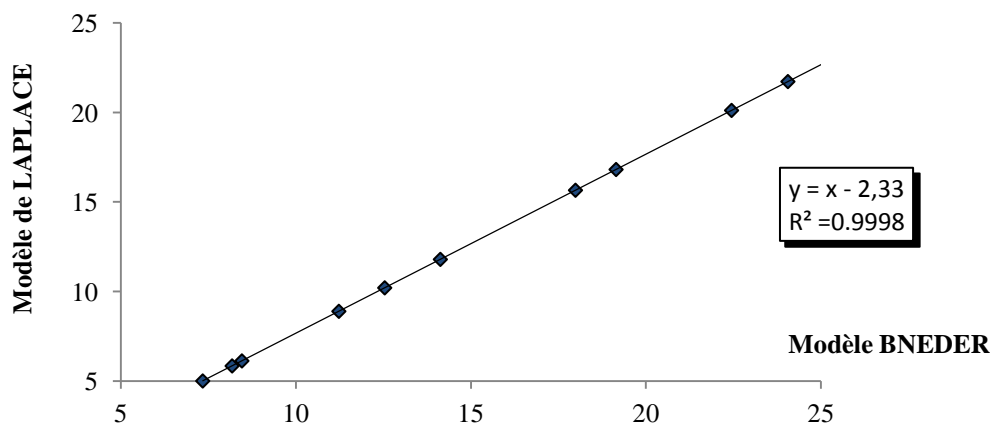


Fig. 23- Corrélations entre les températures calculées par les deux modèles.

III.6.4- Variation des températures et régime thermique

Comme déjà signalé, la région d'étude est malheureusement dépourvue de stations thermométriques, sachant pertinemment l'importance du facteur température ; dans la compréhension de certains processus et son rôle capital dans diverses activités et phénomènes naturels, entre autres, cycle de l'eau, photosynthèse...etc.

On était contraint d'avoir recours aux données d'une station référentielle qu'est celle de Tébessa, pour l'estimation du dit paramètre à l'échelle du bassin objet d'intérêt.

L'examen des séries de valeurs correspondant au facteur température (Tab.20), révèle que le mois de Janvier est le plus froid avec respectivement 5.56, 6.17, 6.12 et 5.57°C pour Ain Khanga, El Ma El Abiod, E'Zouaïria et Ouled M'hamed. Et Juillet est le mois le plus chaud, avec (Ain Khanga : 25.81°C, El Ma El Abiod : 26.42°C, E'Zouaïria : 26.37°C et Ouled M'hamed : 25.80°C).

On note qu'effectivement en hiver il fait plus frais du côté d'El Ma El Abiod qu'à Tébessa, et ce puisque cette dernière se situe à une altitude inférieure (810m). Les températures d'été sont comparables ou légèrement plus élevées, à cause de l'influence du vent du Sud (Sirocco), Le mois le plus froid est le mois de Janvier alors que le plus chaud est Juillet.

Station Mois	Tébessa	Ain Khanga	El Ma El Abiod	E'Zouaïria	Ouled M'hamed
SEP	21,69	20,67	21,28	21,23	20,66
OCT	17,22	16,21	16,82	16,77	16,20
NOV	11,06	10,76	11,37	11,32	10,75
DÉC	7,67	6,40	7,01	6,96	6,39
JAN	6,43	5,56	6,17	6,12	5,55
FÉV	7,70	6,68	7,29	7,24	6,67
MAR	10,25	9,45	10,06	10,01	9,44
AVR	13,34	12,35	12,96	12,91	12,34
MAI	18,37	17,37	17,98	17,93	17,36
JUIN	23,35	22,28	22,89	22,84	22,27
JUIL	26,40	25,81	26,42	26,37	25,80
AOUT	25,63	24,90	25,51	25,46	24,89

Tab. 20. Moyennes mensuelles des températures (°C), 1980 ÷ 2010/Bassin d'El Ma El Abiod.

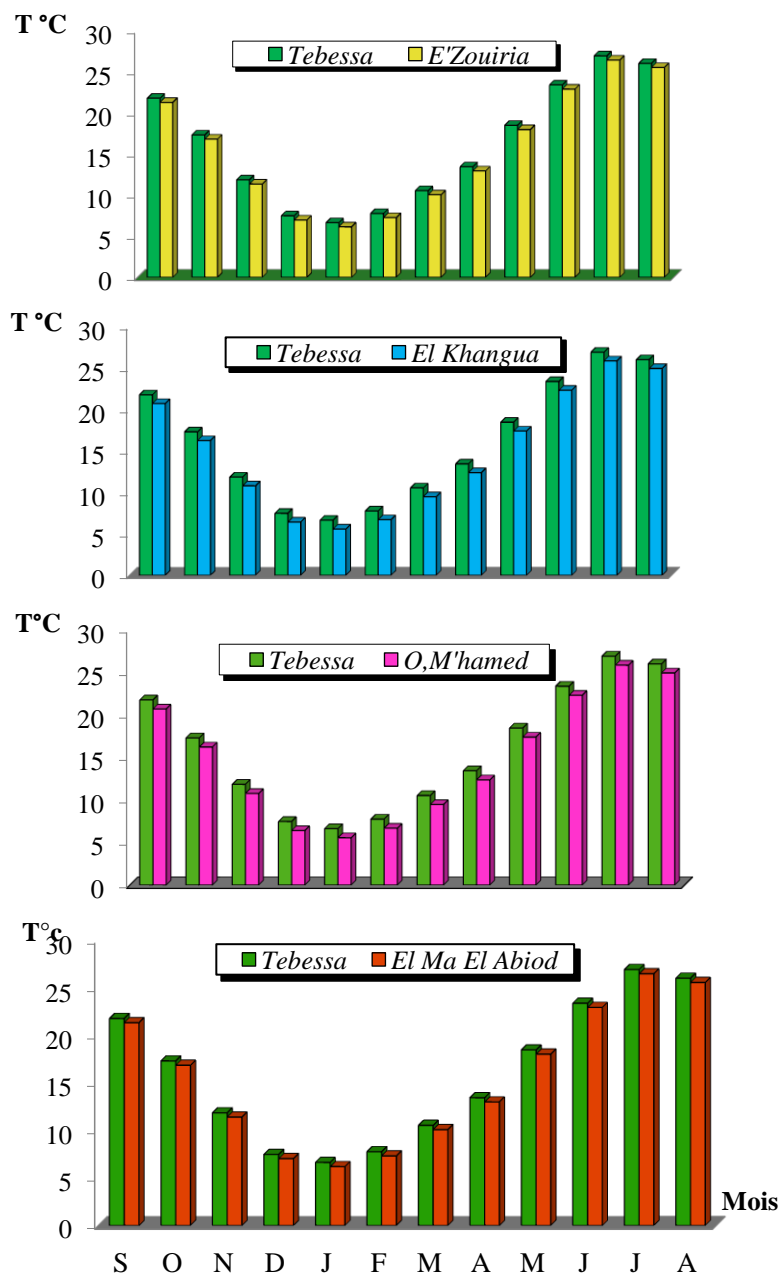


Fig. 24- Température moyenne mensuelle aux stations d'observations (1980-2010).

III.7- Détermination des indices climatiques

III.7.1- L'indice d'aridité de DE. Martone

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

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

Avec : P : Précipitation annuelle moyenne (mm).
T : Température annuelle moyenne (°C).

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

- $I < 5$ Le climat est hyperaride.
- $5 < I < 7,5$ Il est désertique.
- $7,5 < I < 10$ On parle de climat steppique.
- $10 < I < 20$ Il est semi-aride.
- $20 < I < 30$ Le climat est tempéré

Paramètre Station	Précipitation (mm)	Température (°C)	Indice d'aridité	Observation
Ain Khanga	245,67	14,87	9.88	Climat steppique
El Ma El Abiod	232,37	15,48	9,12	
E'Zouaïria	221,77	15,43	8,72	
Ouled M'hamed	227,67	14,86	9,16	

Tab. 21. Indice d'aridité de DE Martone et type de climat/Bassin d'El Ma El Abiod.

La lecture du tableau (Tab.21) et l'observation de l'abaque (Fig.25), laissent dire que le climat qui règne sur la région d'étude est de type steppique.

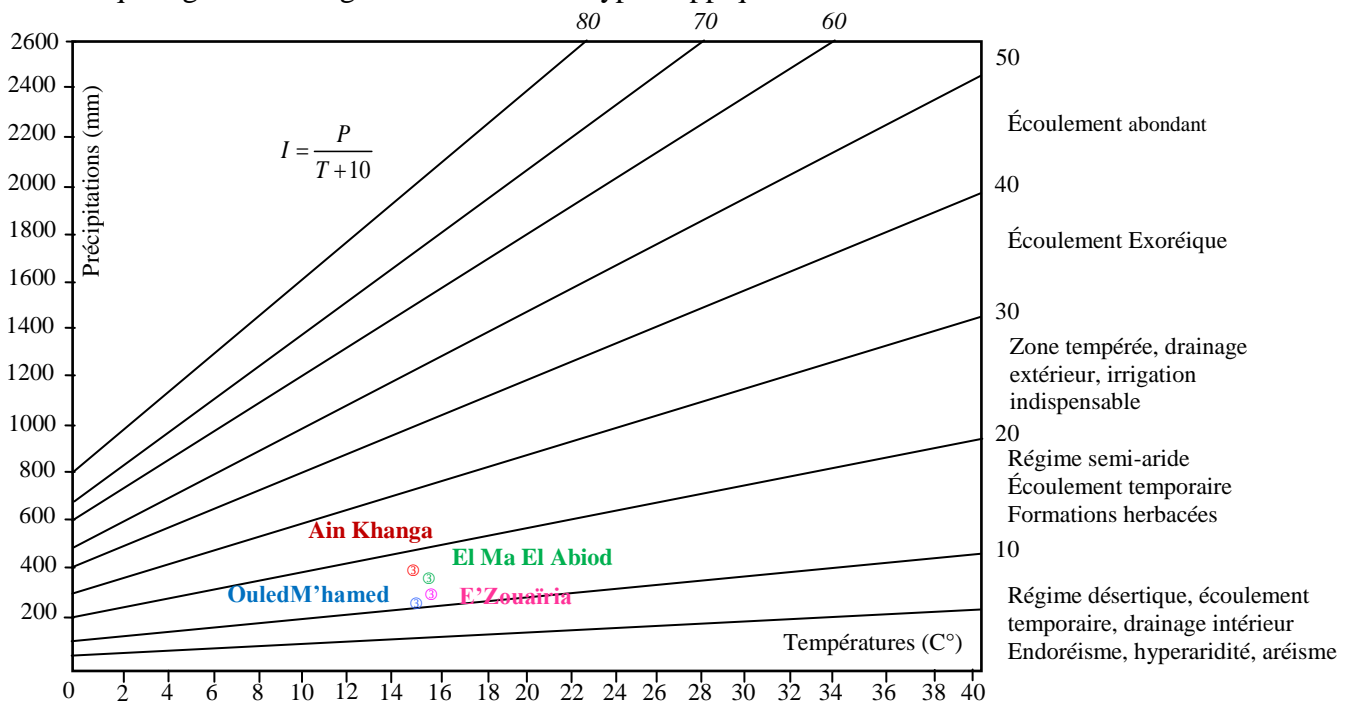


Fig. 25. Abaque de l'Indice d'aridité annuel de DE Martone PV. 1923/Bassin d'El Ma El Abiod.

III.7.2- L'indice d'aridité mensuel

La formule admettant la détermination de cet indice est établie en fonction des températures et des précipitations, seulement ces dernières sont prises comme des moyennes mensuelles. Avec :

$$I = \frac{12P}{T + 10}$$

P : Moyenne mensuelle des précipitations (mm). *T* : Moyenne mensuelle des températures (°C).

Station	Ain Khangua			El Ma El Abiod			E'Zouaïria			Ouled M'hamed		
	T°C	P (mm)	I	T°C	P (mm)	I	T°C	P (mm)	I	T°C	P (mm)	I
SEP	20,67	22,34	8,74	21,28	30,19	11,58	21,23	25,75	9,90	20,66	25,45	9,96
OCT	16,21	19,42	8,89	16,82	25,33	11,33	16,77	15,82	7,09	16,2	19,48	8,92
NOV	10,76	22,37	12,93	11,37	19,13	10,74	11,32	18,42	10,37	10,75	21,84	12,63
DÉC	6,4	22,67	16,59	7,01	13,72	9,68	6,96	15,98	11,31	6,39	19,72	14,44
JAN	5,56	24,01	18,52	6,17	17,52	13,00	6,12	15,02	11,18	5,55	17,34	13,38
FÉV	6,68	16,99	12,22	7,29	12,19	8,46	7,24	13,60	9,47	6,67	14,27	10,27
MAR	9,45	26,45	16,32	10,06	24,58	14,71	10,01	19,49	11,69	9,44	18,88	11,65
AVR	12,35	22,7	12,19	12,96	20,28	10,60	12,91	22,42	11,74	12,34	20,13	10,81
MAI	17,37	20,46	8,97	17,98	23,09	9,90	17,93	23,79	10,22	17,36	29,15	12,78
JUIN	22,28	19,1	7,10	22,89	20,87	7,61	22,84	19,32	7,06	22,27	17,21	6,40
JUIL	25,81	10,38	3,48	26,42	8,92	2,94	26,37	8,92	2,94	25,8	10,13	3,40
AOUT	24,9	18,78	6,46	25,51	16,53	5,59	25,46	23,22	7,86	24,89	14,07	4,84

Tab. 22. Indice d'aridité mensuel/Bassin d'El Ma El Abiod.

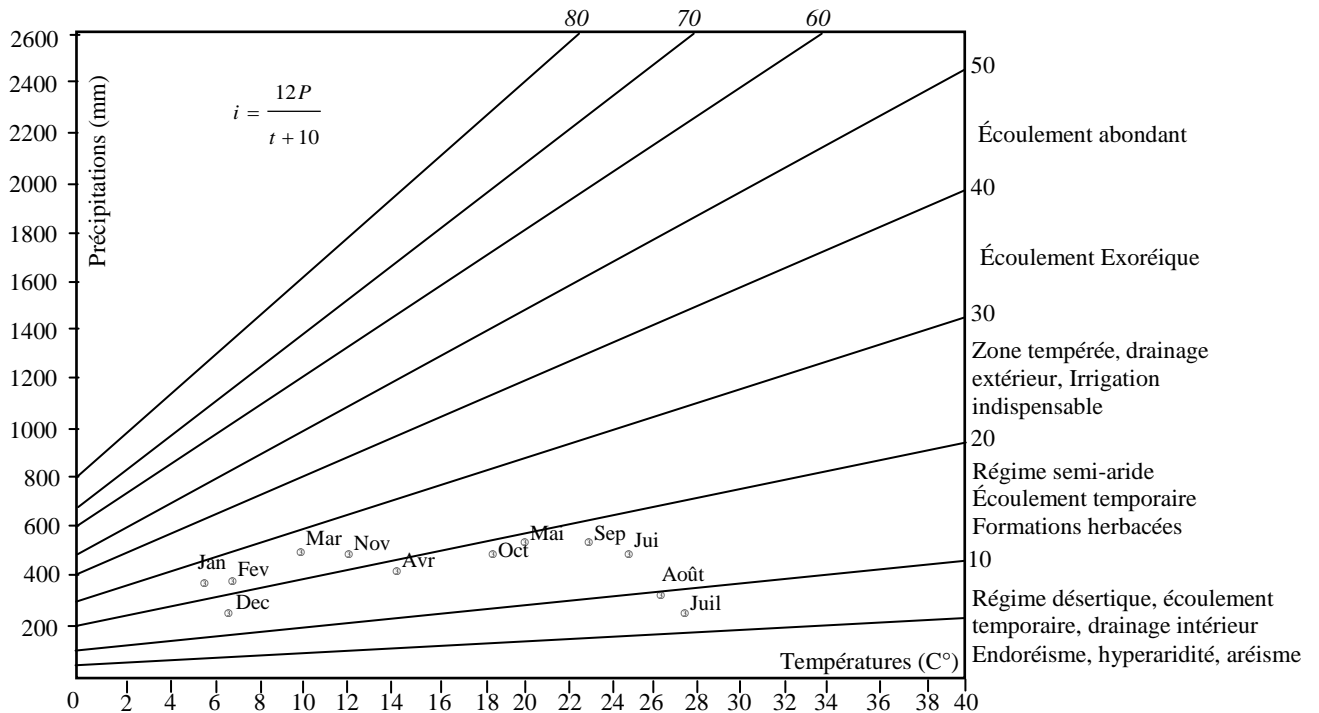


Fig. 26. Abaque de l'Indice d'aridité Mensuel de DE. Martone PV 1923/Bassin d'El Ma El Abiod.

D'après les calculs qu'on a fait, on déduit que le mois de Juillet se reconnaît comme mois hyperaride, alors que Septembre et Octobre sont steppiques, le reste est semi-aride (Tab.22).

III.7.3- Diagramme pluviothermique

Selon *F. Bagnouls* et *Gaussen*, un mois sec est celui dont le total moyen des précipitations est inférieur ou égal au double de la température moyenne ($P \leq 2T$).

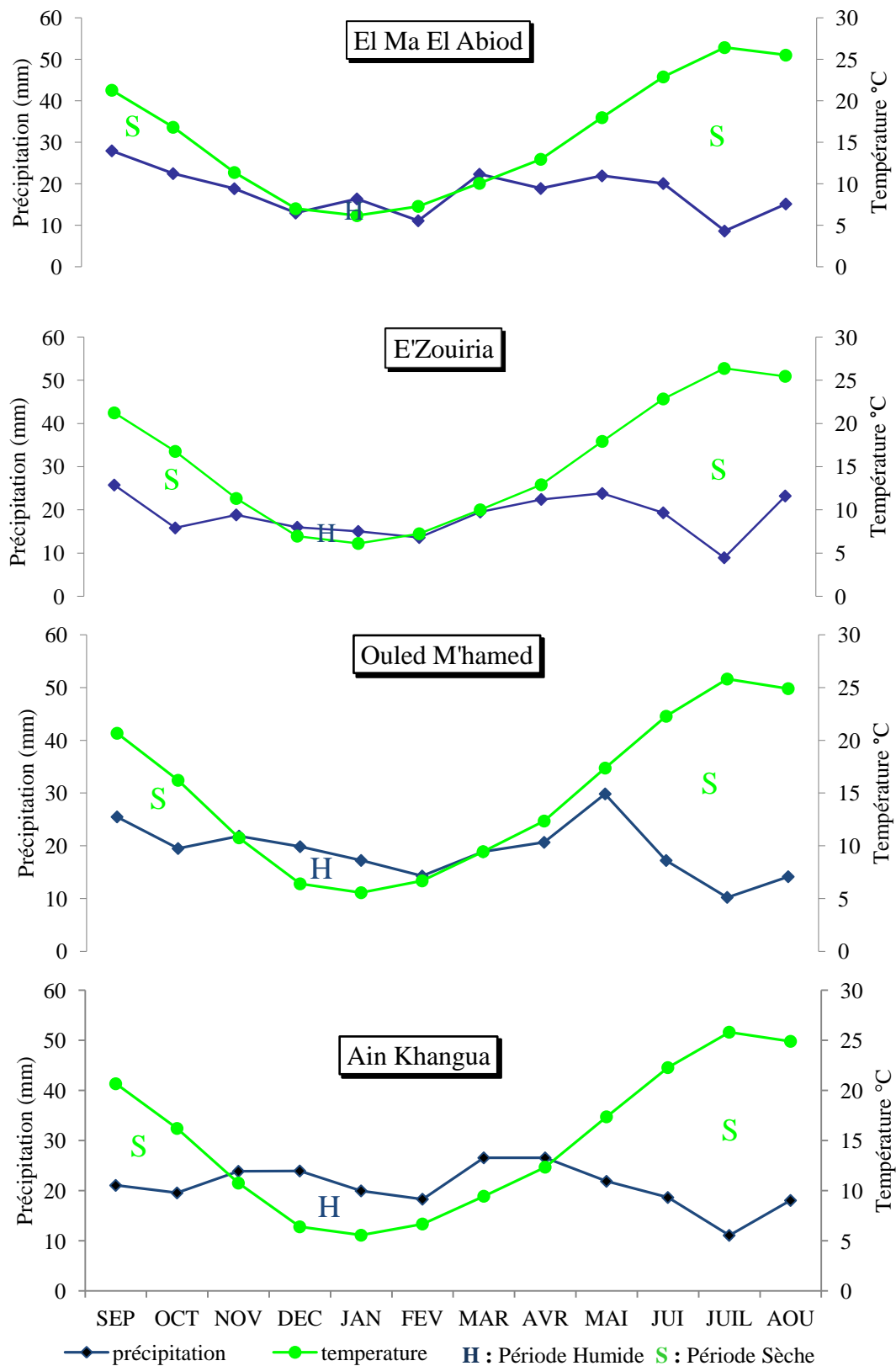


Fig. 27 Diagrammes pluviothermiques aux stations d'observation (1980 ÷ 2010)/Bassin d'El Ma El Abiod.

La combinaison des deux principaux facteurs climatiques, la température et les précipitations est intéressante dans la mesure où elle permet de déterminer les mois véritablement secs. Cette relation permet d'établir un graphe dit Ombrothermique sur lequel les températures sont portées à l'échelle double des précipitations (Fig. 27).

Nous constatons que les stations d'observation du bassin d'El Ma El Abiod sont caractérisées par une période de sécheresse qui s'étale sur plus de six mois, Elle débute au mois d'Avril et continue jusqu'au mois d'Octobre. La détermination de cette période est d'une grande importance pour l'hydrologie afin de pouvoir estimer les besoins en eau.

III.8 – Bilan hydrique

Il traduit la suite des différentes phases du phénomène météorique aqueux (pluie, neige, grêle) atteignant le sol, avant de rebrousser chemin vers l'atmosphère.

L'estimation du bilan hydrologique naturel peut se faire par l'application de la formule suivante (G. Castany 1982) :

$$P = ETR + R + I(mm) \quad \text{Où :}$$

P : Précipitations annuelles (mm), ETR : Évapotranspiration réelle annuelle (mm).
 R : Ruissellement (mm), I : Infiltration (mm).

III.8. 1- Étude de l'Évapotranspiration

L'évaporation représente le processus au cours duquel l'eau se transforme en vapeur. L'ensemble des processus d'évaporation et de transpiration est connu sous le nom d'évapotranspiration. Cette dernière est l'une des composantes fondamentales du cycle hydrologique.

L'interdépendance des facteurs dont elle est fonction (l'humidité, la température, l'insolation et le couvert végétale) rend son estimation laborieuse.

III.8 .1- 1- Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP)

III.8 .1- 1- a- Formule de C.W. Thornthwaite

Cette formule a été établie en 1948 et tient compte de la température moyenne mensuelle et de l'indice thermique l'évapotranspiration non corrigée est donnée par l'expression suivante :

$$ETP = 16 \cdot \left(\frac{10T}{I} \right)^a \equiv mm \quad \text{Où} \quad I = \sum_{i=1}^{12} i \quad \text{et} \quad i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1,514}$$

l'exposant (a) est donné par l'expression de Serra, après simplification de la longue formule de

$$\text{Thornthwaite :} \quad a = \frac{1,6}{100} \cdot I + 0,5.$$

ETP : Évapotranspiration potentielle du mois considéré (mm), i : Indice thermique mensuel.

T : Température moyenne mensuelle du mois considéré (°C), I : Indice thermique annuel.

Elle tient compte des températures moyennes mensuelles et de l'indice thermique.

Les valeurs obtenues sont corrigées par un coefficient de correction k qui dépend de la latitude du bassin, selon l'expression suivante :

$$ETP = 16 \cdot \left(\frac{10T}{I} \right)^a \cdot k \equiv mm \quad \text{Avec :}$$

K : Coefficient de correction (ou d'ajustement mensuel).

Les résultats de calcul pour la station El Ma El Abiod (choisie comme exemple) ; sont récapitulés dans le tableau suivant (Tab.23).

Mois Paramètre	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	juil	Août
<i>i</i>	8,96	6,28	3,47	1,67	1,38	1,77	2,88	4,23	6,94	10,01	12,43	8,96
<i>ETP.nc</i>	95,97	65,12	34,15	15,38	12,46	16,41	27,91	42,37	72,69	108,24	137,11	95,97
<i>k</i>	1,03	0,97	0,86	0,81	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,03
<i>ETP.c</i>	98,85	63,17	29,37	12,46	10,84	13,95	28,74	46,61	87,96	132,05	170,02	98,85

Tab. 23. Résultats de calcul de l'ETP selon la formule de C. W. Thornthwaite/Station d'El Ma El Abiod.

III.8. 1- 1- b- Formule de L. Turc

Cette formule permet d'évaluer l'évapotranspiration potentielle moyenne mensuelle, considérant la durée réelle d'insolation ainsi que l'humidité relative de l'air, cette formule est définie par :

$$ETP_{mois} = 0,40 \frac{T}{T+15} (I_g + 50) \equiv mm \text{ Avec :}$$

T : Température moyenne mensuelle du mois considéré (°C) à l'abri.

I_g : Radiation globale moyenne du mois considéré (cal/cm²/j).

Si l'humidité de l'air durant le mois considéré est inférieure à 50%, on fait appel à un terme correctif (*k*) qui sera ensuite multiplié par l'ETP du mois. Ce terme est défini par :

$$K = 1 \frac{(50 - h_r)}{70} \quad \text{Où } h_r \text{ est l'humidité relative de l'air.}$$

Mois Paramètre	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	juil	Août
<i>T</i>	21,28	16,82	11,37	7,01	6,17	7,29	10,06	12,96	17,98	22,89	26,42	25,51
<i>I_g</i>	437,5	333,1	243,6	192,3	209,1	285	372,6	459,2	537,1	593,3	625,3	554,7
<i>h_r%</i>	57,04	62,98	69,72	72,62	72,33	68,36	66,38	61,93	56,2	49,17	41,52	45,12
<i>ETP</i>	114,38	81,01	50,64	30,88	30,21	43,84	67,87	94,42	128,04	155,46	172,30	152,32
<i>ETP totale</i>	1121,37											

Tab. 24. Résultats de calcul de l'ETP par la méthode de L. Turc/Station d'El Ma El Abiod.

Comme nous l'avons signalé plus haut, les valeurs de températures étaient déduites en prenant la station météorologique la plus proche comme référence (Tab.24), en l'occurrence celle de Tébéssa. En effet cette dernière appartient au grand bassin versant du Mélégue, alors que notre région fait partie d'un autre bassin qu'est celui du Chott Melhir.

III.8. 1- 2- Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR)

C'est une fraction de l'ETP qui dépend de l'état du stock en eau du sol. Les pertes d'eau d'un sol atteignent l'évapotranspiration potentielle, si elles sont supérieures ou égales au stock d'eau de la réserve facilement utilisable.

En cas d'insuffisance, elles sont limitées à une quantité plus faible, cette limite est appelée l'évapotranspiration réelle (*G. Castany*). Son évaluation se fera par l'application de l'une des formules, soit de *L. Turc* ou celle de *Coutagne*.

III.8. 1- 2- a- Formule de *L. Turc*

Cette expression permet de déterminer directement l'*ETR* annuelle d'un bassin versant à partir de la hauteur annuelle de pluie et de la température moyenne annuelle.

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}} \equiv mm \quad \text{Avec :}$$

P : Précipitation moyenne annuelle (*m*).

L : Facteur qui tient compte des échanges de chaleur ($L = 0,05T^3 + 25T + 300$).

T : Température moyenne annuelle (°C).

Paramètre Station	Précipitation (mm)	Température (°C)	<i>L</i>	<i>ETR</i>
Ain Khangua	245,67	14,47	836,44	247,38
El Ma El Abiod	232,37	15,48	872,65	235,82
E'Zouaïria	221,77	15,43	835,85	225,13
Ouled M'hamed	227,67	14,86	869,17	231,30

Tab. 25. *ETR* selon la méthode de *L. Turc* annuelle/Bassin d'El Ma El Abiod.

Le tableau 24, montre clairement que le calcul de l'*ETR* selon la méthode de *L. Turc* dans les quatre stations du bassin d'El Ma El Abiod représente 100% de précipitation.

III.8. 1- 2- b- Formule de *Coutagne*

Le déficit d'écoulement calculé à partir de cette expression, qui fait aussi intervenir la température et la précipitation, peut être rapproché de l'*ETR*.

$$D = P - \lambda P^2 \Leftrightarrow ETR = P - \lambda P^2$$

Et qui n'est applicable que lorsque : $8\lambda < P < 2\lambda$ et $\lambda = \frac{1}{0,4T + 0,8}$ Où :

D : Déficit d'écoulement (*m/an*).

P : Précipitation annuelle (*m*).

T : Température moyenne annuelle (°C).

Station	λ	$\lambda/8$	$\lambda/2$	<i>P</i>	$\lambda/8 < P < \lambda/2$	Observation
Ain Khangua	0,1481	0,0185	0,0741	245,67	Non comprise	Méthode non applicable
El Ma El Abiod	0,1430	0,0179	0,0715	232,37	Non comprise	
E'Zouaïria	0,1435	0,0179	0,0717	221,77	Non comprise	
Ouled M'hamed	0,1482	0,0185	0,0741	227,67	Non comprise	

Tab. 26. Applicabilité de la formule de *Coutagne*/Bassin d'El Ma El Abiod.

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

III.8. 1- 2- c- Abaque de *P. Verdeil* (1988)

Cet abaque est utilisé pour les régimes à climat semi-aride et sub-aride, et pour des précipitations inférieures à 600mm. Pour notre région nous obtenons un déficit d'écoulement de 230.10mm. (Confer à l'annexe II).

Paramètre	Méthode de détermination	Résultats
<i>ETP</i>	<i>L. Turc</i>	1121,37
	<i>C. W. Thornthwaite</i>	844.13
<i>ETR</i>	<i>L. Turc</i>	235,82
	<i>P. Verdeil</i>	230.10
	<i>Coutagne</i>	Non applicable

Tab. 27. Valeurs de l'*ETP* et de l'*ETR* et méthodes d'estimation/Bassin d'El Ma El Abiod.

Il est probable que la surestimation de ce facteur a fait que les valeurs obtenues lors du calcul de l'*ETP* et de l'*ETR*, paraissent un peu exagérées (Tab.27), et ce puisqu'il est un paramètre déterminant dans les diverses formules utilisées. En outre, il y'a l'impact de l'altitude (une marge de 240 à 400m entre les deux régions), conjugué à l'effet d'écran-barrière (*effet de Foehn*), que constitue la série des monts qui les sépare.

III.8. 2- Estimation de la réserve facilement utilisable

Définie comme étant la quantité d'eau emmagasinée dans le sol, dont le degré de saturation est fonction de plus d'un facteur :

- ✓ La nature, la lithologie et l'épaisseur de la couche superficielle.
- ✓ La profondeur du niveau piézométrique de la nappe aquifère.
- ✓ Le couvert végétal.
- ✓ Le climat de la région.

Tenant compte de tous ces paramètres, *J. Richard* a estimé la *RFU*, lors d'une étude se rapportant à la plaine de Tébessa, entre 25 et 26mm, alors que le cabinet le *Petit*, suite à une étude agropédologique en 1966/67, sur la région, considère que $23mm < RFU < 35mm$. Dans notre cas on utilise la moyenne c'est-à-dire le *RFU* égale à 29mm.

III.8. 5- Bilan d'eau par la méthode de *G. W. Thornthwaite*

Lors de l'établissement du bilan mensuel, on fait intervenir l'évapotranspiration moyenne, réelle et potentielle, par la méthode de *C.W. Thornthwaite*. Il s'articule sur l'hypothèse suivant :

- ✓ La satisfaction de l'*ETR* est prioritaire sur l'écoulement.
- ✓ Le calcul de l'*ETR* peut se faire selon deux cas :
 - Si $P > ETP$, alors $\Rightarrow ETR = ETP$, il y a donc un excédent.
 - Si $P < ETP$, alors $\Rightarrow ETR = P + RFU$.

Mois	P	T°C	ETP,c	P-ETP	RFU	ETR	Da	EXC
SEP	30,19	21,28	98,85	-68,66	0	30,19	68,66	0
OCT	25,33	16,82	63,17	-37,84	0	25,33	37,84	0
NOV	19,13	11,37	29,37	-10,24	0	19,13	10,24	0
DEC	13,72	7,01	12,46	1,26	1,26	12,46	0	0
JAN	17,52	6,17	10,84	6,68	7,93	10,84	0	0
FEV	12,19	7,29	13,95	-1,75	6,18	13,95	0	0
MAR	24,58	10,06	28,74	-4,16	2,02	28,74	0	0
AVR	20,28	12,96	46,61	-26,33	0	22,3	26,33	0
MAI	23,09	17,98	87,96	-64,86	0	23,09	64,86	0
JUI	20,87	22,89	132,05	-111,18	0	20,87	111,18	0
JUIL	8,92	26,42	170,02	-161,1	0	8,92	161,1	0
AOU	16,53	25,51	150,12	-133,59	0	16,53	133,59	0
Année	232,35	15,5	232,37	/	/	846,15	613,8	0

Tab. 28. Bilan d'eau selon la méthode de C. W. Thornthwaite/Station d'El Ma El Abiod (1980/2010).

Mois	P (mm)	T°C	ETP,c	P-ETP	RFU	ETR	Da	EXC
SEP	22,34	20,67	96,34	-74	0	22,34	74	0
OCT	19,42	16,21	61,68	-42,26	0	19,42	42,26	0
NOV	22,37	10,76	28,53	-6,16	0	22,37	6,16	0
DEC	22,67	6,4	11,78	10,89	10,89	11,78	0	0
JAN	24,01	5,56	10,12	13,89	24,78	10,12	0	0
FEV	16,99	6,68	13,23	3,76	28,54	13,23	0	0
MAR	26,45	9,45	27,8	-1,35	27,19	27,8	0	0
AVR	22,7	12,35	45,42	-22,72	4,47	45,42	0	0
MAI	20,46	17,37	85,86	-65,4	0	24,93	60,93	0
JUI	19,1	22,28	128,55	-109,45	0	19,1	109,45	0
JUIL	10,38	25,81	165,03	-154,65	0	10,38	154,65	0
AOU	18,78	24,9	145,82	-127,04	0	18,78	127,04	0
Année	245,67	14,9	820,16	/	/	245,67	574,49	0

Tab. 29. Bilan d'eau selon la méthode de C. W. Thornthwaite/Station de Ain Khanga (1980÷ 2010).

Mois	P (mm)	T°C	ETP,c	P-ETP	RFU	ETR	Da	EXC
SEP	25,75	21,23	98,62	-72,86	0	25,75	72,86	0
OCT	15,82	16,77	63,03	-47,21	0	15,82	47,21	0
NOV	18,42	11,32	29,29	-10,86	0	18,42	10,86	0
DEC	15,98	6,96	12,4	3,58	3,58	12,4	0	0
JAN	15,02	6,12	10,78	4,24	7,83	10,78	0	0
FEV	13,6	7,24	13,88	-0,28	7,54	13,88	0	0
MAR	19,49	10,01	28,66	-9,16	0	27,04	1,62	0
AVR	22,42	12,91	46,5	-24,08	0	22,42	24,08	0
MAI	23,79	17,93	87,76	-63,97	0	23,79	63,97	0
JUI	19,32	22,84	131,72	-112,4	0	19,32	112,4	0
JUIL	8,92	26,37	169,55	-160,63	0	8,92	160,63	0
AOU	23,22	25,46	149,71	-126,5	0	23,22	126,5	0
Année	221,75	15,4	841,9	/	/	221,76	620,13	0

Tab. 30. Bilan d'eau selon la méthode de C. W. Thornthwaite/Station d'E'Zouaïria (1980÷ 2010).

mois	P (mm)	T°C	ETP,c	P-ETP	RFU	ETR	Da	EXC
SEP	25,45	20,66	96,3	-70,85	0	25,45	70,85	0
OCT	19,48	16,2	61,65	-42,17	0	19,48	42,17	0
NOV	21,84	10,75	28,51	-6,68	0	21,84	6,68	0
DEC	19,72	6,39	11,77	7,95	7,95	11,77	0	0
JAN	17,34	5,55	10,11	7,24	15,19	10,11	0	0
FEV	14,27	6,67	13,22	1,05	16,24	13,22	0	0
MAR	18,88	9,44	27,79	-8,91	7	27,79	0	0
AVR	20,13	12,34	45,4	-25,27	0	27,46	17,94	0
MAI	29,15	17,36	85,83	-56,68	0	29,15	56,68	0
JUI	17,21	22,27	128,49	-111,27	0	17,21	111,27	0
JUIL	10,13	25,8	164,94	-154,81	0	10,13	154,81	0
AOU	14,07	24,89	145,75	-131,68	0	14,07	131,68	0
Année	227,67	14,9	819,76	/	/	227,68	592,08	0

Tab.31. Bilan d'eau selon la méthode de C. W. Thornthwaite/Station d'Ouled M'hamed (1980 ÷ 2010).

III.8. 6 Interprétation du bilan hydrologique.

Le bilan hydrologique de la station d'El Ma El Abiod sur une période de 30ans (80/81-2010/2011) est représenté dans le *tableau 29* et *figure 28*. On montre qu'à l'échelle annuelle, la région d'étude est marquée par une évapotranspiration intense (100%) des précipitations avec un excédent nul.

A l'échelle moyenne mensuelle, le bassin d'El Ma El Abiod soumis à une grande période de sécheresse qui s'étend du mois d'Avril jusqu'au mois d'Octobre (7mois). Où la réserve commence à diminuer jusqu'à épuisement du stock, ce qui se traduit par un déficit agricole. C'est à partir du mois d'Octobre on observe que les réserves commencent à peine à se reconstituer dans le sol, sans atteindre le tiers de leur valeur maximum au mois de Janvier et demeure ainsi jusqu'au mois de Mars.

Généralement nous pouvons conclure que le bilan hydrologique dans le bassin d'El Ma El Abiod est déficitaire.

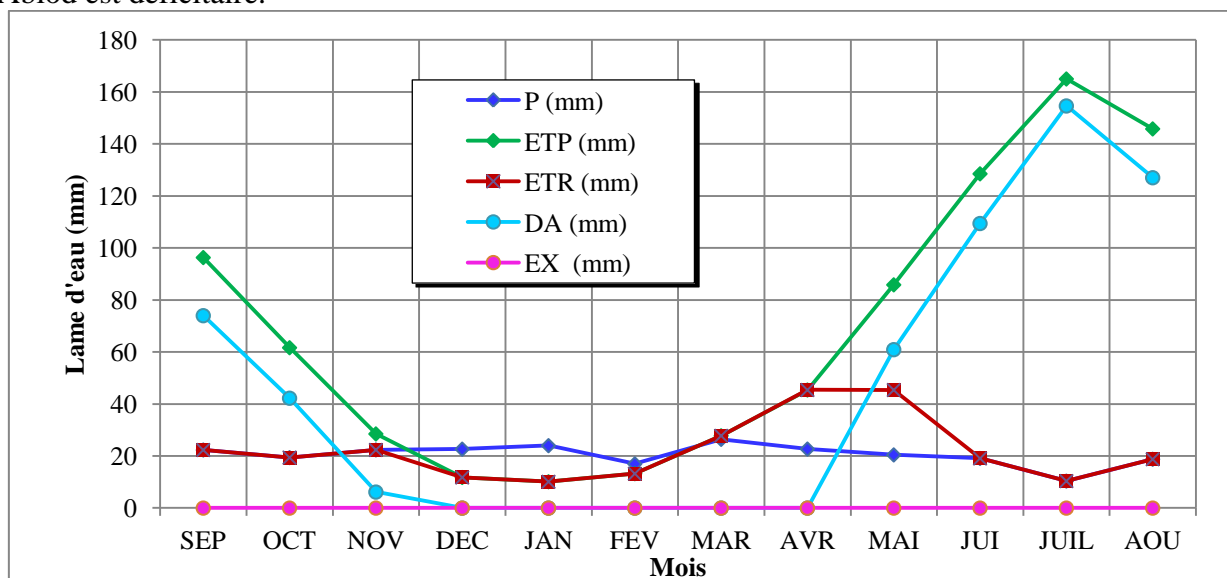


Fig. 28: Bilan hydrologique à la station d'El Khangua, par la méthode de Thornthwaite pour la période (1980/1981 - 2010/2011).

III.9- Répartition des précipitations

III.9- 1- Le ruissellement

Le ruissellement correspondant à la part des précipitations qui s'écoule directement sur le sol lors des précipitations. Il peut donc être connu d'une façon générale par analyse de l'hydrogramme d'un cours d'eau où à l'aide des méthodes empiriques qui donnent une valeur approchée (Tab 32). Parmi les méthodes empiriques on peut citer celle de *Tixeront* et *Berkaloff*. Ces auteurs ont établi une formule qui permet d'étudier le ruissellement moyen annuel. Cette formule tant qu'elle ne tient pas compte de la nature lithologique des terrains et l'influence de la perméabilité sur le ruissellement, elle reste toujours discutable. Elle s'écrit de la manière suivante :

$$R = \frac{P^3}{3ETP^2} \equiv m \quad ; \quad \text{Si } P < 600\text{mm}$$

R : Ruissellement (*m*).

P : Précipitation moyenne mensuelle (*m*).

ETP : Évaporation potentielle (*m*).

Station	Paramètre Précipitation (mm)	<i>ETP</i> (mm)	<i>R</i> (mm)	<i>R</i> moyen (mm)
<i>Ain Khangua</i>	245,67	820,15	7,35	6,05
<i>El Ma El Abiod</i>	232,37	844,13	5,87	
<i>E'Zouaïria</i>	221,77	841,88	5,41	
<i>Ouled M'hamed</i>	227,67	819,75	5,55	

Tab. 32. Estimation du ruissellement selon la méthode de *Tixeront-Berkaloff*/Bassin d'El Ma El Abiod.

III.9- 2- L'infiltration

On est appelé d'avoir recours à l'équation générale du bilan qui permettrait d'avoir d'admissibles approches du paramètre, puisque tous les composants de l'équation sont connus (Tab 33).

$$P = ETR + R + I \quad \text{D'où} \quad I = P - ETR - R \quad \text{Avec :}$$

I : Infiltration efficace moyenne annuelle (*mm*).

P : Précipitation moyenne annuelle (*mm*).

ETR : Évapotranspiration réelle annuelle (*mm*).

R : Ruissellement annuel (*mm*).

Station	Paramètre Précipitation (mm)	<i>ETR</i> (mm)	<i>R</i> (mm)	<i>I</i> (mm)
<i>Ain Khanga</i>	245,67	247,27	7,35	nulle
<i>El Ma El Abiod</i>	232,37	236,78	5,87	
<i>E'Zouaïria</i>	221,77	226,10	5,41	
<i>Ouled M'hamed</i>	227,67	229,44	5,55	

Tab. 33. Estimation de l'infiltration/Bassin d'El Ma El Abiod.

A partir aux résultats, on doit dire que l'infiltration est quasi-nulle dans la région, et donc les quantités d'eau précipitées sont reprises par le phénomène d'évapotranspiration, ce qui ne reflète guère la réalité.

Les chiffres restent donc constamment conservatifs et ne doivent pas toujours être pris pour témoins ou références, mais doivent être traités en tant que d'ordres de grandeurs.

Il est préférable de procéder à des prises de mesures, in situ même, tenant compte des divers faciès répartis à l'échelle du bassin versant, cependant et à défaut de moyens (tel un Lysimètre), toute tentative d'estimation de ce paramètre s'avère difficile.

Toutefois, une étude antérieure d'*A.Rouabhia* en 2006 menée sur le territoire du bassin, dans le but d'y déceler l'aptitude à l'infiltration, en vue d'une assistance relative à des programmes d'irrigation et de drainage, en utilisant le système infiltromètre, dans 12 sites jugés représentatifs.

Il a été conclu que l'infiltrabilité varie de 0,4 à 6cm/h. Elle est maximale au nord, où les sables et grès viennent en contact des bancs calcaires qui les alimentent, surtout lors des fontes de neiges.

Elle se voit à la baisse, en allant au centre où, elle devient faible à cause de la croûte calcaire constituant la surface du sol, qui est connu par une nudité préoccupante et une pente raide.

