



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la
recherche scientifique

Université Larbi Tébessa - Tébessa

Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et
de la Vie

Département des Sciences de la terre et de l'univers



Mémoire de fin d'étude
Pour l'obtention du diplôme de MASTER
Domaine : Sciences de la terre et de l'Univers
Filière : Géologie
Spécialité : Hydrogéologie

Thème Présentée Par :
GUEFAIFIA Islem.
HAMDI Abd El-Kayoum.
HEDHOUD Adlene.

Nouvelles ressources en eaux souterraines des zones
périphériques de quelques bassins hydrographiques de la
wilaya de Tébessa et perspectives d'exploitation.

Devant le jury :

Dr. BAALI F.	Professeur	Université de Larbi Tébessa	Président
Dr. SEGHIRK .	M.C.A	Université de Larbi Tébessa	Examineur
Dr. Guefaifia O.	M.C.A	Université de Larbi Tébessa	Rapporteur

1^{ière} Session : Juin 2022

REMERCIEMENT

*En préambule à ce projet, nous remercions **Allah** qui nous a aidés et qui nous a donné la patience et le courage durant ces longues années d'étude.*

*Tout d'abord, ce travail ne sera pas assez riche et n'aura pas avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de **Dr. Guefaifia Omar**, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.*

*Nous exprimons aussi nos vifs remerciements aux membres du jury, professeur **BaaliFethi** et **Dr.Sghir Karima** pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs remarques.*

Nos remerciements s'adressent également à tous nos enseignants pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire malgré leurs charges académiques et professionnelles.

DEDICACE :

Je dédie ce travail :

A ma chère mère,

A mon cher père,

Qui n'ont jamais cessé de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

A mon frère Mohamed,

Qui m'a toujours inspiré et encouragé.

A ma grande sœur Baraà,

Pour son soutien moral et ses conseils précieux tout au long de mes études.

A ma petite sœur Aridj,

Pour son encouragement et son support.

A toutes la familles Guefaifia .

A tous les cousins, les voisins et les amis que j'ai connu jusqu'à maintenant.

A tous ceux que j'aime

Merci pour leurs amours et leurs encouragements.

DEDICACE :

Je dédie ce travail au département STU

- *A mes chers parents ABI et OMI*
- *A mes sœurs et mes frères.*
- *A ma petite famille et ma grande famille et ma famille
à Gaza surtout AbdEl-hak et Rahma*
- *A mes amies sans exception*
- *A mes amie Moussa*
- *A mes colléges en hydrogéologie et GI.*

DEDICACE :

Ce travail est dédié à mon père que dieu lui fasse miséricorde.

A la lumière de mes jours et les étoiles de mes nuits : ma mère.

A tous les membres de la famille;

A tous mes amis.

SOMMAIRE :

REMERCIEMENT

DEDICACE

DEDICACE

DEDICACE

SOMMAIRE :

LISTE DES FIGURES :

LISTE DES TABLEAUX

RESUME

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : CADRE GENERALE	5
1. Région d'El Ma-labiod :	6
A. Situation géographique :	6
B. Couvert végétal :	8
2. Région de Boukhadra :	8
A. Situation géographique	8
B. Couvert végétal:	8
3. Région de Tébessa :	9
A. Situation géographique :	9
B. Couvert végétal	9
4. Région de Chéria :	10
A. Situation géographique :	10
B. Contexte topographique :	11
C. Contexte hydrographique :	12
D. Couvert Végétal :	13

CHAPITRE II LE CADRE GEOLOGIQUE

14

1. Région El Ma El biod :	15
A. Stratigraphie et description lithologique des formations :	15
➤ TRIAS :	16
➤ CRETACE :	16
• APTIEN MOYEN ET INFERIEUR :	16
• APTIEN SUPERIEUR :	17
• ALBIEN INFERIEUR :	17
• ALBIEN SUPERIEUR :	17
• CENOMANIEN :	18
• TURONIEN :	18
• CAMPANIEN INFERIEUR - EMSCHERIEN:	19
• MAASTRICHTIEN-CAMPANIEN SUPERIEUR :	19
➤ TERTIAIRE :	19
• Miocène :	19
• Miocène Moyen et inférieur (Vindobonien et Burdigalien) :	19
• Miocène Supérieur (Pontien) :	20
➤ QUATERNAIRE :	20
• Facies Anciens :	20
• Facies récents	20
• Les Conglomérats :	20
2. Région de Boukhadra :	22
A. Introduction :	22
B. Stratigraphie :	22
➤ TRIAS :	23
➤ CRETACE	24
• L'APTIEN :	24
• L'ALBIEN	24
• VRACONIEN	24
• LE CENOMANIEN	24
• TURONIEN :	25
• CONIACIEN	25
➤ TERTIAIRE :	25
➤ QUATERNAIRE:	25
C. Tectonique :	25
3. Région de Tébessa :	26
A. Introduction	26
B. Stratigraphie	27
➤ TRIAS :	27
➤ CRETACE :	27
• APTIEN :	27
• ALBIEN :	27

•	VRACONIEN	27
•	CENOMANIEN	28
•	TURONIEN INFERIEUR	28
•	TURONIEN SUPERIEUR	28
•	EMSCHERIEN (Coniacien - Santonien)	28
•	CAMPANIEN :	28
•	MAESTRICHTIEN INFERIEUR	28
•	MAESTRICHTIEN SUPERIEUR	28
E.		29
➤	TERTIARE :	29
•	PALEOCENE	29
•	EOCENE :	29
•	Yprésien :	29
•	MIOCENE :	29
➤	QUATERNAIRE :	29
F.	C. Tectonique :	29
4.	Région de Chéria :	30
A.	Stratigraphie-lithologie:	30
➤	TRIAS :	30
➤	CRETACE :	30
•	APTIEN :	30
•	CENOMANIEN	31
•	TURONIEN :	31
•	CAMPANIEN:	31
•	MAESTRICHTIEN:	31
➤	TERTIAIRE :	31
•	DANIEN EOCENE INFERIEUR:	31
•	EOCENE MOYEN:	31
•	MIOCENE	32
•	Mio-pliocène:	32
•	Le Pliocène:	32
➤	QUATERNAIRE :	32
B.	Les dépôts actuels:	32
C.	Tectonique:	32
➤	Première phase:	32
➤	Deuxième phase:	33
G.	Conclusion :	33
CHAPITRE III	HYDROCLIMATOLOGIE	35
I.	Introduction :	36
1.	Région d'El Ma Lbiod	36
A.	Etude des paramètres climatiques :	36

a.	La Température :	36
	• Température moyen mensuelle	36
	• Répartition des Températures annuelles	37
b.	Pluviométrie :	38
c.	Précipitations :	39
	• Précipitations moyennes mensuelles :	39
	• Précipitation moyennes annuelles (sur une période de 10 ans :2007/2017) :	40
d.	Diagramme pluviothermique :	40
B.	Détermination des indices climatiques	41
a.	L'humidité relative :	41
b.	Le Vent :	41
c.	L'indice d'aridité de E. DE Martone :	42
	• L'indice d'aridité mensuel	42
C.	Bilan hydrique	43
a.	Étude de l'Évapotranspiration :	43
	• Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP) Formule de C.W. Thornthwaite :	44
	➤ Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) :	45
	i. Formule de L. Turc :	45
b.	Bilan hydrique par la méthode de G. W. Thornthwaite	46
	Commentaire sur le bilan hydrique :	47
D.	Le ruissellement	48
E.	L'infiltration :	48
F.	CONCLUSION :	49
2.	Région de Boukhadra :	49
A.	Etude des paramètres climatiques	50
a.	Température	50
	• Température moyenne mensuelle (1997/1998-2019/2020)	50
b.	Précipitations :	51
	• Variation inter annuelle des précipitations :	51
	• Variations mensuelles des précipitations:	52
B.	Détermination des indices climatiques	53
a.	Les Vents :	53
	➤ b.L'indice d'aridité mensuel 1923 :	54
C.	Bilan hydrique	54
a.	Commentaire sur le bilan hydrique :	55
b.	Etude de l'évapotranspiration	55
	• Evapotranspiration réelle annuelle moyenne (ETR)	55
D.	Estimation du ruissellement	56
	• Méthode de TIXERON-BERKALOFF	56
E.	Calcul de l'infiltration	56
3.	Région de Tébessa	57
A.	Etude des paramètres climatiques	57
a.	Température	57

•	Température moyenne mensuelle (1997/1998-2019/20)	57
b.	Précipitation	58
•	Précipitation moyenne annuelle :	58
B.	Détermination des indices climatiques :	59
a.	Les Vents	59
b.	L'humidité	59
C.	Bilan hydrique	60
a.	Estimation du bilan hydrologique selon la méthode de C.W.Thornthwaite	60
b.	L'évapotranspiration	62
•	Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP)	63
•	Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR)	63
D.	Calcul du ruissellement (R)	64
E.	Calcul de l'infiltration (64
F.	Estimation des réserves facilement utilisable(RFU)	64
G.	Conclusion	65
4.	Région de chéria	66
A.	Etude des facteurs climatiques :	66
a.	Les Précipitations :	66
•	Précipitations interannuelles	66
•	Précipitations mensuelles	67
b.	La neige	68
c.	La Température	68
d.	Diagramme pluviométrique	69
B.	Indices climatiques	70
C.	Bilan hydrique	70
a.	L'évapotranspiration	70
•	Evapotranspiration potentielle (ETP)	70
•	Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP)	71
b.	Bilan hydrologique Selon la méthode de C.W. Thornthwaite	72
D.	Le ruissellement (R)	73
E.	L'infiltration	74
F.	Conclusion	75
CHAPITRE IV :	HYDROGEOLOGIE ET GEOPHYSIQUE	76
1.	Région de El Ma Lbiod :	77
A.	Géométrie de l'aquifère :	77
a.	Introduction :	77
b.	Profils géo-électriques réalisés:	77
•	Coupe transversale I (Nord-Sud) :	78
•	Coupe transversale II. (Nord-Sud) :	79
•	Coupe transversale III. (Nord-Sud) :	80

• Coupe transversale IV (sud-ouest - nord-est) :	81
• Profil longitudinal V (Sud-ouest Nord-est) :	83
Commentaire des résultats :	83
c. Les cartes isopaches	84
• Carte d'égale épaisseur des sables :	84
• Carte d'égale épaisseur des grès :	84
• Carte d'égale épaisseur des argiles sableuses :	85
B. Conclusion	85
2. Région de Boukhadra :	86
3. Région de Tébessa :	86
H. HYDROGEOLOGIE	86
A. Introduction	86
B. Description générale	86
C. Conditions aux limites	87
D. La piézométrie	88
a. Inventaire des points d'eau	88
b. Etablissement d'une carte piézométrique	90
c. Interprétation de la carte piézométrique	90
E. L'évolution des niveaux piézométriques dans le temps et dans l'espace	90
F. Estimation des réserves	91
a. Calcul de réserves potentielles	92
b. Détermination de la structure hydrogéologique	92
c. Détermination de la porosité efficace	93
d. Calcul de la réserve	93
❖ Calcul de la profondeur moyenne du substratum	93
❖ Calcul de la profondeur moyenne de la piézométrie	93
❖ Le coefficient d'emmagasinement	94
H. Conclusion	96
G. GEOPHYSIQUE	96
A. Introduction	96
B. Profils géo-électrique et leur interprétation	98
a. Coupe transversale (SE-NE)	98
b. Coupe transversale centrale	99
c. Coupe transversale ouest SW – NW	100
C. Les fossés d'effondrement de Tébessa- Morsott et hammamet	102
D. Epaisseur du remplissage	103
E. Description lithologique	104
F. Echelle des résistivités	105
H. Conclusion	107
4. La région de Cheria	108
A. Introduction:	108
B. Description générale de Chéria :	108
C. Géométrie des aquifères :	108

CONCLUSION GENERALE	131
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	131

LISTE DES FIGURES :

Figure 1 : Situation géographique et administrative de la plaine El Ma Lbioud. (in ROUABHIA.ABK 2003).....	7
Figure 2: Carte de localisation de la zone d'étude	9
Figure 3 : Localisation géographique de zone et stations d'études	10
Figure 4: Présentation et situations géographiques des plaines	11
Figure 5: Répartition des altitudes sur la région étudiée	12
Figure 6: Réseau hydrographique de la région d'étude	13
Figure 7: Carte géologique d'EL Ma Elbioud. (G.Durozoy 1948).....	15
Figure 8: Coupes géologiques montrant les différentes formations de la région d'étude. (DUROZY 1948 ; modifié).....	21
Figure 9: Colonne stratigraphique de mont de la mine de BOUKHADRA	23
Figure 11 : Contact avec le Trias (Contact anormal)	24
Figure 11: Trois coupes transversales dans l'anticlinal du Boukhadra.....	26
Figure 12: Variation des températures mensuelles, période de 10 ans (2007_2017).....	37
Figure 13: Variation des températures inter annuelles.....	38
Figure 14: Station pluviométriques et leurs codes/Bassin d'El Ma El Abiod.....	39
Figure 15: Les Hauteurs annuelles sur période de 10 ans (2007-2017) à la station d'EL MALBIOD.....	40
Figure 16: Diagrammes pluviothermiques (2007/2017) / Bassin D'EL MALABIOD	41
Figure 17: variation des températures moyennes mensuelles (1997/1998-2019/2020).....	50
Figure 18: Evolution des précipitations annuelles de la station de Morsott (1971-2005).....	52
Figure 19: Distribution inter-annuelle des précipitations mensuelles de la station de Morsott (1971-2005) ...	53
Figure 20: variation des températures moyennes mensuelles (1997/1998-2019/2020).....	57
Figure 21: Variation des précipitations moyennes mensuelles (station de Tébessa 1997-2018 . et site web 2019-2020).....	58
Figure 22: Variation des précipitations annuelle à la Station de Tébessa (1997-2020).....	59
Figure 23: La Variations interannuelles des précipitations interannuelle de la station de Chéria (1990-2014).	67
Figure 24: Les Variations des précipitations moyennes mensuelles de la station de Chéria (1990-2014)	68
Figure 25: Variation des températures mensuelles à la station de Tébessa	69
Figure 26: Diagramme pluviothermique a la station de Chéria (1990-2014).....	69
Figure 27: Carte de position des sondages électriques (in ROUABHIA Aek 2006)	77
Figure 28: Coupe géo-électrique transversale I. passant par les forages M7, M5, M4, et M15.....	78
Figure 29: Profil géo-électrique transversal (N/S) N° II traversant les forages ; M10, M9, et M6.	79
Figure 30: Profil géo-électrique transversal (N/S) N° III traversant les forages ; M1, M6 et le puits P23. (In Magister O. Guefaïfia 1996).....	80
Figure 31: Profil géo-électrique (SW/NE) N° IV traversant les forages M15, M2, M13 et M10. (In Rouabhia et Guefaïfia 1996).....	81
Figure 32: Profil géo-électrique (SW/NE) N° V traversant les forages M3, M8, M5 et le S23.	83
Figure 33: Carte d'égale épaisseur des sables –In ROUBHIA 2006	84
Figure 34: Carte d'égale épaisseur des Grès -In ROUBHIA 2006.....	85
Figure 35: Carte d'égale épaisseur des Argiles sableuses –In ROUBHIA 2006.....	85
Figure 36: Coupe hydrogéologique à travers la plaine de la Merdja	87

Figure 37: Carte des conditions aux limites de la zone d'étude.....	88
Figure 38: la carte d'inventaire des puits sur la plaine (Tebessa-Morsot).....	89
Figure 39: carte piézométrique la zone étudié	90
Figure 40: la courbe d'évolution à l'échelle piézométrique spatiale et temporelle	91
Figure 41: Détermination des réserves en nappe libre sur l'année hydrologique. Dh, amplitude de la fluctuation de la surface piézométrique au cours de 1'année hydrologique.....	92
Figure 42: Valeurs des transmissivités $T(m^2/s)$ et perméabilités $K(m/s)$ moyennes - Méthode de (Theis , Jacob, Chow)	95
Figure 43: Carte de situation des sondages électriques.....	97
Figure 44: Profils des coupes électriques Tébéssa-Morsot.....	98
Figure 45: coupe géo électrique transversale centrale	100
Figure 46: coupe géo électrique transversale WEST.....	101
Figure 47: Coupe géo-électrique présentée le fossé d'effondrement de Morsot.....	103
Figure 48: Coupe géo-électrique présentée le fossé d'effondrement de Tébéssa.....	103
Figure 49: Carte d'épaisseur du remplissage alluvionnaire.....	104
Figure 50: Coupes géo-électriques à travers la plaine de Tébéssa selon les profils (J,K,L et M) (in Djabri L. 1987).....	106
Figure 51: Coupes géo-électriques à travers la plaine de Tébéssa selon les profils (R,S,T et U)	107
Figure 52: Carte de position des profils géo-électriques dans le plateau de Chéria.....	108
Figure 53: Coupe géo-électrique : profil H.....	109
Figure 54: Coupe géo-électrique: profil J et K.....	109
Figure 55: Coupe géo-électrique : profil N.....	109
Figure 56: Coupe géo-électrique: profil E.....	110
Figure 57: Coupe géo-électrique: profil M.....	110
Figure 58: Coupe géo-électrique : profil Q et R.....	111
Figure 59: Coupes géologiques du plateau de Chéria	112
Figure 60: Carte des conditions aux limites de Chéria	113
Figure 61: Situation géographique des sources dans la zone d'étude, Image satellitaire ALSAT 01. Centre d'image SAT. Bouzarriaa Alger.	115
Figure 62: Les hydro grammes des débits pour les sources étudiées.....	116
Figure 63: La sonde de niveau d'eau.....	117
Figure 64: Carte piézométrique de Chéria (Sep 2002).....	118
Figure 65: Carte piézométrique de Chéria (Sep 2005).....	119
Figure 66: variations latérales des deux niveaux des zones périphériques potentielles d'El Ma Labiod (zones Sud Sud-Ouest)	125
Figure 67: variations latérales des deux niveaux des zones périphériques potentielles de Tebéssa (zones Sud Sud-Ouest).....	127
Figure 68: variations latérales des deux niveaux des zones périphériques potentielles de Chéria	129

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1:Géologie et intérêt hydrogéologique de région d'étude	34
Tableau 2:les températures moyennes mensuelles à la station d'EL MALBIOD (2007-2017)	37
Tableau 3:Températures moyennes annuelles (2007_2017)	37
Tableau 4:Moyenne des précipitations mensuelles sur une période de 10 ans (2007/2017)	39
Tableau 5:Les Hauteurs annuelles sur une période de 10ans (2007\2017)	40
Tableau 6:Indice d'aridité de E. DE Martone et type de climat	42
Tableau 7:Indice d'aridité mensuel/Bassin d'El Ma Labiod	43
Tableau 8:ETP selon la formule de C. W. Thornthwaite/Station d'El Ma El Abiod	45
Tableau 9:: ETP selon la formule de C. W. Thornthwaite/Station d'El Ma El Abiod Pour l'année (2008/2009).	45
Tableau 10: ETR selon la méthode de L. Turc.	46
Tableau 11: Bilan hydrique selon la méthode de C. W. Thornthwaite pour période de 10 ans (2007/2017)	46
Tableau 12:Bilan hydrique selon la méthode de C. W. Thornthwaite pour l'année (2008/2009)	47
Tableau 13:Ruissellement selon la méthode de Tixeront-Berkaloff	48
Tableau 14:Infiltration efficace moyenne annuelle (2008/2009)	49
Tableau 15:Précipitations moyennes mensuelles en (mm) des stations de Morsott (1971-2006) ALOUINET(1967-2006)	51
Tableau 16:Intensité du vent en m/s	53
Tableau 17: Indice d'aridité mensuel	54
Tableau 18:Bilan hydrique de Morsott.	54
Tableau 19:Résultats de calcul de l'ETP par Thornthwaite	56
Tableau 20:Résultats du calcul du ruissellement.	56
Tableau 21:Les variations des Températures moyennes mensuelles de la station de Tébessa (1997-2018)	57
Tableau 22:Précipitations moyenne mensuelles en (mm) de Tébessa sur la période de 23 ans (1997/1998-2019/2020)	58
Tableau 23:Précipitations moyennes interannuelles (station de Tébessa 1997-2020)	59
Tableau 24:Bilan hydrique du l'année la plus sèche (2000-2001)	61
Tableau 25:bilan hydrique de l'année la plus humide (2003-2004)	61
Tableau 26:Bilan hydrique de la période de 23 ans (1997/1998-2019/2020)	62
Tableau 27:: Evaporation en mm et en % à la station météorologique Tébessa aéroport pour la période 1971-2006.	63
Tableau 28:calcul des valeurs de l'évapotranspiration de la période(1997 1998/20192020).(Méthode de Thornthwaite)	65
Tableau 29:L'identification pour la station pluviométrique de Chéria	66
Tableau 30:Précipitations moyennes mensuelles de Chéria (1990-2014)	67
Tableau 31:Températures moyennes mensuelles à la station de Tébessa (1990-2014)	68
Tableau 32:Bilan hydrique globale interannuel (1990-2014)	73
Tableau 33:Tableau récapitulatif des paramètres du bilan	74
Tableau 34:Bilan hydrique selon la méthode de C. W. Thornthwaite pour l'année 2000	75
Tableau 35:Lithologie et résistivités des forages M4 et M5 (source ANRH)	79
Tableau 36:Lithologie et résistivités des forages M6, M9 et M10 (source ANRH)	80
Tableau 37:Lithologie et résistivités des forages M1, P23 et M6 (source ANRH)	81

<i>Tableau 38:Lithologie et résistivités des forages M12, M13 M2, M10 et M15 (Source ANRH)</i>	<i>82</i>
<i>Tableau 39:les résultats des essais de pompage de la station d'étude (hydraulique de Tébessa)</i>	<i>96</i>
<i>Tableau 40:échelle des résistivités des formations géologiques</i>	<i>105</i>
<i>Tableau 41: les coordonnées et les informations des sources étudiées</i>	<i>115</i>
<i>Tableau 42:: Les débits des trois sources (01/03/2015 à 15/05/2015)</i>	<i>116</i>

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENEALE

L'hydrogéologie se préoccupe de la prospection, de l'exploitation, de la gestion et de la protection des eaux souterraines. C'est à l'hydrogéologue qu'incombe la compréhension du comportement hydraulique des bassins hydrologiques, la gestion des ressources en eau, l'alimentation en eau potable, agricole et industrielle et le maintien ou la réhabilitation de la qualité de notre environnement.