On a adopté une valeur moyenne, pour l'ensemble du bassin, égale à 10,4mm.

Conclusion

La plaine d'El Ma El Abiod possède un climat méditerranéen de type semi-aride, avec un hiver froid et peu pluvieux, et un été chaud et sec, influencé par des facteurs géographiques (éloignement de la mer, altitude et orientation des reliefs).

Ce chapitre a fait l'objet d'une analyse des divers facteurs climatologiques, les mesures présentent la période (80/81-2010/2011), L'examen des précipitations moyennes dans la région d'étude sont de l'ordre 234.4mm/an. Et la température moyenne qui y règne est de 15.16 °C.

Le bilan d'eau dans son ensemble est déficitaire ; L'évapotranspiration réelle calculée est de l'ordre de 234.9 mm/an, mobilisant 100% de la précipitation moyenne. Le ruissellement ne représente que 6mm des précipitations, avec une infiltration insignifiante.

Le bassin d'El Ma El Abiod est soumis à une longue période de sécheresse (7 mois), Ceci laisse penser que l'alimentation de la nappe ne se fait pas exclusivement à l'aide de l'infiltration efficace, mais aussi sur les calcaires fissurés qui bordent la nappe.

Hydrogéologie

IV – LES DIFFÉRENTES NAPPES AQUIFÈRES

IV.1- Introduction

La plaine d'El Ma El Abiod se présente comme une cuvette dont le substratum crétacé, calcaireux et marneux, surmonté par une couverture Mio-Pliocène. Le matériel qui constitue le système aquifère est venu prendre place, selon une extension lithologique hétérogène, horizontale et verticale. Suivant un ordre ascendant, on rencontre des Marnes, des Calcaires localisés, sur lesquels viennent se superposer les Grès et les Sables.

Au Nord-est de la plaine, on observe l'affleurement des Sables, celui des Argiles limoneuses, au centre, alors qu'aux bordures nord et sud, il s'agit de galets et Gravier calcaires. Ces derniers plongent vers le centre et deviennent enveloppés par le remplissage Quaternaire.

IV.2 - Structure du système

L'étude de la structure géologique et hydrogéologique du bassin d'El Ma El Abiod permet de distinguer deux grands ensembles aquifères qui sont :

- ✓ le premier, peu profond, contenu dans des formations alluviales récentes (Sables, Cailloutis et Argiles remaniées), sur une importante étendue, mais de faible puissance.
- ✓ Le second, localisé dans les formations miocènes (Gravier, Sable et Grès), se rencontre à des profondeurs plus importantes que la précédente.

IV.2. 1- La nappe alluviale

Elle est localisée aux bordures de la plaine, sur une extension de faible importance hydrogéologique. Cette dernière est constituée de matériel récent et actuel, surtout des alluvions qui ont une faible épaisseur au Nord par rapport au Sud où elle atteint un maximum de 15m.

Par rapport aux formations constituant la nappe Miocène, la présence de la nappe alluviale est négligeable, mais de par sa situation, elle participe probablement à l'alimentation de cette dernière par pénétration en profondeur (surtout que, la nature du substratum et la lithologie de son matériel favorisent le phénomène de drainance).

IV.2. 1- 1- Exploitation de la nappe

La sollicitation de la nappe, qui se qualifie d'ailleurs de libre, remonte à plusieurs décennies, où l'on remarque l'implantation de nombreux ouvrages de captage, dont la productivité est de faible débit. Plusieurs d'entre eux sont actuellement stériles. Les autres, s'alimentent des fontes de neige où la nappe affleure, mais il leur arrive de se tarir souvent, en période d'étiage, suite aux fortes fluctuations du niveau piézométrique (sécheresse).

IV.2. 2 – La nappe du Miocène

Engendrée par l'ensemble des cassures qu'a subi l'écorce, au Mio-Quaternaire, qui ont facilité le remplissage continental du fossé d'effondrement de la plaine d'El Ma El Abiod, qui vient en transgression sur les formations antérieures de l'âge Crétacé. Ceci est à l'origine de la structure actuelle de la nappe.

Son existence n'a été prouvée que très ultérieurement (1971), suite à une campagne de mesures géophysiques, lancée par les services de géophysique. Elle a été localisée dans le périmètre entouré par l'ensemble des failles qui a affecté la région. La présence d'horizons sableux, de part et d'autre de ces dernières, a prêté à confusion quant à l'existence d'eau, mais en

vain, puisque la série de sondages entreprise dans les lieux équivoques s'est avérée non fructueuse.

C'est une nappe libre, dans son ensemble, mais elle est devenue légèrement captive tout à fait à l'Est (*forage AT₁*). Selon le nombre de forages, qui y puisent, et leurs logs, nous pouvons considérer qu'elle a une bonne épaisseur et sur une grande ampleur (*Fig. 29, 31*) et (*Tab. 34*).

Ouvrage	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇	M ₈	M ₉	M ₁₀	M ₁₂	AT ₁
Épaisseur des formations quaternaires (m)	/	2,5	11	09	13	30	/	12	05	/	7,3	10
Épaisseur des formations miocènes (m)	125	86	122	155	143	/	212	203	40	152	36	100
Épaisseur des formations calcaires (m)	/	21	67	06	40	06	/	3	/	/	/	/
Hauteur saturée (m)	91	75	111	136	135	14	172	166	31	37	38	100
Profondeur en (m)	125	110	200	179	213	100	212	218	150	152	45,7	164

Tab.34 Épaisseur des diverses formations dans différents ouvrages de captage (ANRH).

IV.2. 2 –1- Extension et alimentation de la nappe

Après consultation des logs de forages qui y sont réalisés, on peut dire que la répartition de l'épaisseur dans l'espace n'est pas homogène. Elle est plus importante à l'Ouest qu'à l'Est et au Nord qu'au Sud. En effet, du côté occidental de la plaine, elle atteint une moyenne de 180m (M₃, M₈, M₄...M₇), alors que du côté oriental, elle est moins puissante ; autour des 100m (AT₁), et commence à perdre de son épaisseur 36m (M₁₂), pour s'annuler en face de la faille F₁, qui met fin à son extension.

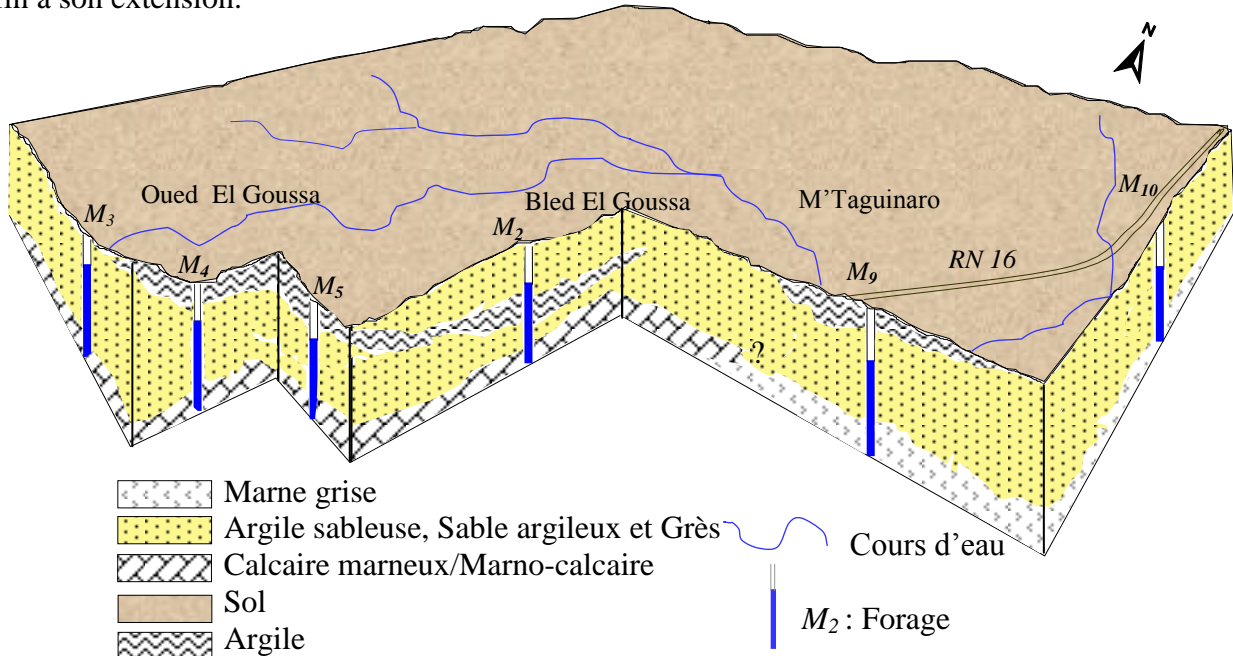


Fig. 29. Structures géologique et hydrogéologique du système aquifère du bassin d' d'El Ma El Abiod. - In Rouabhia 2006-

La diminution commence à se faire sentir, progressivement, en allant, aussi vers le Sud, puisqu'elle décroît jusqu'aux trentaines de mètres, au centre (M₉) ; suite au soulèvement des Marnes Emscheriennes et finit par disparaître à partir du forage M₆, là où, on rencontre plutôt les formations Quaternaires, qui viennent directement en discordance sur les Calcaires ou les marnes.

Comme avancé précédemment, la bordure nord représente une source d'alimentation en eau, de la nappe, d'une manière indirecte, sauf du côté Nord-Est, où le front Sables-Calcaires de l'Aptiens favorise le phénomène.

Ce qui renforce cette théorie, c'est la présence de fissures et de diaclases dans ces Calcaires ; prouvée par la colonne stratigraphique du sondage 509-09, ainsi que le débit extrait, environ 20l/s (ANRH).

Du côté de Bekkaria, au contact des Grès avec ces Calcaires, émergeait une source qui est actuellement tarie (Ain Bekkaria), qui débitait à une moyenne de 20l/s, ce qui représente un indice de bonne perméabilité des formations Calcaires. La nappe affleure aux environs de Houdjbet, où elle alimente les sources le long du talus gréseux.

IV.2. 2 –2- Structure et intérêt des formations calcaires et gréseuses

Dans le bassin d'El Ma El Abiod, les Calcaires se trouvent dispersés, d'une manière irrégulière. Mis à part quelques points au Nord, leur intérêt hydraulique et hydrogéologique n'est pas important, malgré qu'il se trouve alimenté par la nappe alluviale, où ils sont fissurés (cassures conchoïdales colmatées par la calcite).

D'ailleurs nous notons que l'ensemble des ouvrages de la région amont sont abandonnée.

Les formations des calcaires et des grès disparaissent à l'Est et affleurent au Sud, à Oglet Chaâchaa (alimentés par les Grès Miocènes), où elles été exploitées par cinq puits actuellement à sec (Fig. 30).



Fig.30 Puits traditionnelle à sec au niveau de Chaâchaa/ Bassin d'El Ma El Abiod (Y.Lekrine 2013)

Pour ce qui est des horizons gréseux, il s'avère, selon les logs de forages, qu'ils se trouvent séparé des sables par des niveaux argileux. Sous forme de lentilles, ces derniers se font remarqués au centre et au sud, avec des épaisseurs relativement faibles, et disparaissent vers l'Ouest. De par cette répartition variable et discontinue, la continuité hydraulique de la nappe Miocène, qui forme, un aquifère entier.

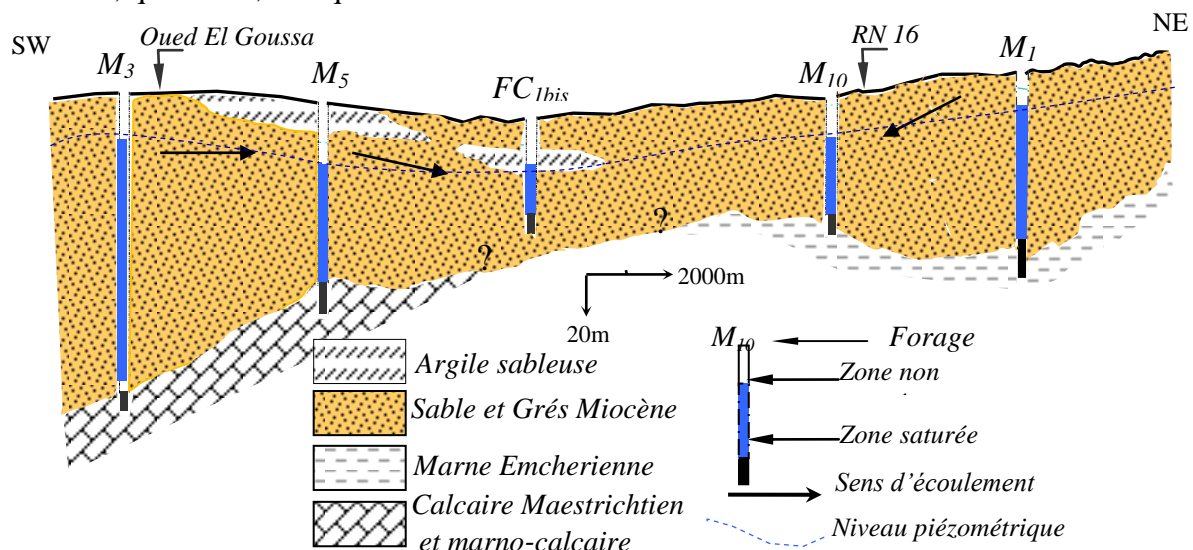
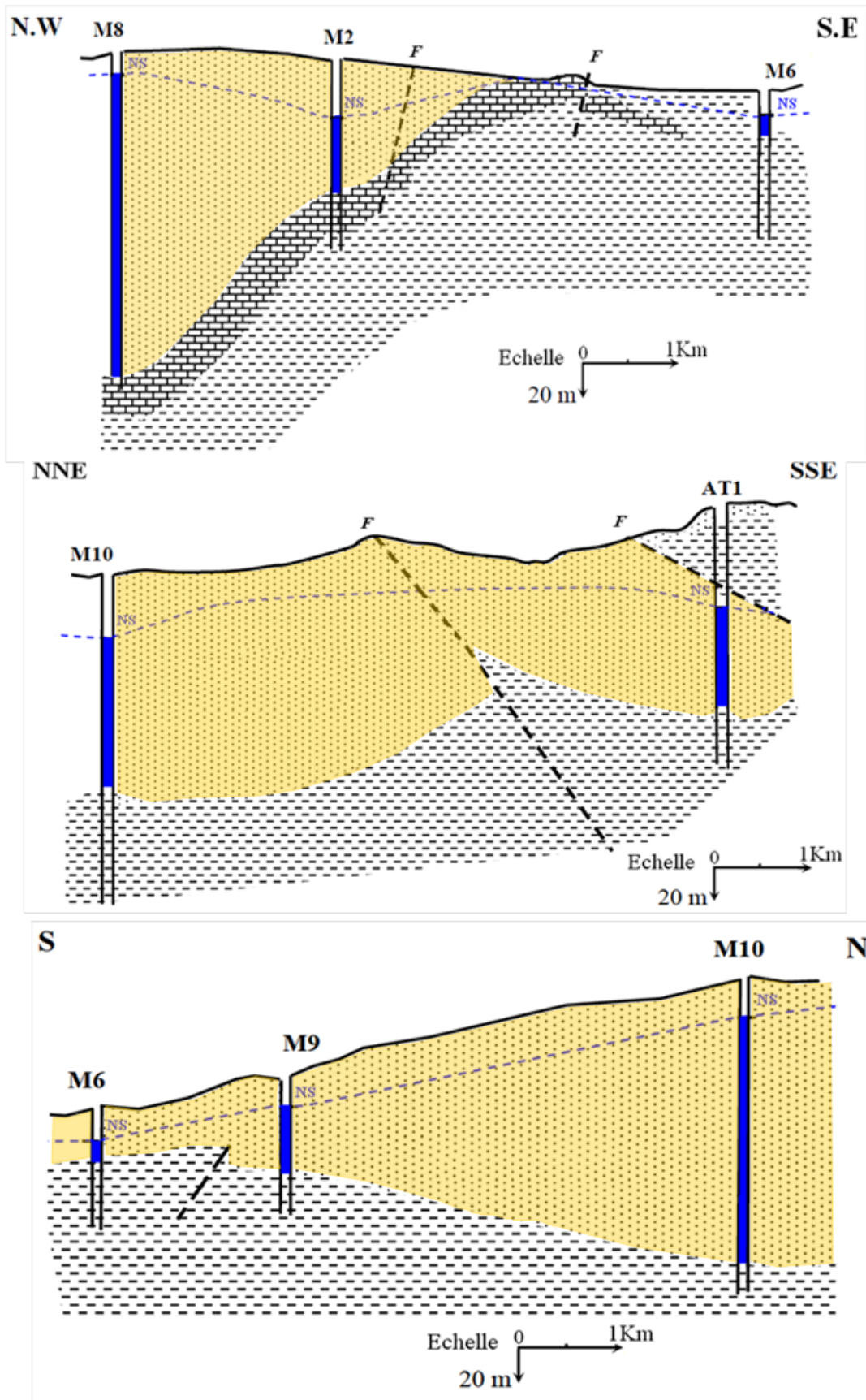


Fig. 31. Profil hydrogéologique passant par les forages M_3 , M_5 , FC_{1bis} , M_{10} et M_1 .
- In Djebari 2011-



➡ Même échelle.

**Fig. 32 - Coupes hydrogéologiques à travers la plaine d'El Ma El Abiod
- In Rouabhia 2006-**

IV.3. Apports du système et conditions aux limites

D'après les caractéristiques hydrauliques et hydrodynamiques ainsi que du contexte hydrogéologique régional, l'étude du comportement du système aquifère de la région d'El Ma El Abiod montre :

- ✓ Une limite d'apport :
 - ❖ La bordure Nord, matérialisée par les formations calcaires qui alimentent la nappe alluviale, suite à leur pendage orienté vers la plaine, et celle du Miocène, du côté de Hadjer Safra surtout ; où ils constituent une zone perméable (Fig. 33).
 - ❖ La bordure Sud-Sud-ouest, constituée par une série de calcaires et de marno-calcaires, du Maestrichtien.
- ✓ Une zone de transition, au contact des deux nappes, que le système de failles favorise vers celle du Miocène.
- ✓ Une alimentation de la nappe Miocène par un drainage descendant, favorisé par le substratum, des eaux d'infiltration en aval de la nappe alluviale, avec l'écoulement qui se fait du Nord vers le Sud.
- ✓ Une limite imperméable, à la bordure sud-ouest, constituée de marnes du Campanien inférieur, empêchant les eaux d'infiltration de pénétrer en profondeur mais favorisant un ruissellement vers l'intérieur de la nappe.

On note que les précipitations efficaces constituent principalement la première source d'alimentation du système aquifère qui permet une limite imposée, en aval de la plaine, vers l'Oued El Ma El Abiod.

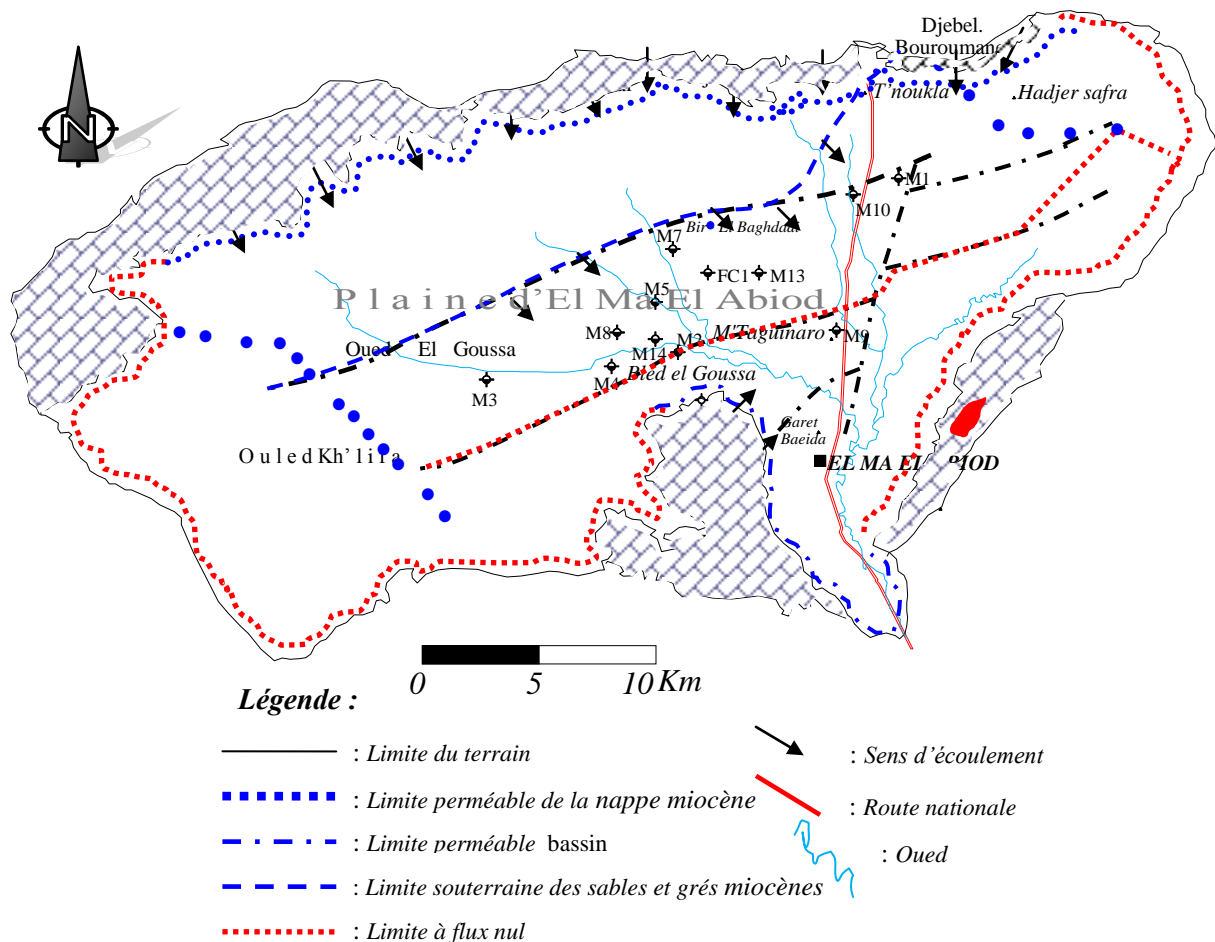


Fig. 33. Carte des conditions aux limites du système aquifère du bassin d'El Ma El Abiod.
- In Rouabhia 2001 -

IV.4. Essais de Pompage :

Pour étudier expérimentalement l'évolution des caractéristiques de la nappe miocène d'El Ma El Abiod, nous avons utilisé les résultats des essais définitifs des forages captant la nappe des sables et des grès, qui ont été déjà exécutés par la Direction de l'Hydraulique de Tébessa (DHW). Leur interprétation graphique est basée sur l'expression de C.E Jacob (1950) étendue aux nappes libres. Les rabattements enregistrés sont soit ; $s < 0,1b$ ou bien : $1b < s < 0,3b$.

IV.4. 1- Forage M_8 bis :

Il est situé à l'ouest de la ville d'El Ma El Abiod, il alimente la ville de Tébessa. L'essai de pompage est réalisé à la fin de l'année 2006.

- Coordonnées Lambert du forage : X = 990.890, Y= 229.785, Z= 1072.
- Débit de pompage 35 l/s = 0.035 m³/s.
- Niveau statique 37.40 m,
- La durée de pompage est de 48 heures.

a. Courbe de Descente Fig. N°34.1 :

Les résultats sont représentés sur la figure N°36.1, qui représente la droite rabattement/logarithmes des temps de pompage. Avec un alignement bien défini puisque la nappe aquifère est libre, le rabattement enregistré au cours de l'essai de pompage est faible de l'ordre de $s < 0.1b$.

Selon l'approximation de C. Jacob, mentionnée ci-dessus. La valeur de la transmissivité est de :

$$T_D = \frac{0.183 \times Q}{C} \quad \text{Avec} \quad C = 35 \text{ l/s} = 0.035 \text{ m}^3/\text{s}. \quad C = 0.15 \text{ m.}$$

$$T_D = \frac{0.183 \times 0.035}{0.15} \quad T_D = 4.27 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

T_D : Transmissivité en m²/s.

Q : Débit en m³/s.

C : La Pente de la courbe.

b. Courbe de Remontée Fig N°34.2 :

La droite représentative de la remontée permet de calculer la transmissivité T_R , avec une pente $C = 0.3$ m. et qui est de l'ordre de :

$$T_R = \frac{0.183 \times Q}{C} \quad \text{Avec} \quad C = 35 \text{ l/s} = 0.035 \text{ m}^3/\text{s}. \quad C = 0.3 \text{ m.}$$

$$T_R = \frac{0.183 \times 0.035}{0.3} \quad T_R = 2.13 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s.}$$

La valeur de la transmissivité moyenne à retenir c'est celle donnée par la moyenne arithmétique :

$$T_{moy} = (T_D + T_R)/2 \quad T_{moy} = 3.20 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

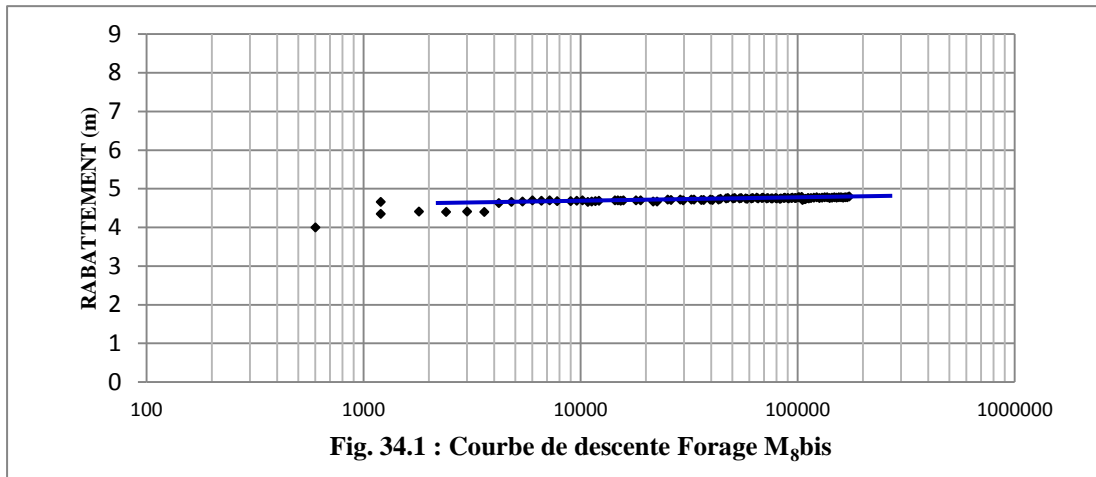


Fig. 34.1 : Courbe de descente Forage M₈bis

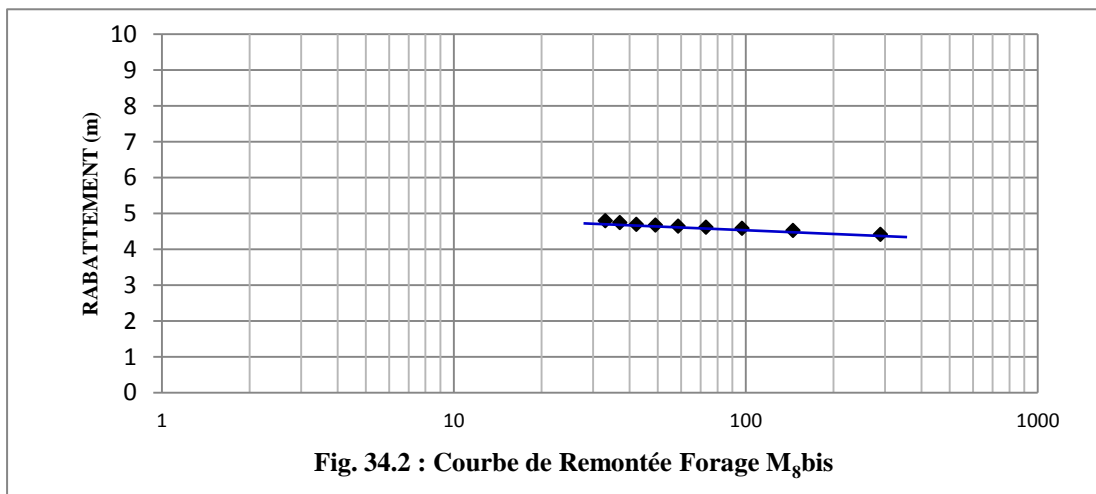


Fig. 34.2 : Courbe de Remontée Forage M₈bis

IV.4. 2- Le Forage M₁₃bis

Il est situé au Nord-ouest de la ville d’El Ma El Abiod, Ce forage a été réalisé pour le renforcement de l’AEP de la région. L’essai de pompage est réalisé à la fin de l’année 2007.

- Coordonnées Lambert du forage : X = 995.350 Y= 231.664 Z= 1080
- Débit de pompage 40 l/s = 0.040 m³/s.
- Niveau statique 38.30 m,
- La durée de pompage est de 48 heures.

a. Courbe de Descente Fig. N°35.1 :

Les résultats sont montrés sur la figure N°37.1, qui révèle la droite rabattement/logarithmes des temps de pompage. Avec un alignement bien défini car la nappe aquifère est libre, le rabattement enregistré au cours de l’essai de pompage sont faible de l’ordre de s<0.1b.

Selon l’approximation de C. Jacob, mentionnée ci-dessus. La valeur de la transmissivité est de :

$$T_D = \frac{0.183 \times Q}{C} \quad \text{Avec} \quad C = 40\text{l/s} = 0.040\text{m}^3/\text{s}. \quad C = 0.66 \text{ m.}$$

$$T_D = \frac{0.183 \times 0.040}{0.66} \quad T_D = 1.11 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

T_D : Transmissivité en m²/s. Q : Débit en m³/s. C : La Pente de la courbe.

b. Courbe de Remontée Fig. N°35.2 :

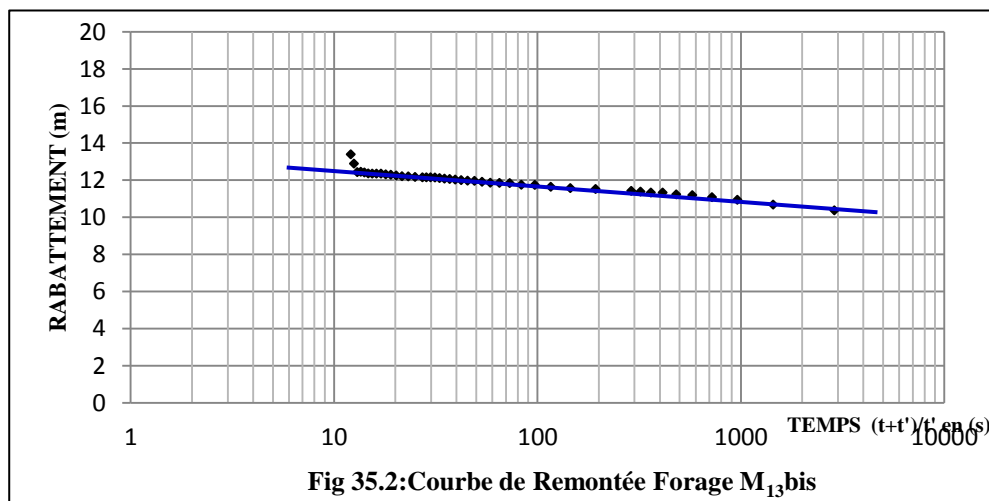
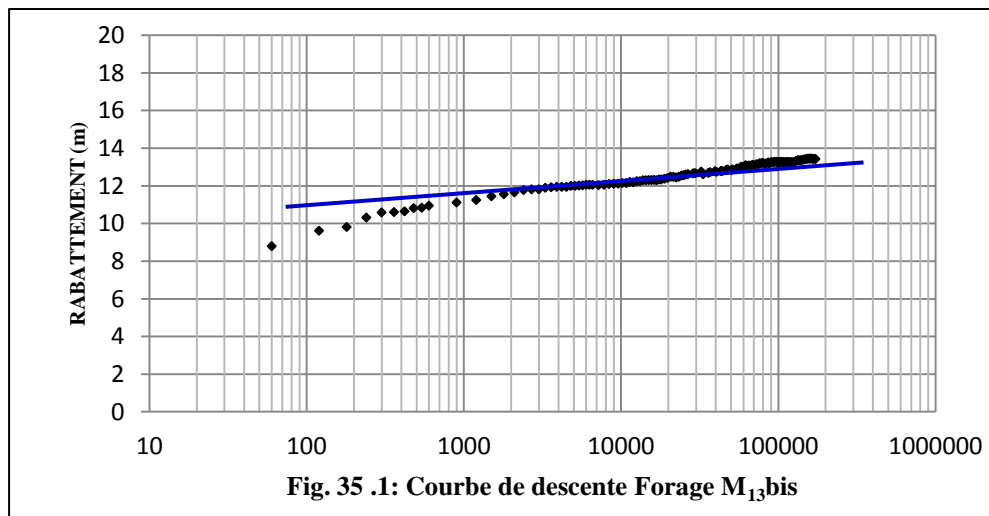
La droite représentative de la remontée (fig. N°37.2) permet de calculer la transmissivité T_R , avec une pente $C=0.3$ m.est qui est de l'ordre de :

$$T_R = \frac{0.183 \times Q}{C} \quad \text{Avec} \quad C = 40\text{l/s} = 0.040\text{m}^3/\text{s}. \quad C = 0.8 \text{ m.}$$

$$T_R = \frac{0.183 \times 0.040}{0.8} \quad T_R = 0.915 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

La valeur de la transmissivité moyenne à retenir c'est celle donnée par la moyenne arithmétique :

$$T_{moy} = (T_D + T_R)/2 \quad T_{moy} = 1.012 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}.$$



IV.4.3 Estimation et répartition des paramètres hydrodynamiques

La compréhension du comportement général de tout système aquifère est un apport important pour une quelconque étude en la matière. Cette dernière est tributaire de tant de paramètres, entre autres ; la perméabilité, la transmissivité...etc.

Les valeurs de perméabilité et celles de transmissivité moyennes, qui y sont déduites (Tab. 35).

Ouvrage	Coordonnées			Perméabilité K (m/s)	Transmissivité T (m^2/s)
	X (km)	Y (km)	Z (m)		
M_1	1000.525	235.000	1090	$1,46.10^{-4}$	$1,33.10^{-2}$
M_2	992.975	229.070	1075	$1,72.10^{-4}$	$1,15.10^{-2}$
M_3	986.425	228.475	1100	$3,42.10^{-4}$	$2,88.10^{-2}$
M_4	990.700	228.625	1080	$0,51.10^{-4}$	$0,70.10^{-2}$
M_5	992.190	230.780	1075	$0,56.10^{-4}$	$0,76.10^{-2}$
M_7	992.780	232.600	1080	$0,37.10^{-4}$	$0,70.10^{-2}$
M_8	990.890	229.785	1072	$0,27.10^{-4}$	$0,50.10^{-2}$
M_9	998.400	229.850	1048	$0,50.10^{-4}$	$0,95.10^{-2}$
M_{10}	998.975	234.450	1085	$1,03.10^{-4}$	$1,33.10^{-2}$
M_{13}	995.350	231.864	1080	$0,62.10^{-4}$	$1,01.10^{-2}$
M_{14}	992.200	229.550	1072	$0,88.10^{-4}$	$1,76.10^{-2}$
FC_1 bis	994.000	231.800	1085	$0,56.10^{-4}$	$0,44.10^{-2}$

Tab.35. Valeurs de perméabilité et de transmissivité des forages

(Source ANRH)

IV.4. 3-1- Répartition spatiale de la Perméabilité

L'ensemble de valeurs obtenues est utilisé dans la représentation cartographique suivante. (Fig.36).

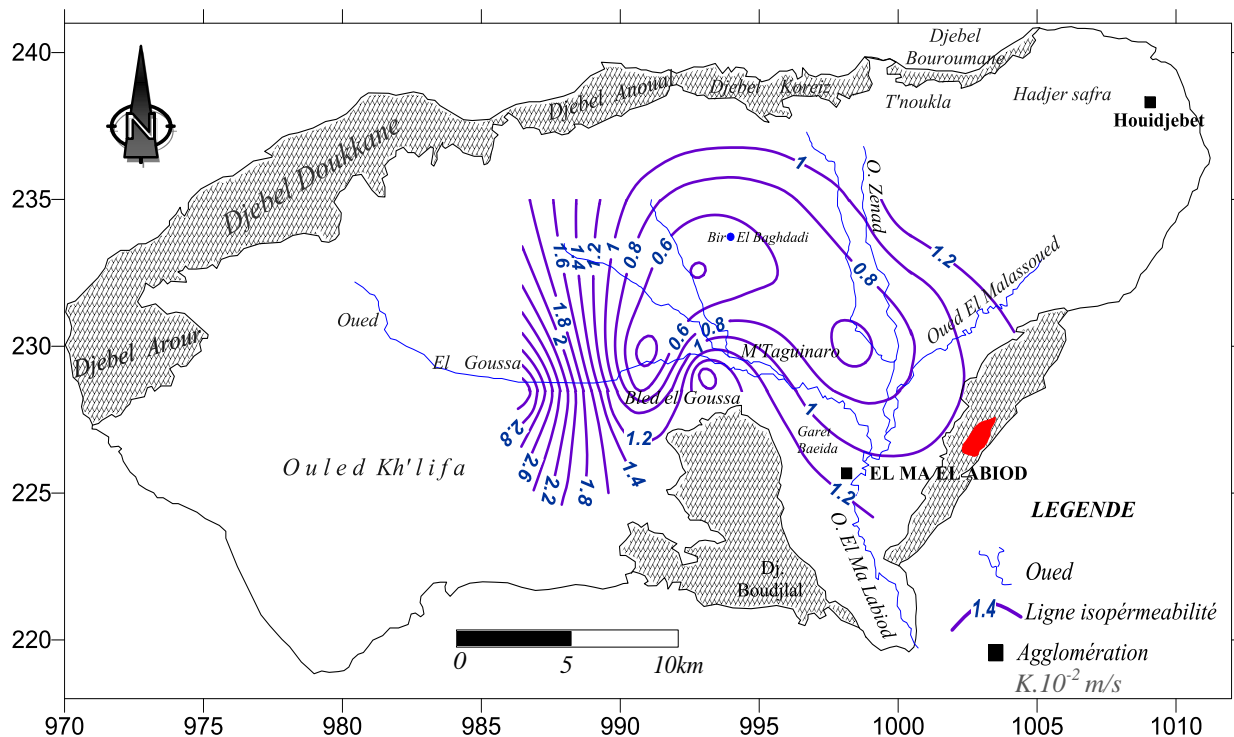


Fig.36 Carte de Perméabilité/Bassin d'El Ma El Abiod.

L'analyse de cette carte permet de montrer le comportement du système aquifère, du point de vue perméabilité, ou l'on remarque qu'il existe deux zones importantes :

- La première dans la partie Ouest (*El Goussa*), avec des valeurs qui y sont comprises entre $0,27.10^{-4}$ à $3,42.10^{-4}$ m/s.
- la deuxième dans la partie l'Est (*Draâ El Herakel*), où ses valeurs oscillent de $1,03.10^{-4}$ et $1,46.10^{-4}$ m/s. Alors que au centre et au Nord du bassin, Elle est moins importante puisque les mesures enregistrées de perméabilité n'excèdent pas $0,50.10^{-4}$ m/s.

IV.4. 3-2- Répartition spatiale de la Transmissivité

On a procédé à l'établissement de cette carte pour mieux comprendre la répartition de ce paramètre sur l'ensemble du bassin (Fig.37).

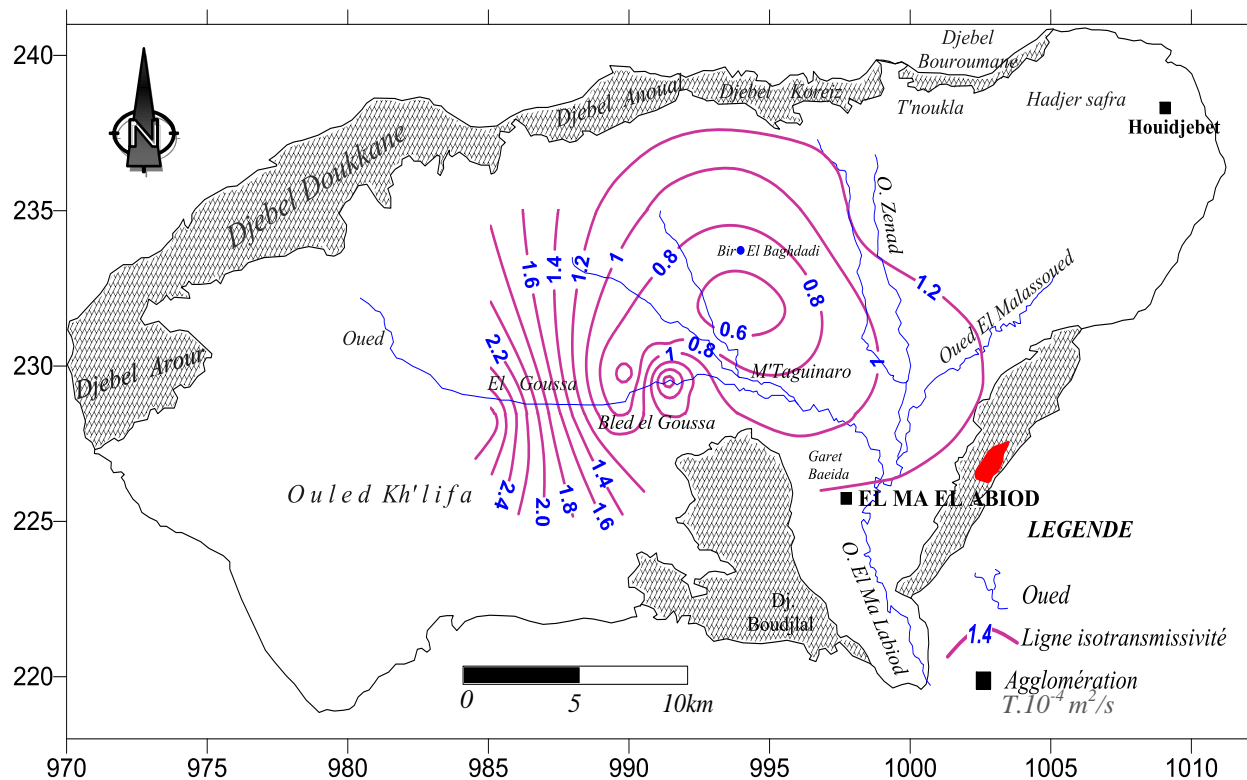


Fig.37 Carte de Transmissivité /Bassin d'El Ma El Abiod.

L'interprétation de la carte de transmissivité (figure 34) montre trois zones distinctes :

- La zone Ouest (*Bled El Goussa*) : Elle se caractérise par des valeurs de transmissivité importantes, on a enregistré des valeurs qui oscillent entre $0,5.10^{-2}$ et $2,88.10^{-2} m^2/s$.
- La zone Est (*Draâ El Herakel*) : Elles deviennent légèrement inférieures là où on a pu relever que ce paramètre varie de $1,20.10^{-2}$ à $1,33.10^{-2} m^2/s$.
- La zone Nord et Nord-Ouest : Elles connaissent une faible transmissivité avec des valeurs comprises entre $0,44.10^{-2}$ et $0,70.10^{-2} m^2/s$.

IV.4. 3-3- Synthèse des deux cartes (Transmissivité / Perméabilité)

L'analyse et la projection des deux cartes permettent de conclure que l'Ouest du bassin est la zone la plus favorable en matière d'intérêt hydraulique (*Bled El Goussa*), et que toute implantation d'ouvrages de captage doit être prioritaire. Alors que la zone orientale (*Draâ El Herakel*), n'est pas pour autant à négliger, mais à un degré moindre par rapport à Bled El Goussa prédécesseur, ainsi que le périmètre immédiat de Bir El Baghdadi.