Dans le but d'identifier les zones périphériques de quelques bassins aquifères dans la région de Tébessa, la présente étude est basée sur l'interprétation des données géologique, géophysique et hydrogéologique pour les régions : de Tébessa, El-Ma El Abiod et Chéria.

Ces zones périphériques considérées comme zones potentielles, car elles constituent de nouvelles ressources hydriques en vertu des résultats des données de prospection réalisées durant les dernières décennies. C'est grâce à l'interprétation et l'exploitation judicieuses des données disponibles sur le plan géologique, hydrogéologique et géophysique que le présent mémoire a mis en évidence l'extension dans l'espace des zones favorables potentielles au niveau des bassins de Tébessa, El Ma labiod et Chéria.

La zone d'El Ma El Abiod est une circonscription administrative de Tébessa, dont elle est distante de 28,7km. Limitée par la Daïra d'Oum Ali au Sud, la frontière algéro-tunisienne à l'Est, la ville de Tébessa au Nord et la Daïra de Chéria à l'Ouest. Avec une topographie et un relief d'amplitude variable. On distingue au nord et au sud le haut pays ; une série de monts escarpés, dont l'altitude oscille de 1 432m (Djebel Bouromane) à 1 556m (Djebel Anoual), au centre le bas pays, zone dépressionnaire ayant une altitude moyenne de 1 020 à 1 200m, qui forme la plaine. Le nombre de cours d'eau, dans cette région semi-aride, est limité toutefois, le réseau y est dense, marqué d'affluents secondaires, sinueux, intermittents et à pentes raides. On cite Oued El Goussa (28,2Km), Oued El Malassoued et Oued Ez'Zned qui, leur confluence forme Oued El Ma El Abiod. La densité de drainage (Dd) est de 2,27km/km² et le temps de concentration est de 16h et 36 min.

La zone de Tébessa, chef-lieu de wilaya se trouve au centre de la plaine de Bekkarai-Tébessa-Morsott, bordé au Nord Nord –Est et au Sud Sud-Est par des chaînes de montagnes de moyennes à hautes altitudes (Djebels Doukkane, Anoual et Bouroumane).

La zone de Chéria appartient se situe au Sud-Ouest de la Wilaya de Tébessa. Elle est limitée par la Daïra de BirMokadem au Nord, la Daïra de El-Oglat à l'Ouest et au Sud Est et Nord Est la chaîne de montagne de Doukane –Araour et Djebel Gagaa.

INTRODUCTION GENEALE

Le présent travail s'articule autour de cinq chapitres relatifs à :

- 1) **Cadre général** : situation géographique des zones d'étude.
- 2) **Le cadre géologique** : description géologique des formations existante sur les sites d'étude ainsi que les structures tectoniques.
- 3) **L'hydroclimatologie** : traitement et analyses des données pluviométriques et climatiques des zones d'étude.
- 4) **Géophysique et hydrogéologie** : traitement des données géophysique dans le but de donner une idée sur la géométrie des aquifères et étude des sens d'écoulement des eaux souterraines ainsi que les paramètres hydrodynamiques.
- 5) **Zones périphériques potentielles** : établissement de l'extension dans l'espace des différentes zones périphériques potentielles aux niveaux des bassins étudiés.

RESUME

RESUME

Le thème aborde le contexte hydrogéologique, géophysique et hydroclimatologique des régions de Tébessa, Chéria, Boukhadra et El Ma labiod.

Ainsi, du point de vu hydrogéologique il a été décrit les caractéristiques des eaux souterrains ; en décrivant les écoulements souterrains et leurs paramètres hydrodynamique.

L'étude hydroclimatologique a montré que le type de climat qui règne dans les régions étudiées est de type semi-aride. Les mois les plus pluvieux s'étalent du mois de Janvier au mois d'Avril et les mois les plus secs sont ceux de Juin à Aout.

En étudiant la géophysique réalisée dans les trois bassins ; on a pu déterminer la géométrie des aquifères existant et l'établissement des corrélations entre profils géo-électriques pour aboutir à la mise en évidence de zones périphériques potentielles.

Ces zones périphériques potentielles constituent les nouvelles réserves en eau à exploiter dans le proche avenir pour résoudre le problème de déficit en alimentation en eau.

المخلص

يغطي هذا الموضوع السياق الهيدروجيولوجي والجيوفيزيائي والمناخي لأربعة مناطق متجاورة: الماء البيض، تبسة، بوخضرة، الشريعة.

من وجهة النظر الهيدروجيولوجية، تم وصف خصائص المياه الجوفية من خلال الوصف التدفقات الجوفية خصائصها الهيدروديناميكية.

الدراسة المناخية تظهر أن نوع المناخ السائد في المناطق المدروسة هو مناخ شبه جاف. حيث أن الأشهر المطرة تمتد من شهر جانفي إلى شهر أفريل، و الأشهر غير المطرة هي جوان، جويلية و أوت

من خلال دراسة الجيوفيزياء التي تمت في الأحواض الفرعية الثالثة. تمكنا من تحديد هندسة طبقات المياه الجوفية الحالية. دراسة العلاقة بين المقاطع الجيوكهربائية تبيان المناطق المحيطية المحتملة.

هذه المناطق المحيطية المحتملة تشكل المصادر المائية الجديدة التي سيتم إستغلالها في المستقبل القريب بهدف حل مشكل نقص المياه الصالحة للشرب.

ABSTRACT

This topic covers the hydrogeological, geophysical and hydroclimatological context of the regions of Tébessa, Chéria, Boukhadra and El Ma labiod.

Thus, from the hydrogeological point of view, the characteristics of underground waters have been described; by describing underground flows and their hydrodynamic parameters.

The hydroclimatological study showed that the type of climate prevailing in the regions studied is semi-arid. The rainiest months are from January to April and the driest months are from June to August.

By studying the geophysics carried out in the three basins; it was possible to determine the geometry of the existing aquifers and the establishment of correlations between geo-electrical profiles to lead to the identification of potential peripheral zones.

These potential peripheral areas constitute the new water reserves to be exploited in the near future to solve the problem of drinking water supply deficit.

CHAPITRE I :
CADRE GENERALE

1. Région d'El Ma-labiod :

A. 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 vers 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 GuebelEr'Rouiss et DraâDouamiss.
- La limite Sud est constituée par les monts de Boudjellal, El Guelia et Ed'Dalâa. Et par lesynclinal de BirSbeikia 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*).

El Ma El Abiod est une circonscription administrative de Tébessa, située à *29km* du chef-lieu de la wilaya, Elle est l'une des Daïras que compte la wilaya de Tébessa.

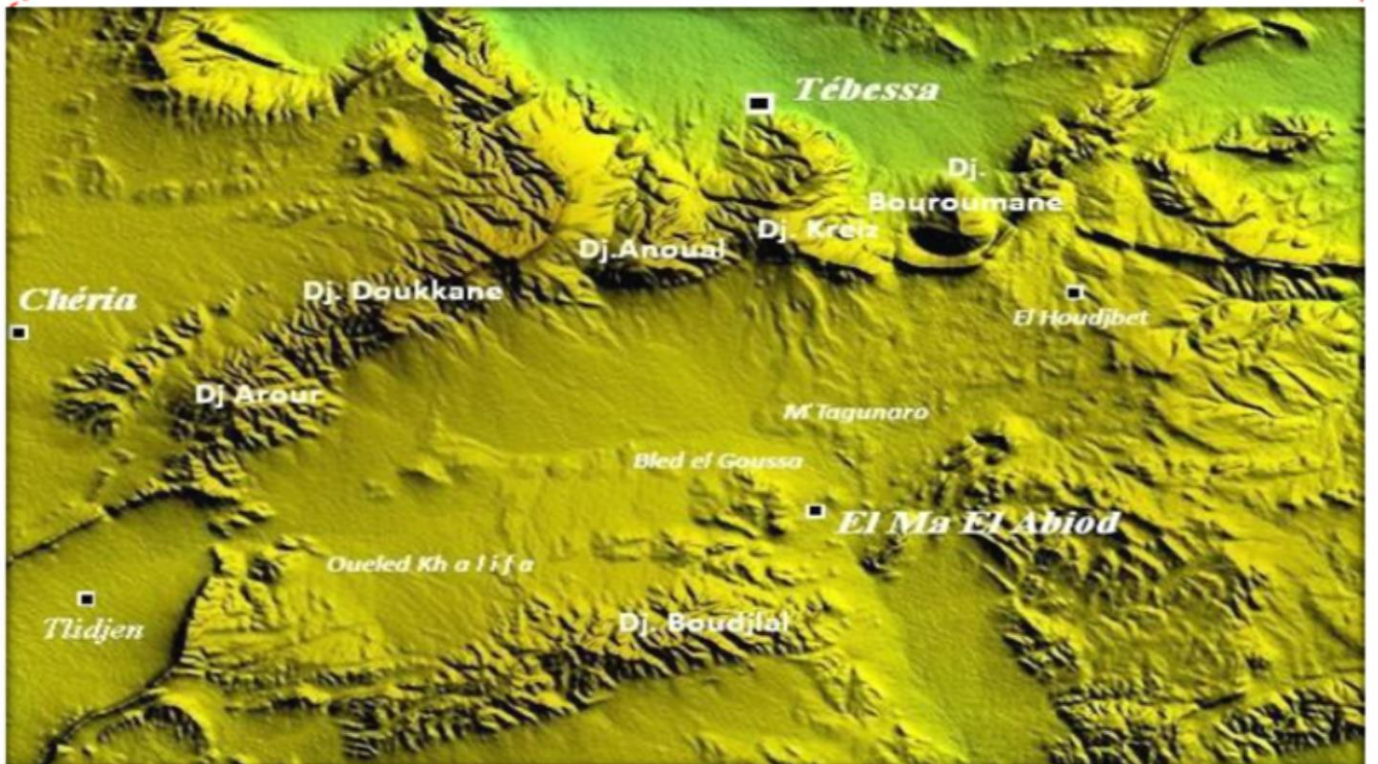
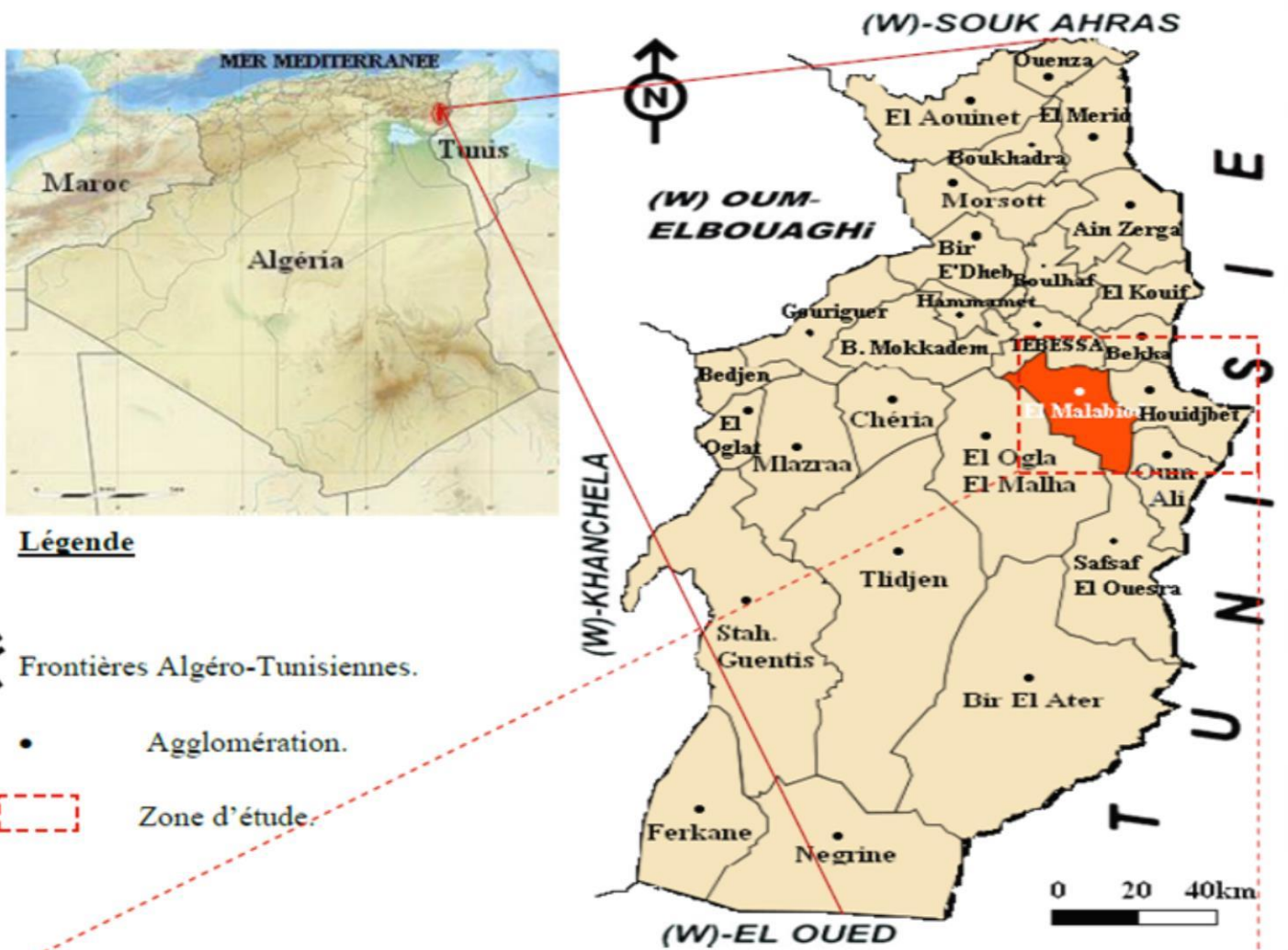


Fig. 01 – Situation géographique et Administrative de la plaine El Ma El Abiod.

Figure1 : Situation géographique et administrative de la plaine El Ma Lbiody

B. 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. Boudjelal. On note également les cultures pastorales et céréalières réduites et on se contente des céréales pour seulement équilibrer les revenus des agriculteurs.

On remarque aussi les genévriers épais au niveau du Djebel Doukane 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, depuis ces dernières années, on constate le retour des agricultures à la culture des légumes comme la pomme de terre, tomate, etc ... en utilisant l'irrigation tout en épuisant les eaux souterraines d'une manière abusive.

2. Région de Boukhadra :

A. Situation géographique:

-La commune de Boukhadra est située à environ 45 Km à l'Ouest du chef-lieu de la wilaya de Tébessa (Fig.02). Elle est limitée :

- Au Nord par la commune de Ouenza ;
- A l'Est par la commune de El Meridj ;
- A l'Ouest par la commune de El Aouinet ;
- Au Sud par la commune de Morsott.

-Elle est située dans les hauts plateaux avec une altitude de 850 m ; dans lesquels le plus haut sommet est le pic de Djebel Boukhadra avec une altitude de 1463 m.

Le climat est continental et sec, les températures varient entre 40° c en été et 0°c en hiver, la pluviométrie est faible avec parfois de faibles chutes de neige.

B. Couvert végétal:

-Le paysage est caractérisé par des plantations de chêne et le sapin et par l'Alfa. Les terrains sont utilisés pour les cultures agricoles, notamment des céréales mais avec une rentabilité faible et décroît du Nord au Sud. Le monde animal est pauvre, on rencontre des sangliers, des chacals des perdrix.

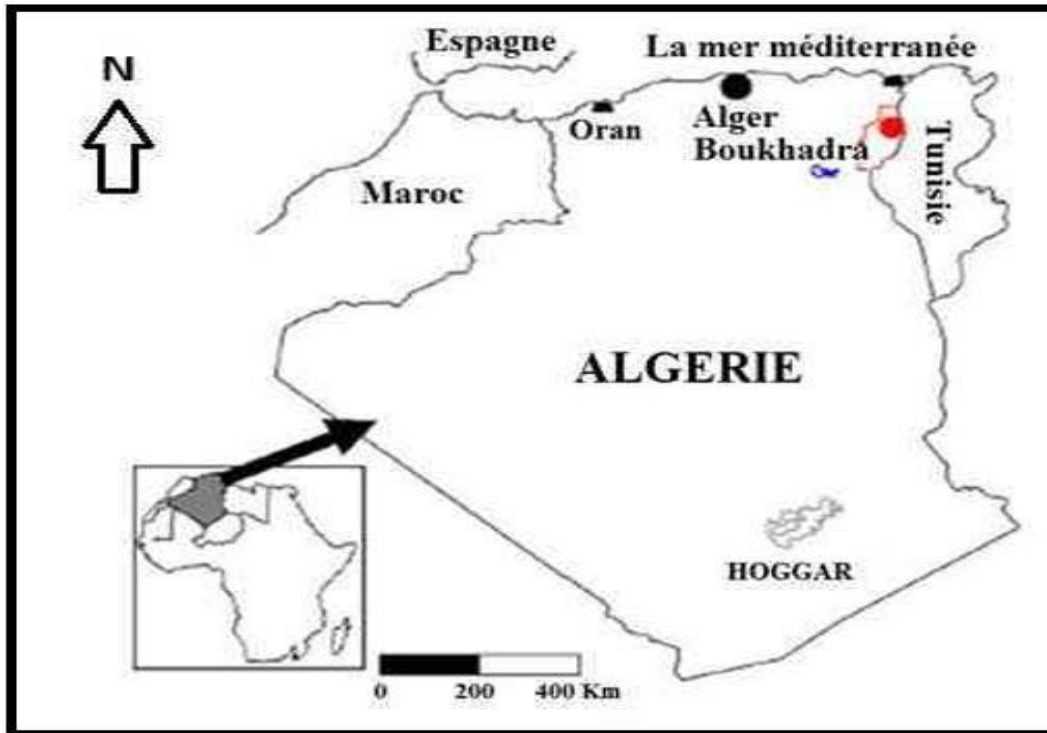


Figure 2: Carte de localisation de la zone d'étude

3. Région de Tébessa :

A. Situation géographique :

La wilaya de Tébessa se situe à l'extrémité de l'Est Algérien, aux portes du désert, à environ 230 Km au Sud d'Annaba, à 200 Km au Sud de Constantine et à environ 330 Km au Nord d'El-Oued. Avec ses 13878 Km², elle se rattache naturellement à l'immense étendue steppique du pays, elle est limitée au Nord par la wilaya de Souk-Ahras, à l'Ouest par la wilaya d'Oum El Bouaghi et Khenchela, au Sud par la wilaya d'El Oued et à l'Est, sur 300 Km de frontières, par la Tunisie (Aounallah et Hadji, 2018) (Fig.03).

Tébessa est limitée par les communes de :

- Bekkaria à l'Est.
- Boulhéfedyr au Nord.
- Hammamet au nord-ouest.
- El Malabiod au sud.
- Est à l'Ouest par BirMokadem.

B. Couvert végétal :

Les conditions climatiques qui régissent la région de Tébessa favorisent une couverture végétale jugée limitée et peu couvrante. On rencontre le pin d'Alpe avec le genévrier phénicien couvrant le sol calcaire et localement le chêne Kermès constituant de très belles forêts qui sont Malheureusement en destruction. Ainsi l'Alfa qui ne pousse que sur les marnes et les grès qui sont localement exploités. Les alluvions ne permettent que des récoltes irrégulières de céréales.