IV.5. Piézométrie

La mesure de niveau des eaux souterraines, est effectuée à l'aide d'une sonde dont le capteur est réactif à la conductivité de l'eau. Lorsque la sonde atteint le niveau de l'interface air/eau, un contact électrique est établi entre deux tiges métalliques, déclenchant un signal sonore et lumineux.

IV.5.1 Évolution de la Piézométrie:

L'objectif principal de l'étude de l'évolution de la piézométrie dans le temps, est de visualiser la direction générale de l'écoulement horizontal et éventuellement vertical (drainance), ainsi que la profondeur du niveau piézométrique, tandis que dans l'espace ; est de comparer cette évolution d'un système aquifère par rapport à l'autre. En effet, les eaux souterraines sont le moyen de transport de toute substance minérale ou organique, c'est d'après l'écoulement qu'on peut reconnaître les zones vulnérables ou contaminées.

IV.5.2 Dans le temps et dans l'espace:

Le suivi des trois piézomètres installés au niveau de la région d'El Ma El Abiod (**P1.P2.P3**), illustre l'évolution de la profondeur du plan d'eau dans le temps et dans l'espace, à l'issue des observations effectuées par les services de l'ANRH de Tébessa, enregistrée durant presque six 06 ans.

D'après les calculs qu'on a faits, on obtient les figures suivantes :

- Pour le **piézomètre N°1** qui se situe dans l'Est de la région d'étude, il montre un rabattement de forte fluctuation de niveau piézométrique de l'ordre de 5.8 mètres pendant 6 années d'observation, se qui traduit d'une part par l'exploitation intensive de la nappe pour l'irrigation, avec également une irrégularité des précipitations et de forte évaporation par les forages illicites (Fig.38),

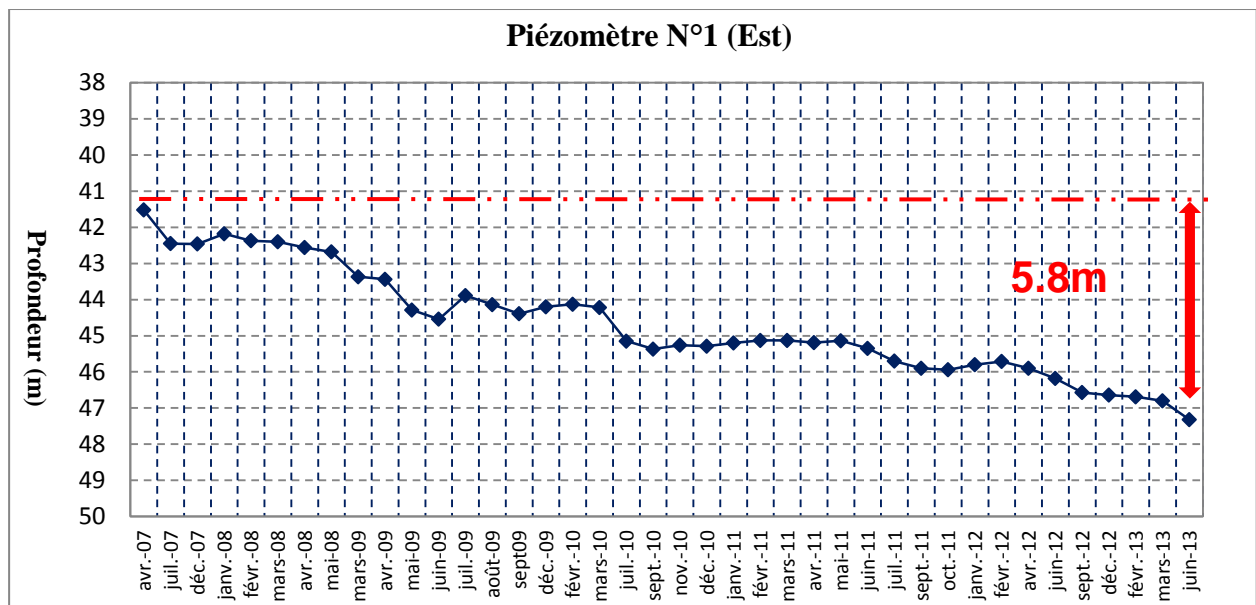


Fig.38: Evolution de la profondeur du plan d'eau dans le piézomètre N°1 /Bassin d'El Ma El Abiod.

- Pour le **piézomètre N°2** qui se localise au centre de la plaine d'El Ma El Abiod, il est plus profond que le premier, il montre un rabattement assez fort de niveau piézométrique de l'ordre de 4 mètres pendant 5 années d'observation ; se qui a révélé la surexploitation de la nappe pour l'irrigation par les nombreuses forages, avec également une irrégularité des précipitations et la forte évapotranspiration (Fig.39),

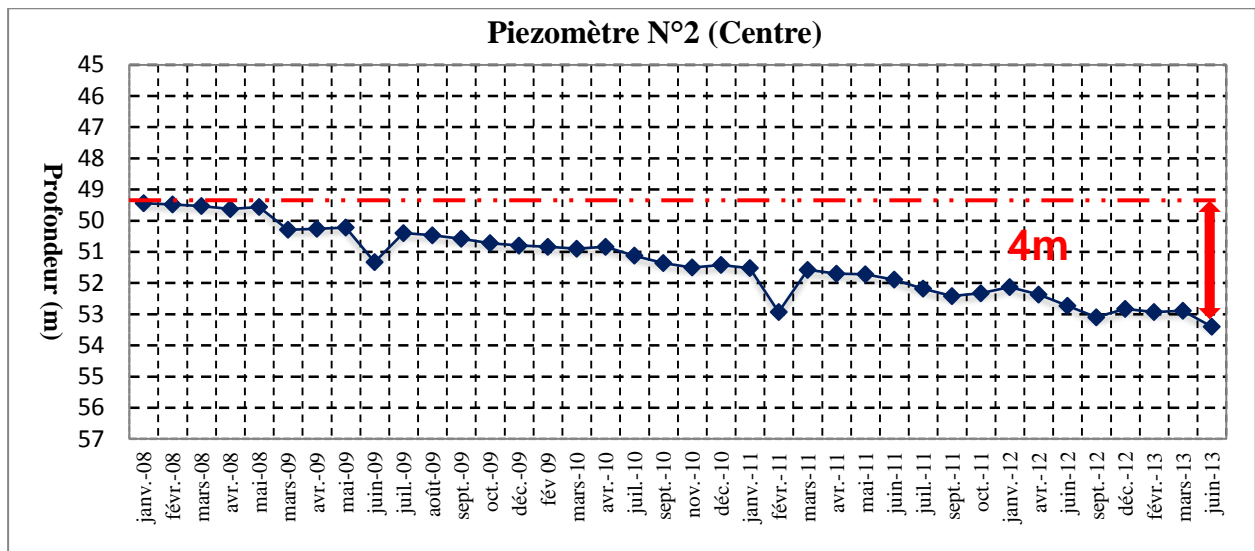


Fig.39: Evolution de la profondeur du plan d'eau dans le piézomètre N°2 /Bassin d'El Ma El Abiod.

- Pour le *piézomètre N°3* qui s'installe à l'Ouest de la plaine d'El Ma El Abiod où on a trouvé la majorité des forages étatiques, ce piézomètre n'est pas profond comme les deux premiers, mais il montre un fort rabattement de niveau piézométrique qui est de l'ordre de 5.6 mètres pendant 6 années d'observation (Fig.40).

Les fluctuations saisonnières de la surface piézométrique dans les trois piézomètres caractérisées par une baisse durant la période des basses eaux sous l'effet de l'évaporation et la surexploitation, et une remontée faible pendant la période de hautes eaux, suite à la recharge de la nappe. Cette diminution est due principalement à la baisse des précipitations des dernières décennies et à la forte exploitation. Ce déséquilibre a conduit à un rabattement de la nappe miocène de 4 à 6 m.

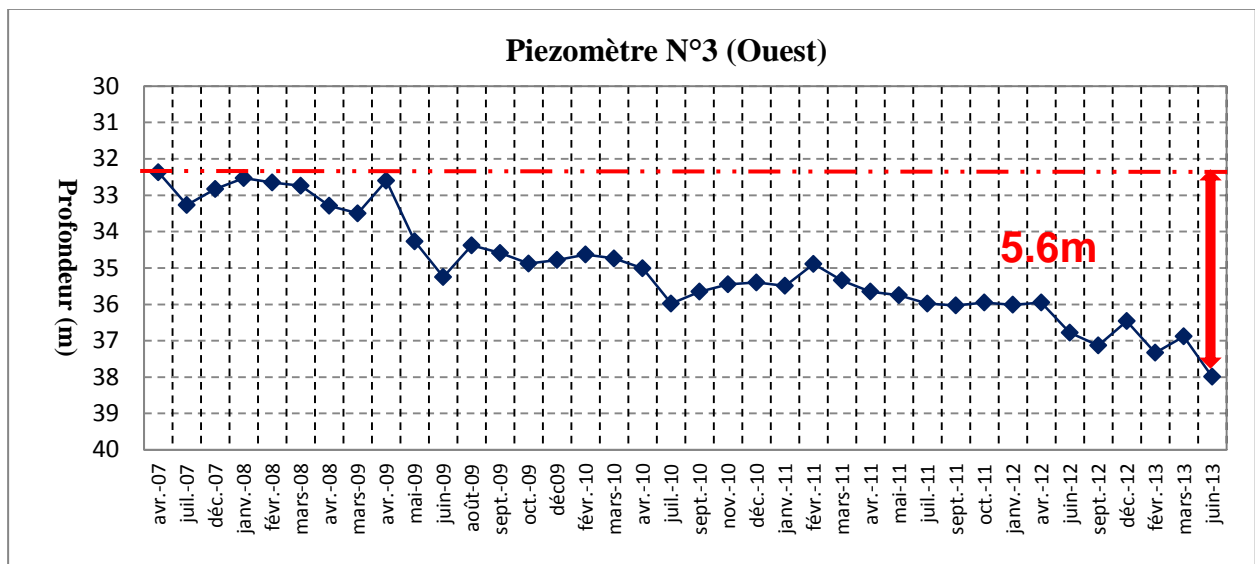


Fig.40: Evolution de la profondeur du plan d'eau dans le piézomètre N°3 /Bassin d'El Ma El Abiod.

IV.5. 3 - Etablissement des cartes piézométriques:

La connaissance de l'état piézométrique par l'établissement des cartes, est d'une grande importance dans le cadre de la présente étude, mais le temps et les moyens qui doivent être mis à bords, sont d'une importance considérable, c'est pour cette raison nous avons effectué deux

campagnes dans deux périodes différentes, basses eaux et hautes eaux (avril et septembre 2013), pour différencier les périodes d'alimentation et de sécheresse.

IV.5.4 - Inventaire des points d'eau :

Le bassin d'El Ma El Abiod compte une centaine d'ouvrages (puits et forages), le choix de réseau de mesure a permis de sélectionner une cinquantaine de puits répartis sur toute la surface de la plaine. Ces forages captent la nappe miocène, Elles servent à l'irrigation et à l'alimentation en eau potable (Fig.41).

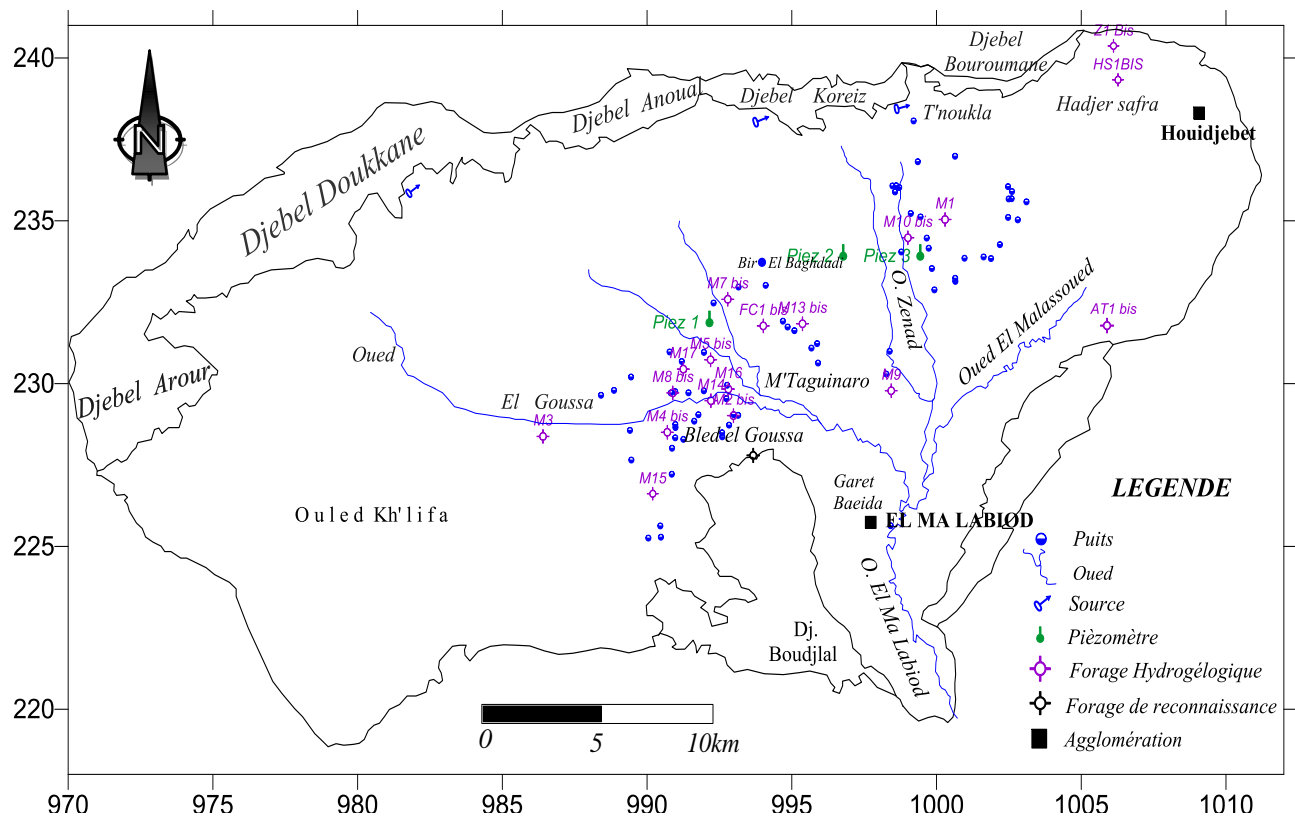


Fig.41 Carte des Points d'eau/Bassin d'El Ma El Abiod.

IV.5.5 - Carte piézométrique. Avril 2013.

La carte piézométrique de la période des hautes eaux (avril 2013) montre un écoulement convergent vers le Sud (l'exutoire) (Fig.42.1), on peut distinguer trois zones d'écoulement souterrain :

- La zone Est présente des courbes isopièzes serrées ce qui indique un écoulement rapide, provoqué par la surexploitation, le gradient hydraulique qui oscille de 0,0016 à 0,0028. Les forages exécutés dans cette zone ont donné des débits importants, où la productivité atteint les 30l/s (cas de forage M_1).

- La zone Nord où l'écoulement est plus important, le gradient est de l'ordre de 0,0028, les forages implantés à cet endroit dessinent un rabattement de la surface piézométrique suite à une surexploitation de la nappe pour l'irrigation (cas de forage M_{10}).

- La zone Ouest caractérisée par un écoulement faible par rapport à ceux du Nord et de l'Est. Le gradient est de l'ordre de 0,0016 à 0,0022. Dans cette partie, les courbes isopièzes convergent vers l'Oued El Goussa.

Le sens de l'écoulement se fait généralement vers le Sud pour les trois zones, la profondeur du plan d'eau est grand au nord de la plaine et faible au sud et au centre, elle est caractérisée par une exploitation intensive.

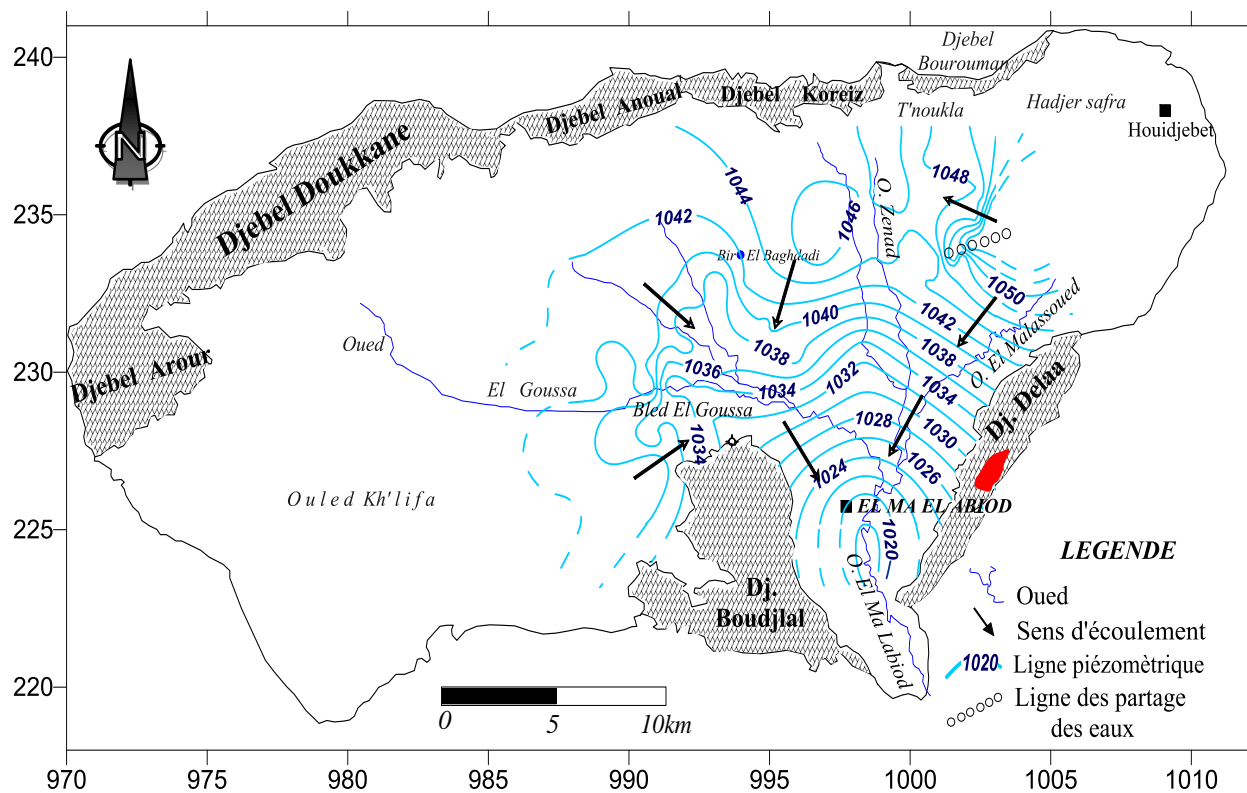


Fig.42.1 Carte piézométrique d'Avril 2013/Bassin d'El Ma El Abiod.

IV.5.6 - Carte piézométrique Septembre 2013

L'analyse de cette carte révèle presque la même forme piézométrique que celle décrite pour la carte de la période d'avril 2013, ceci s'explique par un décalage entre les deux périodes et est traduit par la recharge de la nappe (Fig.42.2).

Sur cette carte l'écoulement se fait suivant un axe général Nord-Sud, qui regroupe les écoulements des zones Sud-ouest, Nord et Nord-est. L'écoulement au centre et au sud est lent, le gradient calculé est de l'ordre de 0,024.

L'état piézométrique présenté traduit les caractéristiques des périodes de basses eaux, notamment en ce qui concerne l'alimentation par les bordures.

Les lignes de courant convergent vers le centre du bassin, pour suivre un sens d'écoulement dominant (Nord/Sud) vers l'aval, reflétant une zone d'accumulation et de drainage par l'oued d'El Ma El Abiod (l'exutoire).

La faiblesse du plan d'eau est imputée à la sécheresse ainsi qu'à la surexploitation qui reflète des pratiques irresponsables et demeure vraiment un fait menaçant à la désertification.

L'influence du phénomène physico-naturel en l'occurrence l'évapotranspiration, pèse plus sur la nappe alluviale que sur celle des sables, puisqu'elle connaît des fluctuations notables. Mais dans l'ensemble, on peut dire que l'allure générale des isopièzes reste presque semblable durant les deux périodes d'observation.

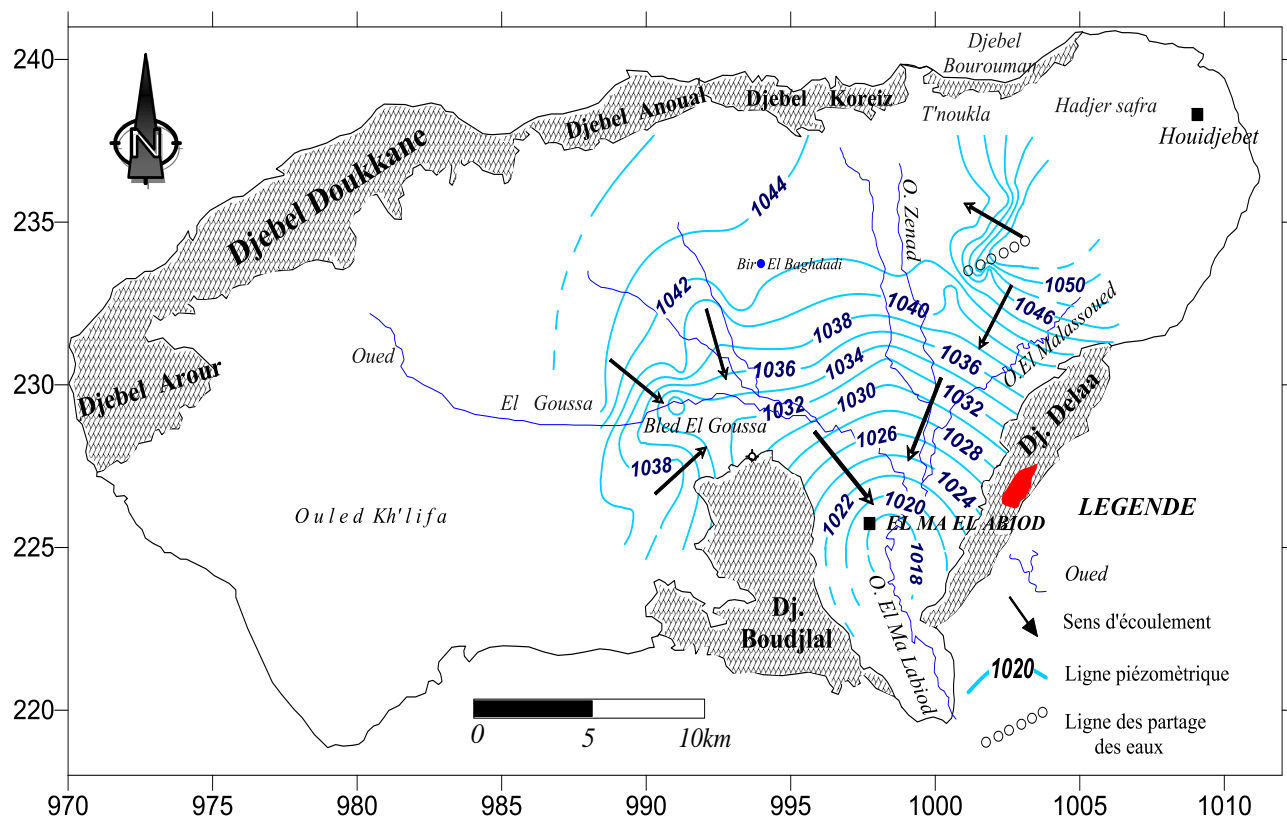


Fig.42.2 Carte piézométrique Septembre 2013/Bassin d'El Ma El Abiod.

Conclusion

Selon les conditions lithologiques, tectoniques et hydrogéologiques, on peut retenir que le système aquifère du bassin d'El Ma El Abiod est composé essentiellement de deux nappes aquifères de nature différente.

Une alluviale, rencontre dans les formations Quaternaire, elle occupe le centre et l'Ouest de la plaine, constituée de matériau graveleux et d'argile sableuse, dont l'épaisseur est relativement faible ; environ 15m (le cas de forage M₆).

La seconde, la nappe Miocène formée de matériau sableux et gréseux, est plus importante que la première avec épaisseur très intéressante de point de vue hydrogéologique, et sa puissance varie de 30m (le cas de forage M₉), jusqu'à un maximum d'environ 200m (le cas de forage M₈). Elle constitue le principal réservoir de la région d'El Ma El Abiod.

L'évolution de la piézométrie dépend des conditions climatiques, qui influent sur le battement de la nappe par la recharge durant la période de hautes eaux et l'évaporation pendant la période des basses eaux. La lithologie de la nappe régit l'écoulement, et ce en influant sur la vitesse de circulation.

Le niveau piézométrique présente une évolution régulière, caractérisée par une baisse durant la période des basses eaux sous l'effet de l'évaporation, et une remontée relative pendant la période de hautes eaux, suite à la recharge de la nappe.

Les écoulements dominants convergent du Nord vers le Sud, et l'alimentation du système est directement liée aux précipitations ; du côté nord et même du sud par les massifs calcaires, soit par infiltration directe dans la plaine.

Les valeurs les plus importantes de la perméabilité et de la transmissivité se localisent surtout à l'Est (*Draâ El Herakel*) ainsi qu'à l'Ouest (*Bled El Goussa*) et elle est moyenne au centre de la plaine, et les plus faibles en bordures. Cette répartition est confirmée par les débits des forages.

Hydrochimie

V.1 Introduction

Il est évident que le chimisme des eaux souterraines dépend, principalement, de la composition lithologique des couches traversées, du mode de circulation et du temps de séjour des eaux. Cette interaction influe sur la teneur des éléments majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- ...). Les concentrations de ces éléments naturels sont conditionnées par divers facteurs tels que les paramètres climatiques, l'activité anthropique, les échanges entre aquifères et les eaux de surface.

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

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

Le présent chapitre traite du chimisme des eaux souterraines, et nous permettra d'essayer d'expliquer le comportement, l'origine et l'évolution des éléments chimiques décrits pour expliquer le fonctionnement hydraulique du système aquifère.

L'étude se base principalement sur les informations de deux campagnes de prélèvement de 22 points d'eau, répartis sur le terrain. Comme la plaine d'El Ma El Abiod est à vocation agricole, un intérêt particulier sera accordé à cet effet.

V.2 Echantillonnage et analyse hydrochimique:

Un réseau d'échantillonnage des eaux a été choisi pour permettre d'acquérir des données représentatives sur la variabilité spatiale et temporelle de la qualité des eaux souterraines de la nappe étudiée. Ce réseau se compose de deux campagnes de prélèvement en périodes de hautes et basses eaux, couvrant le quasi totalité de la plaine d'El Ma El Abiod (Tab.36).

Campagne	Période	Nombre d'échantillonnage d'eau	Eléments analysés	Laboratoire d'analyse
1	Avril 2013	26	Éléments majeurs, NO_3^-	Laboratoire d'Hydrogéologie département de géologie, faculté des sciences de la terre. Université de Constantine1
2	Septembre 2013	22	Éléments majeurs, NO_3^-	Laboratoire d'Hydrogéologie département de géologie faculté des sciences de la terre Université de Constantine1

Tab. 36: Les campagnes d'échantillonnage d'eau effectuées durant l'étude.

V.3 – Description sommaire des paramètres physico-chimiques

V.3.1- Paramètres physiques

V.3.1- a- Température de l'eau

La température de l'eau joue un rôle primordial dans la solubilité des sels et des gaz, donc sur la conductibilité. Elle permet de différencier entre les eaux qui circulent en profondeur et celles qui circulent près de la surface, c'est l'un des facteurs qui influe sur la vitesse des réactions chimiques.

Dans notre cas, les valeurs, mesurées in situ à l'aide d'un thermomètre oscillent de 16 à 22°C, et ce sur l'ensemble du bassin.

V .3.1- b- Potentiel d’hydrogène (pH)

C’est un paramètre physique qui détermine l’acidité ou l’alcalinité de l’eau. Les mesures du pH montrent que tous les puits se trouvent dans l’intervalle de norme de potabilité. Pendant la période des hautes eaux le pH varie entre 7.0 et 7.7, alors qu’en période des basses eaux les valeurs oscillent entre 7.1 et 7.8, ceci indique que les valeurs varient peu et sont proches des valeurs acceptables.

V .3.1- c- Conductivité électrique (CE)

Définie comme étant l’aptitude d’une eau à se laisser traverser, plus ou moins vite, par un courant électrique. La connaissance de ce paramètre est précieuse ; dans la mesure où elle permet de suspecter une quelconque modification se rapportant aux différents horizons aquifères, et pour avoir une idée sur la minéralisation de l’eau.

A partir de la conductivité électrique on peut évaluer le degré de la salinité de l’eau, elle est aussi fonction de la température ; elle augmente avec la concentration des ions en solution et la température.

Les résultats obtenus permettent de dire que la conductivité de l’eau est dans son ensemble, d’une bonne qualité. Cette dernière est revue à la baisse ; subissant une légère modification, pour devenir admissible (Fig. 43.1 et 43.2).

La carte de conductivité établie pour la période d’Avril 2013 montre que les valeurs maximales sont enregistrées dans la zone d’accumulation des eaux souterraines, au Sud de la nappe (P₇₈) où l’on a enregistré une valeur de 2600 $\mu\text{s/cm}$. Ceci reflète probablement une pollution excessive, due à la proximité des oueds (rejet des eaux usées industrielles et domestique, lessivage des terrains...). Alors qu’au Nord les valeurs oscillent entre 750 à 800 $\mu\text{s/cm}$.

Pour la période de *Septembre 2013* nous avons constaté une augmentation des valeurs de la conductivité surtout dans la partie sud atteignant 2818 $\mu\text{s/cm}$ cas du P₇₈.

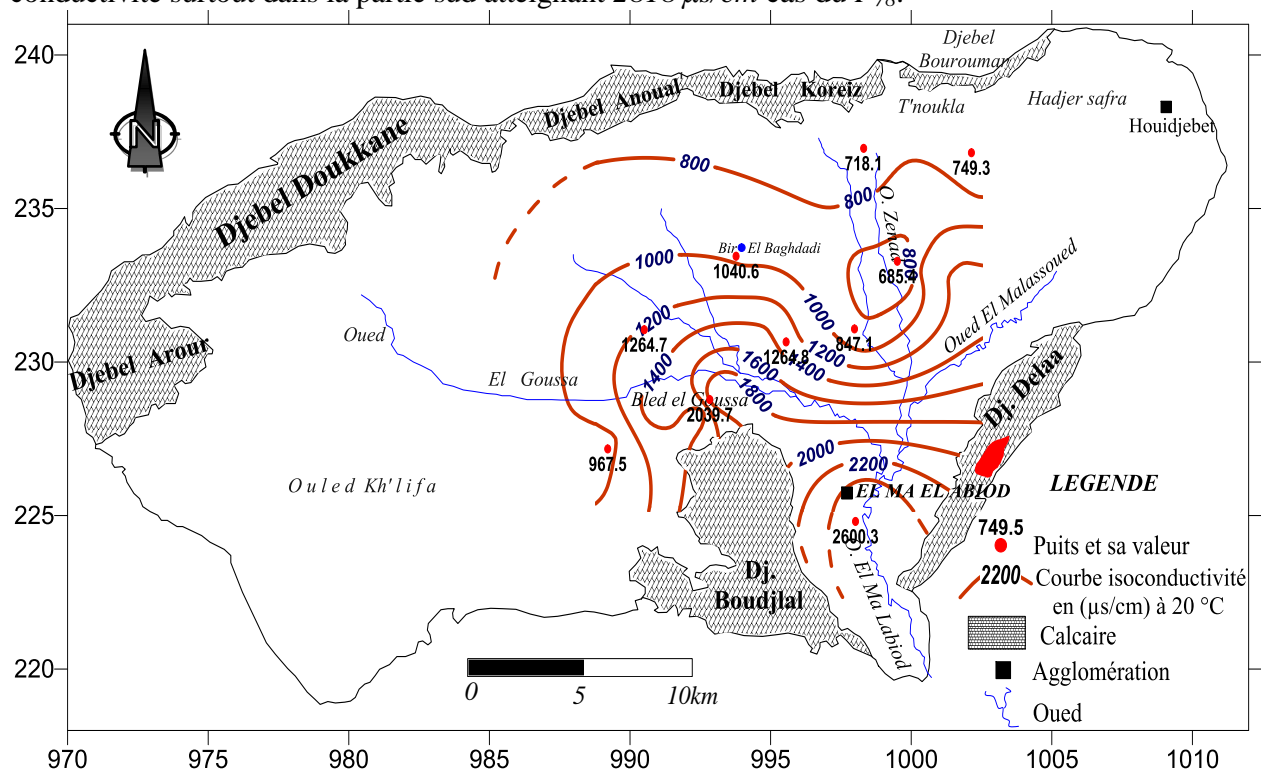


Fig.43.1. Carte de Conductivité d’Avril 2013/Bassin d’El Ma El Abiod.

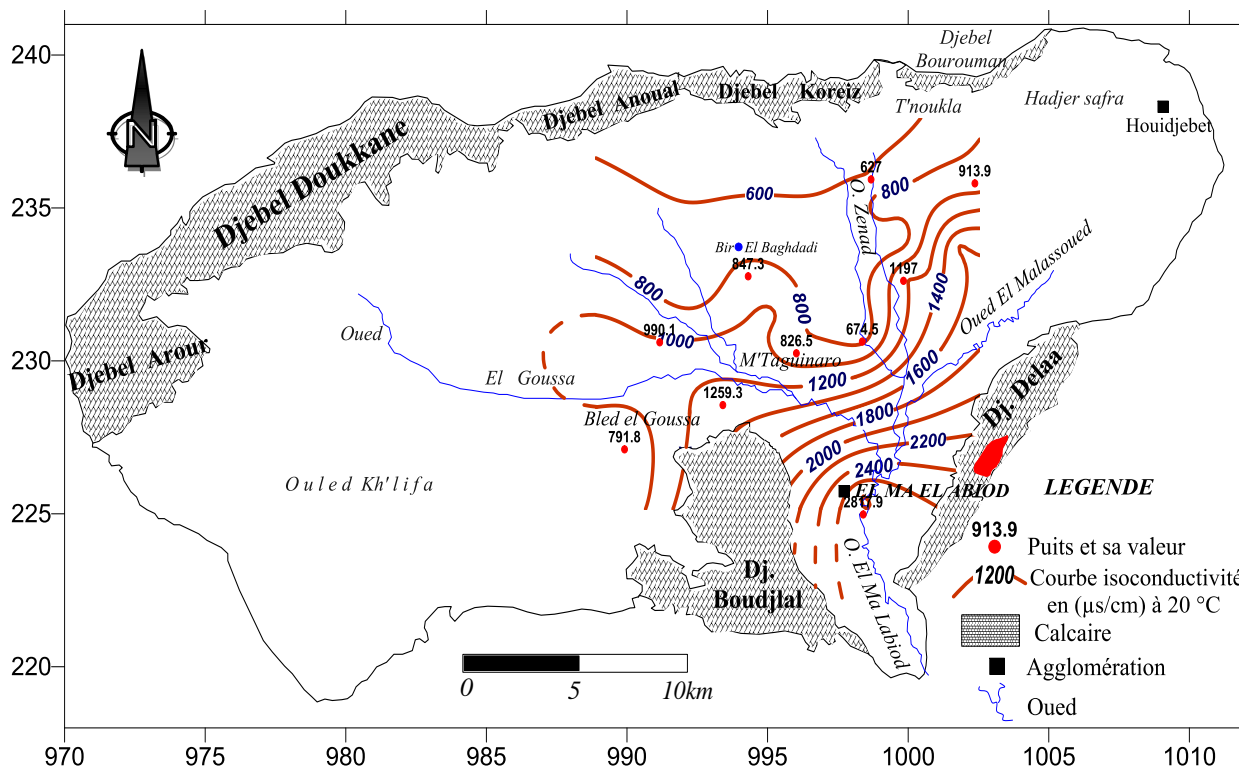


Fig.43.2 Carte de Conductivité Septembre 2013/Bassin d'El Ma El Abiod.

V.3.2- Paramètres et faciès chimiques

Les analyses chimiques permettent de déterminer les concentrations en mg/l des éléments majeurs tels que : Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{--} , Cl^- et NO_3^- .

Pour déterminer les caractéristiques physico-chimiques des eaux du bassin d'El Ma El Abiod, on a échantillonné trois types d'eau :

- Les eaux de sources.
- Les eaux des oueds (eaux de surfaces).
- Les eaux souterraines.

V.3.2- 1- Les eaux de sources

L'existence des sources est un apport réel, du moment que leurs écoulements ; une fois aménagées et récupérées, participent de faciliter les conditions de vie, surtout pour les populations des villes et des Mechtas pour l'alimentation en eau potable.

Plusieurs sources existent dans la région d'El Ma El Abiod, mais malheureusement, elles sont toutes tarées. Rares sont celles qui continuent, de nos jours, à couler, excepté les sources de T'noukla (2l/s), Ain kreiz et Ain Rhrira localisées aux nord de la région d'étude.

Il est important de signaler, l'existence des résultats de quelques analyses d'eau (1984), avec celle de l'année 2013, elles peuvent éventuellement donner une idée sur l'évolution de la composition physico-chimique des eaux du bassin.

D'après les résultats récapitulés au tableau (Tab. 37), nous pouvons constater que les eaux des trois sources avaient des faciès analogues (bicarbonatés calcaires). Cette stabilité dans la composition chimique, en éléments qui tirent son origine de la géologie, c'est à dire provenant du lessivage des formations calcaires des bordures.

Source	Élément chimique 1984		Élément chimique 2013		Formule caractéristique de STABLER	Faciès chimique
	Anion (mg/l)	Cation (mg/l)	Anion (mg/l)	Cation (mg/l)		
<i>El koriz</i>	HCO ₃ ⁻ : 281 SO ₄ ⁻ : 83 Cl ⁻ : 23	Ca ⁺⁺ : 101 Mg ⁺⁺ : 13 Na ⁺ : 17 K ⁺ : 4	HCO ₃ ⁻ : 474 SO ₄ ⁻ : 75 Cl ⁻ : 56,8	Ca ⁺⁺ : 144 Mg ⁺⁺ : 9 Na ⁺ +K ⁺ : 68	r% HCO ₃ ⁻ > r% SO ₄ ⁻ > r% Cl ⁻ r% Ca ⁺⁺ > r% Mg ⁺⁺ > r%(Na ⁺ +K ⁺)	Bicarbonaté calcique
<i>T'noukla</i>	HCO ₃ ⁻ : 422 SO ₄ ⁻ : 71 Cl ⁻ : 22	Ca ⁺⁺ : 109 Mg ⁺⁺ : 31 Na ⁺ : 14 K ⁺ : 6	HCO ₃ ⁻ : 496 SO ₄ ⁻ : 25 Cl ⁻ : 42,6	Ca ⁺⁺ : 108,2 Mg ⁺⁺ : 24,8 Na ⁺ +K ⁺ : 55	r% HCO ₃ ⁻ > r% SO ₄ ⁻ > r% Cl ⁻ r% Ca ⁺⁺ > r% Mg ⁺⁺ > r%(Na ⁺ +K ⁺)	Bicarbonaté calcique
<i>Rhorira</i>	HCO ₃ ⁻ : 421 SO ₄ ⁻ : 66 Cl ⁻ : 9	Ca ⁺⁺ : 104 Mg ⁺⁺ : 31 Na ⁺ : 10 K ⁺ : 5	HCO ₃ ⁻ : 461 SO ₄ ⁻ : 22 Cl ⁻ : 32	Ca ⁺⁺ : 70,0 Mg ⁺⁺ : 42,6 Na ⁺ +K ⁺ : 43	r% HCO ₃ ⁻ > r% SO ₄ ⁻ > r% Cl ⁻ r% Ca ⁺⁺ > r% Mg ⁺⁺ > r%(Na ⁺ +K ⁺)	Bicarbonaté calcique

Tab. 37. Analyses et faciès chimiques des eaux de sources/Bassin d'El Ma El Abiod. (Source ANRH)

L'examen du diagramme (Fig. 44 et 45) confirme qu'effectivement les eaux de sources, en l'occurrence ; El Koreiz, T'noukla et Rhorira, présentent un faciès bicarbonaté-calcique, ce qui est, d'ailleurs, en conformité avec ce qu'on a avancé plus haut.

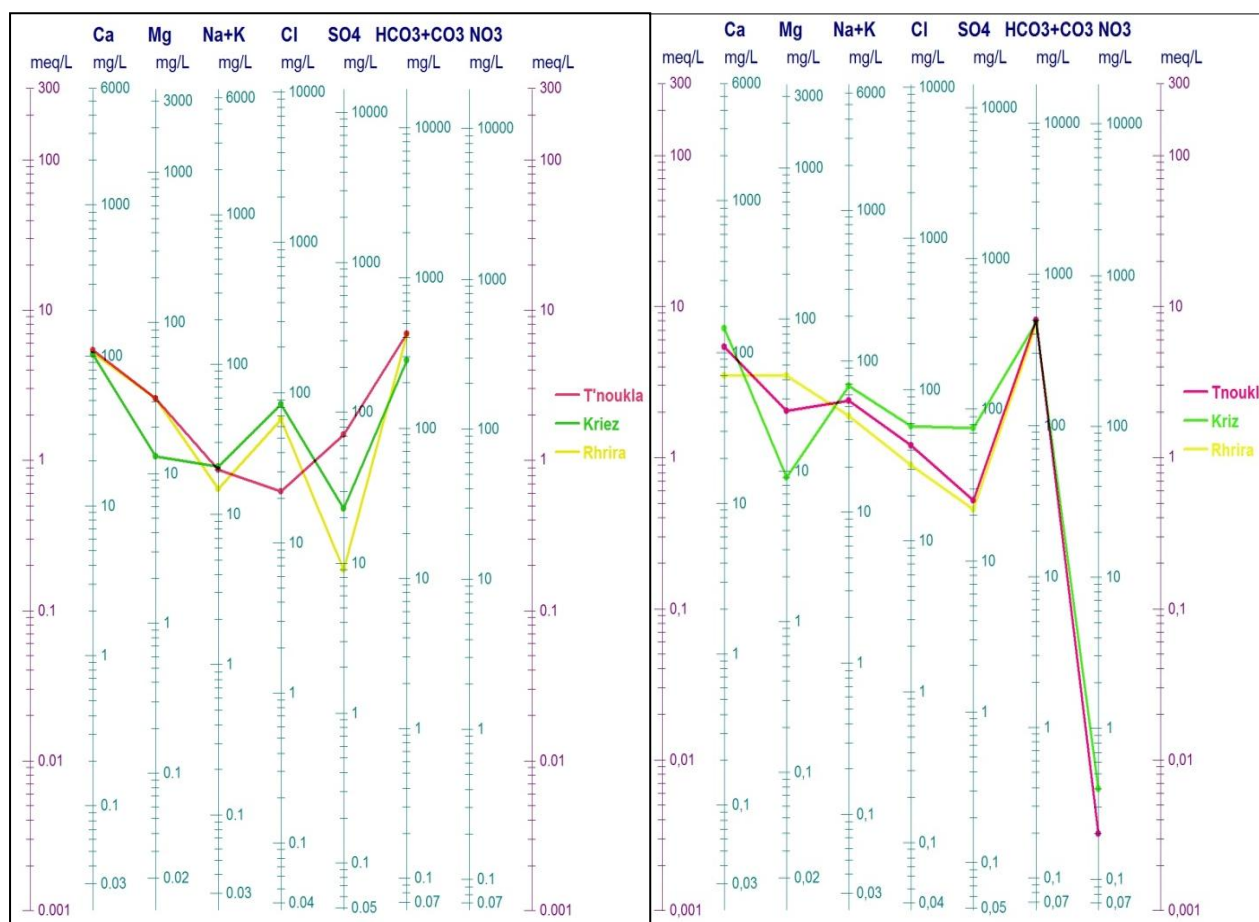


Fig. 44.1. Diagramme de Schealler-berkaloff les Sources Bassin d'El Ma El Abiod. (1984)

Fig. 44.2. Diagramme de Schealler-berkaloff les Sources /Bassin d'El Ma El Abiod. (2013)

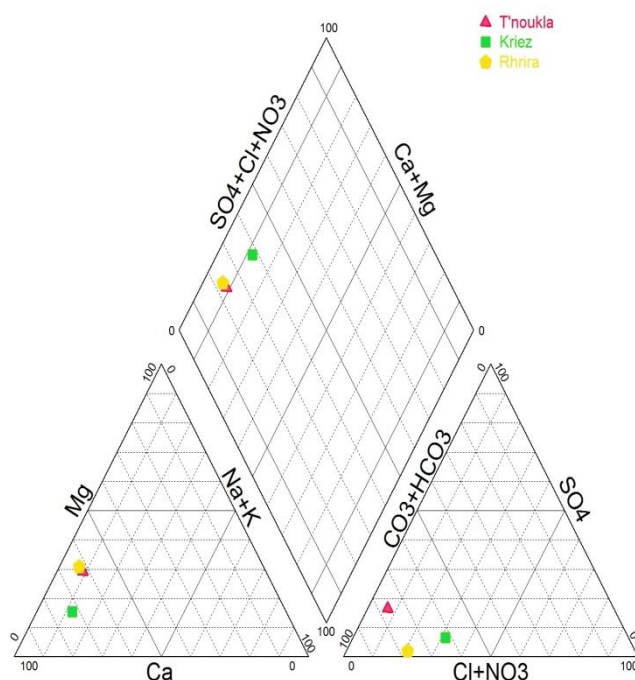


Fig. 45.1. Diagramme de Piper Sources Bassin d'El Ma El Abiod. (1984)

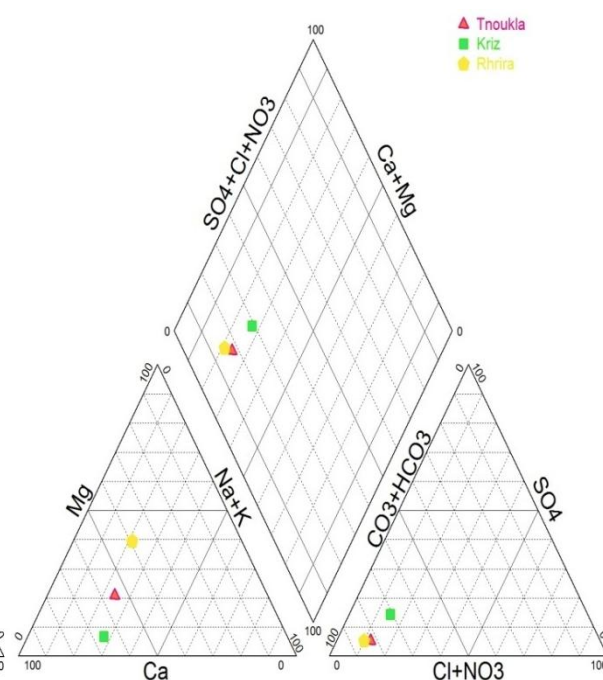


Fig. 45.2. Diagramme de Piper Sources Bassin d'El Ma El Abiod. (2013)

Les analyses chimiques récentes des eaux des sources sont presque analogues aux analyses anciennes, avec des variations dans les valeurs des chlorures et des sulfates, les diagrammes de *Schoeller-berkaloff* et de *Piper* confirme le faciès bicarbonaté calcique, des trois sources. La faible minéralisation des eaux est liée effectivement à un écoulement rapide dans les formations carbonatées de la bordure Nord de la plaine d'El Ma El Abiod.

V.3.2. 2- Les eaux de surface

Certains échantillons des oueds ont été analysés lors des périodes de crue, suite aux pluies torrentielles et imprévisibles. L'absence de ressources superficielles ou d'écoulement permanent a en quelque sorte, était un obstacle pour mener à bien une campagne de mesure significative des eaux de cette catégorie, qui n'est pour autant négligeable.

A partir des résultats des analyses chimiques (Tab.38), le diagramme de *Schoeller-berkaloff* (Fig.46) permet d'avoir une approche globale de la composition chimique des eaux superficielles.

Oued	Élément chimique		Formule caractéristique (Stabler)	Faciès chimique
	Anion (mg/l)	Cation (mg/l)		
<i>Oued El Ma El Abiod (Basses eaux)</i>	HCO ₃ ⁻ : 47 SO ₄ ⁻ : 51 Cl ⁻ : 305	Ca ⁺⁺ : 107 Mg ⁺⁺ : 24 Na ⁺ : 70.7 K ⁺ : 0,80	r% Cl ⁻ > r% SO ₄ ⁻ > r% HCO ₃ ⁻ r% Ca ⁺⁺ > r%(Na ⁺ +K ⁺) > r% Mg ⁺⁺	Chloruré calcique
<i>Oued El Ma El Abiod (Hautes eaux)</i>	HCO ₃ ⁻ : 218 SO ₄ ⁻ : 416 Cl ⁻ : 355	Ca ⁺⁺ : 188 Mg ⁺⁺ : 54 Na ⁺ : 138 K ⁺ : 3,2	r% SO ₄ ⁻ > r% Cl ⁻ > r% HCO ₃ ⁻ r% Ca ⁺⁺ > r%(Na ⁺ +K ⁺) > r% Mg ⁺⁺	Sulfaté calcique
<i>Oued El Goussa (Basses eaux)</i>	HCO ₃ ⁻ : 77 SO ₄ ⁻ : 41 Cl ⁻ : 852	Ca ⁺⁺ : 96 Mg ⁺⁺ : 15 Na ⁺ : 461.4 K ⁺ : 1,1	r% Cl ⁻ > r% HCO ₃ ⁻ > r% SO ₄ ⁻ r%(Na ⁺ +K ⁺) > r% Ca ⁺⁺ > r% Mg ⁺⁺	Chloruré sodique

Tab. 38 Analyses révisées et faciès chimiques des eaux de surface (Année 1984). (Source ANRH)

Pour l'Oued El Goussa, il est caractérisé par un faciès chloruré sodique, où l'impact des formations géologiques est vraisemblable, sans pour autant négliger l'effet du phénomène de lessivage entre autre les terres agricoles.

En période des basses eaux, un faciès chloruré calcique caractérise les eaux d'Oued El Ma El Abiod. Ceci est en liaison directe avec la présence des argiles salifères et des formations carbonatées notamment les calcaires, mais à un degré moindre, à un usage non convenable des engrais durant les campagnes de fertilisation.

L'action des précipitations est facile à déceler, puisque ces eaux deviennent, en hautes eaux, soient sulfatés calciques, soient chlorurés calciques, dont l'hypothèse géologie est la plus probable.

Pour de plus amples explications et se rassurer davantage, nous avons procédé à la représentation de ces données selon le diagramme de *Schoeller-Berkaloff* (Fig. 46) ; graphique qui confirme effectivement ce qui a été déduit selon la méthode des formules ioniques.

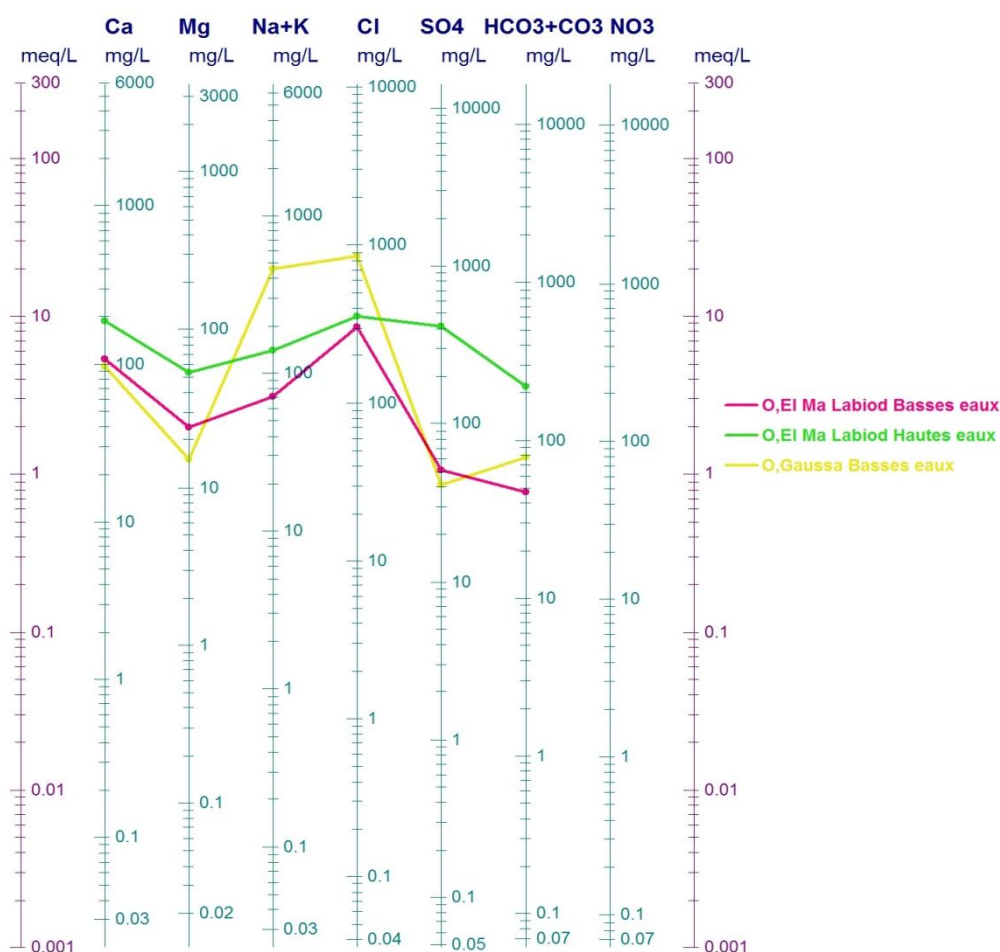


Fig. 46. Les eaux de surfaces selon le diagramme de *Schoeller-Berkaloff*/Bassin d'El Ma El Abiod.

V.3.2.3- Les eaux souterraines

Les eaux souterraines de la région d'étude constituent la source d'alimentation principale et privilégiée des divers usagers. Un grand intérêt leur a été alors accordé lors des campagnes de prélèvement et d'analyse afin de mieux les identifier et les caractériser. Les échantillons prélevés ont été étudiés au labo d'Hydrogéologie de l'institut de Zouaghi Slimane, faculté des sciences de la terre, département de la géologie. Université Mentouri Constantine 1.

Suite aux diverses formules caractéristiques et représentations graphiques, les faciès qui représentent les eaux souterraines de la région les sont le sulfaté - calcique, qui occupe la quasi totalité de bassin, le bicarbonaté - calcique et à un degré moindre le chloruré - calcique.

Pour une identification meilleure et à titre de confirmation, nous avons essayé par les représentations de *Schoeller-Berkaloff* et de *Piper* (Fig. 47 et 48), qui aident au mieux à déceler leurs divers faciès chimiques, leurs qualités et éventuellement leurs futurs usages.

V.4 Détermination des faciès hydrochimiques :

V.4-1 Représentation graphique et identification des faciès.

Pour une meilleure identification des faciès et de l'aspect qualitatif des eaux souterraines, ainsi que son évolution, la représentation graphique des résultats d'analyse, reste un outil primordial.

Dans ce but, nous avons entamé, dans notre cas cette démarche et choisi les diagrammes de représentation tels que celui de *Schoeller-Berkaloff* et *Piper*, afin de mieux cerner les caractéristiques des eaux étudiées.

V.4-1-1 Diagramme de *Schoeller-Berkaloff* :

Ce type de représentation établi par *Schoeller* et repris par *Berkaloff*, il comporte une échelle logarithmique sur laquelle on porte les teneurs des principaux ions en (mg/l) sur l'axe des abscisses. On porte de gauche à droite, à intervalle régulier (Ca^{+2} , Mg^{+2} , $\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$, Cl^{-} , SO_4^{-2} , HCO_3^{-}), les points reportés sont ensuite reliés par une ligne brisée qui facilite la comparaison des résultats de l'analyse de l'eau d'un ensemble d'échantillons.

– Le diagramme pour la période d'avril 2013 (Fig.47), confirme principalement un faciès sulfaté calcique dû à la dissolution de gypse contenu dans les alluvions ou bien liée au lessivage des formations marneuses ou triasiques de bordure (Djebel Dalaâ), Secondairement on observe un faciès bicarbonaté calcique, issu des formations calcaires des bordures, et le troisième faciès est le chloruré calcique. Les fortes concentrations en chlorures et en sulfates indiquent un état de pollution en rapport avec les activités anthropiques notamment au sud de la plaine.

– Les graphiques positionnés au milieu du diagramme caractérisent la nappe Miocène alors que ceux en premier où les concentrations sont très élevées caractérisent les points d'eau se trouvant à l'exutoire du bassin ce qui explique en quelque sorte les fortes teneurs en chlorures et sulfates .

– Pour la période de septembre 2013, le faciès dominant est toujours sulfaté calcique. Le puits P₇₈ présente une valeur élevée en sulfates, due à la mise en solution du gypse lié aux formations triasiques au Sud, ainsi à l'utilisation abusive des engrais chimiques.

Sur le diagramme il est clair que les points d'eau qui se situent au sud du terrain, présentent toujours des concentrations supérieurs à ceux de la nappe miocène dans les puits se trouvant entre les deux failles F1 et F2 servant des drains.

Il est à noter qu'il n'existe pas de grandes variations entre les teneurs des eaux issues des puits de la nappe miocène et qui présentent par fois un faciès bicarbonaté calcique. Cette stabilité dans la composition chimique, en éléments qui tirent leur origine de la géologie, met en évidence l'alimentation de l'aquifère à partir des eaux qui lessivent les formations calcaires des bordures ce qui confirme l'origine de l'alimentation de la nappe.

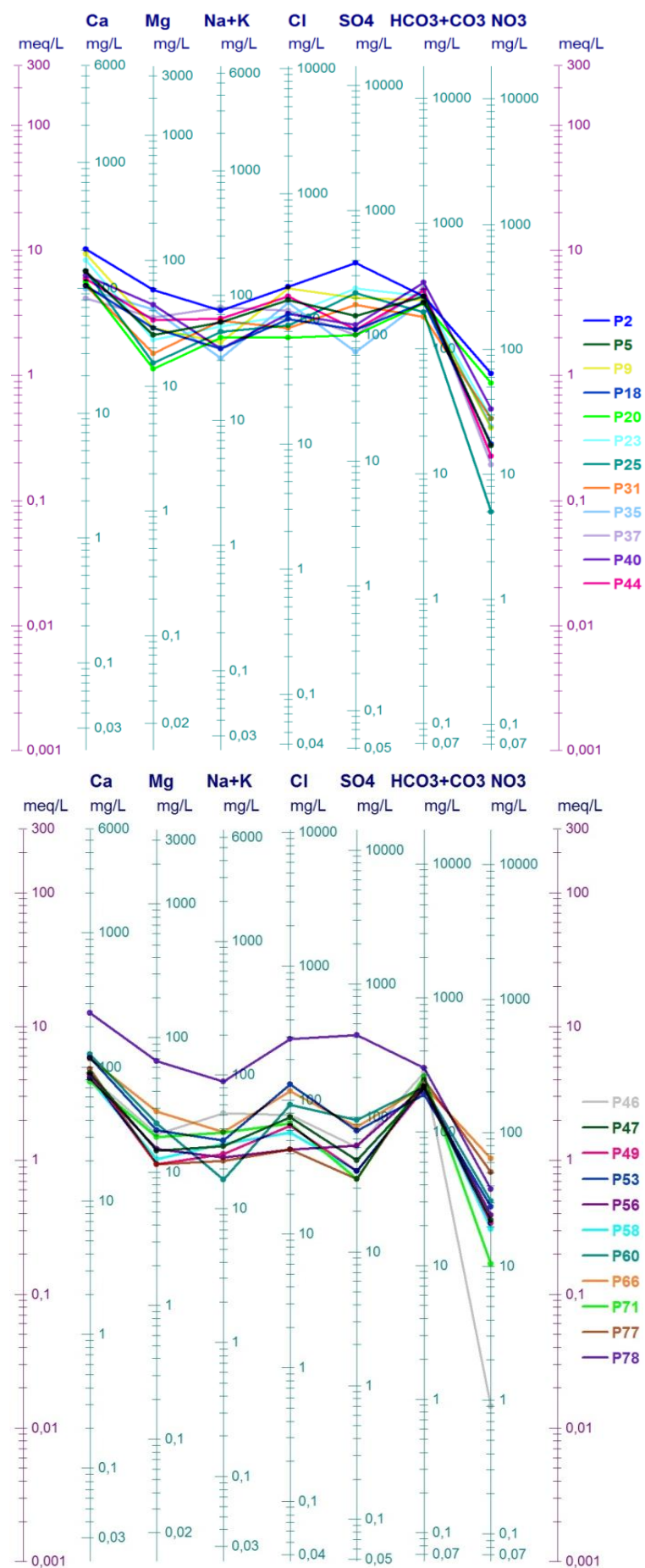


Fig. 47.1 – Diagramme de Schoeller Berkalof. Période, avril 2013

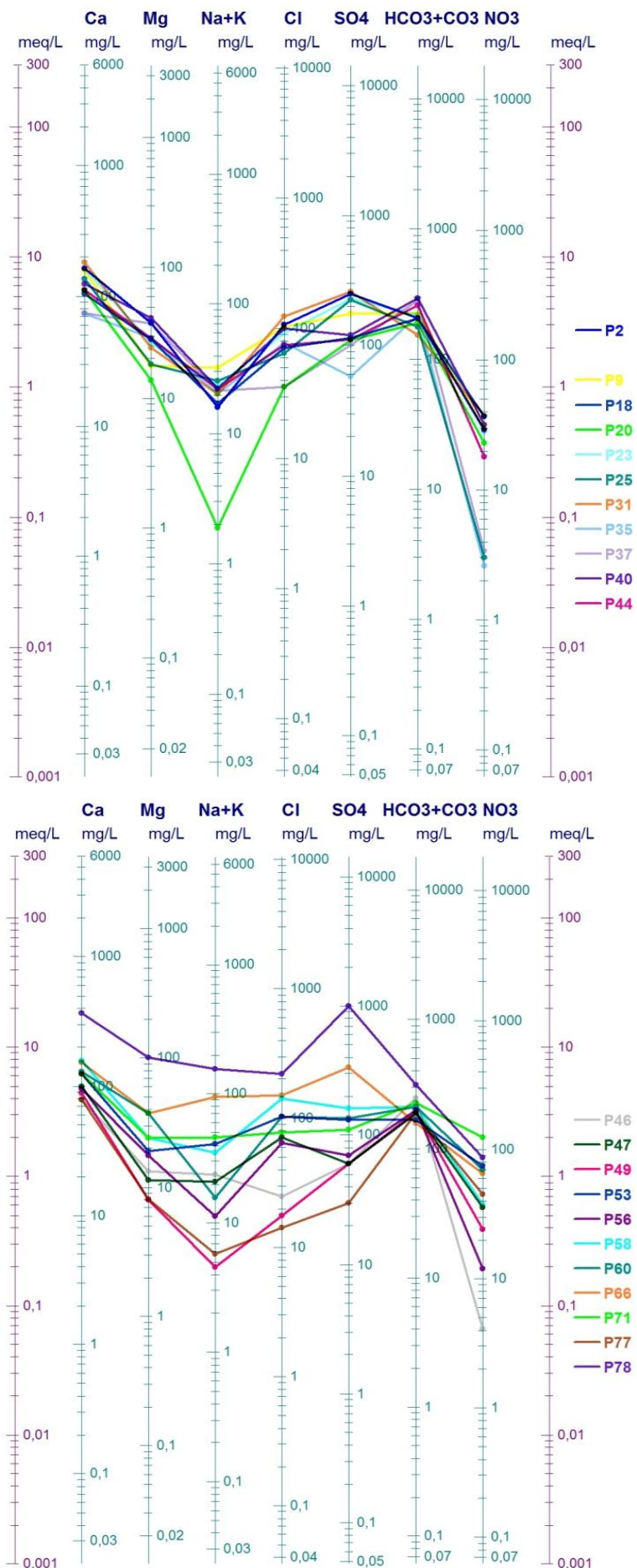


Fig. 47.2 – Diagramme de Schoeller Berkalof. Période, septembre 2013.

V.4-1-2 Diagramme de Piper :

Ce type de diagramme permet de représenter plusieurs échantillons d'eau simultanément. Il est composé de deux triangles équilatéraux, permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique, et d'un losange synthétisant le faciès global (Fig. 48).

Les nuages des points concentrés dans une zone représentent pour les différents échantillons d'eau la combinaison des éléments cationiques et anioniques.

Sur le diagramme de *Piper* nous allons interpréter les résultats des analyses hydrochimiques, correspondant aux périodes d'observations, pour avoir une idée sur le faciès chimique des eaux de la région et sur son évolution temporaire, ainsi que sur le mode d'acquisition de ce faciès.

V.4-1-2-1 Période d'avril 2013

Les puits représentés au milieu du triangle ne présentent pas de dominance. Ailleurs un enrichissement en chlorures et en sulfates est très net, le reste des points d'eau à tendance à s'enrichir de plus en plus.

Les cations calciques et magnésiens, marquent la totalité, les puits représentés sur le triangle des cations, traduisant ainsi l'origine de ces eaux. Le calcium provient des eaux des bordures, alors que le magnésium tire son origine des argiles gypsifères de la couverture du terrain.

Le diagramme de la figure 48.1 révéla l'existence de trois faciès, le sulfaté calcique et le bicarbonaté calcique, avec un degré moindre le faciès chloruré calcique, le premier faciès tire son origine des activités anthropiques et dû ainsi au lessivage des formations marneuses ou triasiques, et le deuxième faciès, pour son origine les formations calcaires qui bordent la plaine.

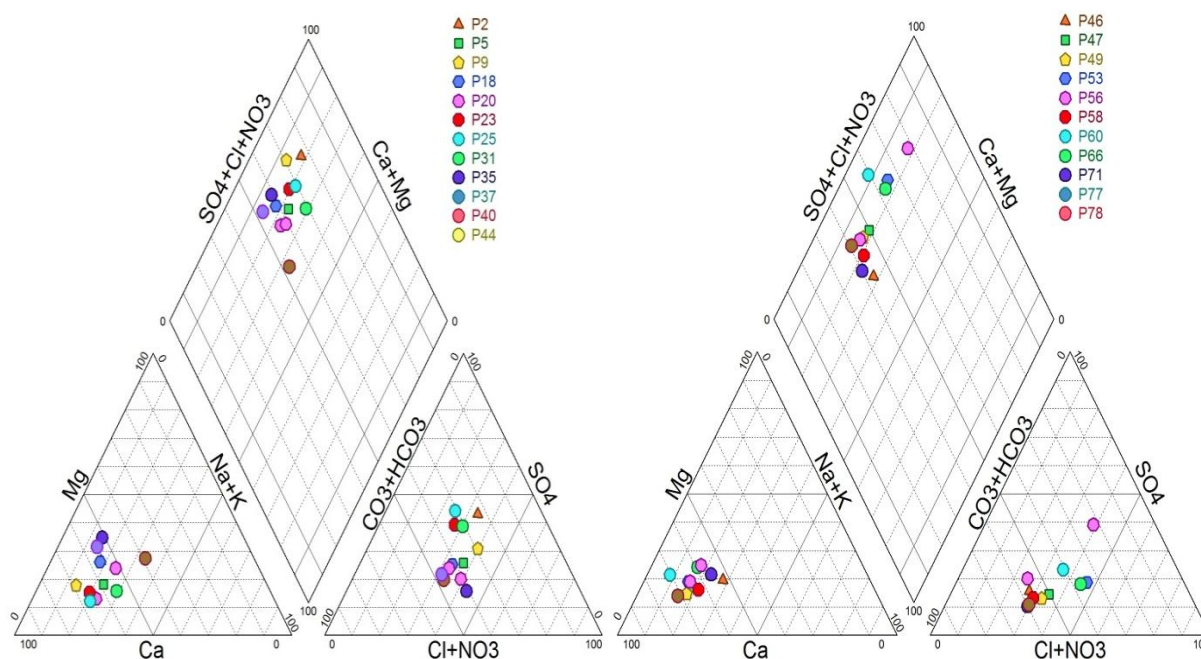


Fig. 48.1- Diagramme de Piper. Avril 2013

V.4-1-2-2 Période de Septembre 2013

La campagne hydrochimique du mois de septembre 2013 présente un scénario presque semblable du premier, il y'a de changements dans la composition chimique, pratiquement tous les points d'eau présentent des augmentations des teneurs notamment en sulfates et en chlorures.

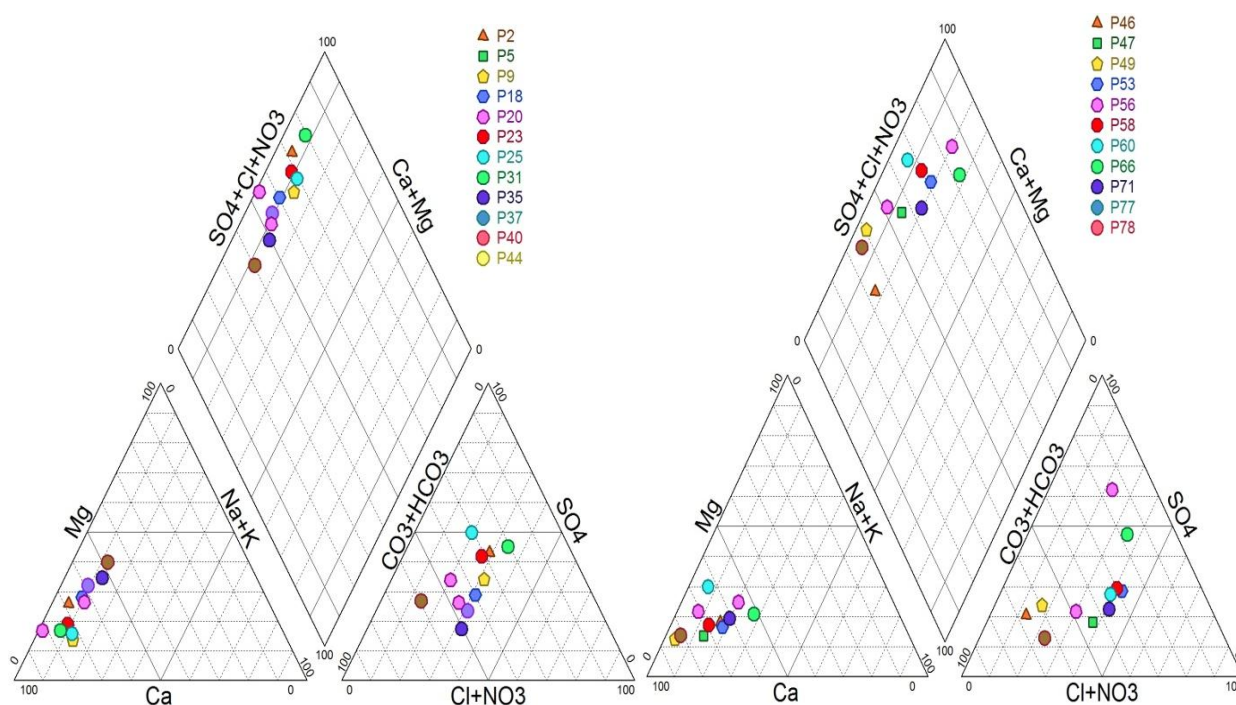


Fig. 48.2- Diagramme de Septembre. Avril 2013

V.4.2 Répartition des faciès chimiques selon Piper:

L'examen de la carte de répartition des faciès des eaux souterraines de la nappe d'El Ma El Abiod montre l'influence de la lithologie des formations sur les types de faciès (Fig. 49). En effet, Le faciès sulfaté calcique, qui se développe à l'Ouest, Nord-est et au sud de la nappe, provient des argiles gypsifères triasiques et des formations évaporitiques, alors que les formations carbonatées du Crétacé bordant la nappe sont à l'origine du faciès bicarbonaté-calcique. Le faciès chloruré calcique tire son origine des marnes gypsifères emschériennes qui constituent le substratum.

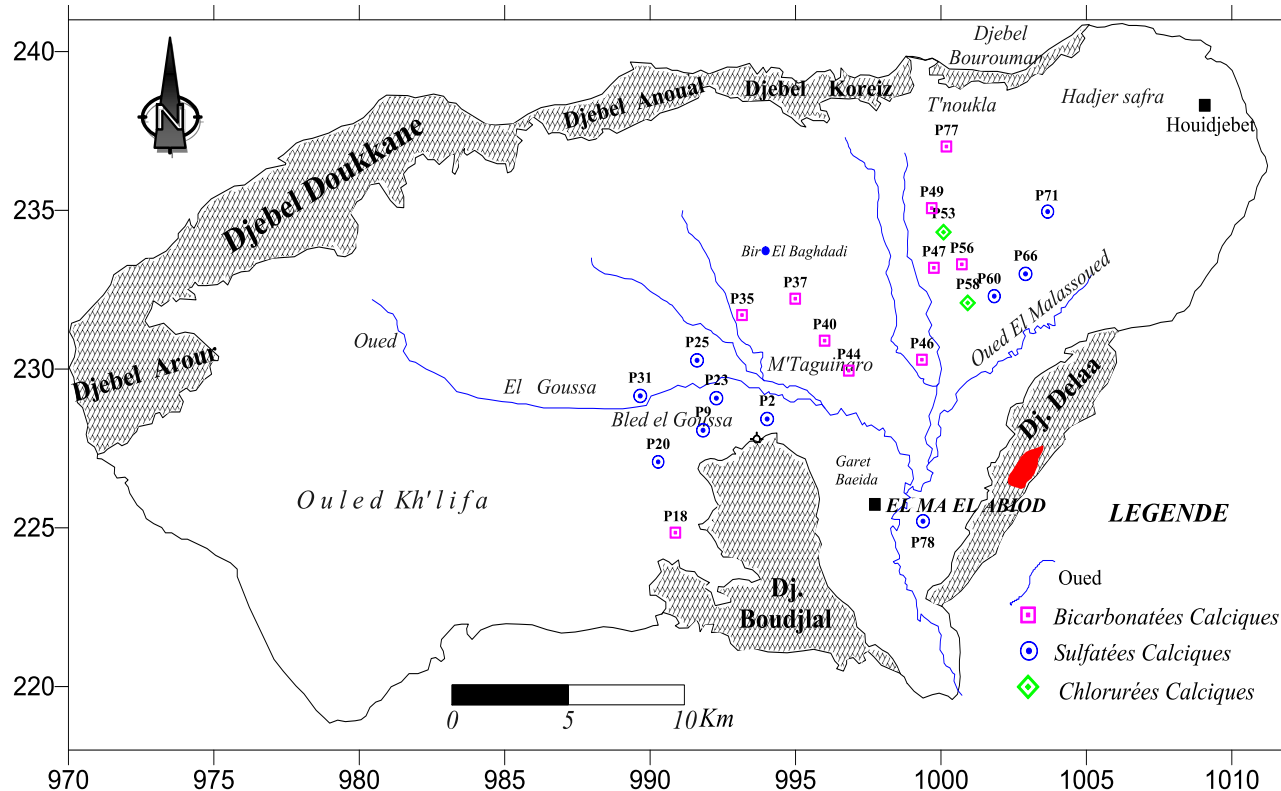


Fig.49 Carte de Répartition des faciès chimique 2013/Bassin d'El Ma El Abiod.

V.5. Cartographie Hydrochimique :

Les données de l'hydrochimie sont représentées sur des cartes, les principales cartographiées dans notre étude, sont les éléments majeurs (Ca^{++} , Mg^{++} , $\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$, HCO_3^{-} , SO_4^{-} , Cl^{-}), avec les nitrates NO_3^{-} .

D'une manière générale, la cartographie chimique, pour tous les éléments étudiés, dans ce travail, révèle clairement deux zones distinctes. Une au Nord pour des concentrations moins importantes par rapport à la zone Sud,

La cartographie hydrochimique a été illustrée par interpolation triangulaire, en utilisant le logiciel Surfer 10 (Golden software, 32bits).

V.5.1. Cartographie des sulfates

V.5-1-1 Période d'Avril 2013

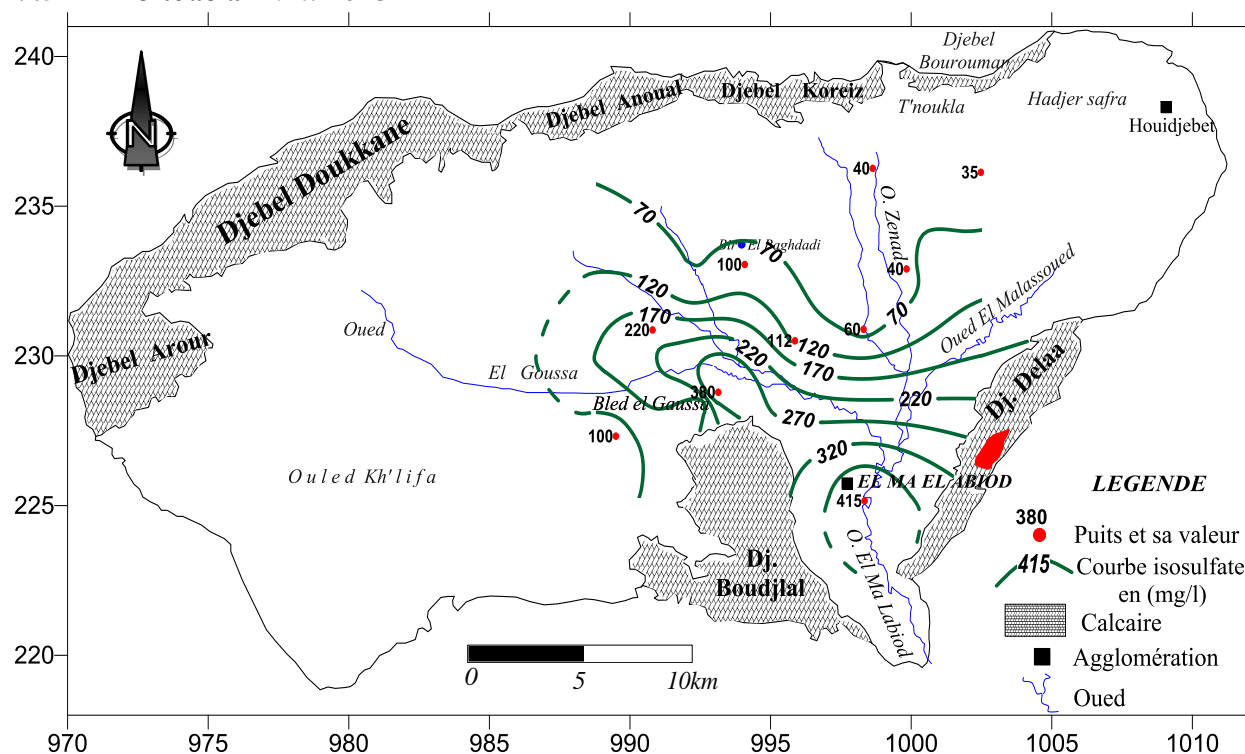


Fig.50.1- Carte des Sulfates d'Avril 2013/Bassin d'El Ma El Abiod.

Sur la carte d'avril 2013, (Fig.50.1) les fortes concentrations des sulfates sont localisées dans le centre et dans le secteur sud de la plaine où elles atteignent les 415mg/l. Elles sont liées d'une part à l'existence des marnes gypsifères emschériennes et du Trias au sud (Djebel Dalaâ), et d'autre part à l'activité industrielle et agricole au centre de la plaine. Alors que Les faibles valeurs sont enregistrées au nord de la plaine 70 mg/l.

V.5-1-2 Période de Septembre 2013

Les concentrations les plus élevés en sulfate se manifestent au centre et au sud de la plaine, avec des teneurs qui dépassent les 600 mg/l dans le puits P₇₈.

Les valeurs élevées des sulfates sont liées, en plus de la présence de formations gypsifères comme dans la partie sud, et à l'augmentation de l'évapotranspiration en cette période d'étiage, permettant l'élévation de la concentration des sels dissous dans l'eau, notamment les sulfates, dont la teneur peut varier du simple au double entre les périodes de hautes et de basses eaux (Fig.50.2).

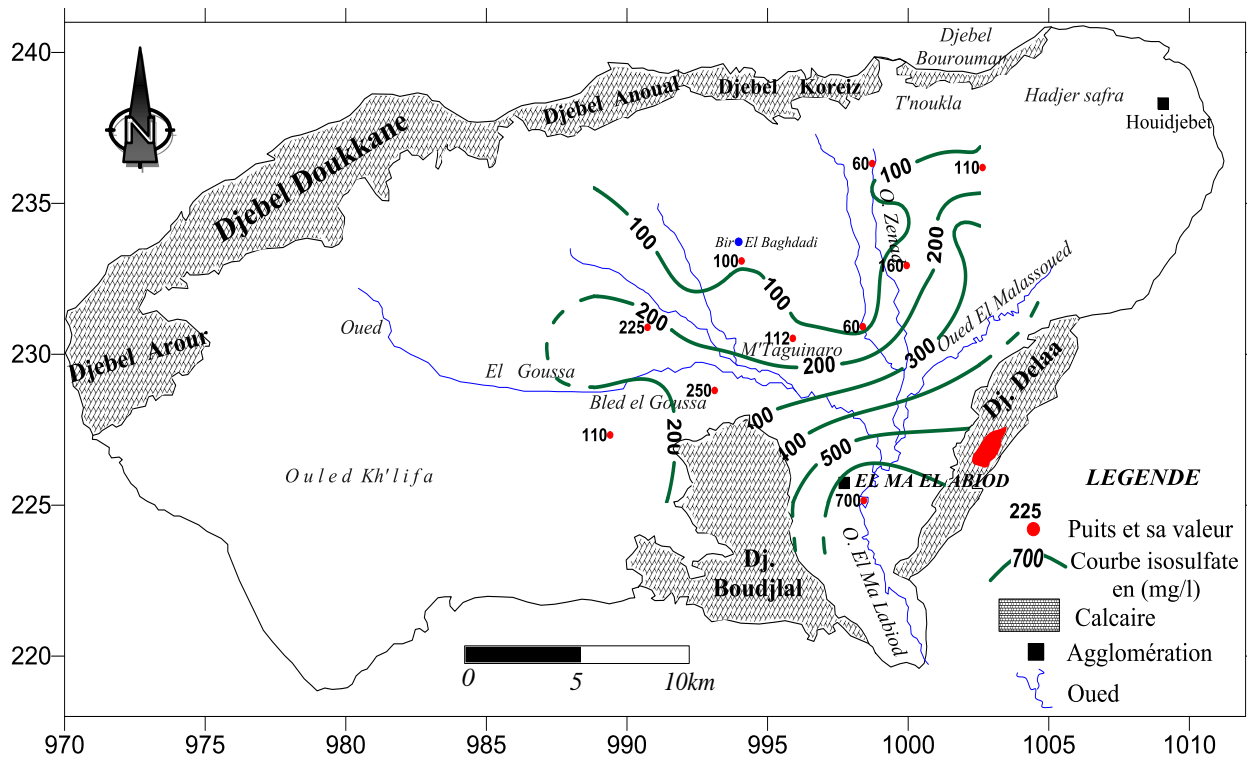


Fig.50.2- Carte des Sulfates Septembre 2013/Bassin d'El Ma El Abiod.

V.5-2 Cartographie des bicarbonates

V.5-2-1 Période d'Avril 2013

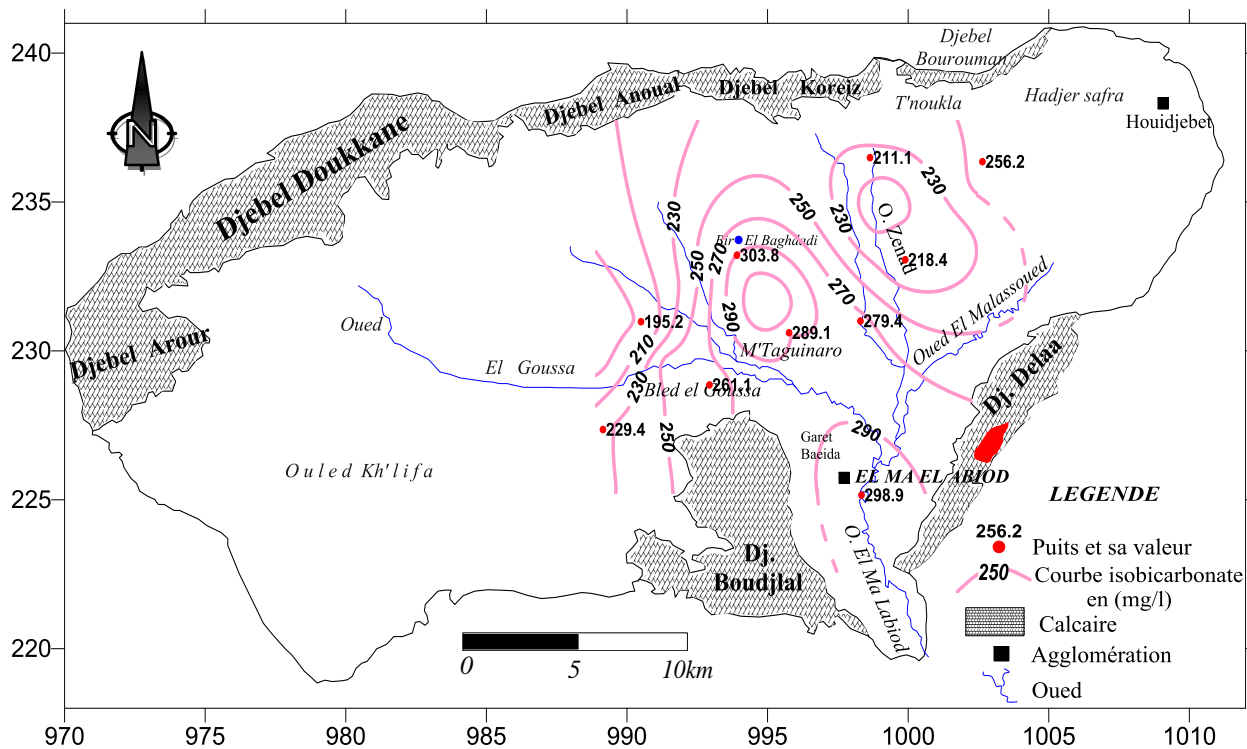


Fig.51.1- Carte des Bicarbonates d'Avril 2013/Bassin d'El Ma El Abiod.

La carte des d'Avril 2013 montre que les fortes teneurs des bicarbonates sont localisées au centre et au sud de la plaine (300mg/l), Quelques puits possèdent des concentrations remarquables, malgré qu'ils se situent au centre de la plaine (Fig.51.1), ceci est probablement liées à la présence des formations calcaires qui affleurent au centre et surtout au niveau d'Oglat chaâchaâ, dû à la dissolution des calcaires par les pluies.

V.5-2-2 Période septembre 2013

La même constatation est valable que pour la période précédente, là aussi les concentrations en bicarbonates sont élevées, notamment au centre et au sud (Fig.51.2).