CADRE GÉNÉRAL

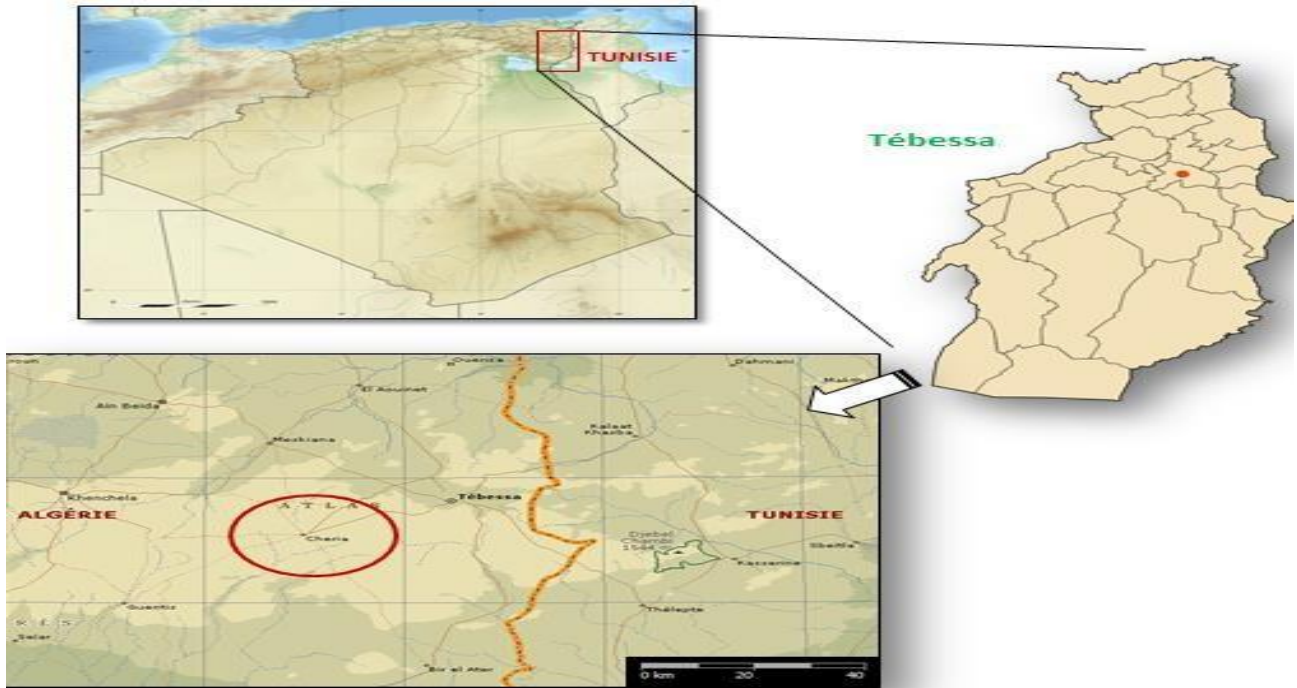


Figure 4:Présentation et situations géographiques des plaines.

B. Contexte topographique :

La région d'étude, couvre trois plaines, composée d'une topographie plus ou moins plate, sous forme de cuvettes juxtaposées et entourées les unes aux autres par des massifs montagneux.

L'altitude varie de 1650 m, qui est le sommet le plus haut de la région (Djebel Doukkane) à 810m qui est l'altitude la plus basse, sur la plaine de Tébessa (Fig.05).

CADRE GÉNÉRAL

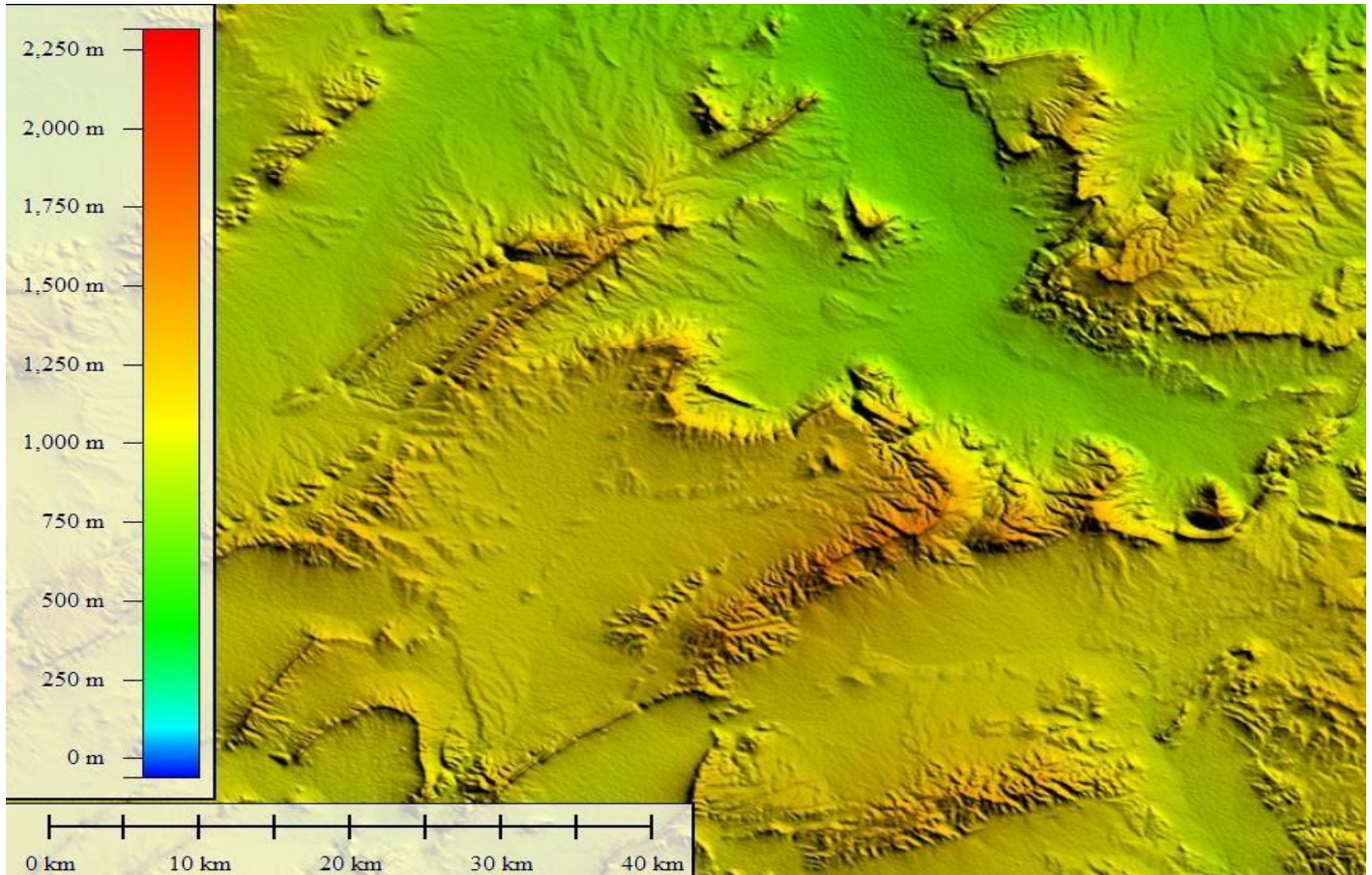


Figure 5: Répartition des altitudes sur la région étudiée

C. Contexte hydrographique :

-La plaine de Chéria est drainée par Oued Chéria à écoulement intermittent vers le sud formé par un chevelu de chenaux qui prennent naissance des monts entourant la plaine (Fig.06).

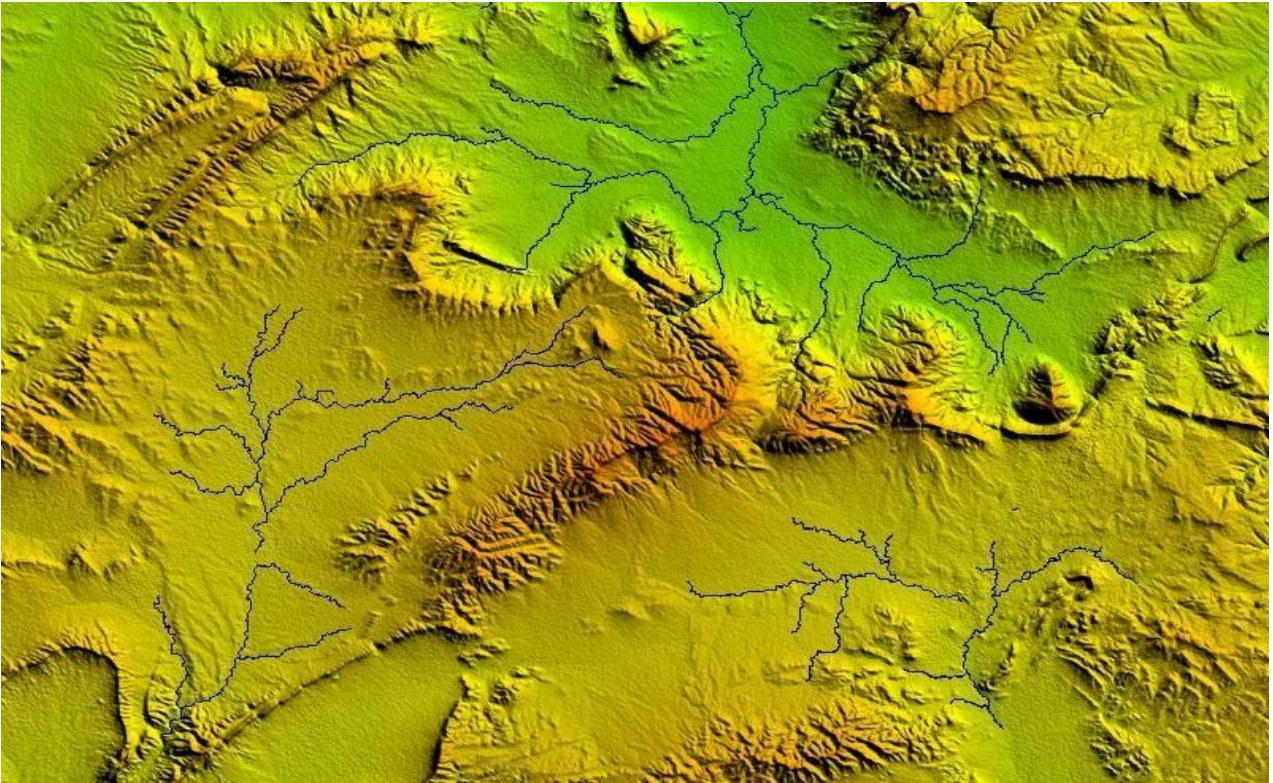


Figure 6: Réseau hydrographique de la région d'étude

D. Couvert Végétal :

-Les deux cuvettes, celle de Chéria et d'El- Ma-Elabiod, font partie du bassin versant de Chott Melghir caractérisé par une végétation très peu dense, sous l'effet de l'exposition aux courants chauds et secs pendant les périodes estivales. A l'opposé la plaine de Tébessa qui appartient au sous bassin versant de Madjerdah est caractérisée par une couverture plus ou moins importante, sous l'effet des courants marins humides. La végétation naturelle, à base de pin d'Alep, est développée au nord de la zone d'étude et devient de plus en plus rare vers le sud jusqu'à disparition en limite sud de Dj.Boudjelal. Par opposition avec les plaines de Mellégue et les monts de Tébessa, les montagnes bordant la plaine d'El Ma labiod, se singularisent tout d'abord par l'absence presque totale de végétation, ne fait vraiment exception, que l'escarpement septentrional du bassin d'El Ma labiod, qui est recouvert d'une forêt de pins d'Alep.

CHAPITRE II
LE CADRE GEOLOGIQUE

LE CADRE GEOLOGIQUE

1. Région El Ma El biod :

La zone d'étude fait partie de l'atlas saharien elle correspond à une plaine à pente douce ayant pour limites Nord et Sud des plis d'axes SW-NE (Fig. 07). La limite Nord constitue la ligne de partage des eaux entre le bassin versant de la Medjerrdah et le bassin versant de chott Melhrir.

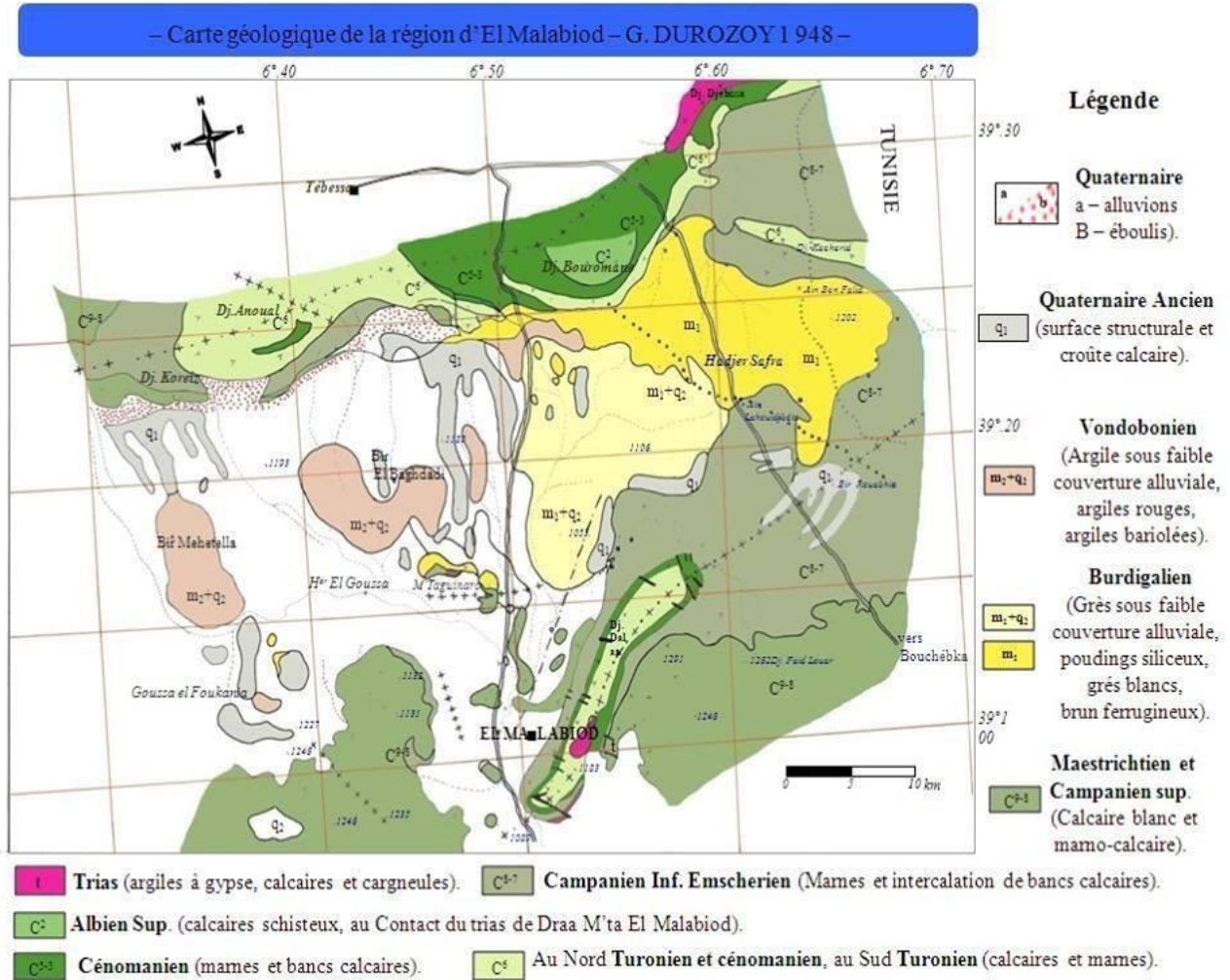


Figure 7: Carte géologique d'EL Ma El biod. (G. Durozoy 1948) A. Rouabhia.

A. Stratigraphie et description lithologique des formations :

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

La région d'EL Ma-labiod n'a pas au fait été sujette à beaucoup de travaux précis en la matière, cependant, on l'a incorporé dans un ensemble géologique mieux connu.

Dans une perspective structurale, il a été montré donc, via les études dont elle a fait l'objet, qu'elle se manifeste comme un bassin subsident, encadré au Nord par des massifs calcaires (Djebel Anoual, Djebel T'noukla, Djebel El Khorza...), à relief important, allongés selon une direction générale Ouest – Est.

LE CADRE GEOLOGIQUE

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

- Le premier est constitué essentiellement par les formations crétacées 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 incomplète (absence des formations éocènes) dont la description est la suivante voir (fig.07) :

La lithostratigraphie et la répartition de la série se décrivent comme suit:

- TRIAS ; plastique et diapirique.
- CRÉTACÉ et ÉOCÈNE Néritique ; calcaireux et marneux.
- MIOCÈNE Littoral, Deltaïque et continental d'un faciès sableux argileux.
- PLIO-QUATERNAIRE Continental.

La dite série s'est établie de sorte que, allant de l'ancien au récent, on rencontre :

➤ **TRIAS :**

Seule la partie méridionale de la plaine d'El MALABIOD à djebel Dalaa Er-Rouail présente un affleurement réduit, sous forme diapirique. Il est représenté par un faciès typique de la région :

- Argile à gypse, calcaires et cargneules. Au Nord –Est et à Djebel Djebissa, le Trias apparaît en diapir:
- Argiles rouges à gypse.
- Calcaires et calcaires dolomitiques noirs en plaquettes.

➤ **CRETACE :**

• **APTIEN MOYEN ET INFÉRIEUR :**

A l'extrémité Nord de la zone d'étude, au flanc Est de Djebel Bouroumane affleure un ensemble de calcaires et de dolomies. La partie inférieure est presque entièrement dolomitique. Les Orbitolines sont en abondance.

Dans les intercalations de calcaire rogneux d'épaisseur moyenne de 400m, on note la présence de quelques Rudistes.

Au sud de la plaine d'El MALABIOD, à Koudiat Adella, le forage pétrolier Boudjellal-2 (BDJ2) voir (fig.07) a intercepté l'Aptien moyen et inférieur respectivement aux cotes 2531m et 2786m de profondeur. Ainsi, l'Aptien moyen se présente sous forme de calcaires gris clair à gris brunâtres, durs compacts, bioclastiques, pseudo-oolithiques légèrement carbonatée, souvent feuilletés. Son épaisseur est de 255m.

LE CADRE GEOLOGIQUE

- l'Aptien inférieur se caractérise par des alternances de marne gris-foncée, compacte, silteuse, finement pyriteuse, argile grise à gris-foncée, feuilletée, carbonatée et calcaires gris-foncés, compact, cryptocristallin, parfois argileux. L'épaisseur est de 107m.

- **APTIEN SUPERIEUR :**

Dans la partie nord, à Djebel Bouroumane, les affleurements qui datent de cet étage sont les calcaires massifs, gris ou roux avec des intercalations de quelques mètres de marnes et marno-calcaires. L'épaisseur moyenne est de 70m. Au Sud, le forage pétrolier Boudjellal 2 a rencontré l'Aptien supérieur à la cote 2316m de profondeur, il s'agit de calcaire gris-clair, gris – foncé, oolithique, bioclastique, d'argile grise, noirâtre, induré, feuilleté, rarement silteux et pyriteux. L'épaisseur est de : 215m.

- **ALBIEN INFERIEUR :**

Au Djebel Bouroumane, cet étage se présente sous forme de bancs calcaires bruns, épais, très durs à *Ostrealatissima*, et de bancs de calcaires à Rudistes. Au Sud de la zone d'étude, le forage pétrolier Boudjellal-2 donne de bas en haut la succession suivante :

- Des calcaires gris-clairs, blanchâtres, brunâtres, compacts souvent crayeux bioclastiques ou graveleux oolitiques, avec des traces de foraminifères et des intercalations d'argile grise : 85 m d'épaisseur.
- Alternances de calcaires, gris-clairs, blanchâtres, souvent bioclastiques et rarement graveleux, argileux et d'argile grise à gris-foncée, noirâtre, feuilletée d'une épaisseur de 87 m.
- Dolomies blanches à gris-brunâtres, microcristallines compactes ; 40m d'épaisseur.

- **ALBIEN SUPERIEUR :**

Au contact du Trias de Draa M'taa El MALBIOD (Djebel Dalaa Er-Rouail), l'Albien supérieur est présent en petit affleurement comprenant des calcaires et marno-calcaires en plaquettes.

A Adeila où fut exécuté le forage pétrolier Boudjellal -2, la succession de bas en haut est la suivante :

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

Au Nord, à Djebel Bouroumane, les assises qui datent cet étage, sont constituées d'un ensemble de calcaires et marno-calcaires gris en plaquettes et en petits bancs. On note

LE CADRE GEOLOGIQUE

la présence de nombreuses empreintes d'Ammonites et de Bélemnites, l'épaisseur est de 150m.

- **CENOMANIEN :**

Il affleure assez largement dans la partie Sud-Est, en contact tectonique avec le Trias. C'est une série de marnes jaunes parfois grises et des bancs calcaires lumachelliques. La faune est très abondante (*Ostrea, Exogyra, Cardita*). L'épaisseur atteint les 682 m, on constate de bas en haut :

- Argile grise à gris- foncée, carbonatée : 238 m d'épaisseur.
- Alternances de calcaires gris – clairs et d'argile grise à gris- verdâtre, feuilletée : 130m d'épaisseur.
- Calcaires gris à gris- clair cryptocristallins avec intercalations d'argile grise à gris – verdâtre feuilletée : 76 m d'épaisseur.
- Alternances d'argile gris- foncées et de calcaire gris à gris- claires lumachellique : 73 m d'épaisseur.
- Argile grise à gris-verdâtre avec intercalations de calcaires blanc, crayeux :29,5 m d'épaisseur.
- Alternances de calcaires blanc lithographiques et d'argile gris à gris- verdâtre, feuilletée : 24,5 m d'épaisseur .
- Calcaire blanc à crème parfois gris cryptocristallin à crayeux : 39 m d'épaisseur.
- Argile gris-verdâtre calcareuse, fossilifère devenant marneuse dans les 16 derniers mètres avec fines passées de calcaire gris blanchâtre et lumachellique: 72 m d'épaisseur.

- **TURONIEN :**

Il affleure largement au Nord (Sif Bouroumane, Djebel El- Koreize, Tenoukla). A sa base, on rencontre une série constante de calcaires marneux gris en petits bancs. L'épaisseur ne dépasse pas les 60 à 70m. Au- dessus c'est une assise massive de calcaires beiges et de dolomies ou de calcaires dolomitiques. Des rognons de silex apparaissent à la partie supérieure.