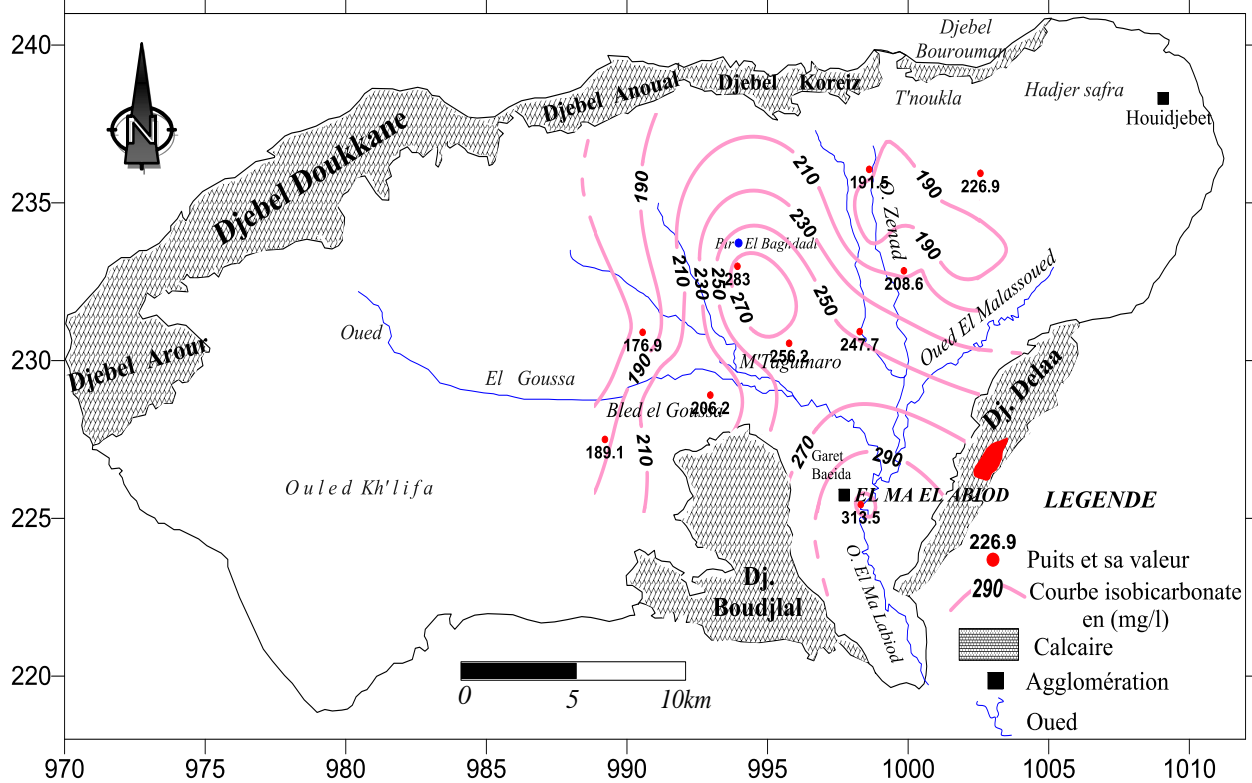


Fig.51.2- Carte des Bicarbonates Septembre 2013/Bassin d'El Ma El Abiod.

V.5-3 Cartographie Des Chlorures.

V.5-3-1 Période d'Avril 2013 :

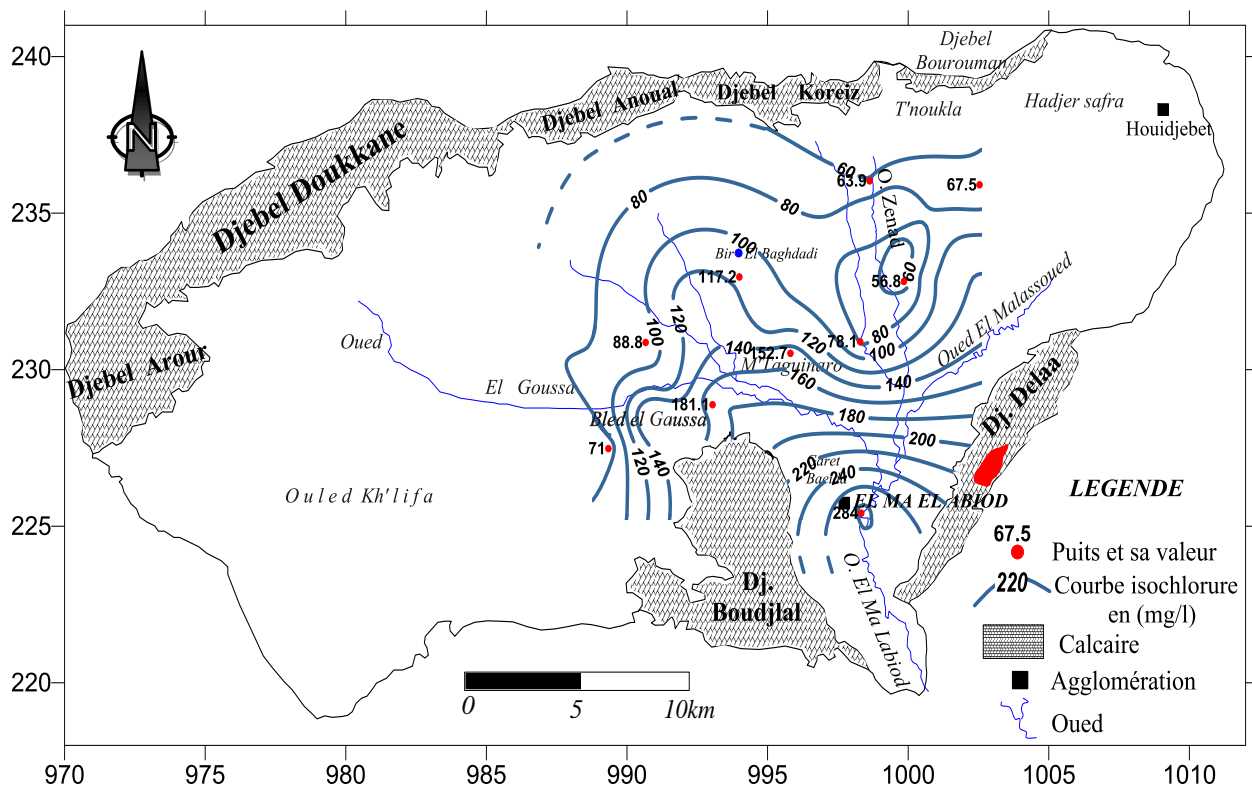


Fig.52.1- Carte des Chlorures d'Avril 2013/Bassin d'El Ma El Abiod.

Les concentrations en chlorures pour cette période, augmente suivant le sens d'écoulement. Elles sont faibles aux bordures, et se concentrent au sud à l'exutoire du bassin, issue des activités anthropiques et également aux formations salifères (Fig.52.2).

Les concentrations en chlorures sont dans les normes, elles sont toutes inférieures à 250mg/l une teneur de 220mg/l à été enregistrée du coté sud de la plaine (P78).

V.5-3-2 Période de septembre 2013 :

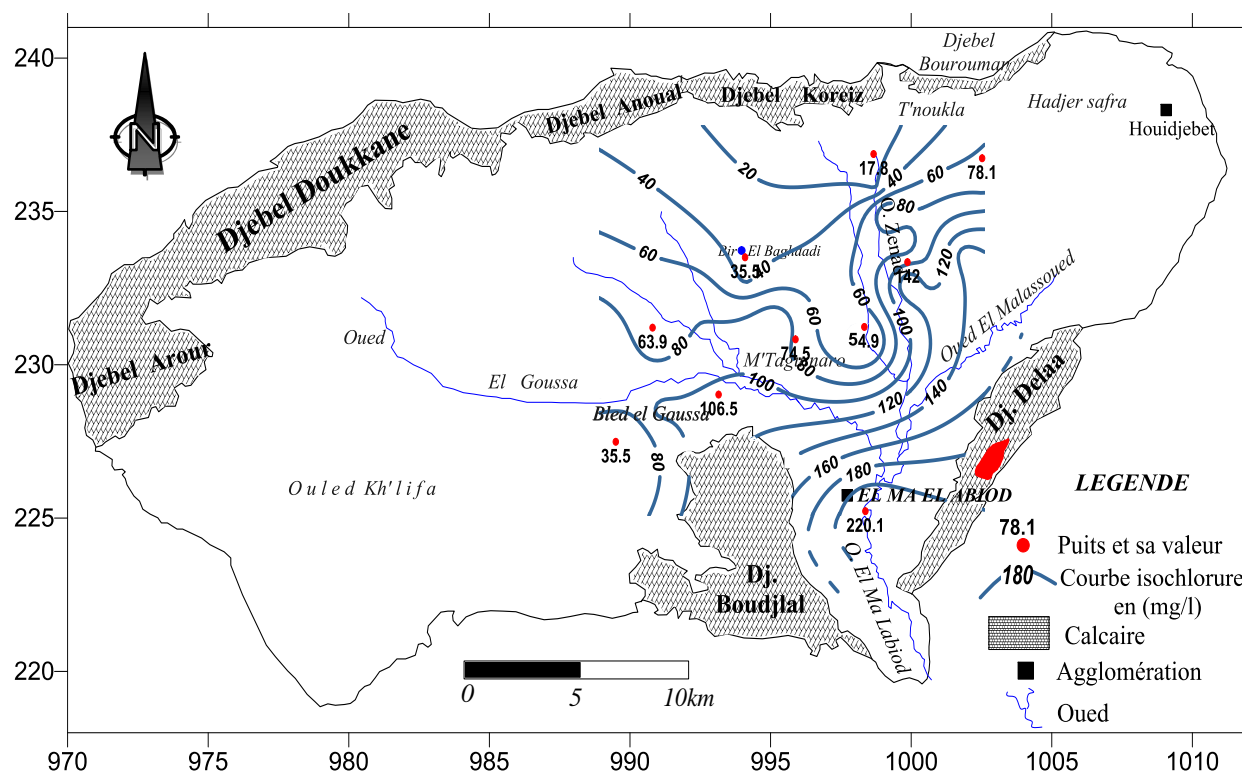


Fig.52.2- Carte des Chlorures Septembre 2013/Bassin d'El Ma El Abiod.

Il est à signaler que l'évolution de la teneur en chlorures est plus importante que la période précédente, où elles présentent des valeurs supérieures à la norme au sud de la plaine c'est-à-dire au sud d'El Ma El Abiod (284mg/l), due à l'effet du lessivage et de l'évaporation. Alors que les faibles teneurs sont enregistrées au nord de la plaine (60mg/l). (Fig.52.2)

Les activités anthropiques contribuent également à l'augmentation des teneurs en chlorures. En effet, le déversement d'eaux usées domestiques et industrielles, sans qu'elles soient traitées préalablement, dégrade la qualité des eaux souterraines.

V.5-4 Cartographie des Nitrates

V.5-4-1 Période d'Avril 2013 :

L'évolution spatiale des nitrates au sein de la nappe montre que les concentrations sont variables aux bordures et au centre de la plaine.

Les teneurs les plus importantes des nitrates se localisent au nord-est et au sud-ouest de la plaine avec 64mg/l, Elles sont liées probablement à l'utilisation massive des engrais car la zone d'étude est à vocation agricole, également les rejets des eaux usées urbaines et industrielles drainées par l'Oued d'El Ma El Abiod.

Les teneurs en nitrates sont plus faibles au centre de la plaine (Fig.53.1), à cause du pompage pratiqué en ces endroits.

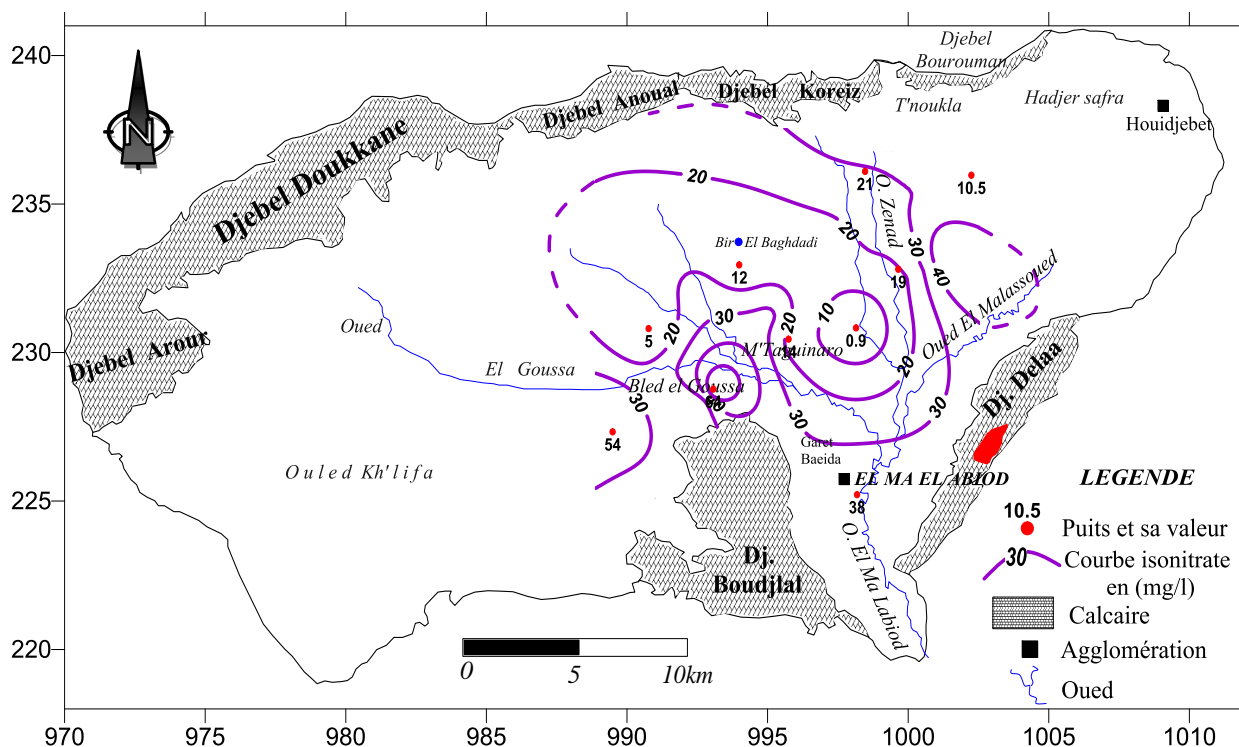


Fig.53.1- Carte des Nitrates d'Avril 2013/Bassin d'El Ma El Abiod.

V.5-4-2 Période de septembre 2013 :

Dans la carte de septembre 2013, les concentrations des nitrates sont élevées, elles dépassent les normes de potabilité (> 50 mg/l) notamment dans la partie Est et Sud de la région. Les teneurs les plus importantes se localisent au nord-est au niveau d'El Houdjbet (124mg/l), due principalement à l'utilisation intensive des engrais sur un sol qui n'arrive pas à assimiler les quantités introduites. et au sud de la plaine (84mg/l). Ce qui peut être expliqué par la nature des eaux usées drainées par l'Oued El Ma El Abiod (Fig.53.2).

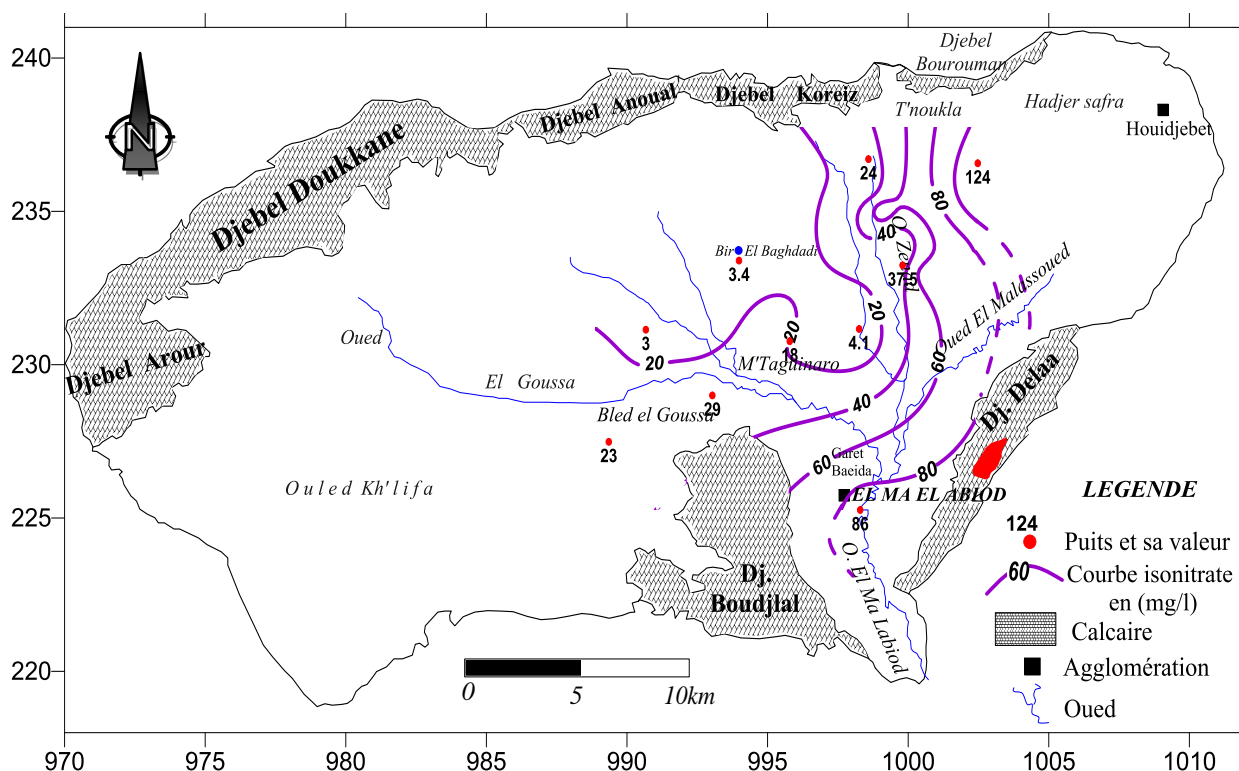


Fig.53.2- Carte des Nitrates Septembre 2013/Bassin d'El Ma El Abiod.

V.5-5 Cartographie de Calcium

V.5-5-1 Période d'Avril 2013 :

Les plus fortes concentrations sont localisées au Sud de l'ordre de 260 mg/l, par contre au nord les concentrations n'excèdent pas 100mg/l (Fig.54.1).

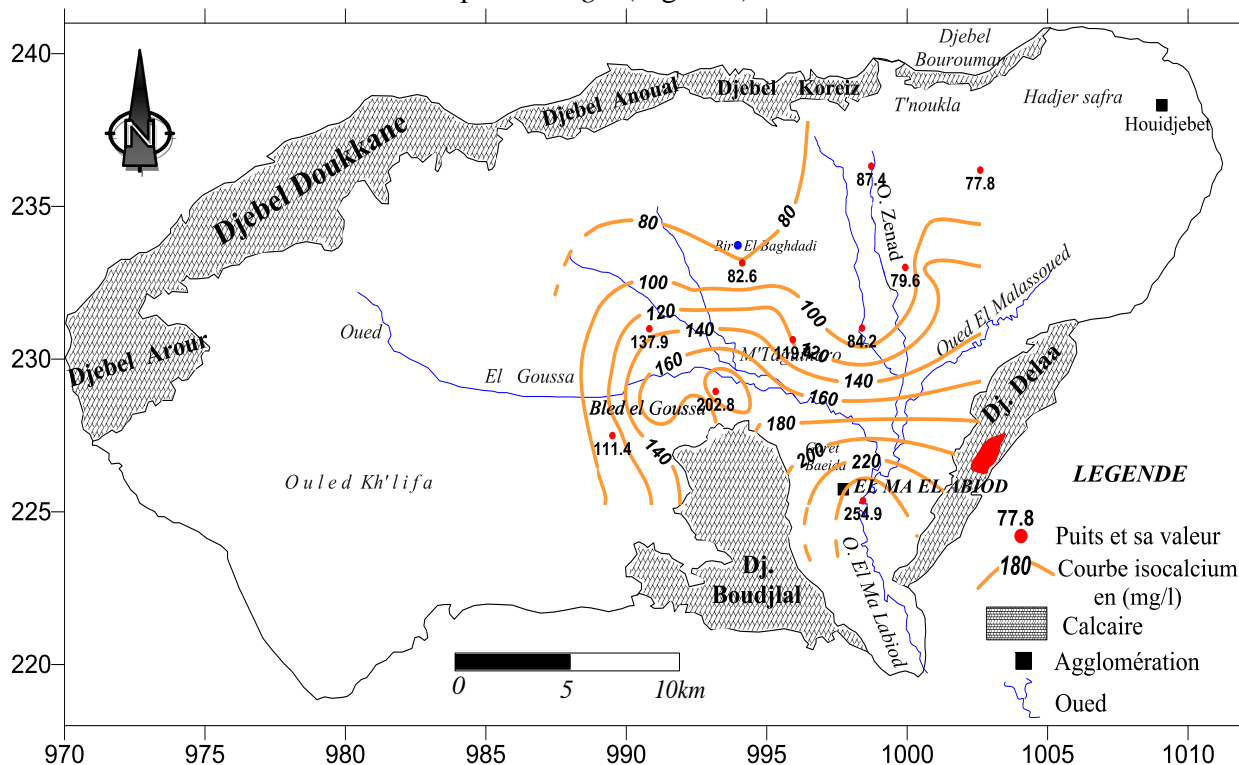


Fig.54.1- Carte des Calciums d'Avril 2013/Bassin d'El Ma El Abiod.

V.5-5-2 Période de septembre 2013 :

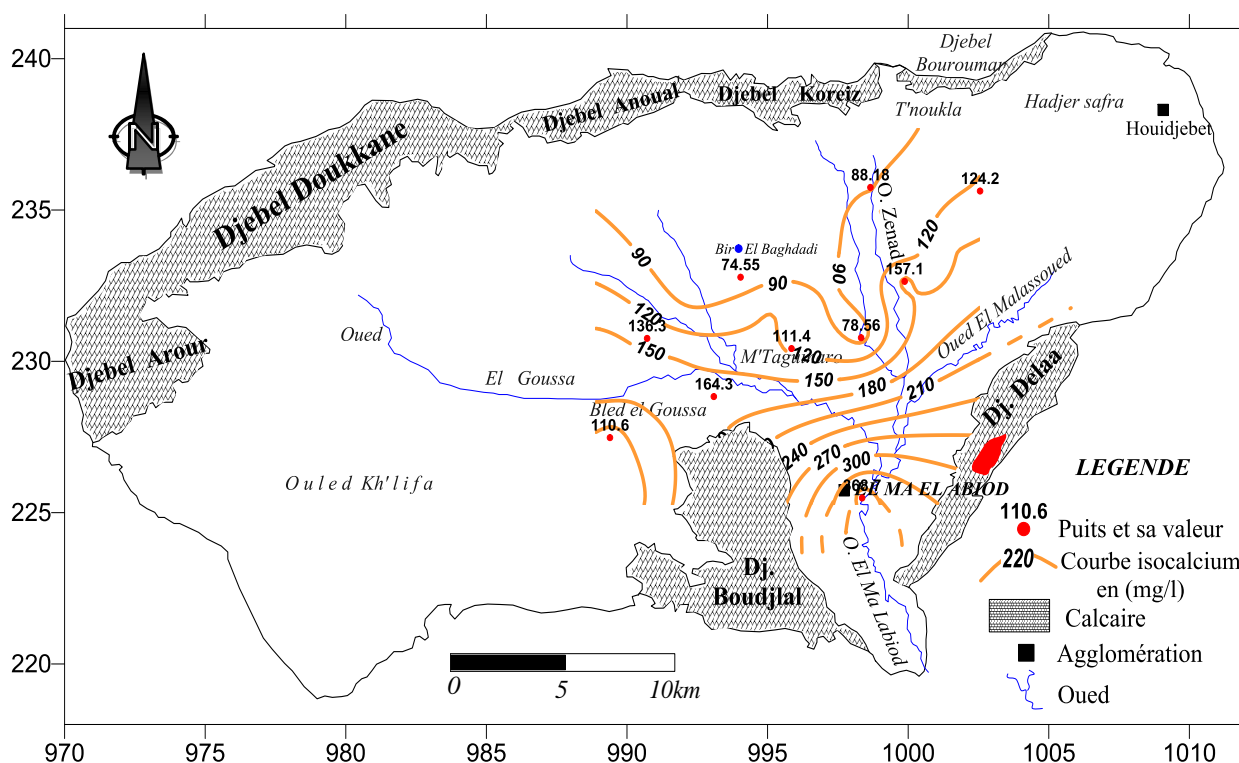


Fig.54.2- Carte des Calciums Septembre 2013/Bassin d'El Ma El Abiod.

La carte de calcium de septembre 2013 montre des valeurs très élevées au Sud de la plaine, avec des valeurs faibles au nord car les eaux souterraines ne sont pas encore minéralisées et proviennent de la dissolution des formations carbonatées de bordures. On remarque que les teneurs croissent dans le sens de l'écoulement (Fig.54.2).

On constate que les fortes concentrations coïncident avec la période des basses eaux, ce qui nous laisse penser que l'élévation des concentrations est due au phénomène d'évaporation.

V.5-6 Cartographie de Sodium

V.5-6-1 Période d'Avril 2013 :

Les fortes concentrations sont enregistrées durant la période des hautes eaux, au Nord-Est de la nappe (Houidjbet) où on a enregistré des concentrations importantes en sodium 94mg/l. Elles sont dues, d'une part, à la dissolution du gypse qui sont contenus dans les marnes emschériennes, et d'autre part au lessivage des dépôts évaporitiques, provenant de Dj. Delaâ (Fig.55.1).

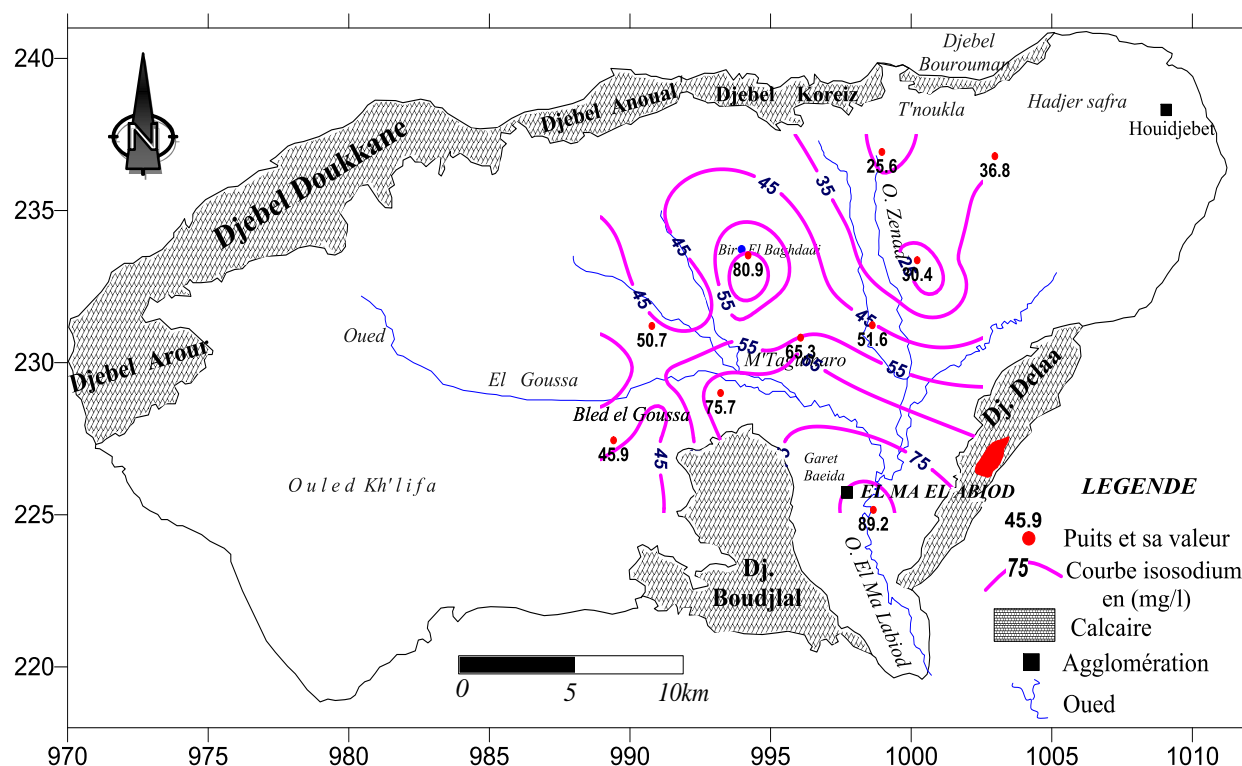


Fig.55.1- Carte des Sodiums d'Avril 2013/Bassin d'El Ma El Abiod.

V.5-6-2 Période de septembre 2013 :

La carte de sodium de cette période (Fig.55.2), montre que les concentrations sont importantes au centre et au Sud de la plaine pendant la période des basses eaux, ce qui traduit l'effet de l'évaporation, car la surface piézométrique n'est pas profonde. Au Sud les formations évaporitiques du Trias de Dj. Delaâ constituent l'origine du sodium avec un teneur de 86 mg/l, Des teneurs assez remarquables sont observées au centre de la plaine (65mg/l).

On signale que les faibles concentrations se localisent en amont de la nappe, là où les eaux souterraines sont au début de leur cheminement, c'est-à-dire ne sont pas encore trop minéralisées.

Les plus faibles concentrations sont constatées en amont de la nappe, le long des bordures calcaires où se localise le faciès bicarbonaté-calcique, car les eaux souterraines sont faiblement minéralisées.

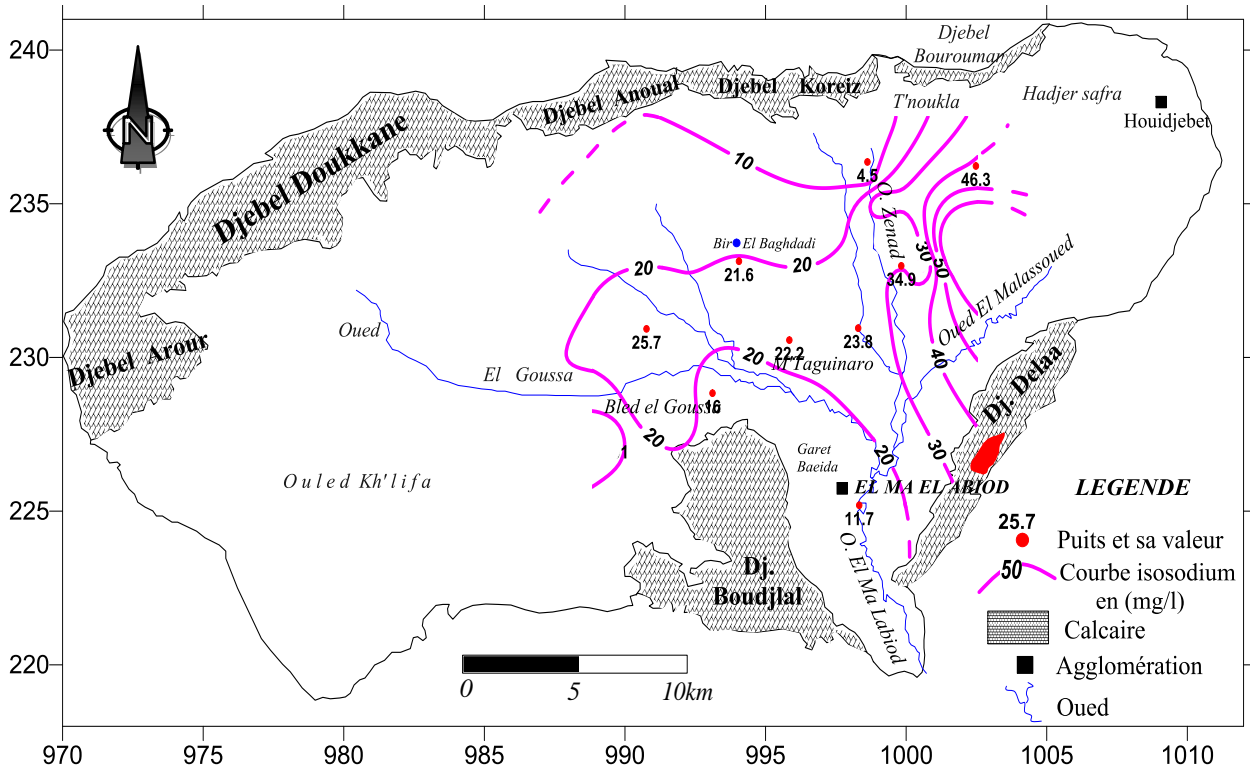


Fig.55.2 Carte des Sodiums Septembre 2013/Bassin d'El Ma El Abiod.

V.5.7. Cartographie de Magnésium

V.5-7-1 Période d'Avril 2013 :

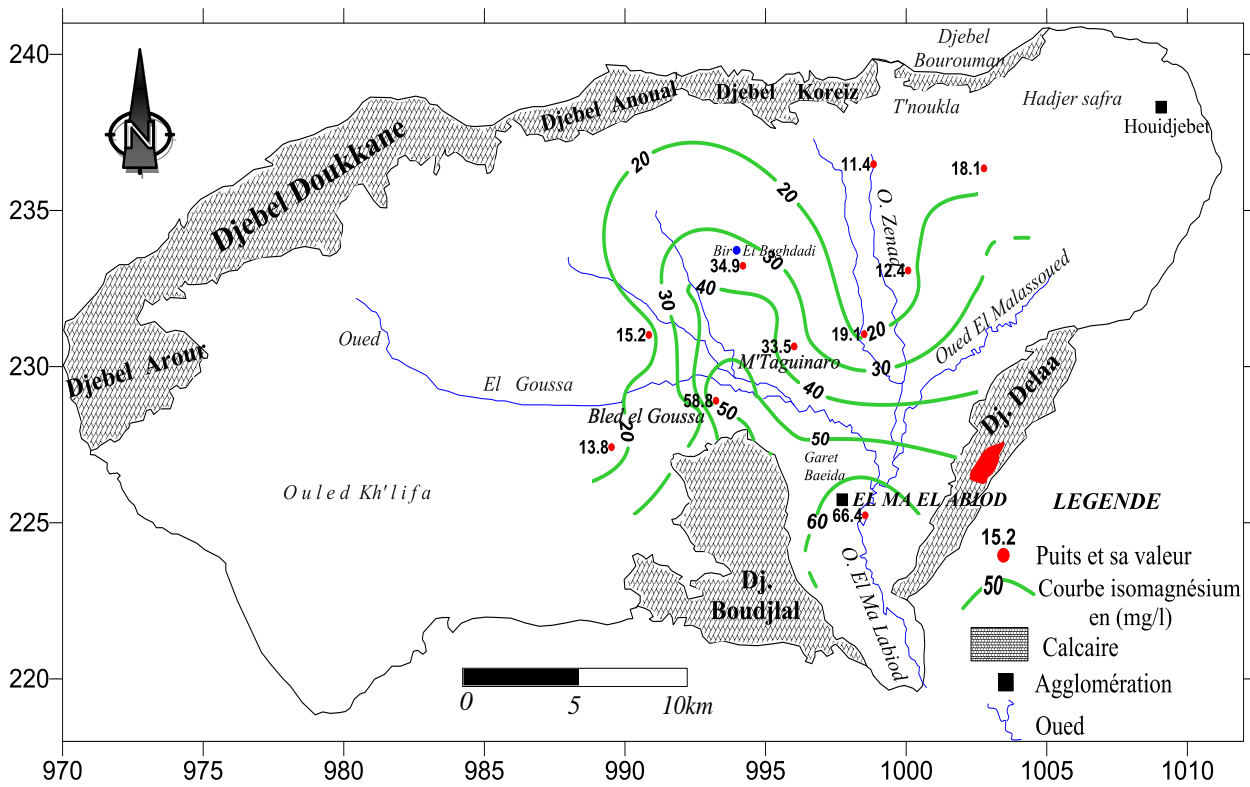


Fig.56.1- Carte des Magnésium d'Avril 2013/Bassin d'El Ma El Abiod.

V.5-7-2 Période de Septembre 2013 :

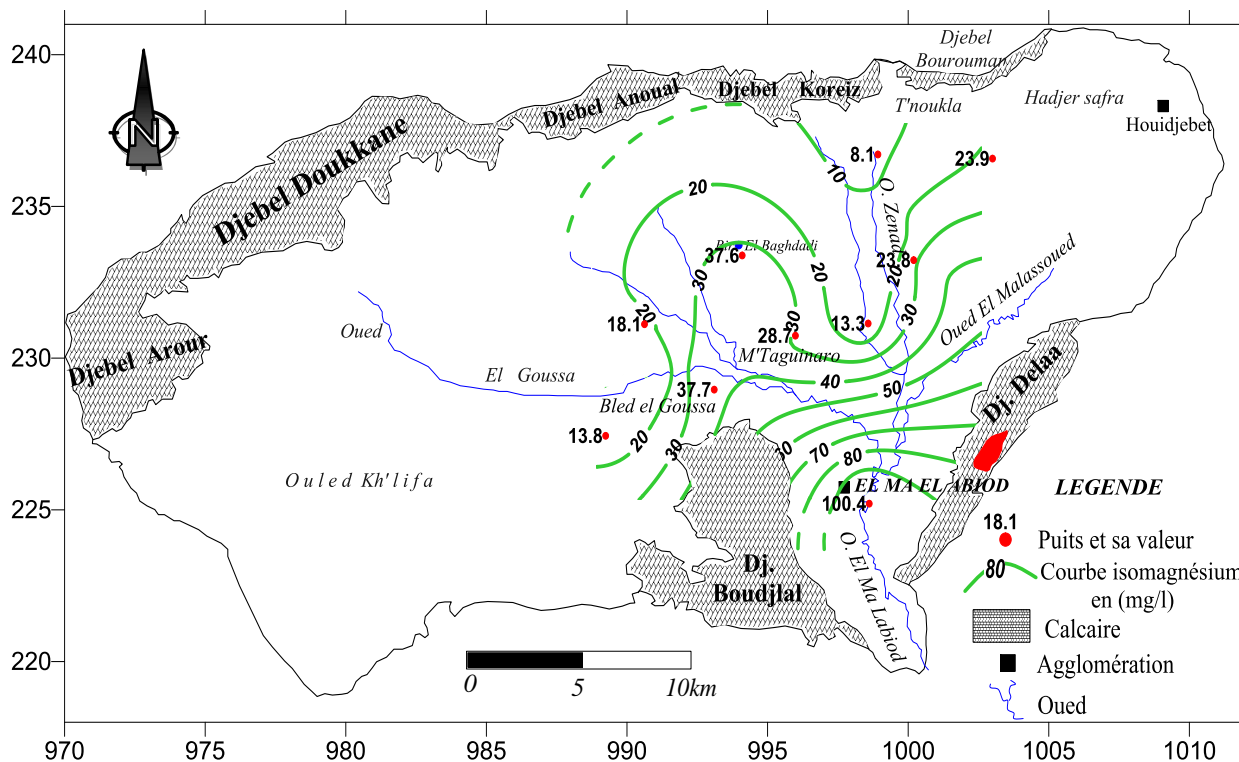


Fig.56.2- Carte des Magnésium Septembre 2013/Bassin d'El Ma El Abiod.

Les cartes de magnésium dans les deux campagnes montrent des valeurs faibles à proximité des bordures nord là où les eaux souterraines sont au début de leur cheminement, par contre au sud ces valeurs augmentent, surtout pendant la période des basses eaux où les valeurs du magnésium atteignent les 100 mg/l (Fig. 56.1 et 56.2).

V.6 - Etude De L'origine Du Chimisme Des Eaux Souterraines :

L'analyse des données chimiques à l'aide de la cartographie a pu donner une idée sur le chimisme des eaux souterraines de la nappe aquifère d'El Ma El Abiod.

L'influence des formations géologiques sur la nature des faciès est notable : les calcaires ont donné le faciès bicarbonaté calcique, confirmant ainsi l'alimentation latérale de la nappe, à partir des bordures calcaires.

Les marnes emschériennes de substratum, qui sont gypsifères, ainsi que les dépôts triasiques de Djebel Dalaâ, sont à l'origine des faciès sulfaté-calciques et chlorurés-calciques, par les phénomènes de lessivage et d'évaporation.

Les conditions hydrodynamiques de la nappe ont favorisé l'acquisition de ces faciès :

- La surface piézométrique n'est pas assez profonde ce qui augmente l'effet de l'évaporation dans la zone centrale et méridionale, où le gradient hydraulique diminue, donnant ainsi suffisamment de temps à l'interaction entre les eaux souterraines et la géologie.
- Pendant la période des hautes eaux, les précipitations provoquent la dissolution des calcaires de bordures et le lessivage des dépôts de remplissage.

La variation des éléments chimiques et leur influence sur la prédominance des faciès, ainsi que les corrélations inter-éléments, nécessitent une étude statistique dont les caractéristiques s'adaptent mieux avec l'évolution des éléments analysés.

V.7- Utilisation agricole des eaux souterraines

Plusieurs classifications existent pour les eaux destinées à l’irrigation, qui sont basées essentiellement sur la salinité, la conductivité électrique (CE), et le Sodium échangeable exprimé par le ratio (SAR). Parmi ces classifications celle de Wilcox.

Le risque est déterminé à partir de la valeur du sodium absorbable, « Sodium Absorption Ratio : SAR ». Pour une même conductivité, le risque est d’autant plus grand que le coefficient est plus élevé.

La classification de Wilcox fondée sur la conductivité électrique et la teneur en sodium dans l’eau exprimée en pourcentage. La représentation des différents échantillons sur ce diagramme permet la caractérisation des eaux pour leur aptitude à l’irrigation, définie par la formule ci-après:

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

On a représenté les eaux des périodes avril 2013, septembre 2013, sur le diagramme de Wilcox (Fig. 57.1 et 57.2), qui nous a permis de déduire que les eaux de la région, appartiennent généralement à la troisième et deuxième classe, avec un point qui appartient à la quatrième classe.

En général ces eaux sont soit acceptables à l’irrigation de culture tolérante aux sels sur des sols bien drainés, l’évolution de la salinité doit être contrôlée. Soit fortement minéralisées, pouvant convenir à l’irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels, bien drainées et bien lessivées.

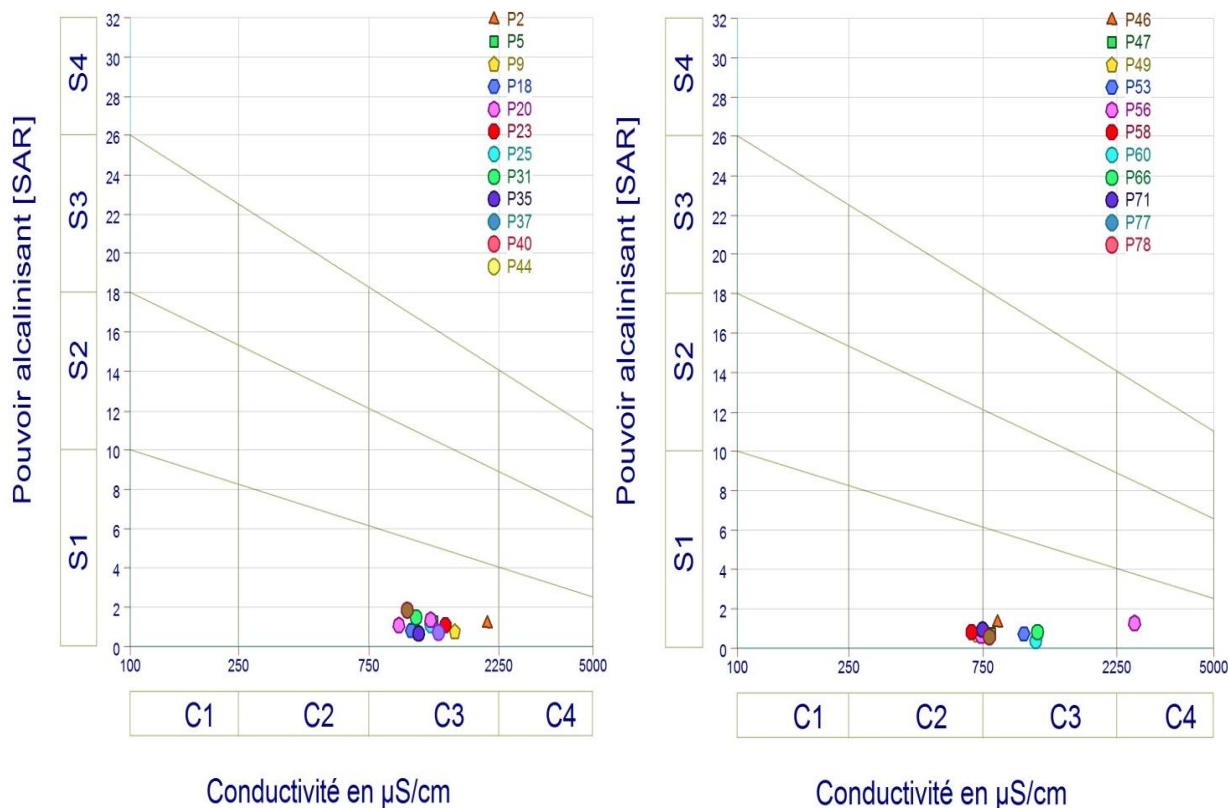


Fig. 57.1: Diagramme de Wilcox, El Ma El Abiod (avril 2013).