A proximité de Tenoukla, le Turonien supérieur, épais de 150 m donne de haut en bas la succession suivante :

- Des marnes noires gypsifères.
- Des marno- calcaires gris en plaquettes.
- Des marno- calcaires noires souvent lumachelliques et ognoneuses. Au Sud à Djebel Ed-Dalaa, on note la présence des calcaires, des marnes et des bancs calcaires.

A 8km à l'Ouest de la région d'El MALBIOD, le forage pétrolier Boudjellal -2 donne de bas en haut la succession suivante :

LE CADRE GEOLOGIQUE

- Calcaires bruns, crayeux, légèrement dolomitique, partiellement lumachellique : 109,5m.
- Calcaires gris- clairs, compact, intercalation d'argile marneuse grise a gris- foncée : 131,5m.

- **CAMPANIEN INFERIEUR - EMSCHERIEN:**

Il s'agit de marnes et d'intercalations de bancs de calcaires lumachelliques. Ces facies affleurent largement au Djebel Doukkane au Nord-Ouest et au Djebel Ed-Dalaa. Des affleurements de dimensions assez réduites (quelques mètres) sont à signaler à proximité de Tenoukla, M'togui-Naro et à Adeila au Sud- Sud-Ouest de la ville d'El-Ma-labioud.

D'après le forage pétrolier Boudjellal-2 où la série est la plus complète, on constate de haut en bas:

- Argile brune rougeâtre et marne gris-verdâtre : 47m.
- Argile grise avec quelques bancs de calcaires gris-clairs : 83m.
- Argile avec quelques bancs de calcaires gris clairs fossilifères : 242m.
- Calcaires gris compact, marneux à foraminifères : 24m.
- Marne grise indurée, légèrement dolomitique, intercalation de calcaire brun-rouge souvent marneux : 88m.

- **MAASTRICHIEN-CAMPANIEN SUPERIEUR :**

Localisé au Nord-Ouest à Djebel koreiz et au centre de la plaine (M'taguiNaro) et aux environs de la ville d'El MALABIOD, il est caractérisé par des calcaires et marno- calcaires blancs à calcaires blanc à Incérâmes.

A Adelia, il affleure largement et ou forage pétrolier Boudjellal-2 à permis la reconnaissance sur une épaisseur de 67m, le facies suivant :

- Calcaire blanc compact, biomicrite argileux à faune pélagique.

➤ **TERTIAIRE :**

- **Miocène :**

En se référant au rapport de G. Durozoy du 18 avril 1949, la plaine d'El MALBIOD est dominée dans sa quasi-totalité par les formations d'âge miocène.

En présentant comme repère la route nationale N16 Nord-Sud reliant Tébessa à El MALBIOD on constate qu'à l'Est de cette route, ce sont les formations d'âge miocène moyen et inférieur qui affleurent largement. A l'Ouest, c'est le Miocène supérieur sous faible couverture alluviale, qui s'étend lui-aussi sur le reste de la superficie. Ce sont des séries transgressives sur tous les terrains antérieurs.

- **Miocène Moyen et inférieur (Vindobonien et Burdigalien) :**

C'est une série gréseuse blanche parfois brune, ferrugineuse sous faible couverture alluviale. Les poudingues siliceux existent par endroit, souvent ferrugineux avec des intercalations de marne jaune au

LE CADRE GEOLOGIQUE

verte voir (fig.07). A Hadjar Sefra, les niveaux supérieurs sont très durs et conglomératiques. L'épaisseur est variable de 45m à 1480m, d'après les forages hydrauliques.

- **Miocène Supérieur (Pontien) :**

A Tenoukla, cet étage est représenté par des marnes rouges continentales, avec de rares niveaux bariolées.

- **QUATERNAIRE :**

La formation quaternaire recouvre largement la totalité de la plaine. Son épaisseur est très réduite ne dépassant pas une vingtaine de mètres. Le Quaternaire est constitué, en général, de facies anciens (conglomérats, croûte calcaire) et de facies récents (éboulis, couches limoneuses).G.DUROZOY 1949).

- **Facies Anciens :**

Ce sont surtout les conglomérats formés de la cimentation d'anciens éboulis ou matériaux d'épandage divers.

Le forage M6, situé à 2km au Nord de la ville d'El MALABIOD, a recoupé le Quaternaire sur une épaisseur de 20m.

A l'ouest de la route nationale Tébessa –El MALABIOD, la croûte calcaire est développée Surtout sur les alluvions caillouteuses. La croute calcaire est la conséquence des résidus des eaux chargées en carbonates.

- **Facies récents :**

Il s'agit d'alluvions composées essentiellement de gravier fin et moyen parfois avec mélange de sables et d'argile. Le forage M12, exécuté au flanc Sud-Ouest de Djebel Dalaa, montre clairement la présence des niveaux cités ci-dessus. Les éboulis actuels existant au pied de tous les reliefs calcaires constituant les bordures.

- **Les Conglomérats :**

On parle surtout des conglomérats issus de la cimentation d'anciens éboulis ou matériaux d'épandages divers. Une série, dont l'épaisseur est variable mais relativement faible, s'est faite révélée, via le forage M6 (X= 999,100 - Y= 228,175), au Nord du chef-lieu d'El MALABIOD .C'est une alternance de graviers calcaires, de gros galets à la base ou de sables grossiers et de galets calcaires, dont la disparition se fait sentir tout à fait vers l'Est.

LE CADRE GEOLOGIQUE

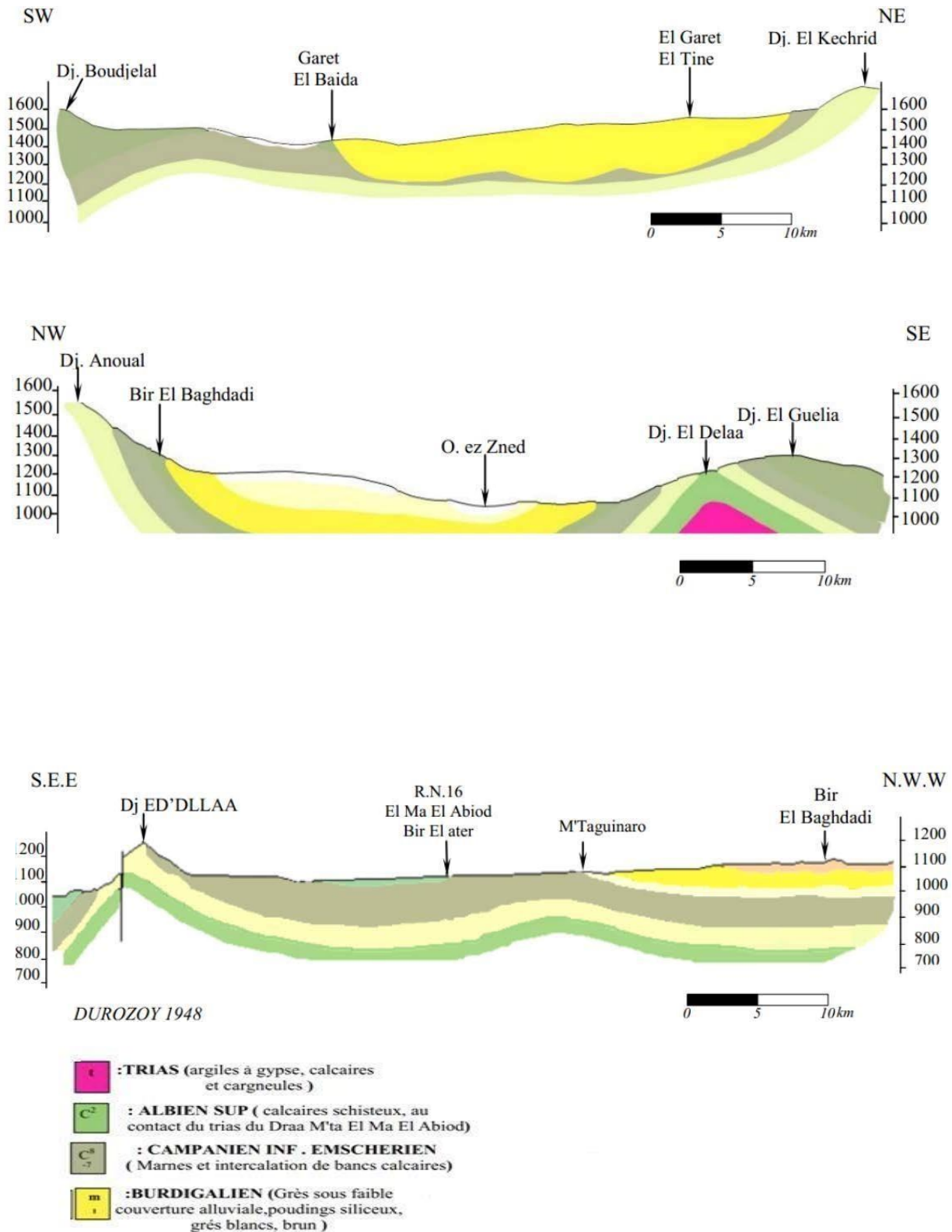


Figure 8: Coupes géologiques montrant les différentes formations de la région d'étude. (DUROZY 1948 ; modifié)

LE CADRE GEOLOGIQUE

2. Région de Boukhadra :

A. Introduction :

Entre les monts de Mellègue au nord et la flexure Saharienne au Sud s'étend la large zone dite zone de diapirs. Les masses triasiques extrudées sont bordées par d'importantes formations calcaires, rapportées à l'Aptien et attribuées à une sédimentation récifale.

Toutes les aires diapiriques du NEalgérien s'allongent de part et d'autre des fosses suivant les axes NE - SW.

B. Stratigraphie :

Les grandes lignes de la géologie des monts de Mellègue sont bien connues grâce aux nombreuses études, ou des notes géologiques déjà publiées.

Nous allons présenter dans ce chapitre les différentes formations composant la coupe lithostratigraphique des monts Mellègue (Atlas saharien oriental).

Il s'agit de dépôts méso - Cénozoïques, d'âge Crétacé (Barremien - Sénonien) avec des grès marins du Miocène transgressifs sur les calcaires marneux de l'Eocène, et une couverture de quaternaires.

LE CADRE GEOLOGIQUE

		Lithologie	Epaisseur (m)	Description lithologique	
CENOZOIQUE	Quaternaire		⑥ 10-30	Dépôts clastiques d'origine continentale.	
	Palaéogène	Miocène		⑤ 10-150	Conglomérats à grains variés avec un ciment carbonaté, grès quartzeux et calcaire sableux avec intercalations d'argilites.
		Eocène		200	Calcaires marneux à silex et intercalations de phosphates par endroits dans le mur.
	M E S O Z O I C E N E	E U R	Maest.	250-300	Calcaires gris clairs, calcaires crayeux et marnes argileuses avec intercalation d'argiles dans la partie supérieure.
			Campan.	500-600	Marnes argileuses gris-foncées et des calcaires blancs dans la partie moyenne et supérieure.
		S U P E R I E U R	Con-Sant.	500-600	Marnes argileuses grises et grises bleuâtres.
			Turo	④ 180-250	Calcaires en bancs, partiellement marneux à teinte noire et gris-foncée.
		T A C E	Cénoman.	③ 900-1000	Marnes gris-verdâtres et grises dans la partie supérieure, avec intercalations de calcaires marneux.
			Vracon.	② 500-600	Marnes et marnes-argileuses avec intercalations de calcaires argileux et argilites.
		I N F E R I E U R	Albien	480-600	Marnes grises et gris-foncées, noires dans la partie supérieure avec de minces intercalations de calcaires argileux.
			Clans	100-200	Marnes grises, gris-jaunes partiellement avec des intercalations de calcaires.
			Apvien	① 300-600	1- Faciès clastique, marnes argileuses avec intercalations de marnes sableuses et grès calcaires. 2- Faciès carbonaté, calcaires organo-détritiques, bioclastes, ooclastes et interclastes.
M E S O Z O I C E N E		Barrem	< 250	Calcaires et dolomies, argilites et argiles dans la partie supérieure (Grès à Mestoula).	
	Jurassique	?			
M E S O Z O I C E N E		Trias	< 700	Formations marno-gypsifères bariolées avec peu d'intercalations de grès à grains fins, dolomies et calcaires marno-dolomitique.	

Figure 9: Colonne stratigraphique de mont de la mine de BOUKHADRA.

➤ TRIAS :

Les formations évaporitiques affleurent principalement dans la partie Sud-Ouest du massif où elles sont parfois recouvertes par endroits par des sédiments plus récents (crétacés, miocènes). Il s'agit de marnes bariolées à gypse, de couleurs caractéristiques (lie de vin), emballant des fragments de roches dolomitiques bréchiques de couleurs gris noirs. Le gypse est présent en grande quantité sous forme d'amas. Les marnes renferment aussi des grès et des calcaires. La présence du sel est seulement décelée par la forte salinité des eaux qui circulent dans le Trias ou par des dépôts d'évaporation que l'on rencontre aux bords des Oueds.

LE CADRE GEOLOGIQUE



Figure11 :Contact avec le Trias (Contact anormal).

➤ CRETACE:

Dans le profil du crétacé, nous retrouvons le Cénomaniens, l'Aptien, l'Albien, le Coniacien, et le Cénomaniens où on a la série Aptienne, porteuse de la minéralisation est caractérisée par des marnes et des calcaires constituant la partie inférieure qui encaisse le gîte Sud, des calcaires récifaux construits, à organismes fossiles qui constituent le niveau porteur de la minéralisation principale et des grès et calcaires de la partie supérieure de l'Aptien non productif et on a :

- **L'APTIEN :**

Les sédiments aptiens de la région Boukhadra occupent des vastes surfaces. L'aptien se présente sous forme de deux faciès bien distincts : □ Faciès carbonaté (calcaire) □ Faciès terrigènes (marneux- gréseux- calcaireux).

- **L'ALBIEN :**

La base et le sommet de l'albien sont surtout représentés par des marnes, la partie moyenne étant constituée dans une large mesure par des calcaires sublitographiques.

- **VRACONIEN :**

Les sédiments vraconiens occupent de vastes surfaces aux environs du Boukhadra. La séquence est composée de minces lits de marnes avec intercalation d'argile marneuse noires et de calcaires marneux-argileux. La puissance maximale est de (470m).

- **LE CENOMANIEN :**

Les dépôts cénomaniens comportent des alternances de calcaires gris bleu ou gris noir, très argileux en général, et de marnes grises, plus ou moins chargées, toujours peu épais, ont une patine claire, blanchâtre ou ocre.

LE CADRE GEOLOGIQUE

- **TURONIEN :**

Les dépôts de cet âge s'observent dans la partie Ouest et Sud du domaine traité. Il s'agit surtout de calcaires épais et massif pélitique marneux dans la partie basale, avec de rares minces intercalations de marnes. La puissance est variable, décamétrique jusqu'aux quelques centaines de mètres.

- **CONIACIEN :**

Contient les marnes argileuses avec intercalation d'argile marneuse et par endroit de calcaire marneux.

- **TERTIAIRE :**

Les dépôts classés comme Tertiaire (miocène) sont observés seulement dans la partie occidentale du domaine étudié et sont représentés par des conglomérats à éléments variés, cimentés par une matrice carbonatée et des intercalations de roches gréseuses.

- **QUATERNAIRE:**

Les dépôts du quaternaire sont formés par un matériel caillouteux, blocs de calcaires, grés débris de minerai et les conglomérats, ils sont répandus sur les flancs de la montagne et les parties basses du relief.

C. Tectonique :

La région de Boukhadra est marquée par deux phases tectoniques ; la phase de plissement et la phase de tectonique cassante. Dans la structure anticlinale de Boukhadra, on observe deux grandes dislocations tectoniques : - La 1ère se prolonge presque parallèlement à l'axe de l'anticlinal à partir du pic vers la terminaison périclinale. - La 2ème zone de dislocation tectonique de direction WNW-ESE coupe la structure dans sa partie centrale en deux parts, l'amplitude de cette dislocation peut arriver jusqu'à 1000 mètres.

LE CADRE GEOLOGIQUE

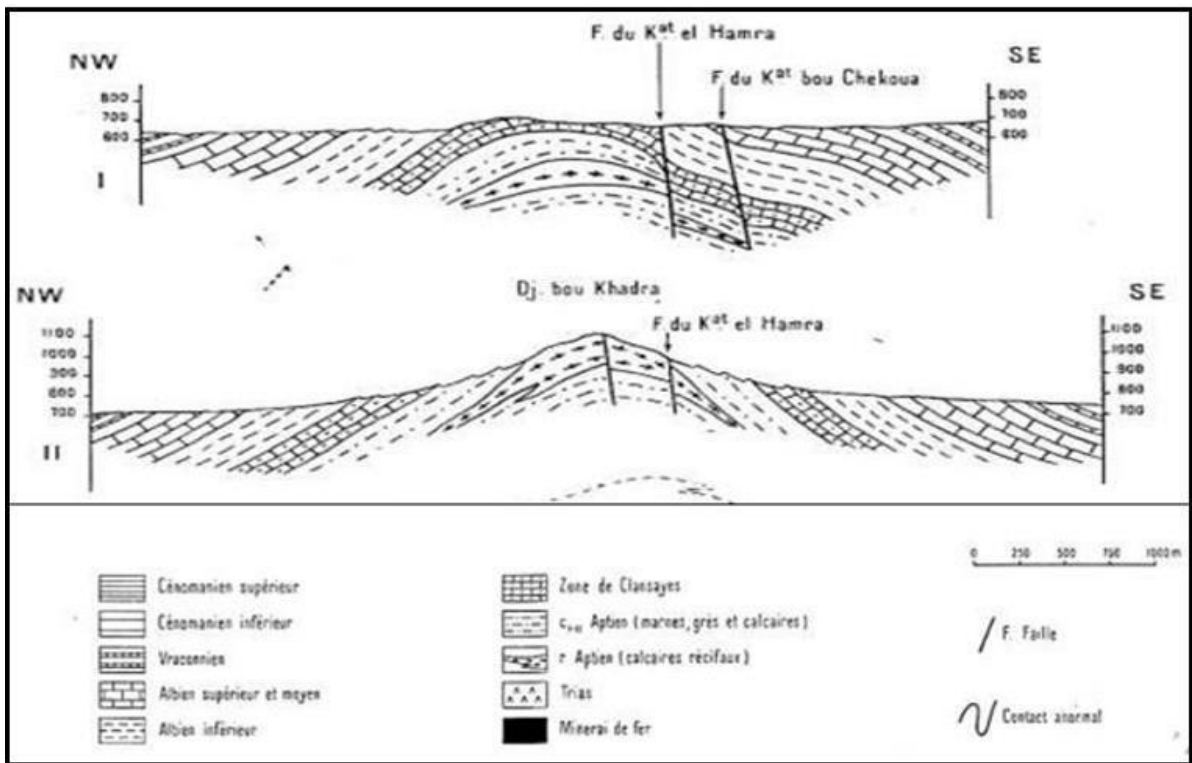


Figure 11: Trois coupes transversales dans l'anticlinal du Boukhadra.

3. Région de Tébessa :

A. Introduction :

La carte géologique de Tébessa (206) au 1 / 50.000 et sa notice explicative d'or plaine de Tébessa est représentée par un bassin d'effondrement, caractérisé par des dépôts d'origine continentale, et fait partie de la structure autochtone Nord - Auresien (Aurès Nememcha) et l'Atlas Saharien.

Le secteur d'étude (la plaine alluviale de Tébessa) est composé de formations sédimentaires dont les quelles on peut noter également :

Une formation triasique diapirique disloquant des formations sus - jacentes au niveau du Djebel Djebissa.

Une formation carbonatée représenté par d'importantes couches calcaire - marneuses des marnes d'âge crétacé. Cette formation est très nette au niveau des bordures de la plaine. Un important dépôt alluvionnaire d'âge Mio - Plio - Quaternaire qui repose sur la surface de toute la plaine et surtout au piedmont des reliefs accidentés en discordance avec les formations précédentes.

LE CADRE GEOLOGIQUE

B. Stratigraphie :

D'après l'inventaire stratigraphique dressé par plusieurs géologues et en particuliers par G. Dubourdiou (1956), J.M. Vila (1980) et les travaux récents (W.M. Kowalski) et grâce à leurs études effectuées sur les confins Algéro - tunisien, la colonne litho - stratigraphique de la région de Tébessa est bien connue. La série débute par le Trias et se termine par le Quaternaire.

On distingue deux grands ensembles :

- Les affleurements de bordures de la plaine, d'âge Crétacé, constituent le premier ensemble.
- Les formations d'âge Miocène et quaternaire, qui occupent toutes les superficies des plaines étudiées, et qui constituent le second ensemble.

➤ **TRIAS :**

Il apparaît sous forme de diapir au Djebel Djebissa .Il est présenté par des argiles et des gypses. Ces argiles sont entaillées par les oueds sur des épaisseurs considérables. Cette formation est marquée par des calcaires roux dolomitiques en gros bancs et de dolomies rousses en plaquettes noires.

➤ **CRETACE :**

- **APTIEN :**

Il est présenté par des gros bancs massifs et épais de calcaires béchiques à ciment dolomitique, de calcaires graveleux et bioclastiques à Orbitolines et de mollusques.