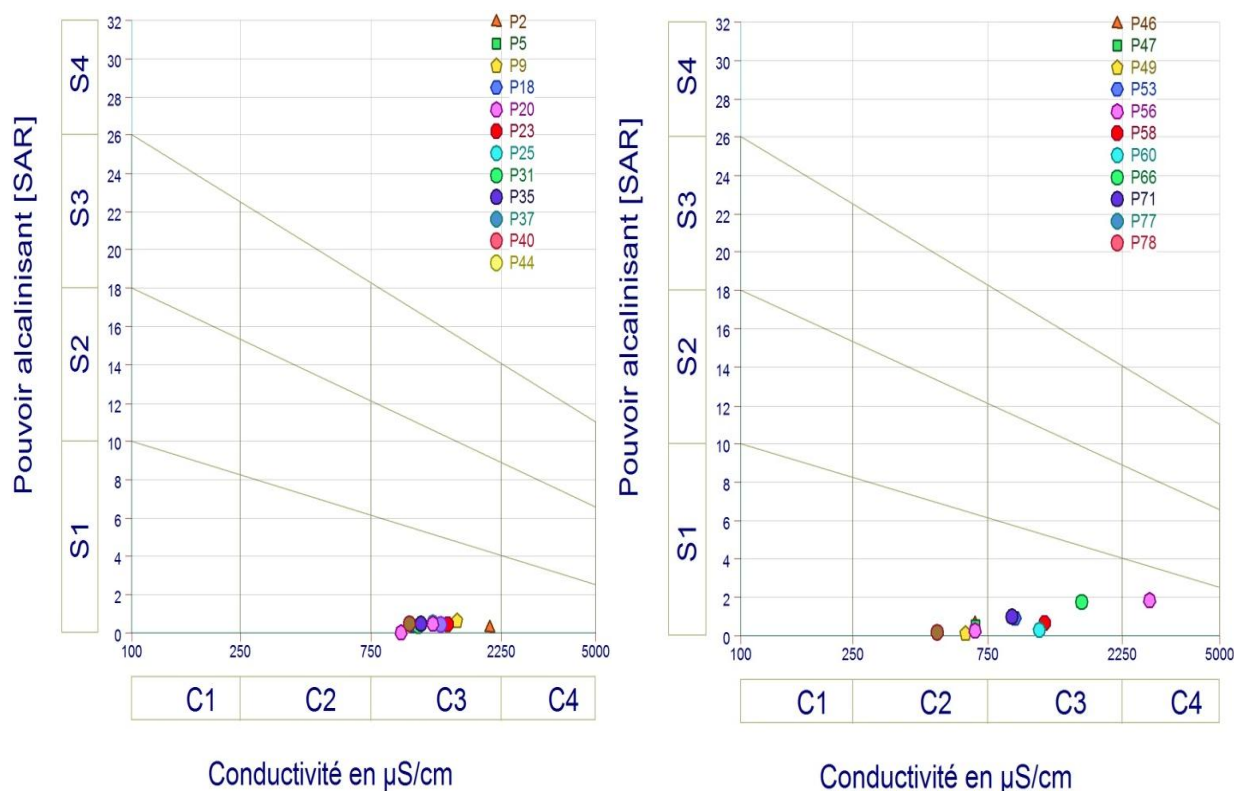


Fig.57.2: Diagramme de Wilcox, El Ma El Abiod (sept 2013).

Les diagrammes couvrant les deux périodes d’observation montrent que les eaux souterraines de la nappe d’El Ma El Abiod, selon la classification de Wilcox, appartiennent aux trois classes : Bonne, Médiocre et Mauvaise (Tab. 39).

Classe	Qualité	Avril 2013	Septembre 2013
		23 Puits	22 Puits
C_2S_1	Bonne	17.4%	27.3%
C_3S_1	admissible	65.2%	68.2%
C_4S_1	mauvaise	4.4%	4.6%

Tab.39: Evolution des classes d’irrigation selon la méthode de Wilcox.

- La classe Bonne : Elle regroupe les eaux qui sont faiblement minéralisées, on la rencontre à proximité des bordures de la région d’étude. Avec un pourcentage de 27.3% des points d’eau analysés.
- La classe Admissible : Elle regroupe les eaux plus minéralisées que celles des classes précédentes, elle se manifeste au centre, au sud de la plaine, Elle est la plus répandue dans la nappe (68.2 %).
- La classe Mauvaise : Elle regroupe les eaux qui se situent au sud de la plaine d’El Ma El Abiod. Alors que cette classe ne représente qu’un pourcentage de 4.6 % des points d’eau analysés tel que le puits P_{78} .

On constate que les eaux souterraines subissent une dégradation selon le sens de l’écoulement, montrant ainsi l’effet de la lithologie sur leur qualité (Fig. 58).

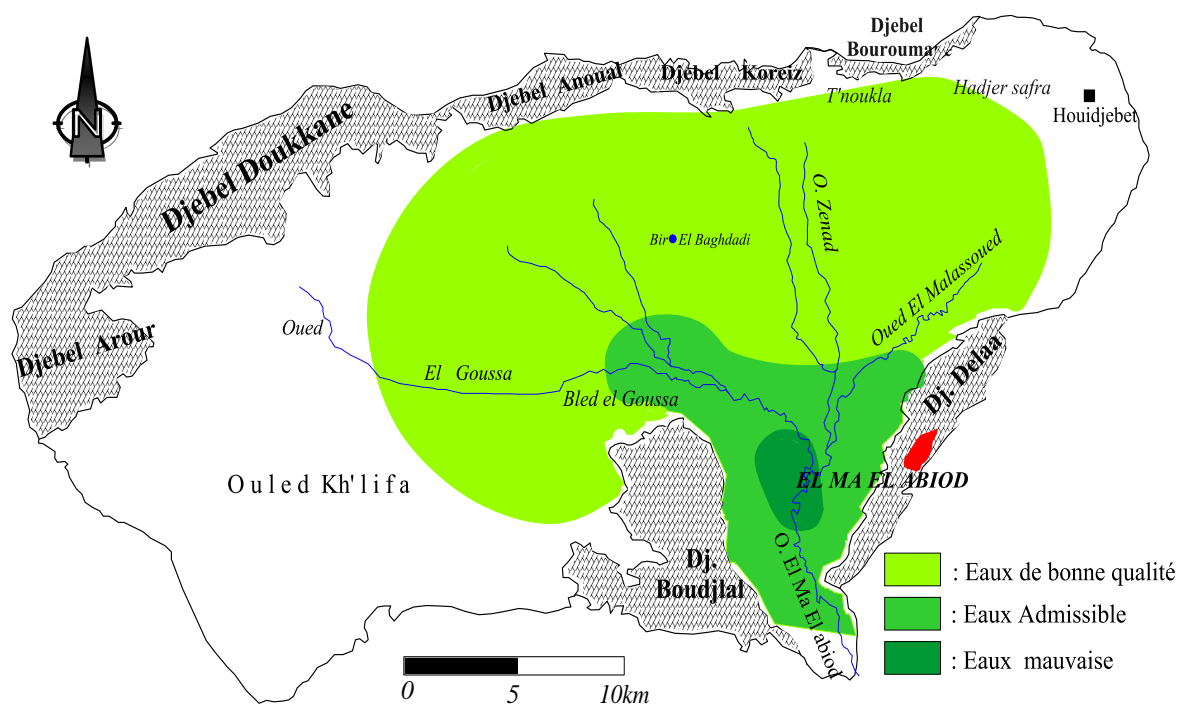


Fig.58- Carte d'aptitude des eaux à l'irrigation selon le diagramme de Wilcox (Sept 2013).

Conclusion:

L'étude hydrogéochimique des eaux de la nappe des sables miocènes d'El Ma El Abiod permet de dire que :

- Les eaux sont caractérisées par une forte salinité et par la présence de trois faciès dominants, qui sont le sulfaté calcique, le bicarbonaté calcique et chloruré calcique ;
- La répartition spatiale des éléments chimiques montre que le chimisme est fortement influencé par la lithologie de la nappe, suite à la dissolution des formations carbonatées et des formations évaporitiques.
- Le suivi de la qualité des eaux dans le temps a montré l'effet des précipitations et de l'évaporation sur la minéralisation des eaux souterraines, alors que l'évolution de la minéralisation se fait généralement dans le sens d'écoulement des eaux souterraines comme le montre la carte piézométrique.
- D'après le diagramme de Wilox, les eaux souterraines de la région d'étude montrent généralement une bonne qualité à admissible, à l'exception de la zone centrale, où elle devient mauvaise.

**Vulnérabilité et Pollution
des eaux souterraines**

VI.1 Introduction :

La pollution de l'eau résulte de l'activité humaine, et en particulier les activités industrielles, mais aussi agricoles et domestiques, libèrent dans l'environnement des produits et des matières potentiellement périlleux, appelés contaminants ou polluants. Ces derniers sont rejetés dans les milieux naturels. Leur présence, notamment dans les eaux souterraines, pose un problème transdisciplinaire à l'interface des écosystèmes et des ressources hydriques.

La région d'El Ma El Abiod a connu durant ces dernières années un développement économique et particulièrement industriel et agricole, Ceci a augmenté la demande en eau et a exposé les ressources en eau à différentes pollutions résultant de ces activités, qui probablement ont participé à la contamination des eaux souterraines.

Dans notre étude, on a essayé de délimiter les zones polluées et à déterminer l'origine de ses polluants dans la nappe miocène, le contrôle de cette pollution se fait par une bonne connaissance des sources de polluants et des conditions hydrodynamiques et lithologiques de la nappe, qui agisse sur leur mobilité.

VI.2- Principales sources de pollution du bassin d'El Ma El Abiod

La région connaît un développement remarquable en agriculture et l'industrie. Au cours des sorties sur le terrain, on a essayé de faire une carte d'inventaire des différentes sources de pollution (Fig. 59), qui sont les suivantes:

- Les cultures maraîchère et céréalière, qui utilisent d'importantes quantités de fertilisants sous forme de fumier (engrais).
- Les rejets urbains, qui déversent des eaux usées domestiques dans la plaine, sans traitement au préalable, ainsi les décharges ménagères sauvages.
- Les usines : du ciment portland (ERCE), celle du verre (SOVEST) et des tubes roulés (ANABIB), et également les exploitations minières.

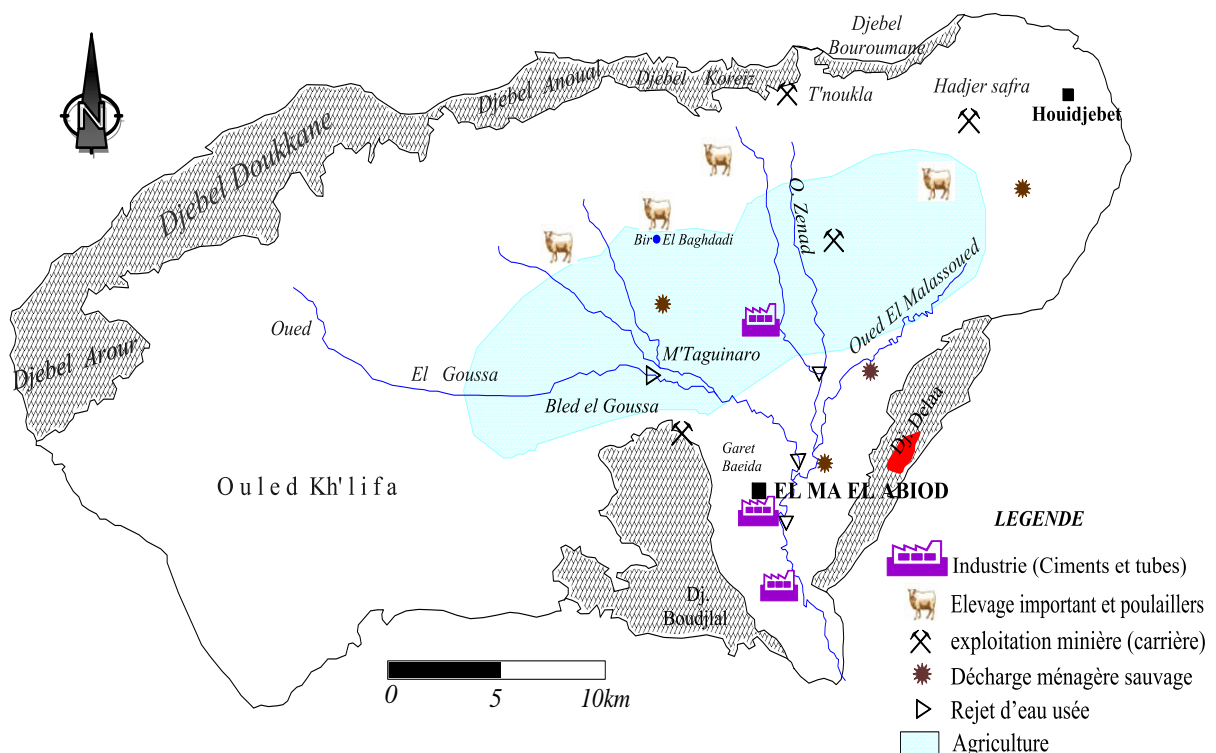


Fig. 59 Carte d'Inventaire des sources de pollutions/Bassin d'El Ma El Abiod (mars 2014).

VI.2- a- Pollution urbaine

Les rejets urbains déversent dans la plaine une charge polluante considérable. Ce collecteur naturel possède des échanges hydrauliques permanents avec la nappe, ce qui permet la migration des contaminants vers cette dernière, On peut dire que ces rejets composent la source principale de pollution organique, qui peut dégrader la qualité des eaux de surface et surtout souterraines.



Fig. 60. Exemple de rejets domestiques dans les principaux oueds/Bassin d'El Ma El Abiod.

Dans la région d'étude on note la présence de deux décharges sauvages, l'une à El Ma El Abiod et l'autre à Houidjebet, collectant respectivement 310 et 912 tonnes/an (*Direction de l'Environnement de Tébessa*). En matière d'eau usée, les rejets sont estimés à 6 millions de M^3 /an (*Direction de l'Environnement de Tébessa*), déversés dans le milieu naturel sans traitement au préalable.

Tous ces produits polluants constituent une véritable source de détérioration d'une part de la qualité du sol, et d'autre part des ressources en eau et des écosystèmes (Fig. 60).

VI.2- b- Pollution industrielle

Le secteur industriel n'est pas aussi développé dans la région au point où il peut en lui-même devenir une source d'inquiétude toutefois (Fig.61), l'absence de station de traitement des eaux usées issues des entreprises qui y sont implantées et des poussières émises, est une vraie problématique.

Il est à signaler que lors des sorties effectuées, on a remarqué que les rejets atmosphériques (cimenterie) ou liquides, ne font l'objet d'aucun traitement ni contrôle, et peuvent par conséquent être à l'origine de maladies respiratoires, modification de la qualité des réserves en eau avec la détérioration des terres productives (durcissement).

Le trafic routier est aussi initiateur de pollution métallique particulière qui se dépose sur les sols et les voiries, et sera reprise par le lessivage. Parmi les métaux lourds on dénombre le Plomb qui est peu mobile et soluble et le Zinc, qui ont un effet cumulatif, et génèrent avec le temps une action néfaste.



Fig. 61. Exemple de rejets industriels liquides/Bassin d'El Ma El Abiod.- in Djebari 2011-

VI.2- c- Pollution agricole

À partir du lancement du plan national de développement agricole (PNDA), et l'autorisation des dons et des crédits au profit des exploitants, l'agriculture a commencé à renaître. Ainsi, la libération du secteur agricole a permis l'emploi de produits phytosanitaires et d'engrais chimiques, lors des campagnes de fertilisation (Fig.62).

L'usage excessif de ces composés provoque une dégradation de la qualité des eaux, qui seront touchées après lessivage et infiltration, et par conséquent, l'eau sera impropre à la consommation. ($P_{71} = 124\text{mg/l}$, $P_{78} = 86\text{mg/l}$ de nitrates).



Fig. 62. Exemple d'Utilisation des Engrais Chimiques dans la région d'El Houdjbet.

VI.3 - Étude de la vulnérabilité de la nappe d'El Ma El Abiod:

VI.3.1 Introduction

Dans le contexte actuel de la politique de la gestion durable des ressources en eau, la prédiction du risque de pollution et la protection de ces ressources sont d'une importance capitale. Pour cela, la protection, à moyen et à long terme, de la qualité de ces ressources s'impose. Cette protection peut se faire, d'abord par la délimitation des zones susceptibles d'être atteintes par la pollution que l'on qualifiera de *vulnérables* ou à *risques*. Toutefois, la quantification du risque de pollution reste encore un problème difficile à appréhender.

VI.3.2 Vulnérabilité à la pollution chimique des eaux souterraines :

La vulnérabilité d'une nappe d'eau souterraine à la pollution chimique matérialise la facilité avec laquelle elle peut être atteinte par une pollution chronique ou accidentelle, diffusé ou ponctuelle. L'estimation de cette vulnérabilité tient compte de certains facteurs qui sont :

- Les conditions de pénétration des polluants dans la nappe, c'est-à-dire le transit, selon un trajet vertical des corps polluants, entraînés par les eaux d'infiltration depuis la surface du sol jusqu'à la nappe souterraine, à travers la zone non saturée.
- La propagation des polluants dans la nappe, qui est matérialisée par l'écoulement de l'eau polluée. Elle dépend des conditions hydrodynamiques de la nappe.
- Le séjour du polluant dans la nappe, c'est-à-dire sa persistance plus ou moins prolongée, après l'élimination de la source de contamination. La durée de ce séjour est régie par le renouvellement naturel de l'eau dans la nappe aquifère.

Les méthodes d'estimation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution sont très nombreuses. Chacun élabore sa propre méthode selon ses objectifs, Dans notre étude on va utiliser la méthode DRASTIC, qui s'adapte avec les caractéristiques de notre terrain.

VI.3.3 Présentation de la méthode DRASTIC

La méthode DRASTIC a été mise au point par l'Environmental Protection Agency (EPA) aux Etats-Unis en 1985 et Aller et al. en 1987, afin d'estimer le potentiel de pollution et d'évaluer la vulnérabilité verticale des eaux souterraines (Schneblen et al. 2002). Elle se base sur sept critères qui sont :

[D] : depth to groundwater (Distance à la nappe, épaisseur de la zone non saturée)

[R] : recharge de l'aquifère

[A] : aquifer media (nature de la zone saturée)

[S] : soil media (nature du sol)

[T] : topography (topographie, pente en %)

[I] : impact of the vadose zone (nature de la zone non saturée)

[C] : conductivity (perméabilité de l'aquifère).

Chaque critère est cartographié avec un index, appelé aussi note(n), allant typiquement de 1 à 10. Un facteur de pondération (p) est ensuite appliqué aux différents critères afin de relativiser leur importance respective en terme de vulnérabilité. L'index de vulnérabilité final (Di) est la somme pondérée des sept paramètres selon la formule suivante :

$$D_i = D_n \cdot d_p + R_n \cdot R_p + A_n \cdot A_p + S_n \cdot S_p + T_n \cdot T_p + I_n \cdot I_p + C_n \cdot C_p$$

D, R, A, S, T, I, C sont les paramètres cités plus haut.

p : facteur de pondération accordé à chaque paramètre.

n : notation accordée à chaque paramètre.

Chaque paramètre est affecté d'un poids qui traduit son influence dans l'estimation de l'Indice de Pollution DRASTIC. Le tableau 40 montre les poids et les propriétés des sept paramètres.

CRITERES	Facteurs de pondération	
	Normal	Avec produit
D : profondeur	5	5
R : recharge	4	4
A : Milieu aquifère (zone saturée)	3	3
S : Milieu sol au-dessus de la zone non saturée	2	5
T : Topographie	1	3
I : nature de la zone non saturée	5	4
C : perméabilité aquifère	3	2

Tab.40: Poids et propriétés des paramètres DRASTIC.

-Le système de notation appliqué :

Pour chacun des paramètres DRASTIC, une note est affectée sur une échelle entière allant de 1 (le moins important) à 10 (le plus important). Pour un paramètre donné, une note basse implique que la nappe concernée n'est pas vulnérable à la pollution et vice-versa (Tab 41).

D : DISTANCE A LA NAPPE, EPAISSEUR DE LA ZONE NON SATUREE		R : RECHARGE (PLUIE EFFICACE)	
Valeurs en mètre	Notation	Valeurs en mm	Notation
0 – 1,5	10	25,5	9
1,5 – 4,5	9	17,5 – 25,5	8
4,5 – 9	7	10 – 17,5	6
9,0 – 15	5	5 – 10	3
15 – 22	3	0 – 5	1
22,5 – 30	2		
30	1		
A : NATURE DE LA ZONE SATUREE		S : NATURE DU SOL	
Calcaire karstique	10	Peu épais ou absent	10
Basalte	9	Gravier	10
Sable et gravier	8	Sables	9
Calcaire massif	6	Argile, agrégats	7
Grès massifs	6	Limon sableux	6
Métamorphique altéré	4	Limon	5
Métamorphique	3	Limon silteux	4
Shale massif	2	Limon argileux	3
		Argiles non agrégée	1
T : TOPOGRAPHIE, PENTE		I : NATURE DE LA ZONE NON SATUREE	
Valeurs en % de la pente	Notation	Calcaire karstique	10
0 – 2	10	Sable et gravier	9
2 – 6	9	Sable et gravier avec silt et argile	8
6 – 12	5	Grès	6
12 – 18	3	Calcaire	6
18	1	Silt/Argile	1
C : PERMEABILITE			
$9,4 \cdot 10^{-4}$ m/s	10		
$4,7 \cdot 10^{-4} - 9,4 \cdot 10^{-4}$ m/s	8		
$32,9 \cdot 10^{-5} - 4,7 \cdot 10^{-4}$ m/s	6		
$14,7 \cdot 10^{-5} - 32,9 \cdot 10^{-5}$ m/s	4		
$4,7 \cdot 10^{-5} - 14,7 \cdot 10^{-5}$ m/s	2		
$4,7 \cdot 10^{-7} - 4,7 \cdot 10^{-5}$ m/s	1		

Tab.41 : Classes et notes des sept paramètres (Lallemand Barès 1994).

VI.3.4 Validité de la méthode DRASTIC :

La précision avec laquelle la méthode DRASTIC permet de distinguer les régions vulnérables de celles qui sont protégées a été vérifiée dans différentes régions climatiques des États-Unis, ainsi qu'au Québec. Dans ce dernier cas, ISABEL et al (1990) ont vérifié la validité de la méthode sur des unités hydrogéologiques différentes. Dans tous les cas, les zones réellement contaminées correspondent à celles où les indices de vulnérabilité sont les plus élevés.

VI.3.5 Etablissement de la carte de vulnérabilité de la nappe d'El Ma El Abiod:

La méthode de définition de la vulnérabilité proposée pour la nappe des sables miocènes d'El Ma El Abiod sera la méthode à index avec pondération des critères de type DRASTIC. Les paramètres propres à la nappe d'El Ma El Abiod sont sensiblement les mêmes que ceux utilisés par Aller et al, mis à part le type de nappe. (Cette approche est basée sur les données de la thèse de doctorat d'**A.ROUABHIA 2006**).

VI.3.5.1. Profondeur de la nappe

La profondeur de la nappe est un paramètre important, qui constitue un facteur déterminant de la vulnérabilité. Plus cette profondeur est élevée, plus le contaminant met de temps à atteindre la surface piézométrique.

La répartition des indices pour ce paramètre est reportée sur le tableau 42.

Intervalle	Dn	Dp	Dn.Dp
4,5 – 9	7	5	35
9 – 15	5	5	25
15 – 23	3	5	15
23 – 31	2	5	10
31 et plus	1	5	5

Tab.42 : Notation et pondération du paramètre de la profondeur.

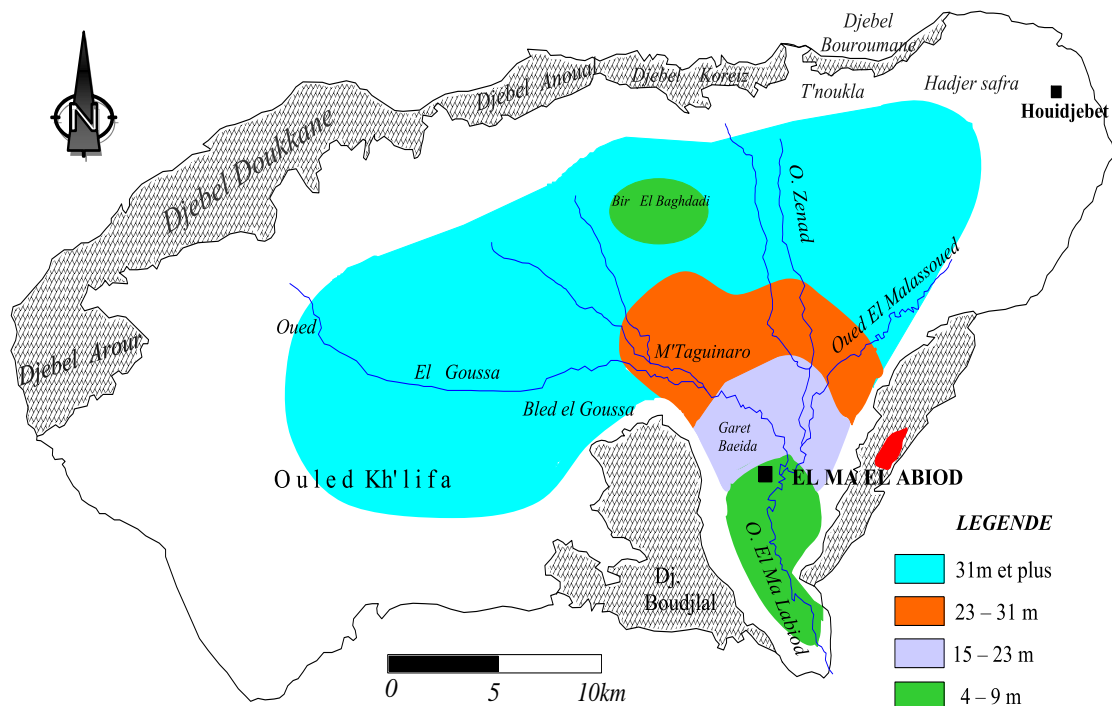


Fig. 63 Carte des indices de la profondeur de la nappe d'El Ma El Abiod.

Ces indices ont permis d'établir la carte thématique du paramètre profondeur (Fig. 63). L'observation de la dite carte montre que les plus faibles indices sont répartis dans le secteur ouest et nord-est, Leurs valeurs est égal à 5, alors que les plus importants indices se situent au niveau de Bir El Baghdadi et à El Ma El Abiod, avec des valeurs de 35. La partie centrale est caractérisée par les indices suivants : 15 et 25.

VI.3.5.2 Recharge efficace :

Elle concerne la quantité d'eau qui traverse la surface du sol pour renouveler les réserves d'eau souterraine et entretenir le débit de l'écoulement souterrain (Fig.64), après circulation dans l'aquifère. Les résultats du bilan hydrologique montrent que la valeur de ce paramètre est estimée à 5 mm sur l'ensemble du bassin (Tab.43).

Intervalle	Rn	Rp	Rn.Rp
0-5	1	4	4

Tab.43 : Notation et pondération du paramètre de la recharge.

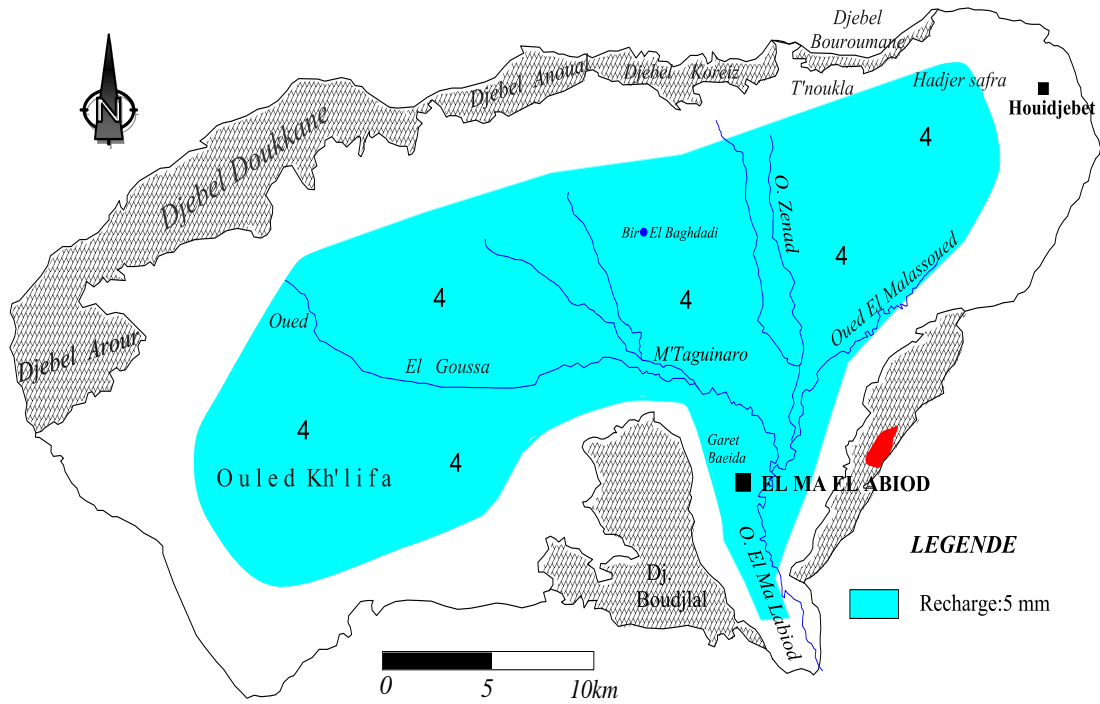


Fig. 64 Carte de la recharge efficace de la nappe d'El Ma El Abiod.

VI.3.5.3 Nature de la zone saturée :

Ce paramètre désigne la lithologie de l'aquifère (Fig. 65). Son identification a été basée sur les logs des forages et des puits creusés pour le captage de la nappe. Ces documents ont montré que le matériau aquifère de la nappe d'El Ma El Abiod est constitué essentiellement de sables et par endroit d'argiles sableuses. (Environ de Bir El baghdadi). Les indices correspondant à ce paramètre ont été estimés selon la notation illustrée dans le tableau 44.

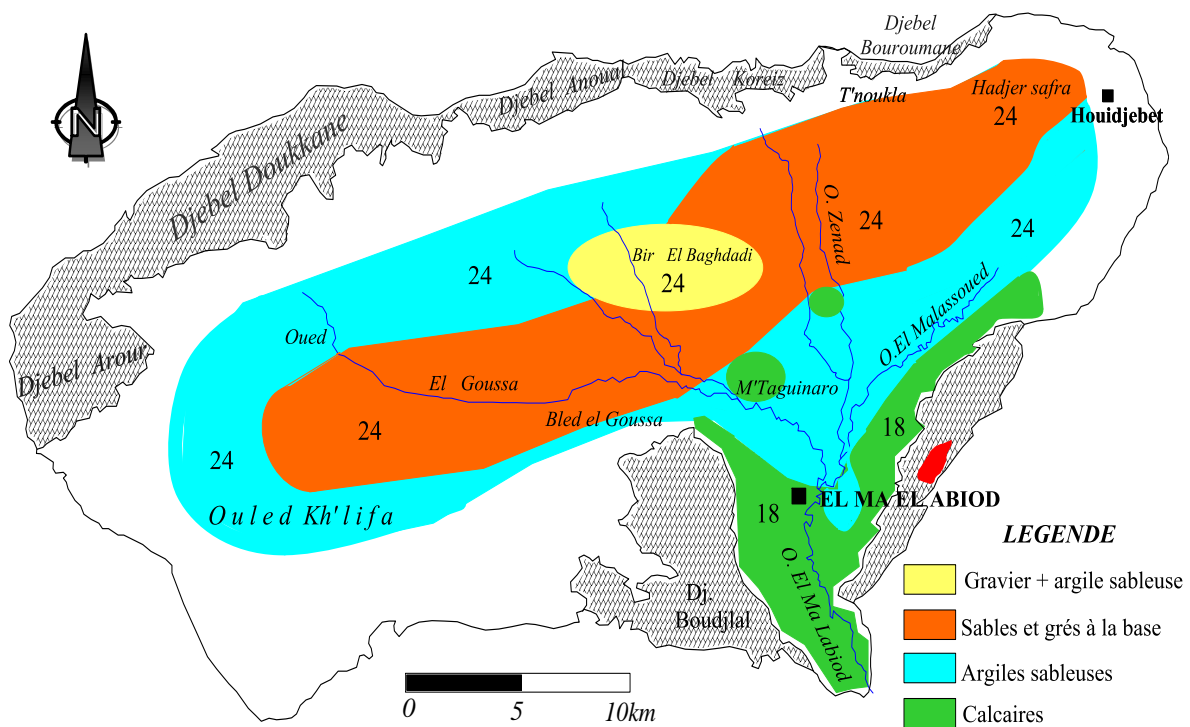


Fig. 65 Carte des matériaux de la nappe d'El Ma El Abiod.

Classes	An	Ap	An. Ap
Sable	8	3	24
Sable et grés	8	3	24
Calcaire	6	3	18
Gravier et argiles sableuses	8	3	24

Tab.44 : Notation et pondération selon la nature de la zone saturée.

VI.3.5.4 Nature du sol :

La nature de la surface du sol influe sur la pénétration des polluants vers l'aquifère. Plus le sol est riche en argile, plus l'absorption des polluants est importante, et plus la protection des eaux souterraines est grande. Ce paramètre joue un rôle important dans la détermination des zones polluées (Fig.66).

Les informations dégagées à partir de la carte géologique provisoire de DUROZY et des logs de forages, ont permis de dégager la nature du sol. Les valeurs indiciaires ont été déterminées selon les classes signalées dans le tableau 45.

Classes	Sn	Sp	Sn. Sp
Galet de calcaire	10	2	20
Sable	9	2	18
Gravier	10	2	20
argile sableuse	6	2	12

Tab.45 : Notation et pondération selon la nature du sol.

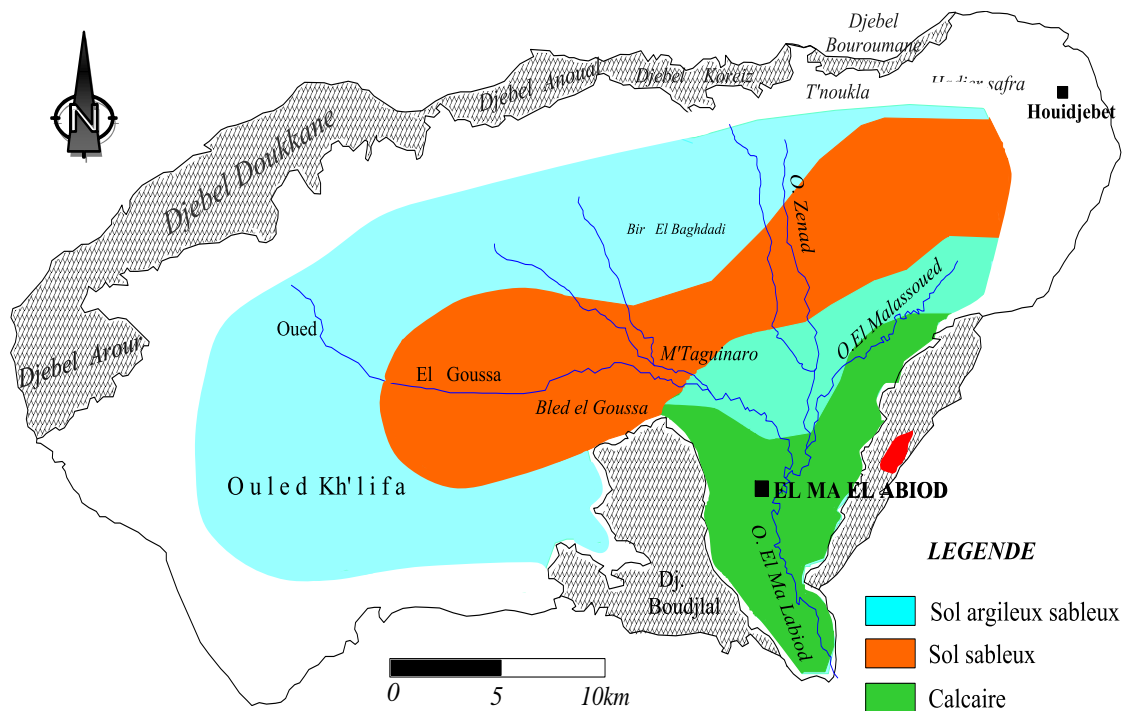


Fig. 66 Carte des types de sols de la nappe d'El Ma El Abiod.

VI.3.5.5 Topographie (pente) :

Plus la pente des terrains est grande, plus le ruissellement des eaux est important et par conséquent la contamination des eaux souterraines est faible. Les valeurs de pentes ont été estimées en se référant à la carte topographique au 1/50000 d'El Ma El Abiod, et représentées dans le tableau 46.

Intervalle	Tn	Tp	Tn.Tp
0 - 2%	10	3	30
2 - 6%	9	3	27

Tab.46 : Notation et pondération selon la topographie du terrain.

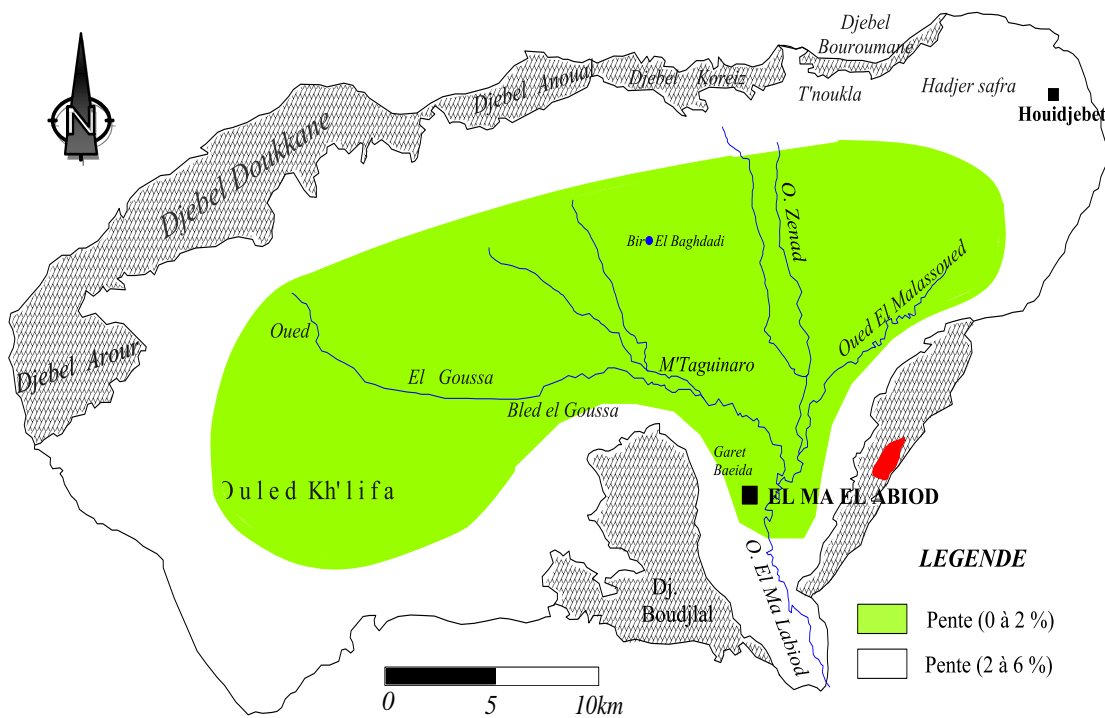


Fig. 67 Carte des pentes topographiques de la nappe d'El Ma El Abiod.

L'observation de la carte montre deux plages de pente. La première varie de 0 à 2 % et occupe la majorité de la plaine, tandis que la seconde varie de 2 à 6 %, et est rencontrée à proximité des bordures entouré la plaine (Fig. 67).

VI.3.5.6 Nature de la zone non saturée (vadose)

La nature de la zone non saturée constitue un paramètre important dans l'estimation de la vulnérabilité (Fig. 68), car elle influe sur la vitesse de propagation des polluants. Son impact est déterminé à partir de la lithologie des terrains qui la constituent. La percolation des contaminants jusqu'à la surface piézométrique est d'autant plus grande que cette lithologie est favorable (Tab 47).

Classes	In	Ip	In.Ip
Calcaire	6	5	30
Sable et gravier	8	5	40
Argile sableuse	6	5	30
Sables	6	5	30

Tab.47 : Notation et pondération de la couche vadose.

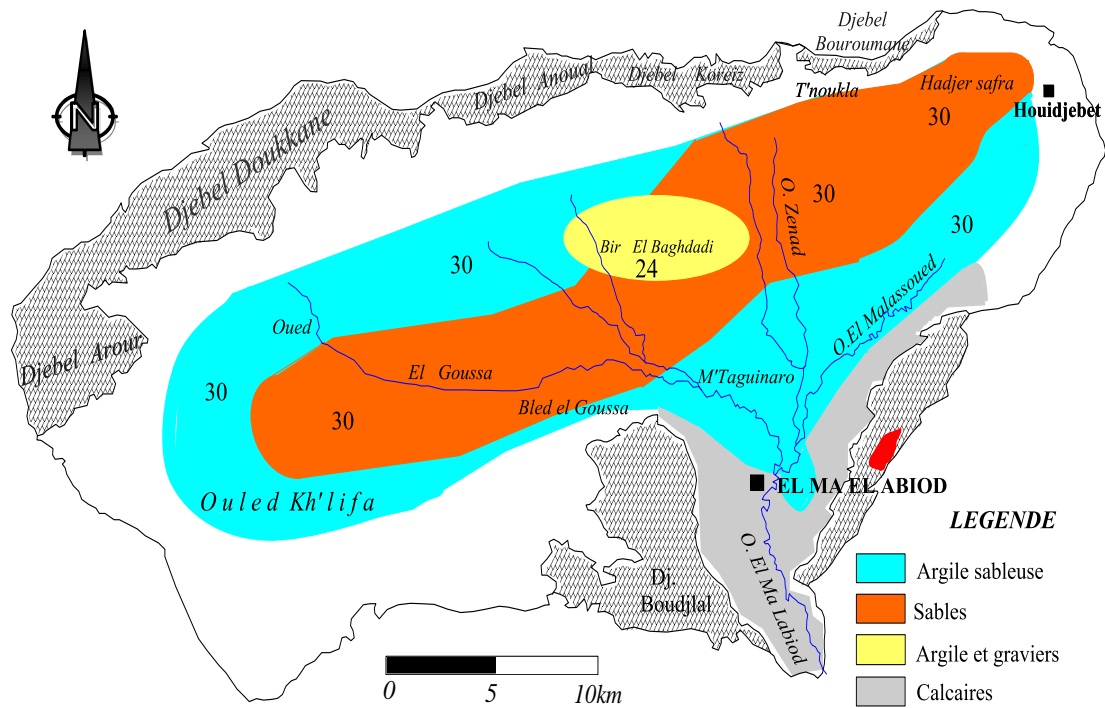


Fig. 68 Carte de l'impact de la couche vadose de la nappe d'El Ma El Abiod.

Cette zone ne contient pas l'eau, mais dans certains cas, elle est caractérisée par une bonne perméabilité facilitant ainsi l'infiltration des eaux polluantes qui vont percoler vers la nappe.

VI.3.5.7 Perméabilité

La perméabilité de la couche aquifère nous renseigne sur la vitesse de propagation des polluants dans la nappe (Fig. 69). Plus ce paramètre est important, plus le transfert des polluants est rapide. L'estimation des indices de ce paramètre a été faite selon les classes présentées dans le tableau 48.

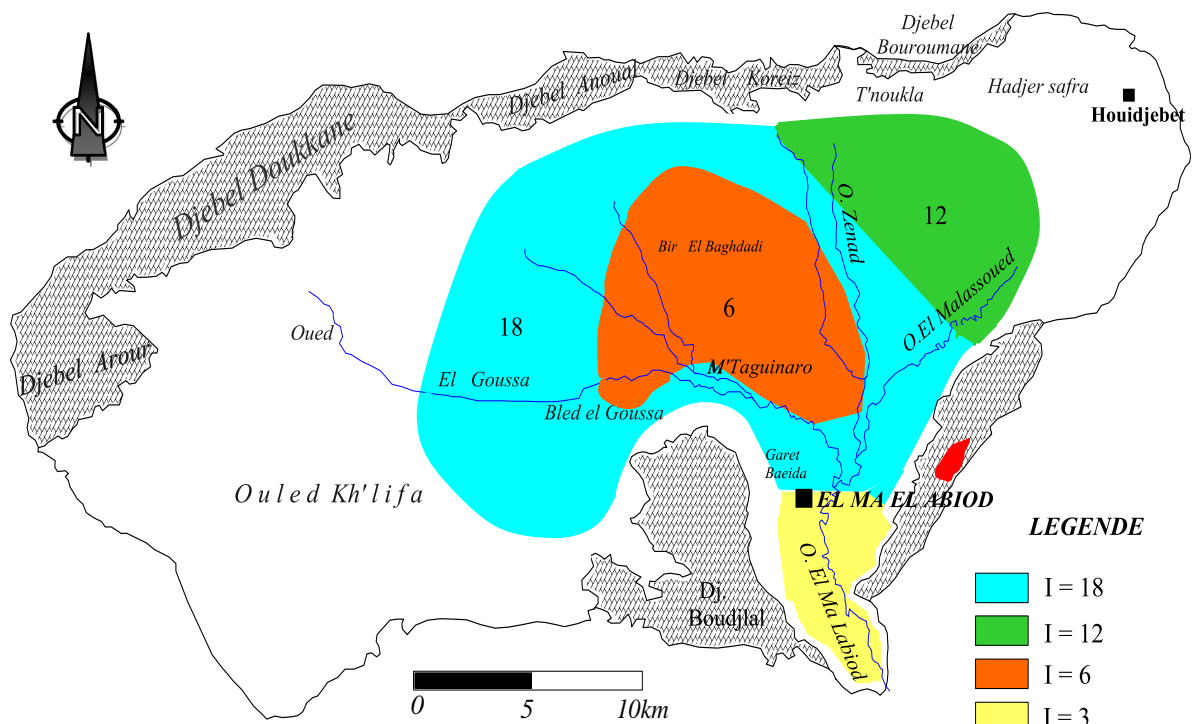


Fig. 69 Carte des indices de perméabilités de la nappe d'El Ma El Abiod.

Perméabilité en (m/s)	Cn	Cp	Cn.Cp
$4,7 \cdot 10^{-7} - 4,7 \cdot 10^{-5}$ m/s	1	3	3
$4,7 \cdot 10^{-5} - 14,71 \cdot 10^{-5}$ m/s	2	3	6
$14,7 \cdot 10^{-5} - 32,9 \cdot 10^{-5}$ m/s	4	3	12
$32,9 \cdot 10^{-5} - 4,7 \cdot 10^{-4}$ m/s	6	3	18

Tab.48 – Notation et pondération selon la perméabilité.

VI.3.5.8 Carte de vulnérabilité

La carte de vulnérabilité de la plaine d'El Ma El Abiod permet de visualiser les principales zones à risque (Fig.70), qui sont liées à des indices élevés. Pour caractériser cette vulnérabilité, on s'est basé sur les plages indiciaires de vulnérabilité qui sont utilisées communément.

- $150 < I$: vulnérabilité forte
- $100 < I < 150$: vulnérabilité moyenne ;
- $I < 100$: vulnérabilité faible.

Cette classification a permis de constater la présence de trois zones (Fig.70):

- Zones de forte vulnérabilité, dont l'indice dépasse 150, Elles sont situées à l'aval de l'écoulement et localement dans la partie centrale de la plaine, et aux environs de Bir El Baghdadi où la profondeur de la surface piézométrique est très faible. La nature de la couche non saturée influence également cette vulnérabilité, ainsi qu'au niveau central, confirmant l'impact de l'industrie et de l'agriculture
- Zone de vulnérabilité moyenne, elle s'étend sur une surface limitée où l'indice de vulnérabilité varie de 100 à 150 et qui est due essentiellement à la faible profondeur de la surface piézométrique et à la nature de la couche vadose.
- Zone de faible vulnérabilité, qui se localise dans la périphérie de la plaine, où la surface piézométrique est profonde, elle occupe la majorité de la nappe aquifère. Son indice de vulnérabilité varie de 70 à 100.

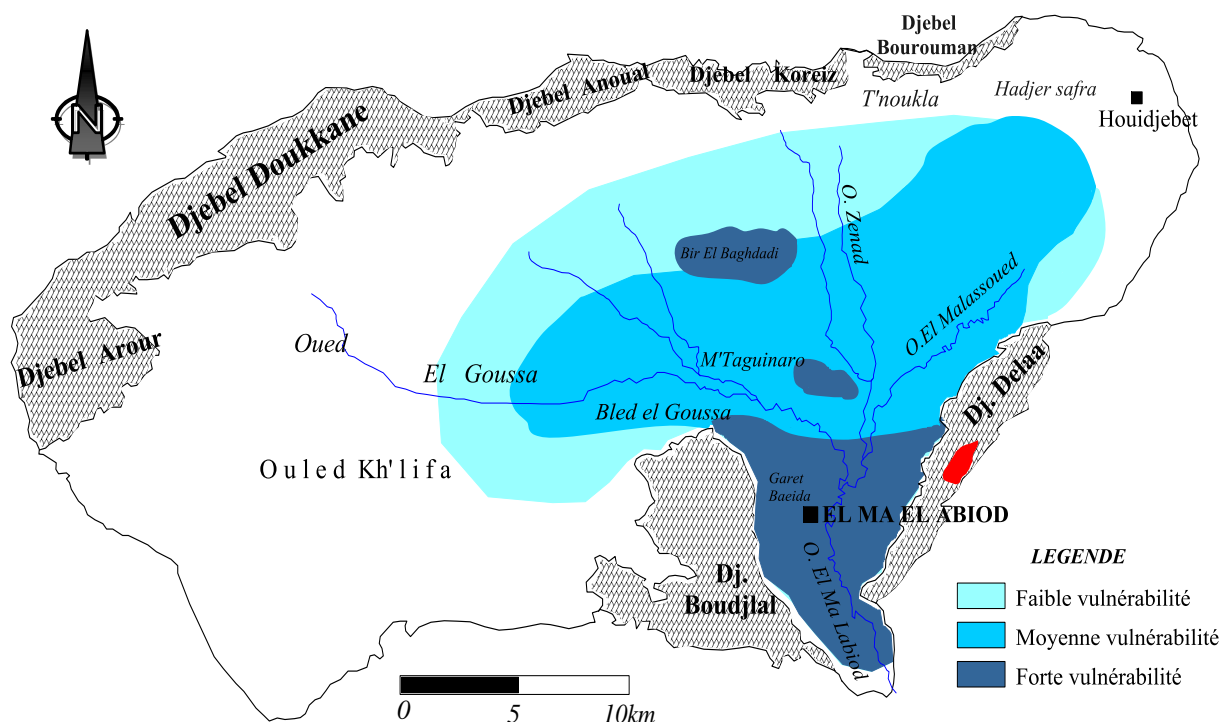


Fig. 70 Carte de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la nappe d'El Ma El Abiod.

Conclusion :

Les différents points abordés le long de ce chapitre représentent l'état de la pollution de la nappe d'El Ma El Abiod, mais il est difficile d'évaluer l'importance de cette pollution. Notre étude a permis de préciser l'importance de ce problème et de préciser son origine. Ainsi, la nappe du sable miocène semble être fortement contaminée par des nutriments d'origine industrielle et agricole, suite à l'utilisation de fertilisants plus que nécessaire pour les plantes. D'autre part, les rejets urbains, déversés sans aucun traitement préalable dans le réseau hydrographique, sont une source importante de pollution.

Ainsi la nature lithologique de la couche vadose et celle de la couche aquifère ont favorisé la contamination de cette dernière et ont influencé la répartition des nitrates dans l'espace.

L'établissement de la carte de vulnérabilité à la pollution chimique de la plaine d'El Ma El Abiod (Fig.70), révèle trois zones de degré de vulnérabilité différente. Les zones de faible vulnérabilité se localisent dans le secteur périphérique de la plaine, la zone de moyenne vulnérabilité correspond les secteurs où la couverture quaternaire dépasse les quatre mètres de puissance, tandis que les zones vulnérables sont observées en aval des écoulements, ainsi qu'au niveau central.

Cette carte montrée le champ de vision de l'ensemble de la plaine et ne se limite pas seulement aux endroits où la pollution a déjà contaminé les eaux souterraines. Elle permet ainsi la prise de mesures de protection, notamment dans la partie couvrant le champ de captage.

Conclusion générale et Recommandations

CONCLUSION GENERALE

La présente étude, qui a porté sur la nappe Miocène de la plaine d'El Ma El Abiod, située au Nord-est de l'Algérie, a abouti aux conclusions suivantes :

- ✓ L'étude géomorphologique de la région a montré que le bassin versant d'El Ma El Abiod a une superficie de 648km² et une forme allongée. Le temps de concentration est estimé à 14,5 heures. La densité de drainage ($D_d=2.27\text{km}/\text{km}^2$) caractérise un réseau hydrographique bien développé.
- ✓ L'étude géologique du bassin d'El Ma El Abiod a montré que les formations carbonatées de bordure sont d'âge Crétacé. Les formations d'âge Moi-Quaternaire occupent la totalité de la plaine.
- ✓ L'activité tectonique montre la présence de deux grandes failles longitudinales qui limitent au Nord et au Sud une structure synclinale.
- ✓ L'étude géologique et l'étude géophysique ont pu mettre en évidence l'existence de trois horizons aquifères superposés. Ces trois formations, qui remontent au Miocène, Elles sont composées de sables à grains fins et moyens, de grès, d'argiles sableuses. Ces dépôts intercalés de couches conductrices constituées par des marnes et des argiles. Cet ensemble constitue la nappe phréatique du remplissage miocène de la plaine d'El Ma El Abiod.
- ✓ La plaine d'El Ma El Abiod est soumise à un climat semi-aride, avec un hiver froid et peu pluvieux et un été chaud et sec, Les précipitations annuelles sont de l'ordre de 234.42 mm. pour une température moyenne annuelle de 15,16°C. L'évolution annuelle de ces deux paramètres permet de révéler une grande période de sécheresse, traduite par une évapotranspiration réelle moyenne qui est de l'ordre de 234.9 mm, mobilisant la totalité des précipitations (100%), Avec un ruissellement faible et une infiltration insignifiante.
- ✓ Du point de vue hydrogéologique, le bassin d'El Ma El Abiod est composé essentiellement de deux nappes aquifères de nature différentes. Une alluviale, rencontre dans les formations Quaternaire, et la nappe des formations d'âge Miocène est plus importante que la première qui constitue le principal réservoir d'eau dans la région d'étude. Les assises marneuses constitueraient un substratum imperméable.
- ✓ Les enregistrements des trois piézomètres installés dans la plaine d'El Ma El Abiod (six ans) révèlent un rabattement significatif qui due principalement à l'irrégularité des précipitations des dernières décennies et à la forte exploitation. Ce déséquilibre a conduit à un rabattement de la nappe miocène de 4 à 6 m.
- ✓ La cartographie piézométrique des différentes campagnes d'observation a montré un écoulement convergent des bordures vers le centre de la plaine pour se diriger vers l'exutoire du bassin au sud.
- ✓ L'alimentation se fait à partir des bordures calcaires de Dj Bou Rommane, Dj Doukkane, Dj Anuoal au Nord et Dj Arrour à l'Ouest et Dj Boudjlal et Dj Dalaâ au Sud.

- ✓ La surface piézométrique présente une fluctuation régulière, caractérisée par une baisse durant la période de basses eaux, sous l'effet de l'évaporation, et une remontée faible pendant la période des hautes eaux, suite à la recharge de la nappe à partir des précipitations.
- ✓ Les valeurs les plus importantes de la perméabilité et de la transmissivité se localisent à l'Ouest à Bled El Goussa et l'autre à l'Est à Draa el Herakel et les plus faibles aux bordures. Cette répartition est confirmée par les concentrations de forages.
- ✓ L'étude hydrochimique a été réalisée afin de caractériser la qualité des eaux souterraines, donc les facteurs naturels et anthropiques qui influent sur cette qualité. Plusieurs modes et outils d'interprétation ont été utilisés (cartographie, diagrammes, informatique, etc.), qui ont montré :
 - La présence de trois faciès chimiques marquant ainsi l'hétérogénéité de la lithologie. En effet, on peut citer le faciès bicarbonaté caractérisant les eaux provenant des bordures calcaires, les faciès sulfaté et chlorurés résultant des formations évaporitiques et le trias de Djebel Dalaâ, surtout dans la partie Sud de l'aquifère.
 - La répartition spatiale des éléments chimiques a confirmé que l'origine de ces faciès est fortement liée à la nature lithologique de la nappe. La dissolution des formations carbonatées et évaporitiques est à l'origine de cette distribution. Le suivi de la qualité des eaux dans le temps et dans l'espace a montré l'impact des facteurs climatiques (les précipitations et l'évapotranspiration) sur la minéralisation des eaux de la nappe.
 - La forte minéralisation observée, particulièrement au Sud, qui n'est pas due uniquement à l'origine naturelle, mais elle est attribuée aussi aux activités anthropiques. La cartographie hydrochimique a distingué une zone à forte concentration au Sud, où la majorité des éléments chimiques présente des teneurs importantes.
- ✓ Relativement à l'aspect environnemental, les investigations sur les sources de pollution de la plaine d'El Ma El Abiod ont fait apparaître une forte contamination de celle-ci par des nutriments d'origine agricole et par les rejets industriels et urbains, qui sont déversés sans aucun traitement préalable, ce qui contribue à la dégradation de la qualité des eaux.
- ✓ L'établissement de la carte de vulnérabilité à la pollution chimique de la plaine d'El Ma El Abiod, révèle trois zones de degré de vulnérabilité différentes. La zone de faible vulnérabilité se localise dans le secteur périphérique de la plaine, la zone de moyenne vulnérabilité coïncide avec les secteurs où la couverture quaternaire dépasse les quatre mètres de puissance, alors que les zones vulnérables situent aux sud de la nappe des sables miocènes, ainsi qu'au niveau central, confirmant l'impact de l'industrie et de l'agriculture en cet endroit, Cette zone doit faire l'objet d'une réglementation de protection.

RECOMMANDATIONS :

Les recommandations ci-dessous visent à élucider certains problèmes qui ont été observés, à préciser les incertitudes résultant de l'étude actuelle et à proposer des interventions en conséquence :

- ❖ Lancer des travaux de recherches très approfondie en géologie permettant d'établir la carte géologique de la région qui reste sommaire jusqu' à nos jours, ainsi qu'une carte structurale très bien détaillée.
- ❖ Installer un réseau de piézomètres à travers la nappe, pour contrôler la fluctuation de la surface piézométrique, pour prendre les mesures de gestion conservatoires et appropriées de la nappe.
- ❖ Arrêter les nouveaux creusements de puits dans les secteurs où la nappe miocène est très sollicitée, surtout au niveau de la partie Nord-ouest, et modérer les pompages en utilisant les nouvelles techniques d'irrigation.
- ❖ Comme la nappe Miocène d'El Ma El Abiod constitue la principale réserve hydrique actuelle pour la région, il est recommandé de la recharger artificiellement avec les eaux de surface. Ceci ne pourrait avoir lieu qu'après la programmation d'études approfondies de géologie, de géophysique et d'hydrogéologie.
- ❖ Encourager les agriculteurs à améliorer leurs pratiques agricoles, puisqu'un lien significatif a été établi entre la présence de nitrates dans l'eau des puits et la zone d'agriculture intensive. Ce résultat est en soi un avertissement, puisque le seuil qui a été révélé atteste de l'influence indéniable des activités anthropiques.
- ❖ Arrêter le déversement direct des rejets urbains et industriels au niveau des Oueds, en réalisant un traitement préalable de ces effluents avant qu'ils atteignent les oueds et surveiller en permanence la qualité des eaux au niveau de l'oued.
- ❖ Réétudier l'emplacement des décharges ménagères des agglomérations en les installant loin des zones vulnérables à la pollution, et ce pour éviter leurs effets sur les ressources hydriques.
- ❖ Réaliser une étude de modélisation des écoulements souterrains pour connaître les mécanismes de transfert des polluants, ce qui peut beaucoup aider à la protection de la nappe contre la pollution.

BIBLIOGRAPHIE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Albinet M. et Margat J. (1970) : Cartographie de la pollution des nappes d'eau souterraines .B.R.G.M.2^{ème} série. Section III.N^o4. P.13-22

Ali laouar A. (1986) : Ressource en eau d'une région semi-aride d'Algérie. Plaine d'El Ma El Abiod. Hydrodynamique et hydrochimie Thèse Doc-Ing. Université Paul Sabatier Toulouse 204p

Anonyme, (1973-1975) : Fiche technique des forages : M1, M2, M3, M4, M6, M8, M9, M10, et AT1.

Astier J.L. (1971), La géophysique appliquée à l'Hydrogéologie. Masson et Cie. Edition, Paris 277p.

Baali F. Latreche Dj. (1994) : Approche hydrogéologique de la région d'El Ma El Abiod. Mémoire d'ING. IST Université d'Annaba 168 p.

Blés J. L. (1969) : Contribution à l'étude de déformations cassantes de la feuille Morsott (SE Constantinois-Alger). Les micro fracturations et leur relation avec les failles et les plis. Publications de service géologique de l'Algérie. (Série N^o11), Bulletin N^o39, pp. 7-17.

Bonnet M. Landreau A. (1979) : Mécanismes d'acquisition de la qualité chimique d'une eau souterraine. Orléans, rapp. Inédit n^o 79SGN661HYD, 40 p

Boufaa K. et al. (1996) : Les sédiments Miocène des environs de Tébessa (NE de l'Algérie) et leur relation avec la tectonique. *Bull Soc. His. Nat. pays de Montbéliard France.*

BRGM, (1975-1979), Cartes de vulnérabilité à la contamination des eaux souterraines (FF: 1/250000). BRGM, Orléans.

Castany G. (1967) : Traité pratique des eaux souterraines, Dunod-édil. Paris 661 p.

Castany G. (1968) : Prospection et exploitation des eaux souterraines Dunod-édit, Paris, 709p

Castany G. et Margat J. (1977) : Dictionnaire français d'hydrogéologie, BRGM, SGN Orléans France, 249 p.

Castany G. (1980) : L'eau propre, Hachette-édit., Paris, 283 p.

Castany G. (1982) : Principes et méthode de l'hydrogéologie, Dunod-édit., Paris 236 p.

Chaffai & all, (2003) : Facteurs influençant le chimisme des eaux dans une zone semi-aride : Cas des aquifères d'El Ma Labiod, Tébessa, Hammamet et Chéria. ICO WAP-Sep2003 colloque Oasis, Eau et population Biskra Algérie p339-344.

David L. 1953. L'âge Pliocène d'une partie des formations continentales de la région de Souk Ahras. pp216-218.

Djebari H. (2011) : Ressources et essai de gestion intégrée des eaux du bassin d'El Ma labiod, W. de Tébessa nord-est algérien. Thèse de Magistère Univers. Annaba, 150p.

- Dubourdiou G. (1956)** : Etude géologique de la région de l'Ouenza (confins algéro-tunisiens). *Thèse sci. Paris. Publ. Serv. Cart géol. Algérie, n.s, Bull, n°10, 659p.*
- Durozoy G. (1947)** : Captage d'El Ma El Abiod. Implantation des sondages de reconnaissances. Arch. Au S. C H. rapport du 28/3/1947.Alger.
- Durozoy G. (1956)** : Carte géologique au 1/50 000 de Tébessa feuille N° 206, et ça notice explicative.
- Durozoy G. (1948)** : Alimentation en eau de Tébessa. Arch. Au S.C.H rapport du 29/1/1948.Alger.
- Duchaufour P. (1995)** : Pédologie, sol, végétation, environnement (4^{ième} édition). Abrégés. Paris Masson 324p.
- Flandrin J. (1938)** : Nouvelles observations sur le trias de Souk-Ahras(Algérie). B.S.G.F, 5, III, pp. 497-504, Paris.
- Fleury J.J. (1969)** : Stratigraphie du Crétacé et de l'Eocène (Aptien à Lutétien) de la feuille 1/50.000 Morsott, N° 178. *Publ. Serv. Géol. Alg. Nlle Série, Bull. n°39, pp. 145-157.*
- Gasmi I. (2004)** : Dégradation de la qualité de l'eau dans le bassin versant d'Oued Medjerda-Souk Ahras Mémoire de Magister, Univers. Batna.155 pages.
- Ghachi. A.Z. (1986)** : Hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie, OPU, 508pages.
- Gherieb L. (2007)** : Impact des formations triasiques sur les eaux d'une plaine en zone semi aride : Cas de la plaine Bekkaria-Tébessa (Extrême Est Algérien). Mémoire de magister Univ. Annaba, 184p.
- Gilli E., Mangan CH., Mudry J. (2004)** : Hydrogéologie. Objets, méthodes, applications. Dunod, Paris, 303 p.
- Guefaifia O. (1996)** : Contribution à l'étude hydrogéologique de la nappe. Aquifère d'El Ma El abiod. Thèse de Magistère Univers. Annaba, 143p.
- Hani A. (1983)** : Étude hydrogéologique des nappes aquifères des formations miocènes dans la région d'El Ma El Abiod. Mémoire d'Ing. Université d'Annaba pp 3-8
- Kherici N. (1993)** : Vulnérabilité à la pollution chimique des eaux souterraines d'un système de nappes superposées en milieux industriel et agricole (Annaba – la Mafragh) NE de l'Algérie. Thèse de Doctorat Es-Sciences Université d'Annaba 170p.
- Kowalski W.M. (1997)** Les stades d'effondrement du graben de Tébessa (confins Algero-Tunisien) et la tectonique plicative plio-quadernaire. Bull.Soc. Hist. Nat. Pays de Montbéliard, France.
- Laborde. J. P. (2006)**, Hydrologie de surface, Cours, Université de Nice-Sophia Antipolis, 191p
- Lecomte P. (2000)** : Les sites pollués, traitement des sols et des eaux souterraines. CNRCCP. Edition Lavoisier TEC. &DOC .194p

- Laffite R. (1939)** : Etude géologique de l'Aurès. Pub. Serv. Carte géol. Algérie. Bulletin, n 5, 451 p, Alger.
- Lesard M. (1961)** : Exploitation du bassin miocène d'EL MA ABIOD. Arch. ou S.C.H rapport du juil. 1961.
- Margat J. Roux J.C. (1986)**: Interaction des impacts des managements et des exploitations sur les eaux de surface et souterraines. Paris : SHF rapport n°14.
- Marsily DE G. (1981)** : Hydrogéologie quantitative. Ecole Nationale Sup. des mines de Paris, Masson Edition, 219 pages
- Marsily DE G. (2004)** : Cours d'hydrogéologie. Université pierre & marie curie. 226p.
- Mebarki A. (2005)**: Hydrologie des bassins de l'Est Algérien ; ressource en eau, aménagement et environnement. Thèse. D'oct. Etat. Université. Mentouri. Constantine.360P.
- Meziani A, Boulazaz S. (2006)**, Étude hydrogéologique et évolution hydrochimique de la nappe d'El Ma El Abiod, mémoire d'ingénieur, Université de Constantine.
- Richard J. (1975)** : Esquisse de synthèse géophysique géologique et hydrogéologique de la région. Rapport interne.
- Roche M. 1963** : Hydrologie de surface. Gautier - Villars Paris. 430pages.
- Rodier J. (1996)** : L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8^e édition Dunod, Paris.
- Rouabhia A., Baali F., Kherici N., Djabri L. (2004)**. Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocènes de la plaine d'El MA EL Abiod (Algérie), *Revue Sécheresse* Vol.15, n°4.
- Rouabhia A. (2006)** Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocène de la plaine d'El Ma El Abiod. N.E Algérie. Thèse de doctorat en sciences, 210p, Université d'Annaba, Algérie.
- Rouabhia A., Baali F., Fehdi Ch., Kherici N., Djabri L. (2008)** : Hydrochemical and isotopic investigation of a Sandstone aquifer groundwater in a semi arid region, El Ma El Abiod, Algeria. *Journal of environmental geology* (Springer) Environ Geol. n°254. DOI: 10.1007/s00254-008-1451-5
- Rouabhia A. Baali F. Goudjil T. Boubaaia Dj (2008)** Systèmes D'irrigation et risques de pollution saline et azote. Construction d'un Indicateur de risque et application sur les plaines de Tébessa, (El Ma El Abiod, La Merdja et Chéria) Algérie. Projet de recherche CNEPRU, code G02920070001. MESRS.
- Rouabhia Aek, Baali F., Kherici N., Djabri L. (2004)** : Vulnérabilité et impacts des activités anthropiques sur les eaux souterraines de la région d'El MA EL Abiod. *Revue vecteur environnement*, Vol.37, N°3.

Rouabhia Aek, Baali F., Kherici N., Djabri L. (2004) : Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocènes de la plaine d'El MA EL Abiod (Algérie) revue Sécheresse n°4, Vol.15

Roubache. O et Fenni. D (1996) : Contribution a l'étude hydrogéologique de la plaine d'El Ma El Abiod-Oum Ali. (Tébessa) Mémoire d'ingénieur (Université de Constantine) 169 p.

Schneblen et al. (2002) : Cartographie de la vulnérabilité des nappes de grande-terre et de marie-galante (guadeloupe).

Schoeller H. (1962): Les eaux souterraines, hydrologie dynamique et chimique, recherche, exploitation et évaluation des ressources. Edit. Masson. Paris. 642 pages.

Seltzer P. (1948) : Le climat de L'Algérie. Bull. Hors série Inst. de Météo, et de Physique du Globe Alger 219 pages.

Tardat-Henry M. (1984) : Chimies des eaux. Editions le griffon d'argile Inc. 338p.

Thorntwaite C. W. and Mather, J.R; (1955), the water balance. Climatology 8(1), 104 p.

Dia T. et Souli M. (1989-1990) : Contribution a l'étude hydrogéologique de la plaine d'El Ma El Abiod. (Tébessa) Mémoire d'ingénieur (Université de Constantine) 61p.

Verdeil P. (1988) : Abaque pour calcul du déficit d'écoulement (Régions semi-arides).

Vila J. M. (1980) : La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-tunisiens. Thèse Doc. Sc. Nat. Univ. P. et M. Curie, Paris VI, 450 p

Wilcox L.V (1948): The quality of water for agricultural use. US Dept Agriculture Tech. Bull. 1962, Washington DC.

Zereg S. (2010) : Impact des retours d'eau d'irrigation sur la ressource en eau souterraine des régions semi arides, exemple des plaines de Tébessa, Chéria et El Ma El Abiod, Est Algérien .Thèse de Magister. Université de Batna 109 p.

LES CARTE:

DUROZOY G. (1956), Carte géologique au 1/50 000 de Tébessa feuille 206.

DUROZOY G. (1949), Carte géologique provisoire au 1/100.000 de la région d'El Ma El Abiod.

Institut Géographique, Carte topographique d'El Ma Abiod, feuille 235 au 1/50 000.

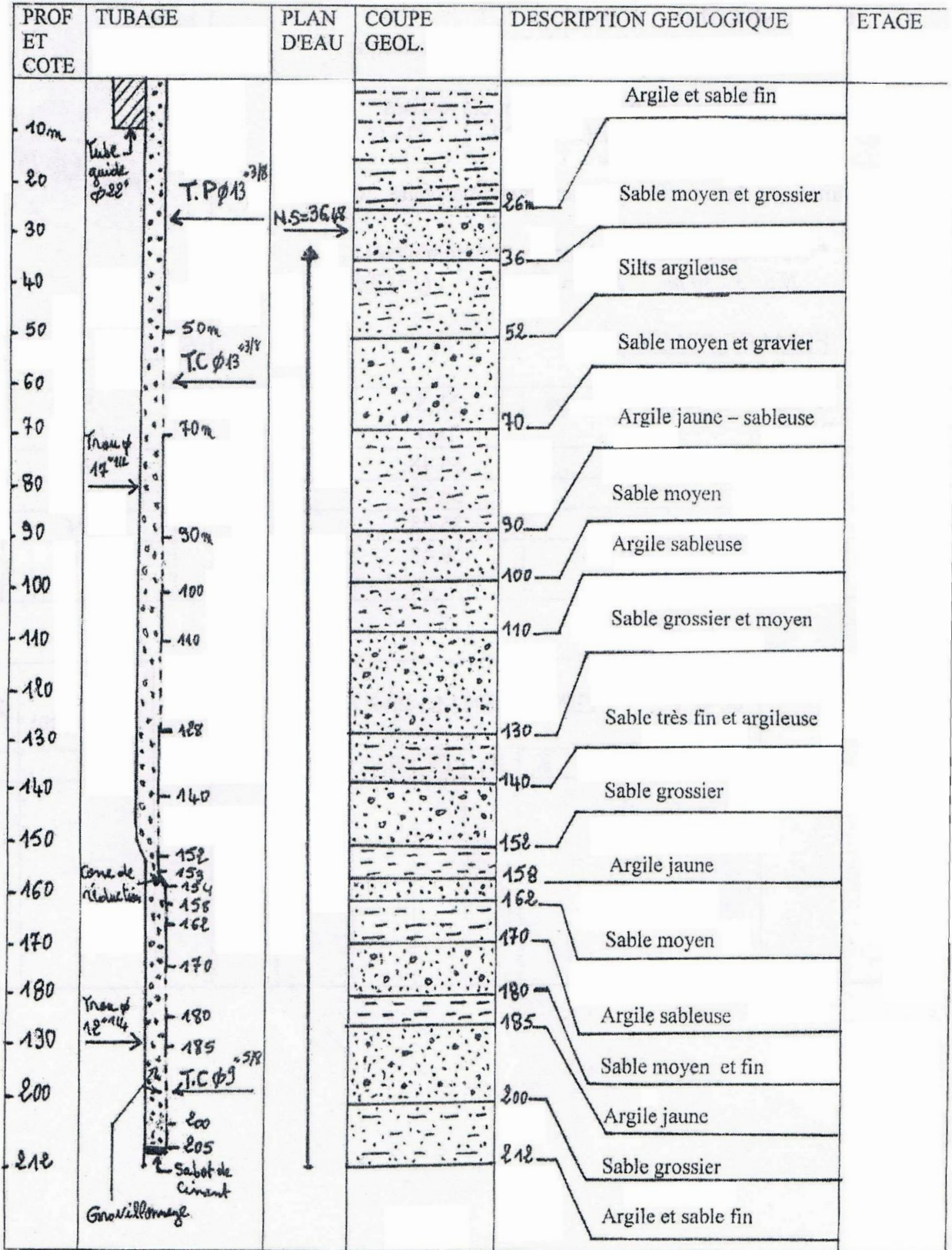
Institut Géographique, Carte topographique de Tébessa, feuille-NJ-32- XXI au 1/200 000.

ANNEXES

ANNEXE I

SONDAGE : EL MALABIOD M7 BIS
 CARTE : EL MALABIOD N° 235 ECHELLE 1/50.000
 DATE DES TRAVAUX : DU 24/09/2005 AU 24/12/2005
 ECHELLE DE LA COUPE : 1/1000

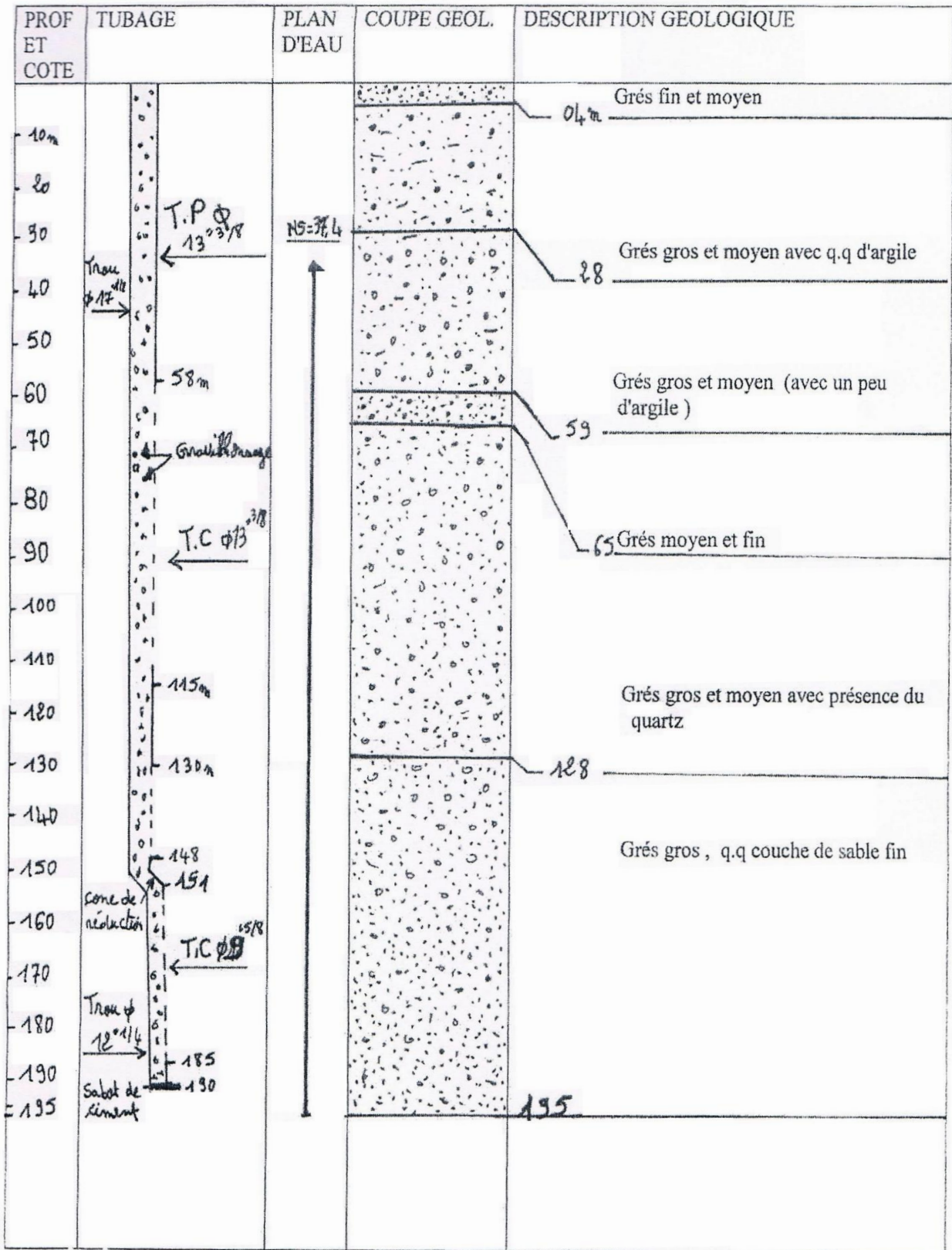
X = 992.780 Km
 Y = 232.600 Km
 Z = 1080 m



ANNEXE I

SONDAGE : EL MALABIOD M8 BIS
 CARTE : EL MALABIOD N° 235 ECHELLE 1/50.000
 DATE DES TRAVAUX : DU 03/07/2006 AU 27/09/2006
 ECHELLE DE LA COUPE : 1/10.000

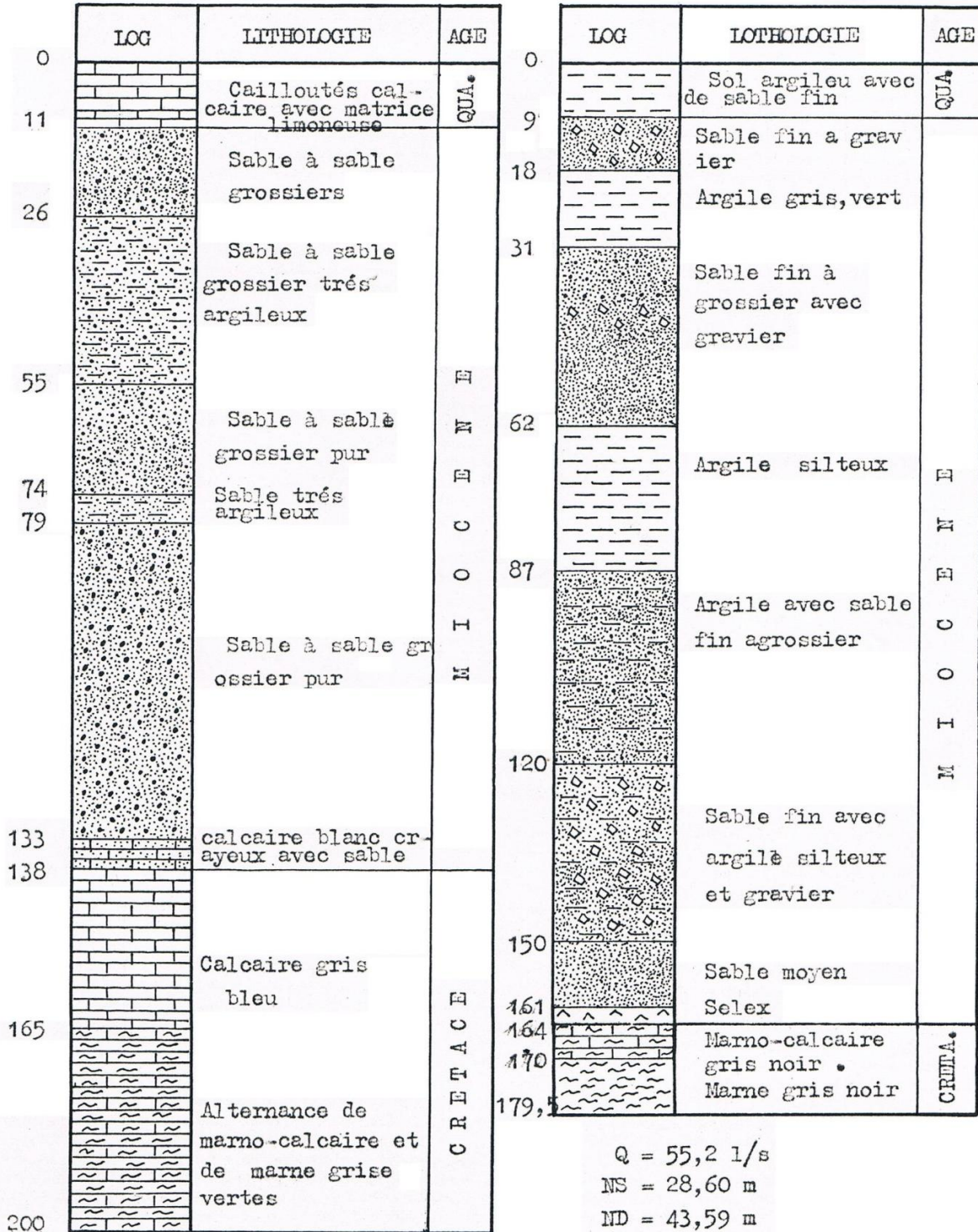
X = 900.890 Km
 Y = 229.785 Km
 Z = 1072 m



ANNEXE I

Forage M₃
 X = 986,425 m
 Y = 228,475 m
 Z = 1100 m
 P = 200 m

Forage M₄
 X = 990,700 m
 Y = 228,625 m
 Z = 1080 m
 P = 179,5 m



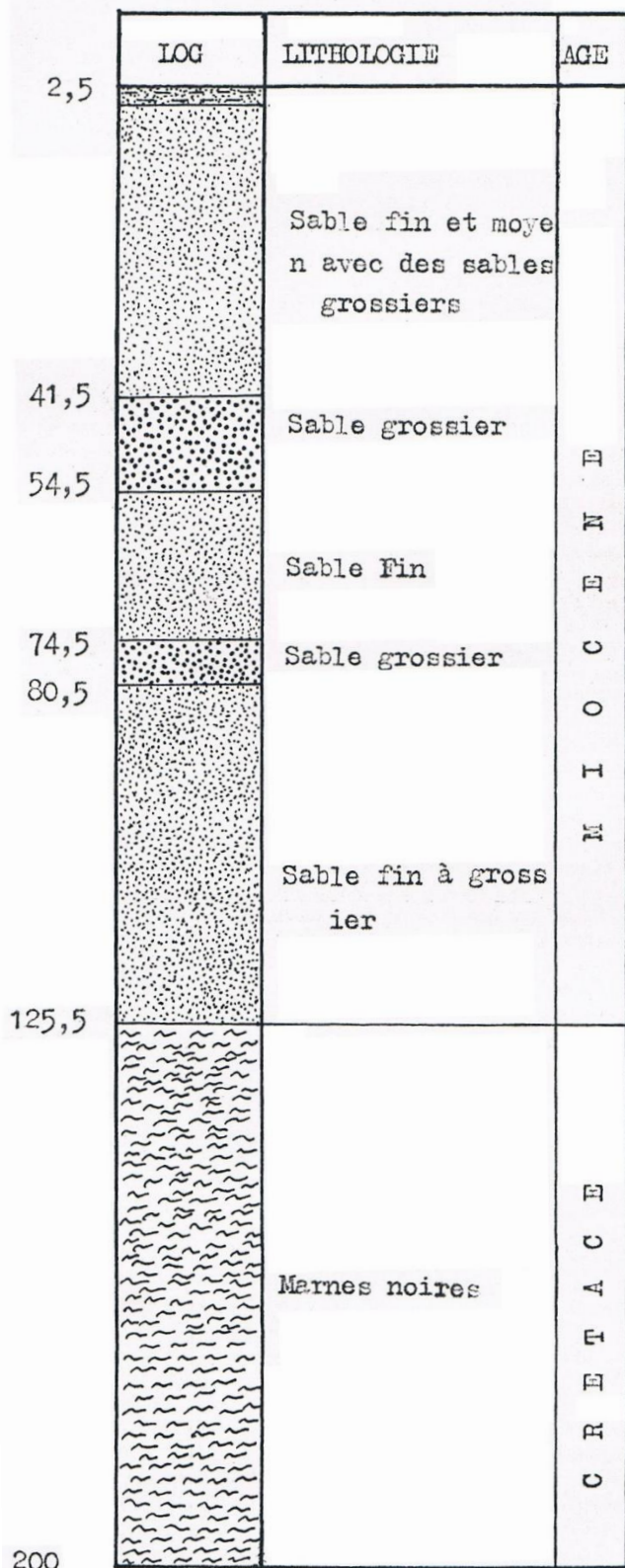
Q = 27,8 l/s
 NS = 53,86 m
 ND = 67,49 m

Q = 55,2 l/s
 NS = 28,60 m
 ND = 43,59 m
 Δ = 14,99 m

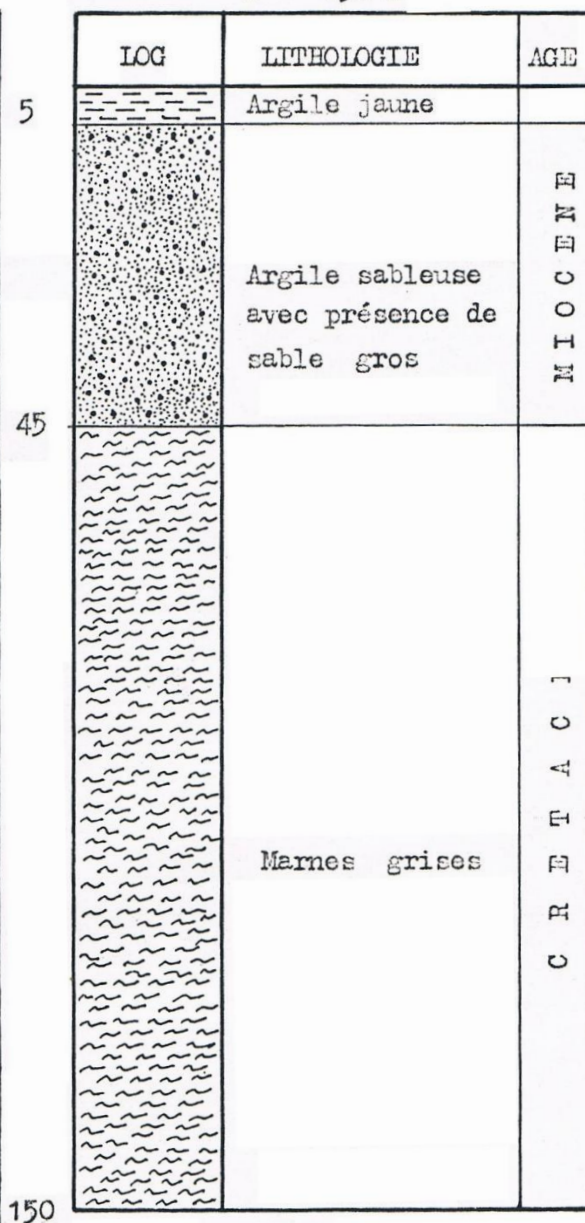
ANNEXE I

Forage M₁
 X = 1000,525 m
 Y = 235,000 m
 Z = 1090 m
 p = 200 m

Forage M₉
 X = 998,400 m
 Y = 229,850 m
 Z = 1048 m
 P = 150 m



Q = 29,5 l/s
 NS = 34,52 m



Q = 25 l/s
 NS = 14,86
 ND = 27,39
 Δ = 12,53

1 cm → 10 m

ANNEXE I

FORAGE M₁₄
 X = 992,200 m P = 200 m
 Y = 229,550 m
 Z = 1072 m

FORAGE M₁₃
 X = 995,750 m P = 100 m
 Y = 231,800 m
 Z = 1080 m

LOG	LITHOLOGIE	AGE
0	Terre argileux	QUA.
10	SABLE FIN ET MOYEN	
47	Sable à matrice marneuse grisâtre	
48	Sable fin et Moyen	E N E
94	Sable grossier	C
106	Grès et grains grossiers quatzeux	O I M
130	Calcaire Friable avec marnes grises et sable fin.	
156	Marnes grisâtres	
174	Grès grossier à matrice marneuse grisâtre	
184	Sable fin et moyen	
195 200	Marnes grises	Crét.