Parfois on rencontre des intercalations de quelques niveaux de marnes feuilletées de couleur rouge violacée ou verte. On note la présence de quelques Lamellibranches et de moules internes de Gastéropodes au niveau de Djebel Bouroumane cette formation peut atteindre 450m d'épaisseur.

- **ALBIEN :**

L'Albien est marqué par une alternance de bancs de calcaires bruns épais très durs avec des bancs de calcaires à rudistes (radiolitidés) .Son épaisseur varie de 10 à 60 m. La présence de marnes noires à foncées est notable .

- **VRACONIEN :**

Est bien caractérisé par des calcaires gris en plaquettes et petits bancs Ces assises constituent le bas des pentes de Djebel Bouroumane.

LE CADRE GEOLOGIQUE

- **CENOMANIEN :**

Au sommet, environs 300m de marnes grises à verdâtres, intercalées de calcaires contenant de Lumachelles à Huîtres, Echinodermes et Ammonites. Vers le bas, 200 à 250m de marnes grises , peu verdâtres sans intercalation calcaires .Il est présent à l'Est de Djebel Djebissa et marqué par l'abondance de la microfaune .

- **TURONIEN INFERIEUR :**

Cette formation est d'environ 160m d'épaisseur, constituée de gros bancs de calcaires gris renfermant des Gastéropodes et de rares Madrépores. On rencontre aussi quelques niveaux de calcaires plus argileux en bancs moins épais, contenant des Incérâmes allongés.

- **TURONIEN SUPERIEUR :**

Il est marqué par le passage lumachellique, qui se poursuit jusqu'au coniacien, avec une épaisseur de 50 m. Puis, il est présenté par une formation marneuse de 150m d'épaisseur. Dans sa base on trouve des bancs de calcaires individualisés renfermant des Lumachelles et des Foraminifères.

- **EMSCHERIEN (Coniacien - Santonien) :**

C'est une série épaisse de 250m d'épaisseur de marnes noires ou vertes.

- **CAMPANIEN :**

On le distingue par des calcaires blancs à gris clair, crayeux en gros bancs, alternant avec des marnes claires qui sont parfois verdâtres. On rencontre des calcaires marneux contenant des empreintes de poissons. L'épaisseur ne dépasse pas 60m.

- **MAESTRICHTIEN INFERIEUR :**

Les marnes grises qui le caractérisent sont souvent masquées par les ébouler au pied de Draa Mzara au - dessus de Ain Chabro , les marnes passent au marno - calcaires blancs . Le Maestrichtien inférieur est marqué également par des calcaires massifs grisâtres, renfermant parfois de nombreuses empreintes d'Incérâmes et Globigérinidés justifiant leur appartenance à ce sous étage.

- **MAESTRICHTIEN SUPERIEUR :**

Il s'agit d'une puissante série de marnes noires montrant quelques intercalations calcaires à la base. On note la présence de quelques passages gypseux ou pyriteux. Des Ammonites et des Foraminifères caractérisent l'âge Maestrichtien supérieur.

LE CADRE GEOLOGIQUE

E.

➤ TERTIAIRE :

- **PALEOCENE:**

Il est représenté par des sédiments marins assez épais (350 m).

- **EOCENE :**

- **Yprésien :**

Il repose directement sur les dépôts du Thanétien, il a une épaisseur de 32 m.

- **MIOCENE :**

Les dépôts du Miocène inférieur et moyen reposent transgressivement sur les formations anciennes (Albien - Sénonien et même sur le Trias). Il s'agit d'une puissante accumulation de marnes et de grés. A leur base, les formations miocènes comportent des conglomérats contenant des éléments de calcaires variés, de silex gris des galets ferrugineux et des éléments empruntés au Trias, témoignant d'une activité diapirique. Le remaniement de silex, réputé d'âge Yprésien à la base du Miocène témoigne de l'existence d'une mer éocène où se dépose une sédimentation marine durant l'Eocène et le Miocène inférieur à moyen. La sédimentation à la fin du Miocène indique le début d'une phase de régression.

La puissance moyenne du Miocène dans la région d'étude est de 150 m.

➤ QUATERNAIRE :

Les dépôts quaternaires sont d'origine continentale et sont distribués dans les parties basses des reliefs et couvrent des surfaces importantes (plaines et vallées actuelles). Ils sont formés de croûtes calcaires, limons éboulis, cailloutis et poudingues. La puissance du Quaternaire varie entre 10 et 30 m (Dubourdiou , 1956) . Les formations lithologiques qui peuvent être distinguées sont les formations actuelles, les formations anciennes et le Plio- Quaternaire :

- **Formations actuelles et récentes**
- **Formations anciennes**

F. C. Tectonique :

Le fossé d'effondrement de Tébessa est le résultat de mouvements récents du socle prolongeant celui de Kasserine à l'est en Tunisie et plongé au N.W par celui de Morsott . Ce graben recoupe d'anciennes structures orientées SW - NE pas bien visible dans les limites de la feuille.

- Anticlinale du Djebel ESSENE passe un peu au Nord de Koudiat - E'Sefra.
- Synclinal du Djebel ESSENE passe, passant par Djebel MESTOUI.

LE CADRE GEOLOGIQUE

- Anticlinal secondaire de Gouray, passant par Ksar Gouray.
- Synclinal du KOUIF.
- Anticlinal de DJEBISSA.

Ces structures anté - miocène sont simples et les failles datent de cette époque sont rares. On rencontre uniquement la faille de Tnoukla (1^{er} phase) , et la faille de Gouray . Les effondrements post - miocènes ont une direction constituant un système très général dans la région.

La fosse d'effondrement de Tébesa est la conséquence des mouvements tectoniques qui a subi cinq différentes phases d'origine Alpine étant responsables de la formation des grabens et des horsts, ainsi que des structures plissées.

4. Région de Chéria :

A. Stratigraphie-lithologie:

On distingue deux grands ensembles:

- Les affleurements de bordures de plaines, d'âge Crétacé et tertiaire constituent le premier ensemble.
- Les formations d'âge Miocène et Quaternaire, qui occupent toute les superficies des plaines étudiées, et qui constituent le second ensemble.

Ces deux ensembles constituent une série stratigraphique, dont la lithologie et la répartition, sont les suivantes :

➤ **TRIAS :**

Le terrain le plus ancien de la zone étudiée affleure dans la partie sud de plaine d' Elma-labiod et à l'Est de plaine de Tebessa .Il est représenté par un faciès typique de la région :

- Argile à gypse, calcaires et cargneules.
- Argiles rouges à gypses.
- Calcaires et calcaires dolomitiques noirs en plaquettes.

➤ **CRETACE :**

• **APTIEN :**

Les affleurements qui datent de cet étage dans la partie Nord d'El Ma El Abiod de DJ Bouroumane à Dj Doukkane et Dj Aroual ; à Djebel Bouroumane, se sont des calcaires et de dolomies d'épaisseur moyenne de 400m (aptien moyen et inférieur), surmontées par des calcaires massifs gris ou roux avec des intercalations de quelques mètres de marnes et de marno- calcaires, d'épaisseur moyenne est de 70m (aptien supérieur).

LE CADRE GEOLOGIQUE

- **CENOMANIEN :**

Il affleure assez largement dans la partie sud -est d'El Ma El Abiod en contact tectonique avec le Trias et dans la partie Nord-est du plateau de Chéria. C'est une série de marnes jaune parfois grises et de banc calcaire lumachelliques, l'épaisseur atteint les 560m.

- **TURONIEN :**

Il affleure largement au Nord d' El Ma El Abiod (Dj Bouroumane, DJ.ElKoreiz, Tenoukla) et au Nord de la plaine de Tébessa (El Kouif), constitué de calcaire marneux gris en petits bancs à sa base d'épaisseur ne dépasse pas les 70m. Au-dessus, c'est une assise massive de calcaires beiges et de dolomies ou de calcaires dolomitiques.

- **CAMPANIEN:**

La plus grande partie de la périphérie des 03 plaines, notamment en bordure du bourrelet montagneux qui les limite, on observe un niveau marneux épais (300 à 400m) appartenant au Campanien, constitué par des marnes grises en profondeur qui deviennent verdâtres dans sa partie superficielle.

- **MAESTRICHTIEN:**

A Chéria c'est une formation de calcaire tendre crayeux, représente le principal réservoir hydrogéologique de la plaine ou son épaisseur moyenne atteint 250 mètres, à El Ma El Abiod Il est localisé au Nord-ouest et au centre, il est caractérisé par des calcaires et marno-calcaires blancs d'une épaisseur de 67m.

➤ **TERTIAIRE :**

- **DANIEN EOCENE INFERIEUR:**

Représenté par des marnes argileuses noirâtres d'une épaisseur de 100 à 150.

- **EOCENE MOYEN:**

D'une épaisseur moyenne de 50 mètres, est constitué d'une alternance de calcaire dur, de craie, de marnes plus ou moins calcaire avec divers minéraux phosphatés, d'une épaisseur moyenne de 50 m, l'ensemble de ces couches est extrêmement siliceux. La silice s'est individualisée sous forme de rognons de silex dans les bancs calcaires. C'est de manière générale, ce qui caractérise la présence de ces formations dans la région d'étude, mais il faut signaler que l'éocène à Chéria se distingue par sa karstification et le réseau dense de fissuration, qui avant 20 ans était difficile de la mentionner. A la fin du chapitre nous présentons cette remarque.

LE CADRE GEOLOGIQUE

- **MIOCENE :**

A Chéria, on le retrouve au sud, vers l'exutoire au lieu-dit Ramlia, formé aussi de sable identique à celui d' El Ma El Aboid.

- **Mio-pliocène:**

Au sud-ouest de Chéria, cet étage est discordant et transgressif sur les calcaires de l'éocène moyen, d'une épaisseur d'une 40 aine de mètres environ, débute par des sables jaunes siliceux de 20 mètres d'épaisseur, au-dessus on trouve une alternance d'argiles vertes gypseuses et de sables en lentilles.

- **Le Pliocène:**

C'est une formation qui recouvre largement les calcaires éocènes au Nord de la plaine et les calcaires Maestrichtiens du côté Nord- Est, constituée par des argiles rouges et des conglomérats sableux quartzeux, les sables quartzeux existent uniquement dans la partie Est de la plaine et peuvent atteindre 400m d'épaisseur.

- **QUATERNAIRE :**

Constitué par des formations conglomératiques observées aux bords des grandes fractures d'effondrement récent.

A Chéria il est d'une épaisseur qui atteint 20 m vers Ain Babouche représenté par un cailloutis fluviatile qui forme un vaste plateau limité au sud-ouest par un talus (Draa Feidh El-Mahri), à l'est par le marécage de Chéria, la surface du plateau est encroutée de tufs calcaires, le quaternaire affleure sur les parties hautes du plateau.

B. Les dépôts actuels:

A Chéria, ils se présentent sous deux formes:

- Le colmatage des bas-fonds sur la partie amont de la plaine de Chéria qui peuvent atteindre plus de 50m de puissance, formés par des cailloutis et petits galets enrobés dans le limon, le marécage de Chéria est occupé par une alternance d'argile et des niveaux de cailloutis.
- Les alluvions des piedmonts qui occupent toutes la périphérie de la plaine formés essentiellement par des cailloutis calcaires, provenant de l'altération des reliefs calcaires du Maestrichtien.

C. Tectonique:

La structure tectonique de la région d'étude a du s'édifier suite à la manifestation de deux phases orogéniques M.Villa 1977.

- **Première phase:**

Elle se manifeste dès la fin du Crétacé supérieur et inférieur. Son paroxysme se situe entre le lutétion supérieur et le Miocène inférieur. Il s'agit bien de la phase

LE CADRE GEOLOGIQUE

atlasique qui constitue très certainement la phase principale de plissement dans la région d'étude. R.Laffite (1949) l'identifie par son étude sur l'Aurès comme étant la phase orogénique majeure dans l'Atlas Saharien. C'est Durant cette phase qu'il y a eu les plissements de couverture de direction SW-NE, qui donnent les grands axes anticlinaux (Dj.Bouromane).

➤ **Deuxième phase:**

Le plateau de Chéria est reconnu par deux systèmes de fractures d'âge post-Miocène, l'un d'une orientation Est-Ouest et le second Nord-Ouest Sud-Est, les fractures Est-Ouest intéressent surtout les affleurements anciens au niveau des crêtes et affectent les flexures Sahariennes et semblent être en relation avec les accidents profonds générateurs de ces structures, par contre les fractures Nord-Ouest Sud-Est, affectent toute la chaîne de Dj.Labioud, Dj Oum El Kemmakem caractérisées par des rejets moins importants par rapport aux fractures sus indiquées.

La faille de Tnoukla et les failles de direction NW-SE orthogonales à ces plissements datent de cette époque.

G. Conclusion :

Le présent aperçu géologique a permis de dresser un état récapitulatif sous la forme du tableau ci-dessous qui illustre les formations géologiques les plus importantes sur le plan intérêt hydrogéologique :

LE CADRE GEOLOGIQUE

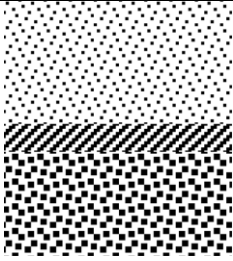
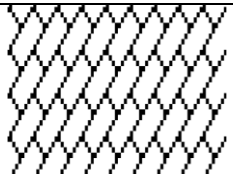

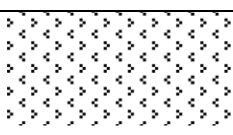
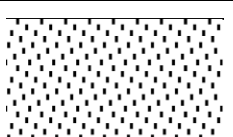



Zone	Age	Epaisseur	Intérêt hydrogéologique	Lithologie	Faciès géologique
Tébessa	Quaternaire	Jusqu'à 200 m	Aquifère		Alluvions (alternance cailloutis calcaire-marne)
El-Ma-El-Abiod	Crétacé	Plus de 100m	Alimentation du système aquifère		Calcaire
	Miocène	Environ 50m	Aucun		Marnes
		Plus de 50m	Aquifère		Grés
		40 – 250m	Aquifère		Sables
Chéria	Quaternaire	40 m	Aquifère à sec		Alluviosfluviales
	Maestrichtien	250 m	Importants en bordure du plateau		Calcaires fissurés
	Eocène	50 à 60	Réservoir de la région		Calcaires fissurés et karstifiés

Tableau 1: Géologie et intérêt hydrogéologique de région d'étude.

Chapitre III
HydroClimatologie

I. Introduction :

Les conditions climatiques jouent un rôle primordial dans le régime d'écoulement Superficiel et souterrain. Elle permet d'approcher les termes de bilan qui sont les Précipitations et l'évapotranspiration.

Et pour ce faire une meilleur connaissance des donne il faut une maitrise du matériel climatique nécessaire pour faciliter cette étude comme le positionnement des appareils utiliser le nombre et la qualité

Notre zones d'étude sont : plaine de Tébessa , plaine d'El-Ma-el-Abiod et plateau de Cheria qui contient de type de climat semi-aride et aride puise que le taux de pluviométrie est entre 200 et 400 mm par an ce qui explique la souffrance de ces régions d'un important déficit en eau ce climat est caractériser par une saison sèche s'étendant sur la plus grande partie de l'Année.

1. Région d'El Ma Lbioud :

A. Etude des paramètres climatiques :

a. La Température :

C'est un facteur très important réagissant sur le phénomène de l'évapotranspiration et sur le déficit d'écoulement annuel et saisonnier. 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.

Les températures n'ont jamais fait l'objet de mesure. La région d'étude ne possède pas de stations. La plus proche est celle de Tébessa, située à 809m d'altitude au Sud de la ville, qui a servi de référence.

• Température moyen mensuelle :

le tableau ci-dessous donne les températures moyennes mensuelles pour une période de 10 ans (2007/2008-2016/2017).

Hydroclimatologie

mois	sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	mars	Avr	Mai	Juin	Juillet	Aou
Tmoy mensuelles	18.29	15.5	9.35	5.95	4.72	5.2	8.54	11.63	16.26	21.23	24.19	23.42

Tableau 2: les températures moyennes mensuelles à la station d'EL MALBIOD (2007-2017)

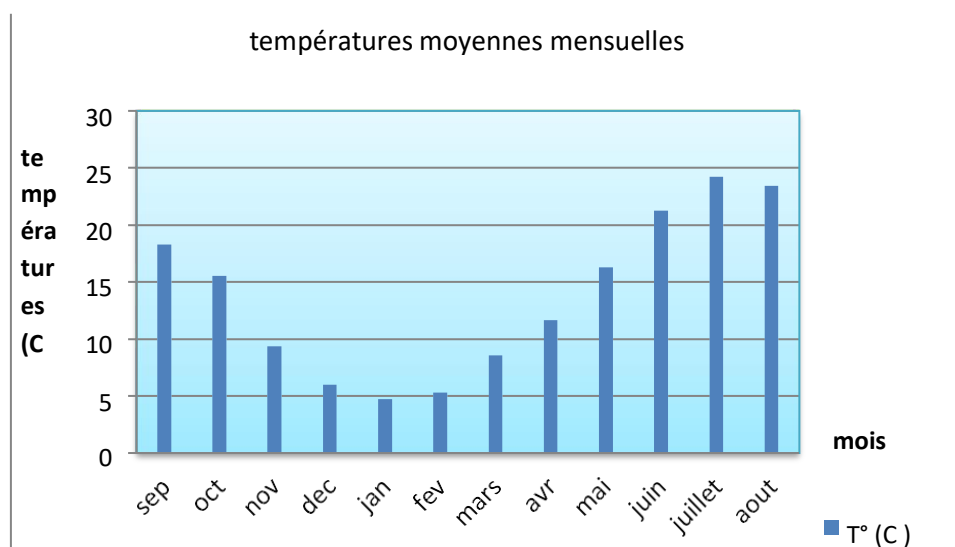


Figure 12: Variation des températures mensuelles, période de 10 ans (2007_2017) .

D'après le tableau des températures et l'histogramme on constate que le mois de janvier est le mois le plus froid de l'année tan disque les mois les plus chaud sont juillet et août.

- **Répartition des Températures annuelles :**

Année	2006-07	2007-08	2008-09	2009-10	2010-11	2011-12	2012-13	2013-14	2014-15	2015-16	2016-17
T°	16.8	16.3	16.1	17.1	16.1	17.8	17.3	17.2	16.7	16.3	16.5

Tableau 3: Températures moyennes annuelles (2007_2017)

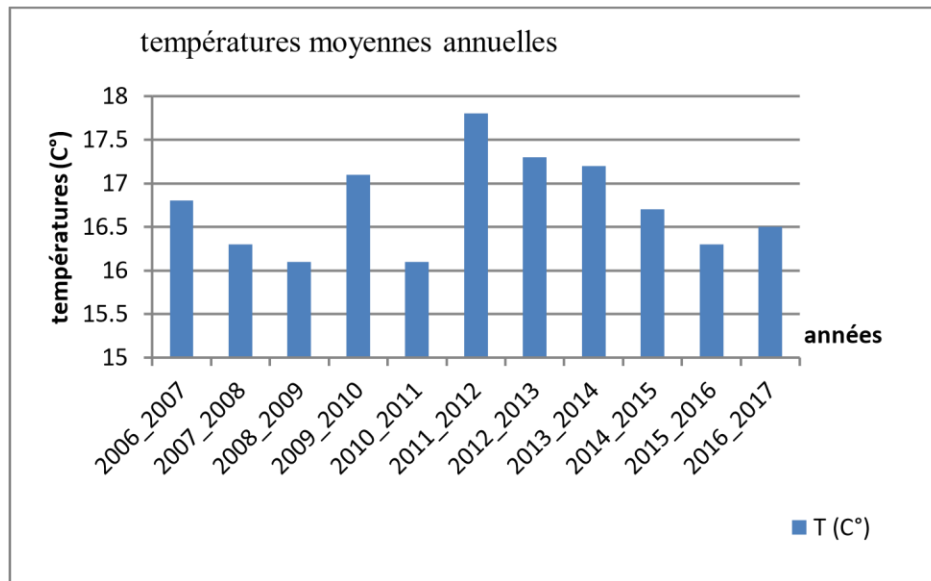


Figure 13: Variation des températures inter annuelles

A travers la variation des températures durant la période d'observation (2007-2017) on peut remarquer que l'année la plus chaude est l'année 2011-2012 alors que les moins chaudes sont les années (2008-2009 ; 2010-2011), la figure N°13 schématise cette variabilité.

b. 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, souterrain et infiltrations... etc.

Dans le bassin d'El Ma lobiod, ces dernières sont caractérisées par une irrégularité et une variabilité saisonnières et annuelles, typiques des régions semi arides.