Q = 35 l/s
 MS = 18,36 m

LOG	LITHOLOGIE	AGE
0	Croute de calc. avec grains de quartz	QUA.
11	Sable fin et moyen	E
25	Marnes argileuses	N
30	Sable fin et moyen	E C
53	Grès moyen consolidé	O I
66	Sable fin et moyen	M
72	Grès à matrice argileuse	
85	Argile	
88	Marne noir	Crét.
100		

Q = 12,22 l/s
 NS = 27 m
 ND = 30,40 m
 Δ = 3,4 m

- O H E L L

1 cm → 10 m

ANNEXE II

Code station : 06-28-02 Précipitation

Nom station : EL MA LABIOD

Coordonnées : X : 997,620 Y : 225,150 Z : 1030m.

Année Agricole	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total Annuel
1980/1981	19,9	7,3	34,8	40,6	34,3	12,6	13,4	6,1	38,6	42,5	0	2	252,1
1981/1982	69,2	22,6	0,7	5,2	13,5	28,2	2,9	74,6	70,9	10,1	3,1	35,9	336,9
1982/1983	6,7	43	27,7	19,6	0,2	8,4	11,1	0	25,2	16,5	0,4	2	160,8
1983/1984	68,4	30,3	11,2	11,2	8,3	30,2	23,2	13,6	1,7	5,2	0	0	203,3
1984/1985	14,2	62,1	23	21,1	18,8	4,9	51,7	25,9	22,5	25	4,6	0,5	274,3
1985/1986	27,9	16,5	0	23,5	14	3,5	93,8	0	23	9,9	0	8,8	220,9
1986/1987	5,9	55	21,9	4,8	0	12,5	13,2	10,1	0	0	94,1	14,4	231,9
1987/1988	6	19,9	16,8	3,3	5,4	1,1	13,3	23,5	32,9	76,5	3,7	14	216,4
1988/1989	24	0	39,3	17,3	16	10,3	4	10	0	94,4	16,1	18	249,4
1989/1990	2,5	3,8	13,6	1,4	123,5	0,3	41,5	31,6	26,6	31,2	16,2	69,4	361,6
1990/1991	4,5	0	67,2	31,9	30,4	5,5	61,6	0	48,5	49,1	0	4,2	302,9
1991/1992	0	22,9	35,2	9,9	29,3	13,2	18,3	3,9	57,2	0	0	0	189,9
1992/1993	63,6	1	0	7,8	0	16,6	9,6	0	13,5	0	0	8	120,1
1993/1994	22,8	1,2	12,8	5	0	0	29,3	9,6	4	0	8,9	9,3	102,9
1994/1995	2,3	70,1	0	0	21,6	0	44,1	0	0	34,9	0	45,3	218,3
1995/1996	50,4	23,5	10,2	10,3	14,4	49,9	43,5	4,2	24,2	22,9	3,3	9,2	266
1996/1997	13,7	6,1	3,9	5,4	22,6	1,6	2,1	5,3	0	3,9	3,4	0	68
1997/1998	21,5	52,1	10,5	0	4,6	5	0	0,5	0	0	0	0,3	94,5
1998/1999	28,1	32,1	53,1	3	3	3,6	2,4	0,7	1,5	0,8	0,3	1,4	130
1999/2000	64,4	37,7	3,7	12,3	0	0	30,9	1,8	58,4	1,9	4,1	1,2	216,4
2002/2003	26	23,4	4,3	15,4	12,9	7	23	17	7	7	2,5	0	145,5
2003/2004	31	39,2	3,5	0	0	28,3	10,5	9,9	47,5	47,5	1,5	25,3	244,2
2004/2005	25,7	16,6	68,4	48,4	3,1	27,9	6,3	14,7	0	28,8	0,5	11,5	251,9
2005/2006	35,3	16,1	41	26,3	31,5	23,5	0,7	51,3	37,2	23,2	44,6	32,2	362,9
2006/2007	29	23,6	7,5	30,4	3	6,9	51,6	53,7	17	29,6	11,5	7	270,8
2007/2008	34,4	10,8	6,3	14,2	6,3	2	15,2	22,3	47	22,5	0	37,5	218,5
2008/2009	60,3	44,1	11,6	26,4	57,8	4,9	31,8	118	10,1	12,5	0	41,2	418,7
2009/2010	98,8	2	0	6,2	13,7	16,5	4,5	39,1	10,6	12,2	9,3	9	221,9
2010/2011	32,8	11,7	45,7	1,3	13	19,4	39	38	49,7	14,5	39,6	62,6	367,3
2011/2012	16,5	65,2	0	9,4	24,4	22	45	23	18	3,5	0	25,8	252,8
Moyenne mensuel	30,19	25,33	19,13	13,72	17,52	12,19	24,58	20,28	23,09	20,87	8,92	16,53	232,37

ANNEXE II

Code station : 06-28-04 Précipitation
 Nom station : MECHTA OULED MHAMED
 Coordonnées : X : 980,850 Y : 235.000 Z : 1335m.

Année Agricole	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total Annuel
1980/1981	22,02	17,11	52,13	56,9	37	2,31	23,7	15,89	25,5	32,4	0	0	284,96
1981/1982	8	1,57	0	2,31	3,72	3,2	3,7	27,7	56,2	6,2	0	9,1	121,7
1982/1983	4,9	55,4	27,3	12,9	1,9	4,6	11,6	0,3	28	23,5	0,5	7,6	178,5
1983/1984	6,4	19,5	12,4	10,9	4,5	26,8	22,8	16	4,5	2,88	5,98	17,8	150,46
1984/1985	11,3	30,5	29	18,8	4,6	5,44	11,3	27,91	26,9	42,18	5,08	0,78	213,79
1985/1986	16,1	15	2,05	15,9	16,4	4	32,1	1	22,9	29,1	21,2	7,8	183,55
1986/1987	40,83	9,82	30,5	17,8	4,1	31,5	42,1	3,3	10,1	3,6	51,8	11,3	256,75
1987/1988	11,1	13,7	10	2,6	6	0	5,2	5,9	6,3	15,1	0	2,3	78,2
1988/1989	6,9	0,8	3,9	3,7	8,1	5,5	6,2	2,6	67,8	44,5	3,36	29,46	182,82
1989/1990	12,3	3,8	1,8	3,3	17,2	0	5,2	48,45	67,8	24,2	42,4	17,38	243,83
1990/1991	2	3,1	39	19,6	16,9	6,5	60,8	40,5	48,6	22,32	10,3	4,1	273,72
1991/1992	26,3	23,7	29,27	10,2	7,8	21,9	27	40,6	25,8	13,66	9,9	6,7	242,83
1992/1993	16,2	24,6	38,4	17,2	0	9	18,6	1,8	22	0	7,7	15,2	170,7
1993/1994	13,1	2,9	16,7	26,7	7,5	13,2	18,5	25,1	11,1	3,6	21,2	29	188,6
1994/1995	10,8	54,3	0	3,6	15,2	1,1	16,4	6	2,1	20,2	14,5	33,7	177,9
1995/1996	73,8	40,6	11,5	19	17,6	38,3	31,5	18,6	25,8	23,9	3,7	7	311,3
1996/1997	13,7	3,4	1,1	7,2	18,9	14,7	9,3	22,9	8,6	0	3,6	1,8	105,2
1997/1998	16,7	22,2	33,2	14	10	10,1	22,7	24,3	6,8	23,4	0	19,5	202,9
1998/1999	48	42,1	31,4	16,8	91,4	9	9,5	7	15,6	1,1	7,6	27,1	306,6
1999/2000	20,4	41,1	35,2	36,4	4	5	9,8	14,7	99,4	40,1	5,2	19,2	330,5
2000/2001	20,6	28,4	10	14,9	20,9	11,9	5,6	4,9	17,2	0	1,1	0	135,5
2001/2002	52,5	4,5	21,2	10,6	6,7	7,5	6	11,2	35,4	16,2	29,4	46,6	247,8
2002/2003	26	19,4	72,6	27,7	46	26,7	13,1	40,4	9,9	6,4	11,3	20,2	319,7
2003/2004	53,5	37,4	18,1	40,7	17,6	5,1	39,1	27,6	18,2	23,2	13,4	29,7	323,6
2004/2005	25,4	8,5	53,8	67	21,1	35,2	22	6,8	2,3	23,2	4,7	10,1	280,1
2005/2006	20	9,6	22,1	19,83	8,9	43,3	2,4	20,6	19	10,2	1,6	9,7	187,23
2006/2007	13,4	4,3	8,6	26,8	3,4	0	33,1	62	32,8	16	9,1	10	219,5
2007/2008	40,7	19,48	9,7	22,2	6,1	2,2	22,8	20,7	56	9,3	3,2	8,6	220,98
2008/2009	51	17,9	10	29,8	53,9	40,3	22,1	23,8	55,9	6,7	3,9	18,7	334
2009/2010	52,8	6,1	2,8	15,6	33,8	7	16,4	22,7	23,2	19,2	8,8	0	208,4
2010/2011	52,1	23,1	43,2	20,4	26,4	51	14,6	32,7	51,9	31,3	13,6	15,88	376,18
Moyenne mensuel	25,45	19,48	21,84	19,72	17,34	14,27	18,88	20,13	29,15	17,21	10,13	14,07	227,67

ANNEXE II

Code station : 06-28-07 Précipitation
 Nom station : OULED KHELIFA (Mechta Zouaria)
 Coordonnées : X : 997,750 Y : 230,000 Z : 1058m.

Année Agricole	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total Annuel
1980/1981	24	5,5	15,9	8,4	13,9	14,5	11,6	7,93	37,8	51,42	0	2,46	193,41
1981/1982	16,2	17,62	0,81	35,8	16,3	134,5	0,1	47,9	92	12,1	0	42,6	415,93
1982/1983	5	17,5	22,1	8,5	4	5,4	0,6	0	15,2	30	2,2	2,24	112,74
1983/1984	11	40	13,1	6,27	9,2	5,83	8	31,08	12,9	1,76	11,6	0	150,74
1984/1985	20,59	55,89	28,03	9,91	18,6	3,43	19,3	32,63	21,6	26	7,45	0,56	243,99
1985/1986	20,2	18,5	2,2	26,6	13,7	7,6	109,2	0,7	21,3	9,9	4,3	10,5	244,7
1986/1987	25,7	16	19,4	13,4	1,8	15,9	23,5	6	17	0,9	52,7	9,1	201,4
1987/1988	4,8	13,8	3,8	7	8,5	1	11	19,3	15,2	40,7	0	14,5	139,6
1988/1989	15	0	44,8	18	12	9,1	12	15,4	1,3	117,7	10	20,4	275,7
1989/1990	12,8	0,9	13,3	3	86,6	0	35,9	49	56,7	24,1	16,9	50,5	349,7
1990/1991	10,9	6,5	53,4	87	3,9	7,4	72,1	43,9	61,5	14,9	14,3	1	376,8
1991/1992	36,7	14,3	27,4	11,6	24,9	14,9	10,9	36,1	44,6	9,5	2	45,9	278,8
1992/1993	48,3	18	35,9	8	3,7	23,7	12,6	1,6	24,6	0	4,1	0	180,5
1993/1994	11,3	6,3	17,1	11,7	5,2	4	18,4	4,6	5	3,6	18,9	11,8	117,9
1994/1995	3,6	74,7	0	0	11,2	7	19,7	0,2	0	23,9	0	50	190,3
1995/1996	81	20,3	9,9	9,4	23,4	37	47,7	35,2	22,1	17,5	0	26,5	330
1996/1997	28	2,5	0,2	8,3	10,1	5,9	15,1	28,8	3,6	0	8,4	52,3	163,2
1997/1998	37,1	5,4	23,3	3	10	1	13,3	17	6,2	22,3	0	24,2	162,8
1998/1999	24,4	37,5	16,1	2,8	65,5	4	19	3,5	0	8	0	37	217,8
1999/2000	32,2	23	58,1	18,4	0	0,6	4,5	9,8	78,4	45,9	5,5	4,8	281,2
2000/2001	5	4,7	0	0,6	8,4	7,5	0,8	2,2	17,2	0	12,2	1,5	60,1
2001/2002	75,1	1,3	11	5,7	0	0	4,1	29,6	25,4	0	6,3	107,7	266,2
2002/2003	9,3	27,6	20	3,5	41,7	11,1	15,7	44,4	12,8	5,8	4,6	2,3	198,8
2003/2004	51	14	5,8	59,5	0,4	0,4	36,6	19	16	11,6	7,6	6,1	228
2004/2005	6	4	87,7	32,3	6,8	21,8	0,6	6	0	28,1	0	34,6	227,9
2007/2006	18,1	9,1	0	26,8	15,6	22,7	0	0	21,5	11,6	12,6	38,4	176,4
2006/2007	0	0	0	13,8	1	3,9	10,1	30,1	0	11	0	7,5	77,4
2007/2008	14,6	12,4	2,3	17,3	0	2	5	14,4	47,2	31,2	7,8	31,8	186
2008/2009	44	11	0	14,9	21,5	4,5	41,2	96,8	0	13,1	0	0	247
2009/2010	70	0	0	8	10,9	16,5	2,8	36	10,8	20,1	10,3	0	185,4
2010/2011	36,5	12	39,5	16	16,9	28,4	22,9	25,9	49,7	6,3	56,8	83,5	394,4
Moyenne mensuel	25,75	15,82	18,42	15,98	15,02	13,60	19,49	22,42	23,79	19,32	8,92	23,22	221,77

ANNEXE II

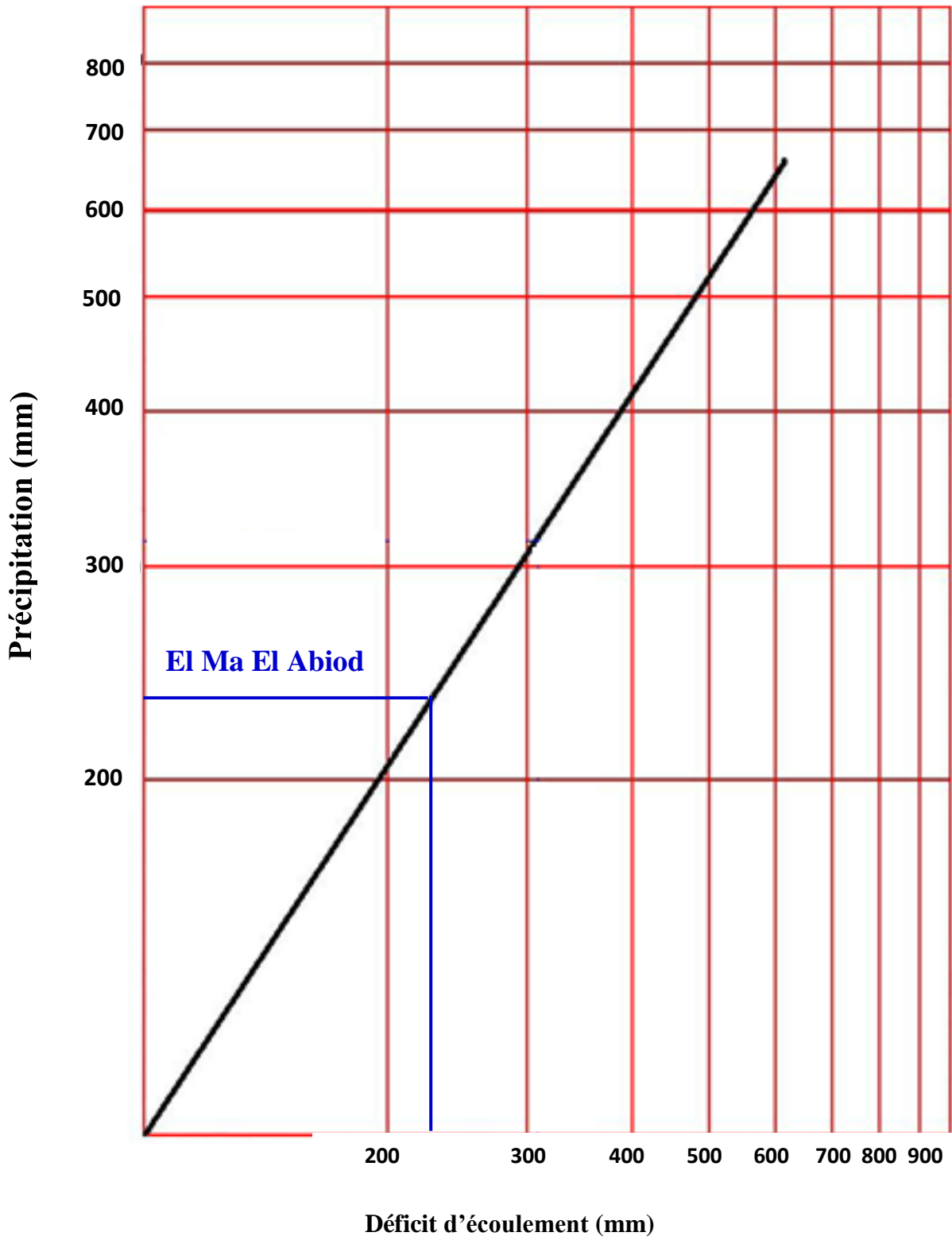
Code Station: 06-28-06 Précipitation

Station : AIN KHANGUA

Coordonnées : X = 984,250 Y = 236,850 Z = 1330m.

Année Agricole	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total Annuel
1974/75	36	36,2	33,2	58,1	16	27,7	43	21,1	24,3	0	1,8	26,6	324
1975/76	37,2	6,39	23,5	15,5	33	54,2	43,8	22,8	40,8	19,9	27,2	29,8	354,09
1976/77	30,2	47,4	34	9,4	23,7	23,5	27,9	77	21,8	0	8,5	10,5	313,9
1977/78	8,5	17,6	23,3	6,3	0	20,7	54,9	14,7	16,9	10,5	0	11,1	184,5
1978/79	8	12,4	48,4	9	16,8	28	14,5	30	12,7	19,9	0	23	222,7
1979/80	58,9	26,5	10,6	2,3	30	20	91,2	17	20,6	0	0	8	285,1
1980/81	18,2	16,3	39,8	37,2	30,1	2,2	17,3	7	22	40	0	0	230,1
1981/82	6,9	1,5	0	1,5	3	11	0	45,5	1,1	0	0	0	70,5
1982/83	11,4	61	40	35,7	5,2	4	9,97	4,2	8,4	35	0	5,92	220,79
1983/84	5,37	29,1	7,2	7,4	0,89	22,27	19,8	17,44	5,65	3	6,05	0	124,17
1984/85	9,6	46,94	13,72	11,9	4,75	5,24	10	30,34	34,9	43,93	5,14	0,64	217,1
1985/86	14	6	1	12	16,4	4	32,1	1	22,9	29,1	21,2	7,3	167
1986/87	35,2	12,6	93,1	30	3,3	30,24	42	3,49	12	0	0	1,5	263,43
1987/88	7	13,24	6,1	0	4	1,41	4,68	6,25	7,37	14,5	0	2,5	67,05
1988/89	1,5	0	15	26,5	10	21,9	4	10,7	8,1	115,4	5,4	26,36	244,86
1989/90	55	0,36	13,3	21,2	17,6	0	4,73	50,47	78,8	20	69,5	66,1	397,06
1990/91	4,7	6,24	31,5	33,4	33,7	16,4	55,3	41,31	52,9	18,92	12	3,93	310,3
1991/92	15,25	16,9	19,65	5,9	43,3	46	82,6	75	27,3	21,78	11	6,43	371,11
1992/93	12,79	17,28	31,23	9,28	1,59	27,72	15,8	1,69	23,1	0	8,54	14,59	163,61
1993/94	8,26	5,28	16,19	14,7	8,17	3,43	21,7	4,87	3,94	2,89	22,2	9,55	121,18
1994/95	2,63	75,91	0	0	18,7	6	19,8	0,21	0	19,23	0	40,68	183,16
1995/96	0	2,5	42,3	27,2	83,9	70,4	98,5	39,9	0	0	0	0	364,7
1996/97	22,5	4,4	1,3	7,5	15,3	12	41,3	50,9	15	0	25,9	32,3	228,4
1997/98	70,9	20	35,9	27,2	26,8	4	26,7	33,3	5,9	25,3	0	24,3	300,3
1998/99	25,5	52,6	18,1	14,3	109,3	4	19	3,5	0	5	0	19,2	270,5
1999/00	32,2	23	58,11	18,4	0	0,6	4,5	9,8	78,4	45,9	5,5	4,8	281,21
2000/01	5	4,7	0	0,6	8,4	7,5	0,8	2,2	17,2	0	12,2	1,5	60,1
2001/02	75,1	1,3	11	5,7	0	0	4,1	29,6	25,4	17,5	52,4	89,9	312
2002/03	4	23,8	32,3	23,2	46	50,4	10,8	119,7	9,9	1,1	20,6	4,4	346,2
2003/04	54,4	45,9	16,8	208,6	21	0	60,6	28,1	16	65,2	12,7	35,3	564,6
2004/05	4,1	13,3	81,5	56,5	8,5	62,6	3,5	30,2	23,3	2,5	29	36,9	351,9
2005/06	21,9	6,1	11,2	45,6	37,6	28,6	1,5		60,3	14	12,7	31	270,5
2006/07	0	0	0	14,6	2,3	4,4	11,8	32,6	0	12,7	0	8,3	86,7
2007/08	14,3	12,8	2,6	17,5	0	2,4	5,1	14,6	47,3	31,1	7,9	31,9	187,5
Moyenne mensuelle	22,34	19,42	22,37	22,67	24,01	16,99	26,45	22,7	20,46	19,1	10,38	18,78	245,67

ANNEXE II



Abaque pour le calcul du déficit d'écoulement en Algérie.
(D'après P. Verdeil -1988)

ANNEXE III

Essai de Pompage au niveau du Forage M8_{bis}

- Coordonnées Lambert du forage : X = 990.890, Y= 229.785, Z= 1072.

- Débit de pompage 35 l/s = 0.035 m³/s. - Niveau statique 37.40 m,

Temps (mn)	Temps (sec)	N.Dyn (m)	Rabatt (m)	Temps (mn)	Temps (sec)	N.Dyn (m)	Rabatt (m)
0	0	37,35	0	975	58500	42,09	4,74
10	600	40,1	2,75	1020	61200	42,1	4,75
20	1200	41,7	4,35	1035	62100	42,11	4,76
30	1800	41,76	4,41	1080	64800	42,12	4,77
40	2400	41,75	4,4	1095	65700	42,10	4,75
50	3000	41,76	4,41	1140	68400	42,11	4,76
60	3600	41,75	4,4	1155	69300	42,12	4,77
70	4200	41,98	4,63	1200	72000	42,10	4,75
80	4800	42,01	4,66	1215	72900	42,11	4,76
90	5400	42,02	4,67	1260	75600	42,10	4,75
100	6000	42,05	4,7	1275	76500	42,10	4,75
110	6600	42,04	4,69	1320	79200	42,11	4,76
120	7200	42,05	4,7	1335	80100	42,10	4,75
130	7800	42,03	4,68	1380	82800	42,09	4,74
20	1200	42,01	4,66	1395	83700	42,10	4,75
150	9000	42,03	4,68	1440	86400	42,11	4,76
160	9600	42,04	4,69	1455	87300	42,12	4,77
170	10200	42,05	4,7	1500	90000	42,11	4,76
180	10800	42,01	4,66	1515	90900	42,1	4,75
187,5	11250	42,02	4,67	1560	93600	42,11	4,76
195	11700	42,03	4,68	1575	94500	42,12	4,77
202,5	12150	42,04	4,69	1620	97200	42,11	4,76
240	14400	42,05	4,7	1635	98100	42,11	4,76
247,5	14850	42,05	4,7	1680	100800	42,13	4,78
255	15300	42,04	4,69	1695	101700	42,13	4,78
262,5	15750	42,05	4,7	1740	104400	42,14	4,79
300	18000	42,05	4,7	1755	105300	42,06	4,71
315	18900	42,05	4,7	1800	108000	42,08	4,73
360	21600	42,02	4,67	1815	108900	42,09	4,74
375	22500	42,02	4,67	1860	111600	42,11	4,76
420	25200	42,07	4,72	1875	112500	42,1	4,75
435	26100	42,06	4,71	1920	115200	42,11	4,76
480	28800	42,07	4,72	1980	118800	42,12	4,77
495	29700	42,05	4,7	2040	122400	42,13	4,78
540	32400	42,07	4,72	2100	126000	42,11	4,76
555	33300	42,07	4,72	2160	129600	42,12	4,77
600	36000	42,06	4,71	2220	133200	42,13	4,78
615	36900	42,06	4,71	2280	136800	42,13	4,78
660	39600	42,07	4,72	2340	140400	42,11	4,76
675	40500	42,06	4,71	2400	144000	42,12	4,77
720	43200	42,07	4,72	2460	147600	42,13	4,78
735	44100	42,09	4,74	2520	151200	42,12	4,77
780	46800	42,1	4,75	2580	154800	42,13	4,78
795	47700	42,11	4,76	2640	158400	42,13	4,78
840	50400	42,1	4,75	2700	162000	42,12	4,77
855	51300	42,11	4,76	2760	165600	42,13	4,78
900	54000	42,1	4,75	2820	169200	42,13	4,78
915	54900	42,11	4,76	2880	172800	42,15	4,8
960	57600	42,1	4,75				

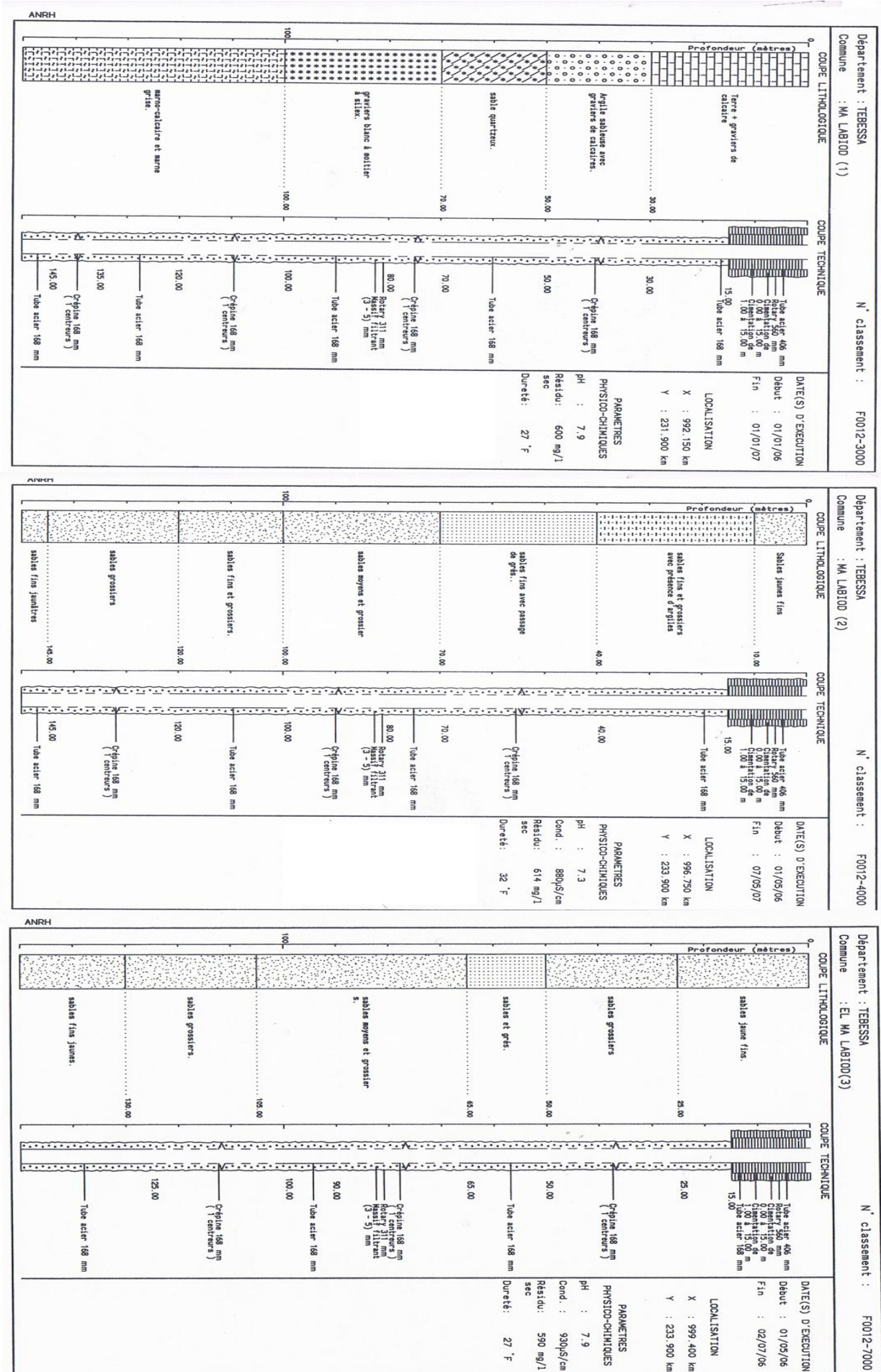
ANNEXE III

Observation de la remontée « **Forage M8_{bis}** » :

t' en (mn)	t+t' en (mn)	t' en (sec)	t+t' en (sec)	(t+t')/t'	Niveau Dynamique (m)	Rabattement (m)
0	2880	0	172800	0	42,15	0
10	2890	600	173400	289	37,73	4,42
20	2900	1200	174000	145	37,62	4,53
30	2910	1800	174600	97	37,56	4,59
40	2920	2400	175200	73	37,53	4,62
50	2930	3000	175800	59	37,5	4,65
60	2940	3600	176400	49	37,47	4,68
70	2950	4200	177000	42	37,45	4,7
80	2960	4800	177600	37	37,4	4,75
90	2970	5400	178200	33	37,35	4,8

ANNEXE IV

Les trois piézomètres



Département : TEBESSA
Commune : MA LABIOD (1)
N° classement : F0012-3000

Département : TEBESSA
Commune : MA LABIOD (2)
N° classement : F0012-4000

Département : TEBESSA
Commune : EL MA LABIOD(3)
N° classement : F0012-7000

ANNEXE IV

**Tableau de l'inventaire des points d'eaux mesurées durant les compagnes (Avril -1- et
Septembre -2- 2013)**

	X	Y	Z	N.S (1) en (m)	N.S (2) en (m)	N.P (1) en(m)	N.P (2) en (m)	Rabattement en (m)
P2	993,137	229,108	1071	38,60	39,35	1032,40	1031,65	0,75
P5	992,584	228,584	1079	45,20	46,00	1033,80	1033,00	0,80
P6	992,59	228,461	1083	50,09	50,50	1032,91	1032,50	0,41
P12	991,1	227,946	1091	/	52,50	/	1038,50	/
P16	990,853	227,337	1100	60,10	61,00	1039,90	1039,00	0,90
P17	990,46	225,781	1120	81,30	82,00	1038,70	1038,00	0,70
P18	990,049	225,416	1124	85,80	86,50	1038,20	1037,50	0,70
P19	990,479	225,443	1109	70,80	71,50	1038,20	1037,50	0,70
P21	989,415	228,655	1086	49,10	50,00	1036,90	1036,00	0,90
P24	990,971	229,821	1074	36,60	40,50	1032,40	1030,50	1,90
P26	991,199	230,728	1079	40,60	39,50	1038,40	1040,50	-1,10
P30	988,42	229,711	1091	50,50	50,00	1040,50	1045,00	-0,50
P33	992,291	232,486	1083	43,00	45,40	1040,00	1038,60	1,40
P34	993,15	232,966	1083	47,20	48,70	1035,80	1034,30	1,50
P35	994,083	233,018	1082	39,80	41,00	1042,20	1041,00	1,20
P36	994,675	231,94	1083	42,50	43,60	1040,50	1039,40	1,10
P38	995,071	231,654	1081	40,20	42,50	1040,80	1039,50	1,30
P39	995,657	231,131	1073	35,00	36,00	1038,00	1037,00	1,00
P43	998,345	231,035	1058	24,80	26,50	1033,20	1031,50	1,70
P44	998,748	234,022	1083	38,90	40,00	1044,10	1043,00	1,10
P45	999,315	236,736	1104	60,70	60,50	1043,30	1043,50	-0,20
P48	998,445	236,008	1113	67,60	69,00	1045,40	1044,00	1,40
P50	999,073	235,18	1096	51,00	53,50	1045,00	1043,50	1,50
P51	999,408	235,075	1090	45,80	46,50	1044,20	1043,50	0,70
P53	999,689	234,135	1082	38,70	40,00	1043,30	1042,00	1,30
P54	999,799	233,524	1077	35,00	36,50	1042,00	1040,50	1,50
P55	999,886	232,881	1071	28,30	29,00	1042,70	1042,00	0,70
P57	1000,601	233,23	1081	39,50	41,00	1041,50	1040,00	2,50
P59	1001,577	233,871	1090	36,80	38,00	1053,20	1052,00	1,20
P60	1001,832	233,824	1088	42,60	43,50	1045,40	1044,50	0,90
P61	1002,138	234,242	1094	38,00	38,50	1056,00	1055,50	0,50
P64	1003,052	235,529	1096	39,10	41,50	105,90	1054,50	1,40
P68	1002,418	235,987	1093	47,00	48,00	1046,00	1045,00	1,00
P70	998,382	225,786	1023	5,10	7,00	1017,90	1016,00	1,90
P71	999,17	237,963	1128	85	86	1043	1042,00	1,00
P'1	1001,59	234,983	1086	/	41,5	/	1044,50	/
P'2	1002,668	336,494	1104	53	54,3	1051.00	1049,70	1.30
P'3	990,108	225,268	1128	/	89	/	1039,00	/
P'4	992,774	231,526	1070	/	32	/	1038,00	/

	Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		Na ⁺⁺ + K ⁺		HCO ₃ ⁻		Cl ⁻		SO ₄		No ₃ ⁻	
	(mg/l)	(mé/l)	(mg/l)	(mé/l)	(mg/l)	(mé/l)	(mg/l)	(mé/l)	(mg/l)	(mé/l)	(mg/l)	(mé/l)	(mg/l)	(mé/l)
P2	202,80	10,14	58,80	4,90	75,65	3,29	261,08	4,28	181,05	5,10	380	7,92	64,00	1,03
P5	135,47	6,77	25,28	2,11	61,01	2,65	262,30	4,30	142,00	4,00	142	2,96	17,00	0,27
P9	185,97	9,30	29,06	2,42	41,99	1,83	244,00	4,00	177,50	5,00	200	4,17	23,50	0,38
P18	103,41	5,17	29,16	2,43	37,62	1,64	233,02	3,82	99,40	2,80	112	2,33	17,50	0,28
P20	111,42	5,57	13,79	1,15	45,87	1,99	229,36	3,76	71,00	2,00	100	2,08	54,00	0,87
P31	104,21	5,21	18,12	1,51	62,98	2,74	179,34	2,94	85,20	2,40	176	3,67	28,00	0,45
P25	137,88	6,89	15,19	1,27	50,69	2,20	195,20	3,20	88,75	2,50	220	4,58	5,00	0,08
P23	165,93	8,30	23,32	1,94	56,85	2,47	259,86	4,26	106,50	3,00	240	5,00	28,00	0,45
P35	98,60	4,93	40,68	3,39	31,48	1,37	241,56	3,96	134,90	3,80	74	1,54	24,00	0,39
P37	82,56	4,13	34,94	2,91	80,89	3,52	303,78	4,98	117,15	3,30	100	2,08	12,00	0,19
P40	126,65	6,33	44,49	3,71	37,58	1,63	335,50	5,50	110,05	3,10	122	2,54	33,00	0,53
P44	119,44	5,97	33,46	2,79	65,30	2,84	289,14	4,74	152,65	4,30	112	2,33	14,00	0,23
P53	116,23	5,81	20,50	1,71	32,62	1,42	190,32	3,12	131,35	3,70	80	1,67	28,00	0,45
P47	89,78	4,49	14,29	1,19	29,32	1,27	213,50	3,50	74,55	2,10	48	1,00	22,00	0,35
P46	84,17	4,21	19,10	1,59	51,62	2,24	279,38	4,58	78,10	2,20	60	1,25	0,90	0,01
P78	254,91	12,75	66,41	5,53	89,21	3,88	298,90	4,90	284,00	8,00	415	8,65	38,00	0,61
P56	82,56	4,13	14,78	1,23	24,35	1,06	215,94	3,54	42,60	1,20	62	1,29	24,00	0,39
P58	79,36	3,97	12,38	1,03	30,36	1,32	218,38	3,58	56,80	1,60	40	0,83	19,00	0,31
P60	124,25	6,21	22,89	1,91	16,56	0,72	215,94	3,54	99,40	2,80	96	2,00	31,00	0,50
P66	114,63	5,73	28,18	2,35	37,33	1,62	219,60	3,60	117,15	3,30	85	1,77	64,00	1,03
P71	77,76	3,89	18,15	1,51	36,77	1,60	256,20	4,20	67,45	1,90	35	0,73	10,50	0,17
P49	87,37	4,37	11,42	0,95	25,58	1,11	211,06	3,46	63,90	1,80	40	0,83	21,00	0,34
S.Tnouka	108,22	5,41	24,83	2,07	54,83	2,38	496,54	8,14	42,60	1,20	25	0,52	0,20	0,003
S.Rhrira	69,74	3,49	42,64	3,55	43,20	1,88	461,16	7,56	31,95	0,90	22	0,46	0,00	0,00
S.Kriz	144,29	7,21	8,95	0,75	68,75	2,99	474,58	7,78	56,80	1,60	75	1,56	0,40	0,01
P77	96,19	4,81	11,40	0,95	22,81	0,99	244,00	4,00	42,60	1,20	35	0,73	51,00	0,82

Tableau des analyses Chimique des points d'eaux / Bassin d'El Ma El Abiod -Avril 2013

	Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		Na ⁺ +K ⁺		HCO ₃ ⁻		Cl ⁻		So ₄ ⁻		No ₃ ⁻	
	(mg/l)	(mé/l)	(mg/l)	(mé/l)	(mg/l)	(mé/l)	(mg/l)	(mé/l)	(mg/l)	(mé/l)	(mg/l)	(mé/l)	(mg/l)	(mé/l)
P2	164,33	8,22	37,72	3,14	16,01	0,70	206,18	3,38	106,50	3,00	250	5,21	29,00	0,47
P5	156,31	7,82	17,57	1,46	32,42	1,41	223,26	3,66	102,95	2,90	175	3,65	30,00	0,48
P9	104,21	5,21	28,20	2,35	17,31	0,75	202,52	3,32	71,00	2,00	115	2,40	37,00	0,60
P18	110,62	5,53	13,79	1,15	1,90	0,08	189,10	3,10	35,50	1,00	110	2,29	23,00	0,37
P20	181,96	9,10	24,26	2,02	20,27	0,88	151,28	2,48	124,25	3,50	260	5,42	37,50	0,60
P31	136,27	6,81	18,08	1,51	25,67	1,12	176,90	2,90	63,90	1,80	225	4,69	3,00	0,05
P25	164,33	8,22	26,20	2,18	23,54	1,02	218,38	3,58	92,30	2,60	230	4,79	28,00	0,45
P23	72,95	3,65	29,19	2,43	20,48	0,89	214,72	3,52	78,10	2,20	58	1,21	2,60	0,04
P35	74,55	3,73	37,35	3,11	21,58	0,94	283,04	4,64	35,50	1,00	100	2,08	3,40	0,05
P37	124,25	6,21	41,13	3,43	22,45	0,98	292,80	4,80	99,40	2,80	120	2,50	32,00	0,52
P40	111,42	5,57	28,67	2,39	22,16	0,96	256,20	4,20	74,55	2,10	112	2,33	18,00	0,29
P44	123,45	6,17	19,05	1,59	40,98	1,78	167,14	2,74	102,95	2,90	130	2,71	74,00	1,19
P53	100,20	5,01	11,40	0,95	20,94	0,91	185,44	3,04	71,00	2,00	60	1,25	36,00	0,58
P47	78,56	3,93	13,35	1,11	23,83	1,04	247,66	4,06	24,85	0,70	60	1,25	4,10	0,07
P46	368,74	18,44	100,36	8,36	11,74	0,51	313,54	5,14	220,10	6,20	700	14,58	86,00	1,39
P78	94,59	4,73	17,65	1,47	11,31	0,49	197,64	3,24	63,90	1,80	70	1,46	12,00	0,19
P56	157,11	7,86	23,81	1,98	34,92	1,52	208,62	3,42	142,00	4,00	160	3,33	37,50	0,60
P58	129,86	6,49	37,28	3,11	15,86	0,69	209,84	3,44	102,95	2,90	135	2,81	70,50	1,14
P60	152,30	7,62	37,26	3,10	94,01	4,09	157,38	2,58	149,10	4,20	335	6,98	65,00	1,05
P66	124,25	6,21	23,85	1,99	46,27	2,01	226,92	3,72	78,10	2,20	110	2,29	124,00	2,00
P71	88,18	4,41	8,05	0,67	4,53	0,20	191,54	3,14	17,75	0,50	60	1,25	24,00	0,39
P77	78,56	3,93	8,07	0,67	5,77	0,25	189,10	3,10	14,20	0,40	30	0,63	45,00	0,73

Tableau des analyses Chimique des points d'eaux / Bassin d'El Ma El Abiod -Septembre 2013