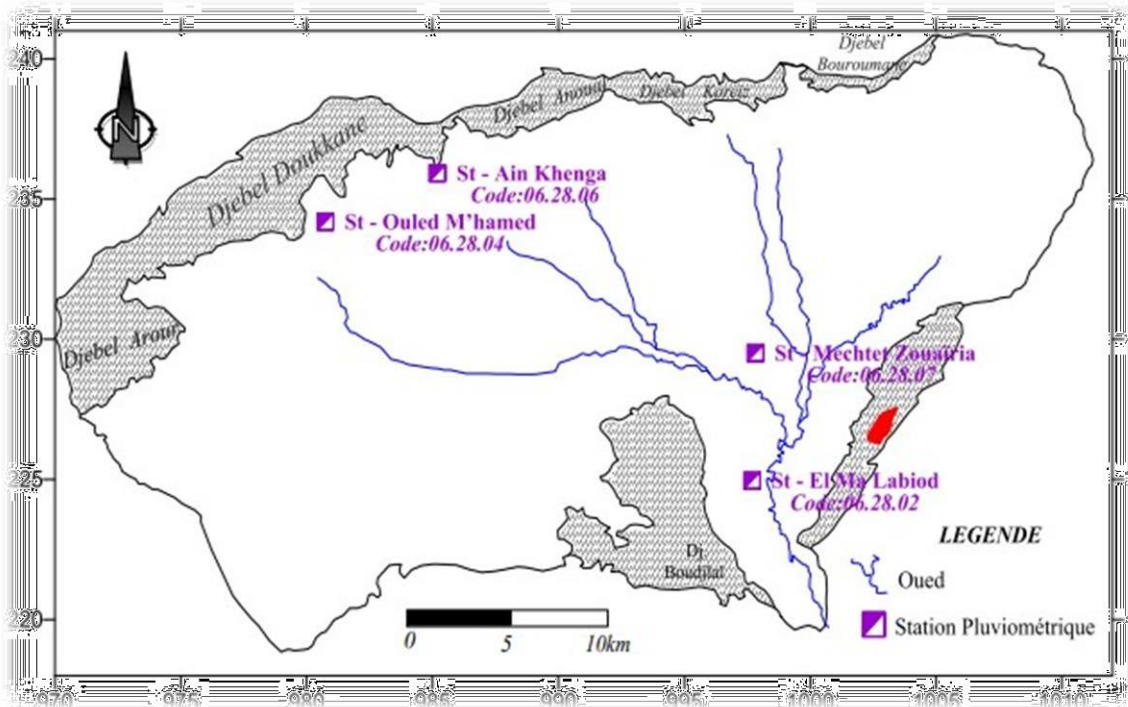


Figure 14: Station pluviométriques et leurs codes/Bassin d'El Ma El Abiod

c. Précipitations :

• Précipitations moyennes mensuelles :

L'observation graphique (Tab.04) représente la répartition des précipitations moyennes mensuelles à la station d'EL MALBIOD comme suit :

Une période regroupant les mois de novembre, décembre, janvier, février, juin, juillet, août, où les précipitations moyennes mensuelles ne dépassant pas 17.89 mm avec un minimum de 5.3mm en juillet et une seconde période pluvieuse qui s'étale sur les mois de septembre , octobre , mars , avril , mai , où les hauteurs moyennes mensuelles ne dépassent pas 34 mm avec un minimum 26.61 mm en octobre .

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août
P												
mensuelles	34	26.61	14.73	12.16	16.41	13.04	28.16	26.78	28.72	16.81	5.3	17.89
(mm)												

Tableau 4: Moyenne des précipitations mensuelles sur une période de 10 ans (2007/2017).

Hydroclimatologie

• **Précipitation moyennes annuelles (sur une période de 10 ans :2007/2017) :**
 Les précipitation annuelles sont plus au moins marquées d'une année à l'autre, l'année 2014-2015 est la plus sèche avec 120.1 mm, alors que l'année 2008-2009 est la plus arrosée avec 410.13 mm pour la station d'EL MA LBIOD (Tab °05et Fig N°15). On note que les années excédentaires sont les années : 2007/2008 – 2008/2009 – 2010/2011 – 2011/2012 – 2015/2016.

Années	07-08	08-09	09-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17
Hauteurs annuels (mm)	225.93	410.13	221.9	347.3	252.8	160.8	195.9	120.1	226.02	225.3

Tableau 5:Les Hauteurs annuelles sur une période de 10ans (2007\2017)

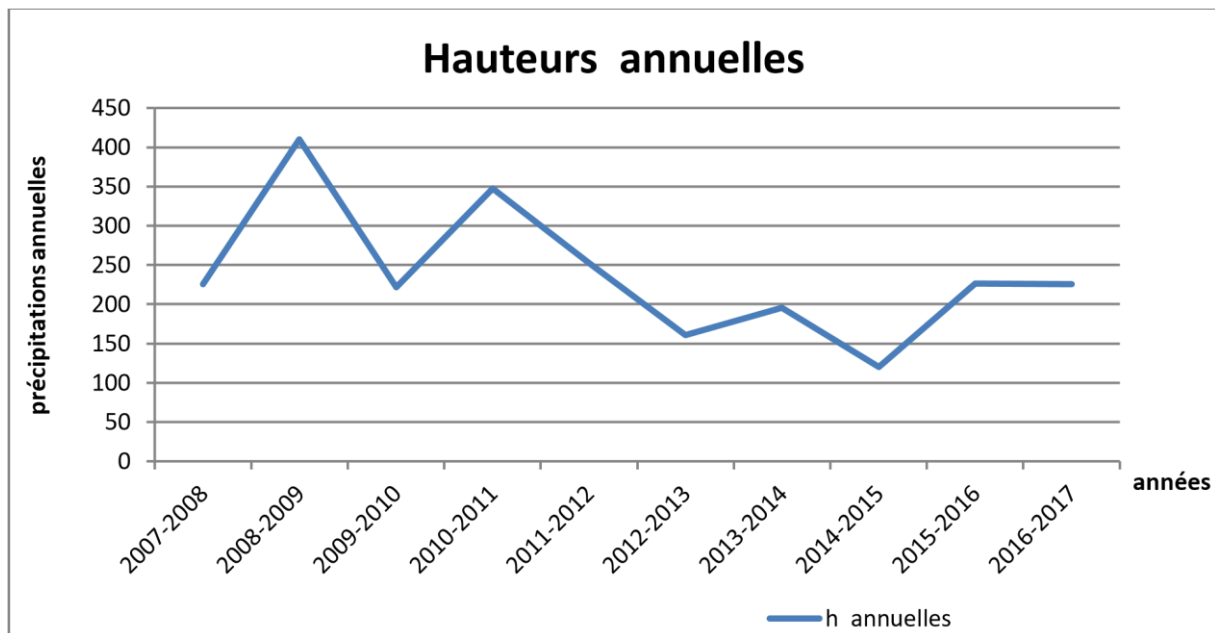


Figure 15:Les Hauteurs annuelles sur période de 10 ans (2007-2017) à la station d'EL MALBIOD.

d. Diagramme pluviométrique :

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

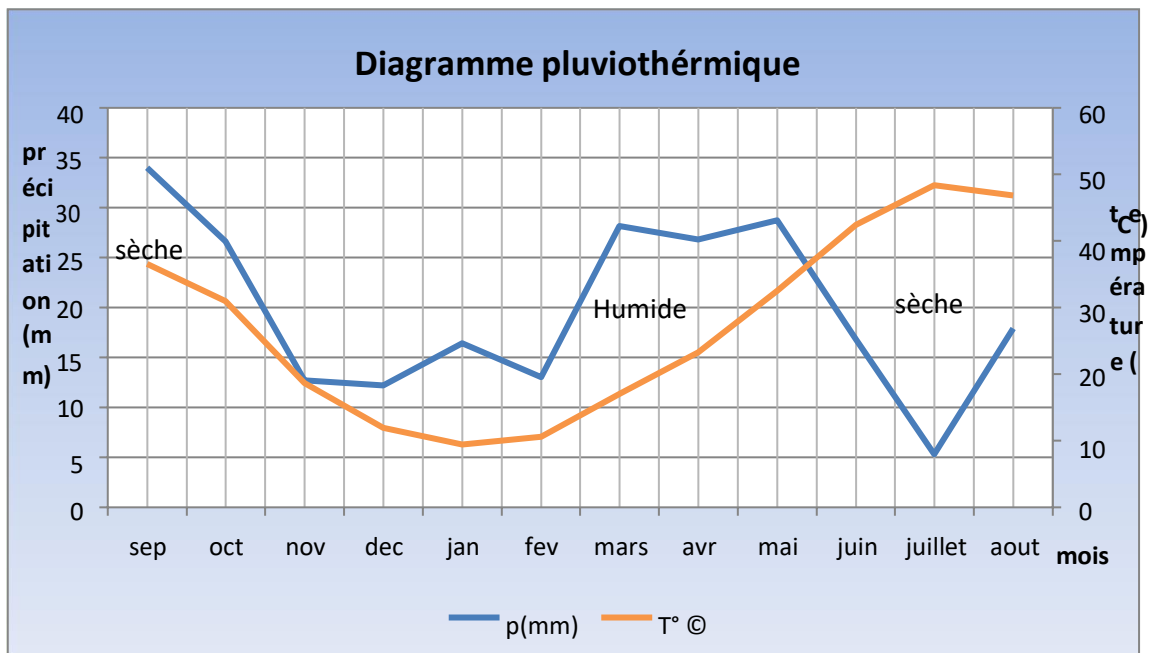


Figure 16: Diagrammes pluviométriques (2007/2017) / Bassin D'EL MALABIOD.

Ce diagramme montre que la période humide s'étale du mois d'octobre jusqu'au mois de Mai. La période sèche s'étale du mois de juin jusqu'au mois de Septembre, exception de quelques périodes courtes marquées par des pluies orageuses (fin juillet et début août et septembre).

B. Détermination des indices climatiques :

a. L'humidité relative :

C'est le rapport de la tension de vapeur réelle « e » à la tension de vapeur saturante « es » à la même température, exprimé en pourcentage (%).

Elle indique que l'état de l'atmosphère est plus ou moins proche de la condensation. L'humidité relative est à l'origine de toutes précipitations en outre, elle régit l'évaporation de l'eau sur la végétation, le sol ou les nappes d'eau.

Comme on a déjà signalé avant que notre région d'étude appartienne à l'étage climatique semi-aride, le mois de janvier étant le mois humide.

b. Le Vent :

C'est un paramètre dont l'influence sur certains phénomènes est tant ressentie, on cite entre autres, l'évapotranspiration, les précipitations, et à un degré moindre, les températures. D'après les services météorologiques de la station de Tébessa, les directions NW et SW sont les plus dominantes, avec une vitesse qui peut dépasser les 60km/h (un max de 70km/h et

Hydroclimatologie

min de 34km/h). Les effets du sirocco sont possibles en toute époque, mais c'est en saisons estivales qu'ils sont plus fréquents, où ils peuvent provoquer des hausses brusques de températures ; ce qui initie une accentuation des assèchements (pouvoir évaporant et érosion éolienne, avec 40km/h de vitesse). La région est aussi sujette à un passage régulier de vents de sables, de quelques kilomètres d'envergures, de direction prépondérante WNW-ESE, et ceux qui leur sont similaires au Sud, peuvent durer jusqu'à environ une vingtaine de jours durant l'année.

C. L'indice d'aridité de E. 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:

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

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

Station	Précipitation (mm)	Température (C°)	Indice d'aridité	Observation
EL Ma EL Abiod	238,618	13.53	10.13	Climat semi aride

Tableau 6:Indice d'aridité de E. DE Martone et type de climat.

• 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 :

Hydroclimatologie

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

P : Moyenne mensuelle des précipitations (mm).

T : Moyenne mensuelle des températures (°C).

mensuelle des températures (°C).

Mois	Précipitation	Température	Indice d'aridité
Sep	34	18.29	14.42
Oct	26.61	15.5	12.52
Nov	14.73	9.35	9.13
Des	12.16	5.95	9.14
Jan	16.41	4.72	13.38
Fev	13.04	5.28	10.24
Mars	28.16	8.54	18.27
Avr	26.78	11.63	14.86
Mai	28.72	16.26	13.13
Juin	16.81	21.23	6.46
Juil	5.3	24.19	1.86
Août	17.89	23.42	6.42

Tableau 7: Indice d'aridité mensuel/Bassin d'El Ma Labiod

C. 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 1 982)

$P = ETR + R + I$ (mm) où :

P : Précipitations annuelles (mm),

R : Ruissellement (mm),

ETR : Évapotranspiration réelle annuelle (mm). I : Infiltration (mm).

a. 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.

Hydroclimatologie

- Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP) 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 :

$$ETP (mm) = 16 \cdot \left(\frac{10T}{I}\right)^a \quad \text{Où } I = \sum_{i=1}^{12} i \quad \text{et } i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514}$$

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

longue formule de Thornthwaite : $a = \frac{1,6}{100 \cdot I + 0,5}$

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 :

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

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

On obtient une valeur totale de l'ETP de l'ordre de 772.8mm/an.

Hydroclimatologie

Mois	S	O	N	D	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juillet	Août	Total
I	7.12	5.54	2.54	1.30	0.91	1.09	2.24	3.58	5.96	9.18	10.87	10.35	60.68
ETP_{nc}	81	63.5	30.2	15.54	11	13.04	26.44	41.6	68.1	103.6	122.1	116.5	
K	1.03	0.97	0.86	0.81	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	
ETP_c	83.43	61.6	26	12.6	9.62	11.08	27.23	45.8	82.4	126.4	151.4	135.1	772.8

Tableau 8:ETP selon la formule de C. W. Thornthwaite/Station d'El Ma El Abiod

T	20.89	16.5	10.35	6.95	5.72	6.98	9.54	12.63	17.66	22.63	25.69	24.92	
I	8.71	6.09	3	1.64	1.22	1.65	2.65	4.06	6.75	9.83	11.91	11.37	68.88
ETP_{nc}	94.42	64.73	30.69	16.23	11.9	16.34	26.94	42.21	99.02	107.3	131.4	125.2	
K	1.03	0.97	0.86	0.81	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	
ETP_c	97.28	62.8	26.39	13.14	10.35	13.9	27.75	46.43	119.82	131	163	145.2	857.03

Tableau 9:: ETP selon la formule de C. W. Thornthwaite/Station d'El Ma El Abiod Pour l'année (2008/2009).

➤ **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 G. W. Thornthwaite.

i. 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.

$$ETP = \sqrt{0.9 + \frac{p^2}{L}} \text{ (mm)} \quad \text{avec :}$$

P : Précipitation moyenne annuelle (m).

L : Facteur qui tient compte des échanges de chaleur ($L = 0.5T^3 + 25T + 300$).

T : Température moyenne annuelle (°C).

Hydroclimatologie

2

Station	Précipitatio (mm)	Température (°C)	L	ETR
EL MA LBIOD	238.618	13.73	772.66	239.17

Tableau 10: ETR selon la méthode de L. Turc.

b. Bilan hydrique par la méthode de G. W. Thornthwaite :

Pour estimer le bilan hydrique il faut suivre les conditions suivantes :

* Si $P > ETP$, alors : $ETR = ETP$

Il reste un excédent ($P - ETP$) va alimenter la RFU jusqu'à son maximum (26mm), et si elle dépasse cette valeur il y aura un excès qui va partir soit sous forme d'infiltration efficace vers la nappe, soit sous la forme de ruissellement.

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
Paramètre													
P(mm)	34	26,61	14,73	12,16	16,41	13,04	28,16	26,78	28,72	16,81	5,3	17,89	240,61
ETP(mm)	83,43	61,6	26	12,6	9,62	11,08	27,23	45,8	82,4	126,4	151,4	135,1	772,66
P-ETP	-49,43	-34,99	11,27	-0,44	6,79	1,96	0,93	-19,02	-53,68	-109,6	-146,1	-117,2	
RFU (mm)	00	00	00	00	6,79	8,75	9,68	00	00	00	00	00	
ETR(mm)	34	26,61	14,73	12,16	9,62	11,08	27,23	36,46	28,72	16,81	5,3	17,89	240,7
EX(mm)	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	
DA(mm)	49,43	34,99	11,27	0,44	00	00	00	9,2	53,68	109,6	146,1	117,21	532

Tableau 11: Bilan hydrique selon la méthode de C. W. Thornthwaite pour période de 10 ans (2007/2017)

* Si $P < ETP$, la valeur de $ETR = P + RFU$, jusqu'à égalisation avec ETP.

Pour vérification :

$$p = ETR + EX \quad \longleftrightarrow \quad 240,61 = 240,7 + 00$$

$$DA = ETP - P \quad \longleftrightarrow \quad 532,05 = 772,66 - 240,61$$

Hydroclimatologie

Mois Paramètres	S	O	N	D	JAN	Fév	MAR	AVR	MAI	JUIN	JU	Aou	TOT
T	20,89	16.5	10.35	9.65	5.72	6.98	9.54	12.63	17.66	22.63	25.69	24.92	
I	8.71	6.09	3	1.64	1.22	1.65	2.65	4.06	6.75	9.85	11.91	11.37	68.88
K	1,03	0.97	0.86	0.81	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	
P	60,3	44.1	11.6	26.4	57.8	6.33	31.8	118	10.1	12.5	0	31.2	410.13
ETP_c	97.25	62.8	26.39	13.14	10.35	13.9	27.75	46.43	119.82	131	163	145.2	857.03
ETR	60.3	44.1	11.6	13.14	10.35	13.9	27.75	46.43	39.1	12.5	0	31.2	310.37
RFU	0	0	0	13.26	29	21.43	25.48	29	0	0	0	0	49.79
EXC	0	0	0	0	31.71	0	0	68.05	0	0	0	0	99.76
DA	23.13	17.5	14.4	0	0	7.57	0	0	87.96	118.5	163	114	567.82
Ecou	1.12	0.56	0.28	0.15	15.85	7.92	3.96	36	18	9	4.5	2.25	99.60

Tableau 12: Bilan hydrique selon la méthode de C. W. Thornthwaite pour l'année (2008/2009)

Commentaire sur le bilan hydrique :

- **Le bilan hydrique durant une période de 10 ans (2007-2017) :**

Le bilan hydrique moyen (2007-2017) est généralement déficitaire et nous a permis de tirer les remarques suivantes :

- La RFU commence à se constituer à partir du mois janvier et se poursuit aux mois de février, mars.
- Les précipitations reprennent de manière relativement conséquente à partir du mois de Mars, avril et mai, malheureusement, l'ETP augmente à la même période, donnant ainsi le déficit. Le résultat de ce bilan ne peut que confirmer le caractère climatique de cette région, à savoir le type semi-aride, avec une pluviométrie n'excédant pas les 300 mm.

- **Le bilan hydrique durant l'année excédentaire (2008/2009) :**

- L'ETP atteint son maximum au mois de Juillet 163 (mm) avec un total annuel de 857.03 (mm).

Hydroclimatologie

- Le déficit agricole commence au mois d'Avril et s'étend jusqu'au mois de Novembre, avec une valeur maximale au mois de juillet de 163 (mm) et une valeur minimale au mois de Février.
- La recharge du stock (RFU) commence à partir du mois de Décembre jusqu'au mois d'Avril.
- On enregistre un excédent au mois de Janvier et Avril.

D. 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 ou à l'aide des méthodes empiriques qui donnent une valeur approchée. Parmi les méthodes empiriques on peut citer celle de Tixeront et Berkaloff. Ces auteurs ont établi une formule qui permet d'étudier le ruissellement moyen annuel, applicable dans le climat semi-aride; cette dernière ne tient pas compte de la nature lithologique des terrains et l'influence de la perméabilité sur le ruissellement Elle s'écrit de la manière suivante :

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

R : Ruissellement (m).

P : Précipitation moyenne mensuelle (m).

ETP : Évaporation potentielle (m).

Paramètres	Précipitation (mm)	ETP(mm)	R (mm)
Station d'EL MALBIOD	410.13	857.02	31.2

Tableau 13: Ruissellement selon la méthode de Tixeront-Berkaloff

E. L'infiltration :

Le bilan par la méthode rationnelle est donné par la formule suivant :

$$P = ETR + R + I \text{ Avec :}$$

I : Infiltration efficace moyenne annuelle (mm).

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

ETR : Évapotranspiration réelle annuelle (mm).

R : Ruissellement annuel (mm).

. Par conséquent on calcule l'infiltration pour l'année excédentaire 2008/2009 par la formule suivant des duite de la méthode rationnelle :

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

$$I = 410.13 - (310.37 + 31.2)$$

Hydroclimatologie

On obtient :

Paramètres	Précipitation (mm)	ETR(mm)	R (mm)	I (mm)
Station d'el ma labiod	410.13	310.37	31.2	68.56

Tableau 14:Infiltration efficace moyenne annuelle (2008/2009).

F. CONCLUSION :

La plaine d'El MALABIOD 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 (2007/2017), L'examen des précipitations moyennes dans la région d'étude sont de l'ordre 238.218mm/an. Et la température moyenne qui y règne est de 13.73°C.

Le bilan d'eau dans son ensemble est déficitaire ; L'évapotranspiration réelle calculée est de

L'ordre de 239.17 mm/an, mobilisant 100% de la précipitation moyenne. Le ruissellement ne représente que 6mm des précipitations, avec une infiltration insignifiante.

Le bassin d'El MALABIOD 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.

2. Région de Boukhadra :

Le climat est de type continental à influence méditerranéenne avec des hivers relativement froids et pluvieux et des étés secs et très chauds. La température moyenne de l'année est de 15° avec un minimum absolu de -5°C et un maximum jusqu'à 45°C. La pluviométrie moyenne de l'année varie de 500 mm dans la partie nord du territoire à 370 mm dans la région du village Mesloul.

En l'absence de station pluviométrique ; Boukhadra est l'été plus en considération la station pluviométrique de Morsott car les conditions climatiques sont semblables.

A. Etude des paramètres climatiques :

a. Température :

La température demeure le paramètre le plus déterminant dans la caractérisation du climat. Qui joue un rôle déterminant pour le bilan hydrique nous avons pris les données de température de la station de Tébessa pour la période d'étude 1997_2018. et du site web pour la période 2018_2020.

• Température moyenne mensuelle (1997/1998-2019/2020) :

Les variations des Températures moyennes mensuelles de la station de Tébessa 1997-2018 sont enregistrées dans le tableau suivant ,ainsi que les donner du site web Nasa (2018_2020)

MOIS	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUIL	AOU	MOY
T (°C)	23.83	18.20	10.89	6.05	5.11	6.14	10.23	15.25	20.40	25.80	29.68	29.43	16.75

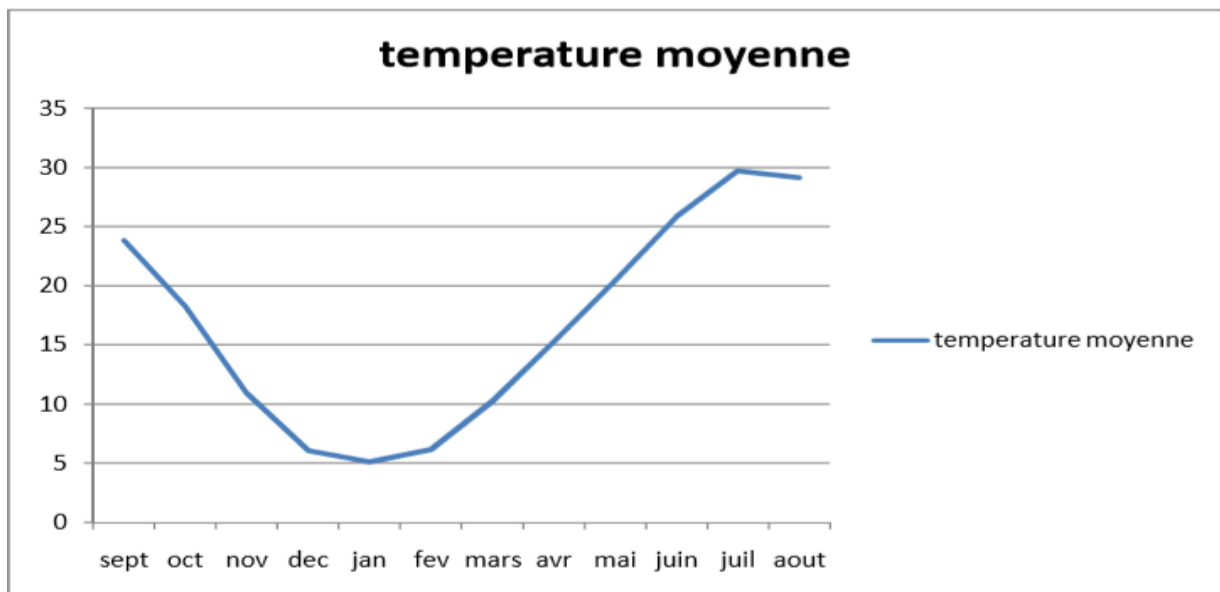


Fig .17 : variation des températures moyennes mensuelles (1997/1998-2019/2020).

Figure 17:variation des températures moyennes mensuelles (1997/1998-2019/2020).

Le graphe indique que :

- Le mois le plus froid est le mois Janvier avec une valeur de 5.11 °C.
- Le mois le plus chaud est celui de Juillet avec une valeur de 29.68 °C.
- La température moyenne annuelle de cette période est de 16.16.75 °C.

Hydroclimatologie

b. Précipitations :

Les données recueillies et disponibles à la station de Morsott sur une période de 35 ans (1971-2006) et El Aouinet sur une période de 38 ans (1967-2006) sont récapitulées dans le tableau suivant :

Stations	Mois											
	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fey	Mar	Ayr	Mai	Jui	Jut	Aout
Morsott (1971-2006)	28.56	24.30	30.18	22.33	24.95	20.61	23.3	22.65	28.3	20.44	6.39	14.85
El Aouinet (1967-2006)	23.86	22.42	24.93	22.32	20.24	25.33	25.07	26.5	34.6	22.54	5.59	12.95

Tableau 15: Précipitations moyennes mensuelles en (mm) des stations de Morsott (1971-2006) ALOUINET(1967-2006)

Le tableau N° 15 montre la variation des précipitations d'un mois à l'autre des moyennes mensuelles des hauteurs pluviométriques enregistrées dans ces deux stations avec un maximum de l'ordre de 30.18 mm qui s'observe au mois de novembre au niveau de la station de Morsott et de 34.6 mm au mois de mai à El Aouinet et avec un minimum de l'ordre de 6.39 et 5.59 mm au mois de juillet respectivement pour les deux stations.

- **Variation inter annuelle des précipitations :**

L'étude des variations des précipitations en fonction du temps de la station de Morsott montre une grande différence entre l'année la plus arrosée (1977-1976) avec 405.05 mm/an et l'année la plus sèche (1984-1985) avec 82.8 mm/an. Voir figure 18.

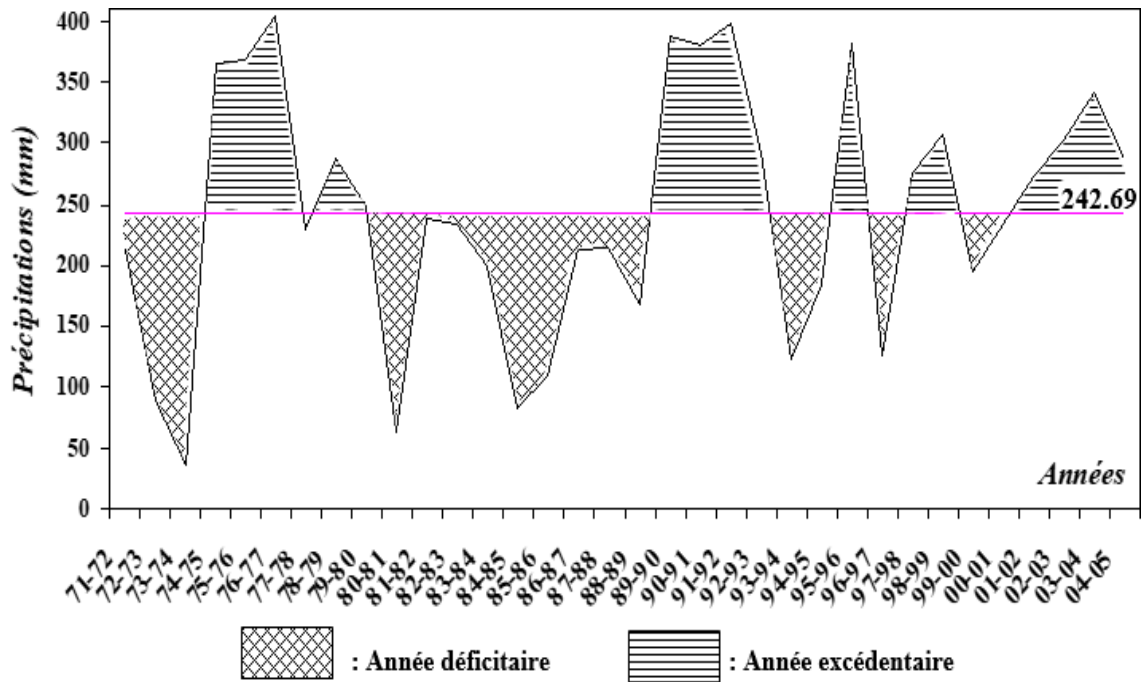


Figure 18: Evolution des précipitations annuelles de la station de Morsott (1971-2005).

- **Variations mensuelles des précipitations:**

L'analyse de la courbe des variations mensuelles des précipitations sur une période de 35 ans pour la station de Morsott (figure.18), montre que :

- Le mois le plus arrosé est le mois de novembre avec une précipitation moyenne mensuelle de 30.18 mm.
- Le mois le moins arrosé est le mois de juillet avec une précipitation moyenne mensuelle égale à 6.39 mm.

Hydroclimatologie

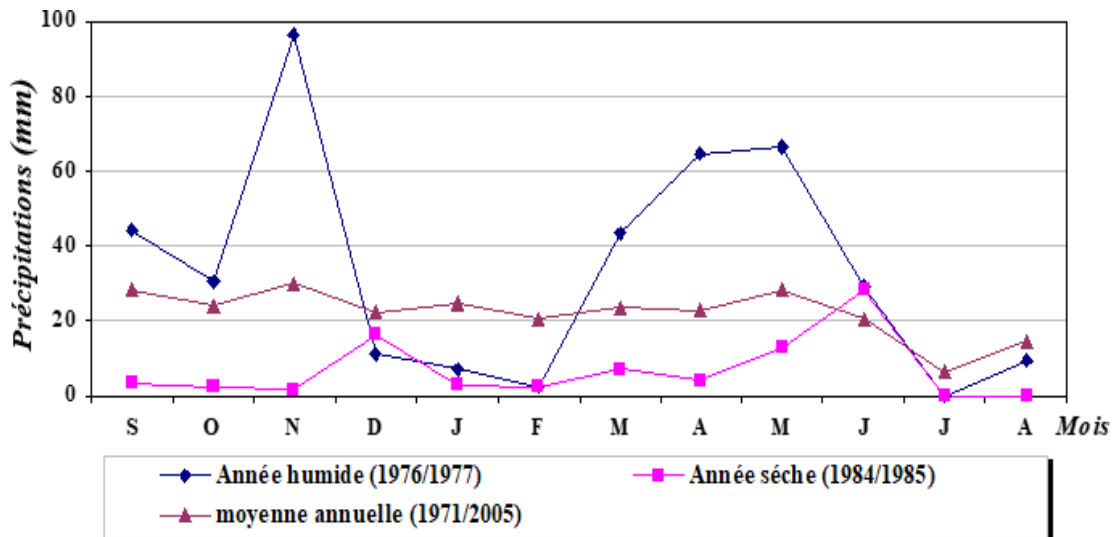


Figure 19: Distribution inter-annuelle des précipitations mensuelles de la station de Morsott (1971-2005)

B. Détermination des indices climatiques :

a. Les Vents :

D'après la station météorologique de Tébessa, la distribution du champ de direction de vent est saisonnière *hiver-été* avec des vents prédominants :

- Les vents de direction Ouest-Nord-Ouest « W-N-W » du mois de novembre au mois d'avril, qui sont responsables des précipitations.
- Les vents de direction sud, du mois de mai au mois de juillet se sont *le siroco*, engendrant une forte évaporation (évapotranspiration) et une sécheresse abaissant le taux d'humidité.
- L'intensité moyenne mensuelle des vents sur une période de 35 ans entre 1971 et 2006, exprimée en mètre par seconde, à la station de Tébessa est représentée dans le tableau suivant :

Station	Mois											
	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fey	Mar	Ayr	Mai	Jui	Jut	Aout
Tébessa Aéroport (1972-2006)	2.32	2.2	2.34	2.49	2.76	3.06	3.04	3.25	2.9	2.79	2.78	2.50

Tableau 16: Intensité du vent en m/s

Hydroclimatologie

➤ **b.L'indice d'aridité mensuel 1923 :**

$$L'indice mensuel (i), donné par la formule : I = \frac{12P}{T + 10}$$

Avec : P : moyenne mensuelle des précipitations en mm

T : moyennes mensuelle des températures en c°

Cette équation définit l'évolution des conditions climatiques au cours de l'année, et son application donne les résultats des stations de mesures qui sont présentés dans le tableau suivant :

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juill	Août
I	11.24	10.83	16.95	14.92	18.50	13.9	13.81	11.97	12.31	7.57	2.12	5.02

Tableau 17: Indice d'aridité mensuel

On remarque que le mois de juillet présente un climat hyperaride, le mois d'août un climat désertique, le mois de juin présente un climat steppique alors que le climat semi-aride marque le reste de l'année.

C. Bilan hydrique :

Le bilan hydrologique pour la station de la région d'étude à savoir la station de Morsott sur une période d'observation allant de (1971-2006) est présenté dans le tableau (20) Il permet de voir l'étendue de la période de sécheresse qui s'étale presque sur toute l'année.

THORNTHWAITE // EVAPOTRANSPIRATION ET BILAN												
STATION : MORSOTT LATITUDE : 35.5 ANNEE : 1976-1977												
	<u>Tp</u>	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RU	ETP R	Def	<u>Exc</u> c
S	21.46	9.1	1.03	97.8	28.5	-69.2	-0.7	0.0	0.0	28.6	69.2	0.0
O	16.72	6.2	0.97	61.2	24.3	-36.9	-0.6	0.0	0.0	24.3	36.9	0.0
N	11.01	3.3	0.86	27.4	30.18	2.8	0.1	2.8	2.8	27.4	0.0	0.0
D	7.54	1.9	0.81	13.9	22.33	8.4	0.6	8.4	11.2	13.9	0.0	0.0
J	6.26	1.4	0.87	11.00	24.95	13.9	1.3	13.9	25.0	11.0	0.0	0.1
F	7.56	1.9	0.85	14.7	20.61	5.9	0.4	0.0	25.0	14.7	0.0	5.9
M	10.11	2.9	1.03	28.6	23.33	-5.2	-0.2	-5.2	19.8	28.6	0.0	0.0
A	12.85	4.2	1.10	45.2	22.65	-22.5	-0.5	-19.8	0.0	42.4	2.8	0.0
M	18.31	7.1	1.21	88.6	28.30	-60.3	-0.7	0.0	0.0	28.3	60.3	0.0
J	23.27	10.3	1.22	132.2	20.44	-111.8	-0.8	0.0	0.0	20.4	111.8	0.0
J	26.21	12.3	1.24	163.2	6.39	-156.8	-1.0	0.0	0.0	6.4	156.8	0.0
A	25.39	11.7	1.16	145.0	14.85	-130.1	-0.9	0.0	0.0	14.9	130.1	0.0
MOY(<u>Tp</u>) =	15.53			SOM(ETPC) =	828.8	SOM(Pr) =	266.83			BH =	-603.11	
				SOM(ETPR) =	260.76	SOM(Def) =	568.07	SOM(<u>Exc</u>) =	6.07			

Tableau 18: Bilan hydrique de Morsott.

Hydroclimatologie

Vérification de bilan :

$$\Sigma \text{ETP} = \Sigma \text{ETR} + \text{DA} \quad \Longrightarrow \quad 828.8 = 260.76 + 568.07$$

$$\Sigma \text{P} = \Sigma \text{ETR} + \text{EX} \quad = \quad \Longrightarrow \quad 260.76 + 6.07.$$

a. Commentaire sur le bilan hydrique :

Le bilan hydrique nous a permis d'évaluer la part de chaque paramètre hydrologique. D'après l'établissement de ces bilans on a pu tirer ces quelques conclusions :

-Les hauteurs de précipitation atteignent leurs maximum au mois de novembre (30.18 mm), où l'ETP atteint en juillet un minimum de 6.4 mm.

-Le déficit agricole se remarque à partir du mois de mai et se poursuit jusqu'à novembre, période pendant laquelle la RFU est épuisée.

- Pendant le mois de novembre le stock se reconstitue ou la RFU atteint son maximum (25 mm) au mois de janvier (Morsott), ensuite diminue jusqu'à l'épuisement total (Mai).

b. Etude de l'évapotranspiration :

• **Evapotranspiration réelle annuelle moyenne (ETR) :**

On peut la déterminer par les équations empiriques telles que celle de **L. Turc** et de **Coutagne**.

- Formule de L. TURC annuelle :
$$\text{ETR} = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

P : Précipitations annuelles moyennes en (mm)

L = 33 + 25T + 0.05T³ où T est la température annuelle moyenne en ° C.

Station	P (mm)	ETR (mm)	ETR (%)
Morsott	266.86	255.34	95.68

-Formule de G.W Thornthwaite

L'évapotranspiration potentielle non corrigée est donnée par la formule :

$$\text{ETP(mm)} = 16 \cdot \left(\frac{10T}{I}\right)^\alpha \cdot F(\lambda)$$

$$\alpha = \frac{16}{100} I + 0,5 \quad \mathbf{I} = \sum_{i=1}^{12} i \quad \text{ou : } \mathbf{i} = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514}$$

Hydroclimatologie

T : températures moyennes mensuelles en °C

I : indice thermique annuel

I : indice thermique mensuel

F (λ) : facteur de correction intégrant la durée d'insolation et le nombre de jours du mois.

L'évapotranspiration potentielle corrigée est obtenue en multipliant la formule de

Thornthwaite par le coefficient de correction k qui dépend de la latitude.

Les calculs de l'ETP corrigée selon la formule de Thornthwaite pour la région d'étude sur toute la période d'observation sont les suivants :

Mois	Sep.	Oct.	Nov	Dec	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Août	TOT.
ETP _c	97.8	61.2	27.4	13.9	11.00	14.70	28.6	45.2	88.6	132.2	163.2	145.0	828.75

Tableau 19: Résultats de calcul de l'ETP par Thornthwaite.

D. Estimation du ruissellement :

- **Méthode de TIXERON-BERKALOFF :**

La formule est :

$$R = P^3 / 3E^2 \text{ en m avec :}$$

P : pluviométrie annuelle en m.

E : évaporation potentielle en m .

L'application numérique donne les résultats suivants :

Station	P (mm)	E (mm)	R (mm)	R (%)
Morsott	266.83	828.8	9.22	3.45

Tableau 20: Résultats du calcul du ruissellement.

D'après ces résultats, on remarque que la méthode de formules empiriques a donné un ruissellement de l'ordre de 9 mm tandis que le ruissellement calculé par la méthode de séparation de l'hydrogramme unitaire n'a pas dépassé les 4 mm, ce qui représente un faible pourcentage par rapport aux précipitations totales tombées sur toute la région d'étude et pendant toute la période d'observation.

E. Calcul de l'infiltration :

L'infiltration est calculée par la formule: $I = P - (ETR + R)$ ou $I = EX - R$

3. Région de Tébessa :

A. Etude des paramètres climatiques :

a. Température :

La température demeure le paramètre le plus déterminant dans la caractérisation du climat qui joue un rôle déterminant pour le bilan hydrique. Nous avons pris les données de température de la station de Tébessa pour la période d'étude 1997_2018 et du site web pour la période 2018_2020.

- **Température moyenne mensuelle (1997/1998-2019/2020) :**

Les variations des températures moyennes mensuelles de la station de Tébessa 1997-2018 sont enregistrées dans le tableau suivant ainsi que les données du site web Nasa (2018_2020)

MOIS	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUIL	AOU	MOY
T (°C)	23.83	18.20	10.89	6.05	5.11	6.14	10.23	15.25	20.40	25.80	29.68	29.43	16.75

Tableau 21: Les variations des Températures moyennes mensuelles de la station de Tébessa (1997-2018)

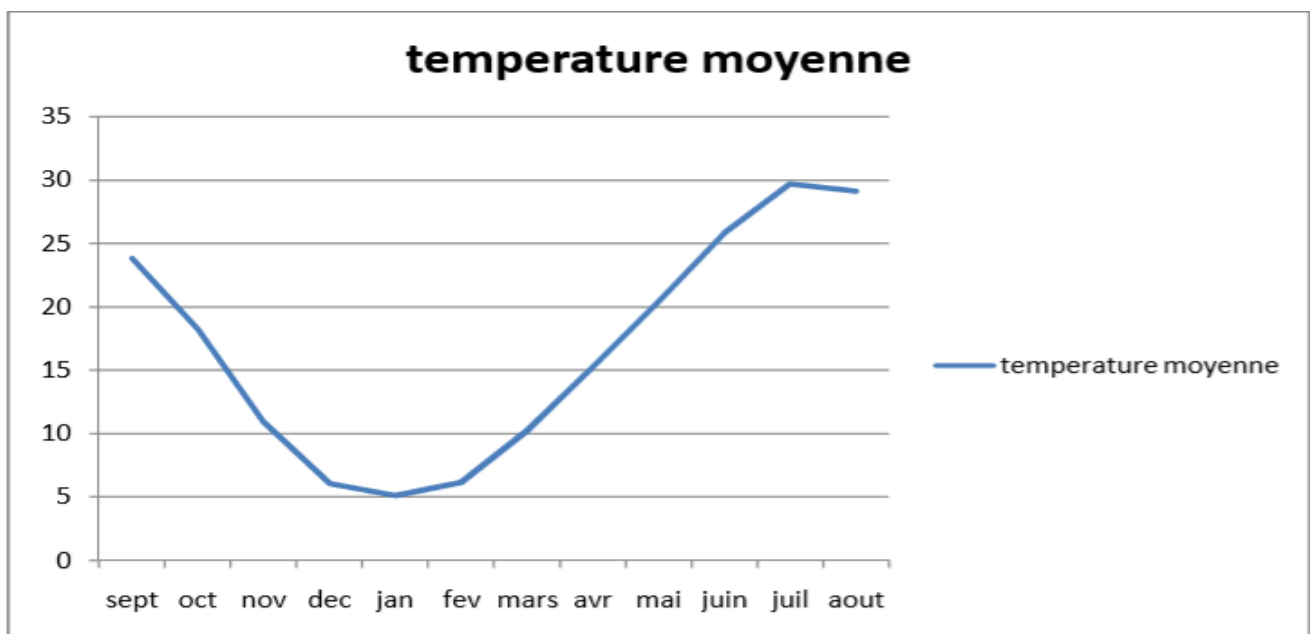


Figure 20: variation des températures moyennes mensuelles (1997/1998-2019/2020).

Le graphe indique que :

- Le mois le plus froid est le mois Janvier avec une valeur de 5.11 °C.

Hydroclimatologie

- Le mois le plus chaud est celui de Juillet avec une valeur de 29.68 °C.
- La température moyenne annuelle de cette période est de 16.16.75 °C.

b. Précipitation :

L'étude pluviométrique présente un intérêt considérable en hydrogéologie afin d'évaluer la lame d'eau tombée sur l'ensemble du bassin versant et son influence sur l'alimentation, ainsi que son rôle dans le changement de comportement hydrodynamique de la nappe.

Notre étude est donc basée sur les données enregistrées pendant une période 1997/1998-2019/2020.

En se basant sur les données recueillies à la station de Tébessa durant vingt et trois ans allant de 1997-2020 les valeurs moyennes mensuelles des précipitations sont représentées sur le tableau suivant :

Mois	sept	oct	nov	dec	jan	fev	mars	avr	mai	jui	juil	aout	total
P (mm)	45.10	38.21	32.33	32.09	31.14	21.42	30.94	36.60	45.63	25.03	15.33	27.16	380.98

Tableau 22: Précipitations moyenne mensuelles en (mm) de Tébessa sur la période de 23 ans (1997/1998-2019/2020) (station de Tébessa 1997-2018 . et site web2019-2020).

la valeur maximale est marquée dans le mois de Mai avec une moyenne de 45.63 et une valeur minimale pour le mois de juillet avec une moyenne de 15.33.

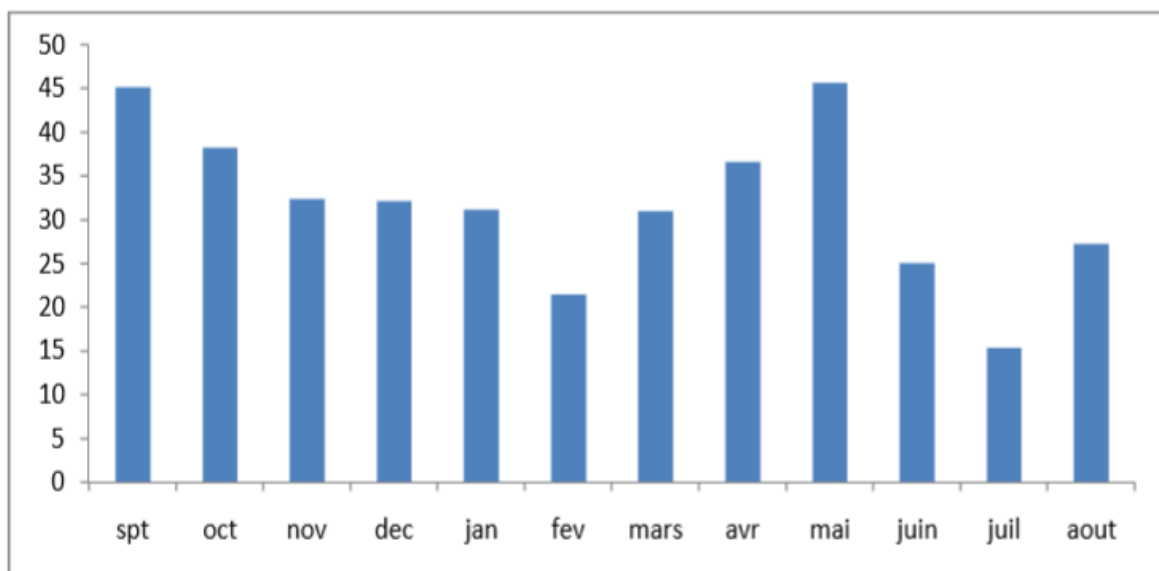


Figure 21: Variation des précipitations moyennes mensuelles (station de Tébessa 1997-2018 . et site web2019-2020).

- **Précipitation moyenne annuelle :**

L'étude des précipitations annuelles dans notre région montre une grande variation dans le

Hydroclimatologie

Temps à l'échelle (1997-2020) présentées dans le tableau suivant :

Station	Minimum	Année d'observation	Maximum	Année d'observation	P Moy(mm)
tebessa	149,1	2000 /2001	650.44	2003/2004	394,98

Tableau 23: Précipitations moyennes interannuelles (station de Tébessa 1997-2020)

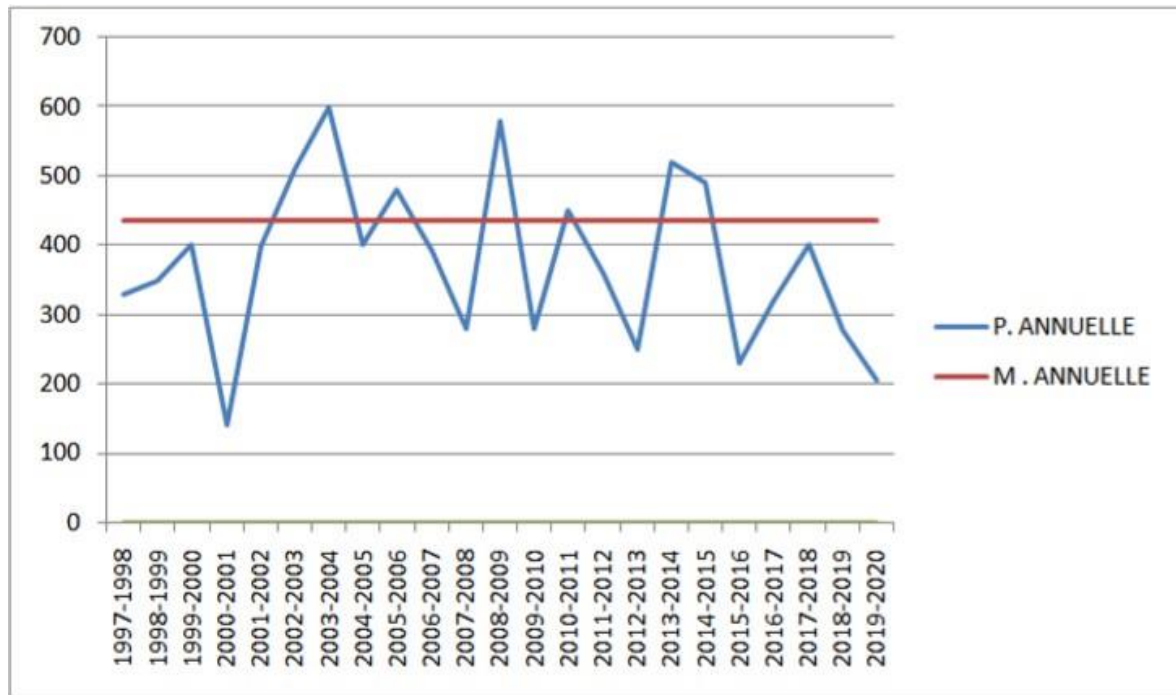


Figure 22: Variation des précipitations annuelle à la Station de Tébessa (1997-2020).

B. Détermination des indices climatiques :

a. Les Vents :

Les vents dominants sont ceux du Nord-Ouest, Sud Est et Ouest. Il est à noter la faible fréquence des vents du Nord. Les vents du Sud Est et Sud-ouest sont généralement des vents secs qui accentuent les fortes chaleurs en été, leur fréquence importante représente 32 % par rapport au total. Les vents de direction Sud sont marqués par le Sirocco, qui est un vent chaud et sec et qui souffle en été en direction général du sud vers le nord. La partie nord de la wilaya n'est pas très exposée au Sirocco. Les monts de Tébessa et les Nemamchas constituent une barrière naturelle qui atténue l'intensité de ce vent. (Benarfa, 2005).

b. L'humidité :

Le tableau ci-dessous montre les valeurs d'humidité relative moyenne à la station de Tébessa aéroport entre 1972 et 2006.

Hydroclimatologie

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fey	Mar	Ayr	Mai	Jui	Jut	Aout
Station												
Tébessa Aéroport (1972-2006)	57.50	61.42	69.79	72.63	72.31	68.15	64.91	60.88	55.33	47.70	40.74	45.16

On remarque dans le tableau que l'humidité relative est presque moyenne peu variable durant toute l'année, le minimum est observé au mois de juillet avec une valeur de 40.74 %, alors que le maximum est de l'ordre de 72.63 % observé au mois de décembre.

C. Bilan hydrique :

Le bilan hydrique exprime le processus que peut suivre une quantité d'eau arrivant au sol par précipitation avant de retourner à l'atmosphère. Il permet le calcul de la répartition des précipitations reçues par la surface du sol. Cette méthode est utilisée pour les climats subhumide et semi-aride, basée sur la notion de réserve d'eau facilement utilisable (RFU). On admet que cette réserve d'eau stockée dans le sol qui est reprise par l'évapotranspiration est de l'ordre de 100 mm en moyenne (Laborde, 2000).

Le bilan hydrologique naturel peut se calculer par la formule suivante :

$$P = ETR + R + I \text{ Avec :}$$

ETR : l'évapotranspiration annuelle (mm).

I : infiltration.

P : précipitation (mm).

R : ruissellement.

a. Estimation du bilan hydrologique selon la méthode de C.W.Thornthwaite :

Pour établir un bilan hydrique mensuel on se base sur les données d'évapotranspiration potentielle (ETP), l'évapotranspiration réelle (ETR) moyenne et les précipitations (P). Les quantités d'eau stockée dans la RFU sont bornées par 0 (la RFU vide) et RFU max (capacité maximale de la RFU qui est de l'ordre de 0 à 200 mm suivant les sols et sous-sols considérés, avec une moyenne de l'ordre de 100 mm).

On admet que la satisfaction de l'ETP a la priorité sur l'écoulement, c'est-à-dire qu'avant qu'il n'y ait d'écoulement, il faut avoir satisfait le pouvoir évaporant (ETP = ETR). Par ailleurs, la complétion de la RFU est également prioritaire sur l'écoulement.

L'établissement du Bilan hydrique nous permet de calculer :

RU : Réserve utile.

Def: Déficit agricole en (mm). Def = ETP-ETR.

Exc: Excédent en (mm).

Pour estimer le bilan hydrique il faut suivre les conditions suivantes :

*Si $P > ETP$, alors : **ETR = ETP**

Il reste un excédent (P - ETP) qui va alimenter la RFU jusqu'à son maximum (29 m), et si elle dépasse cette valeur il y aura un excès qui va partir soit sous forme d'infiltration efficace vers la nappe, soit sous la forme de ruissellement.

Hydroclimatologie

* Si $P < ETP$, la valeur de $ETR = P + RFU$, jusqu'à égalisation avec ETP .

* Si $RFU = 0$, il va se produire un déficit agricole $DEF = ETP - ETR$.

• **Résultats de calculs du bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite :**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	TOT
P (mm)	55	18,3	17	14	27,1	15,8	15,1	2,7	49,3	2,4	7,6	1,4	225,7
T	22,1	15,9	12,8	9,4	8	7,5	15,6	14	19,6	25	28,4	27,1	205,4
K	1,03	0,97	0,86	0,81	0,87	0,85	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16	
ETP	99,1	51,3	30,7	16,5	13,2	11,5	52,6	46,2	93,6	146,9	188,3	161,7	911,5
ETR	55	18,3	17	14	13,2	11,5	33,3	2,7	49,3	2,4	7,6	1,4	225,7
RFU	0	0	0	0	13,9	18,2	0	0	0	0	0	0	32,1
DEF	44,1	33	13,7	2,5	0	0	19,3	43,5	44,3	144,5	180,7	160,3	685,8
EXC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 24: Bilan hydrique de l'année la plus sèche (2000-2001).

Vérification du bilan :

$$\Sigma P = \Sigma ETR + \implies \Sigma EX 225,7 = 225,7 + 0$$

$$\Sigma ETP = \Sigma ETR + \implies \Sigma DA 911,5 = 225 + 685.$$

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	A	TOT
T	21,5	19,6	12,3	7	6,9	9,6	11,2	12,8	15,9	22,4	27	192,4
K	1,03	0,97	0,86	0,81	0,87	0,85	1,03	1,10	1,21	1,22	1,16	
P	70,2	45,4	17,5	168	20,6	3,2	72,6	22,9	39,4	91,6	44	611,8
ETP	98,7	79,5	31,9	11,5	12,1	20,7	32,6	43,7	69,4	125,4	163,8	855,6
ETR	70,2	45,4	17,5	11,5	12,1	20,7	32,6	43,7	47,6	91,6	44	453,3
RFU	0	0	0	29	29	11,5	29	8,2	0	0	0	106,7
DEF	28,5	34,1	14,4	0	0	0	0	0	21,8	33,8	119,8	402,3
EXC	0	0	0	127,5	8,5	0	22,5	0	0	0	0	158

Tableau 25: bilan hydrique de l'année la plus humide (2003-2004).

Vérification de bilan :

$$\Sigma P = \Sigma ETR + \implies \Sigma EX 611,8 = 453,3 + 158,5$$

$$\Sigma ETP = \Sigma ETR + \implies \Sigma DA 855,6 = 611,8 + 402,3.$$

• **Etablissement du bilan hydrique (Tab.26):**

Le bilan hydrique établi pour une période de 23 ans est déficitaire dans son ensemble à l'exception du mois de décembre, janvier; février et mars avec un excédent de 6.73, 23.79, 12.27 et 9.18 mm.

Hydroclimatologie

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	0	TOT
T°C	23.83	18.20	10.89	6.05	5.11	6.14	10.23	15.25	20.40	25.80	29.68	29.43	16.75
I	10.63	7.07	3.24	1.33	1.03	1.36	2.95	5.41	8.40	11.99	14.82	14.63	82.86
i							82.86						
A							1.32						
K	1.03	0.97	0.86	0.85	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.83	1.16	12.96
P	45.10	38.21	32.33	32.09	31.14	21.42	30.94	36.60	45.63	25.03	15.33	27.16	380.89
ETP	64.52	45.20	22.94	10.56	8.45	10.77	21.13	35.79	52.55	71.65	86.20	85.25	515.01
Pc	66.45	43.84	19.72	8.97	7.35	9.15	21.76	39.01	63.58	86.69	157.74	98.89	623.15
P-ETP	-21.35	-5.63	12.61	23.12	23.79	12.27	9.18	-2.41	-17.95	-61.66	-	-71.73	-242.17
Pc											142.41		
RF	0	0	12.61	29	29	29	29	26.59	8.64	0	0	0	163.84
U													
ETR	45.10	38.21	19.72	8.97	7.35	9.15	21.76	39.01	63.58	33.67	15.33	27.16	329.01
EX	0	0	0	6.73	23.79	12.27	9.18	0	0	0	0	0	51.97
DA	21.35	5.63	0	0	0	0	0	0	0	53.02	142.41	71.73	294.14
E	0.17	0.08	0.04	3.36	13.57	12.92	11.05	5.52	2.76	1.38	0.69	0.34	51.88

Tableau 26: Bilan hydrique de la période de 23 ans (1997/1998-2019/2020).

- Vérification:

$$P = \sum ETR + \sum EX = 329.01 + 51.97 = 380.98 \text{ mm}$$

$$ETP = \sum ETR + \sum DA = 329.01 + 294.14 = 623.15 \text{ mm}$$

b. L'évapotranspiration :

L'évaporation est le phénomène par lequel un liquide est transformé en vapeur ou en gaz. Ce phénomène est étudié par plusieurs expérimentateurs pour déterminer les différents facteurs régissant l'évaporation de l'eau, cette dernière dépend de :

- La production de chaleur.
- Le vent.
- La chaleur emmagasinée.
- La qualité de l'eau.
- La pression barométrique.

Au niveau de la station météorologique de Tébessa, l'évaporation est mesurée à l'aide d'un bassin d'évaporation de type « Colorado ».

Les moyennes mensuelles pour la même période d'observation (1971-2006), sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Hydroclimatologie

Paramètre	Mois											
	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jut	Aout
Evaporation (mm)	221.16	161.4	109.16	93.62	88.89	105.95	133.53	175.05	224.68	280.37	367.95	332.95
Evaporation (%)	9.64	7.03	4.76	4.08	3.87	4.62	5.82	7.63	9.79	12.22	16.03	14.51

Tableau 27:: Evaporation en mm et en % à la station météorologique Tébessa aéroport pour la période 1971-2006.

D'après l'analyse de ces données, nous pouvons dire que :

- Le mois de juillet est le mois où l'évaporation atteint son maximum avec une moyenne mensuelle égale à 16.03 mm.

- Le mois de janvier est le mois où l'évaporation est minimale avec une moyenne mensuelle de 3.87 mm.

-L'évapotranspiration est un élément principal du bilan hydrique, il est défini par combinaison de deux phénomènes l'un physique (évaporation) et l'autre biologique (transpiration), ils désignent les pertes en eau par retour à l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau. Il existe deux types d'évapotranspiration: potentielle (ETP) et réelle(ETR).

- **Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP) :**

Ce paramètre climatique peut être mesuré directement sur le terrain par des appareils, ou estimer par des formules empiriques comme celle de Turc, Coutagne et Thornthwaite.

- ❖ **Formule de G.W.Thornthwaite:**

$$ETP = 16(10T / I).$$

ETP : évapotranspiration potentielle en mm.

T : température moyenne mensuelle du mois considéré enC°.

I : indice thermique annuel, $I = \sum i$, avec i (indice thermique mensuel) $= (T/5)^{1,514}$.

a : l'exposant climatique donné par la formule : $a = (1.6 / 100)I + 0.5$.

Pour apporter des corrections aux valeurs de l'ETP, il faut les multiplier par un coefficient K qui dépend de l'altitude.

- **Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) :**

Les pertes d'eau d'un sol atteignent l'ETP si le stock d'eau de la réserve facilement utilisable (RFU) lui est supérieure ou égale, en cas d'insuffisance elles sont limitées à une quantité plus petite, cette limite est appelée l'évapotranspiration réelle.

L'estimation est faite à partir des formules de Turc et de Thornthwaite:

- **Formule de Turc :**

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

P : hauteur annuelle moyenne des précipitations.

L : $300 + 25T + 0,005 T^3$.

T : température annuelle moyenne en C°.

Application :

$$P = 380.98 \text{ mm}$$

$$T = 16.75 \text{ C}^\circ$$

$$L = 742.24$$

$$ETR = 353.20 \text{ mm}$$

- **Formule de G.W.Thornthwaite:**

• Si $ETP \longrightarrow >0$: $\longrightarrow P > ETP$ **ETR = ETP**

• Si $P - ETP \longrightarrow <0$ **P < ETP** Ce dernier cas est subdivisé en deux cas:

P + RFU > ETP \longrightarrow **ETR = ETP**

P + RFU < ETP \longrightarrow **ETR = P + RFU**

D. Calcul du ruissellement (R):

D'après Thixeront et Berkaloff, le ruissellement est estimé par la formule suivante :

$$R = p^{3/3}(ETP)^2$$

R : ruissellement (mm)

P : précipitation moyenne annuelle (mm)

ETP: évapotranspiration potentielle (mm)

Ce qui donne **R = 47.46 mm**

L'inconvénient de cette formule, c'est qu'elle ne tient pas en considération les propriétés physiques du sol ou des formations traversées.

E. Calcul de l'infiltration (I) :

L'infiltration est calculée par la formule: **I = P - (ETR + R)** ou **I = EX - R**

L'application numérique : **I = 51.97 - 47.46 = 26.06mm.**

F. Estimation des réserves facilement utilisable(RFU) :

Elle représente la quantité d'eau emmagasinée dans le sol et son degré de saturation dépend de plusieurs facteurs :

Hydroclimatologie

- La nature, la lithologie et l'épaisseur de la couche parcourue par les racines.
- La profondeur de niveau piézométrique de la nappe.
- Le climat de la région.
- Le type de la couverture végétale.

J. Ricard, 1979 a évalué la RFU pour la plaine de Tébéssa en tenant compte de la nature de sol et du type de culture : $25 < \text{RFU} < 35$, soit une moyenne de 30 mm.

D'après la formule de Hailler: $\text{RFU} = 1 / 3 (\text{Da} \cdot \text{He} \cdot \text{P})$ ou

RFU: réserve facilement utilisable en mm

Da : densité apparente du sol (pour plaine $\text{Da} = 1,4$)

He : humidité équivalente du sol ($\text{He} = 25\%$)

P : profondeur de la couche de la terre parcourue par les racines en .m. ($\text{P} = 0,225\text{m}$)

L'application numérique:

RFU = 29mm

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	O	TOT
T°c	23.8 3	18.20	10.89	6.05	5.11	6.14	10.23	15.25	20.40	25.80	29.68	29.43	16.75
i	10.6 3	7.07	3.24	1.33	1.03	1.36	2.95	5.41	8.40	11.99	14.82	14.63	82.86
I	82.86												
a	1.32												
K	1.03	0.97	0.86	0.85	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.83	1.16	
ETP (mm)	64.52	45.20	22.94	10.56	8.45	10.77	21.13	35.79	52.55	71.65	86.20	85.25	515.01
ETPc	66.45	43.84	19.72	8.97	7.35	9.15	21.76	39.01	63.58	86.69	157.74	98.89	623.15

Tableau 28: calcul des valeurs de l'évapotranspiration de la période (1997-1998/2019-2020). (Méthode de Thornthwaite)

G. Conclusion :

L'analyse des paramètres climatiques observés sur une période de 23 ans (1997-1998/2019-2020) à la station de Tébéssa ont permis de déduire que :

- Le climat est typiquement semi-aride de type continental (hiver froid et été chaud);
- La température annuelle moyenne est de l'ordre de 16.75 C° ;
- Les précipitations annuelles moyennes sont de 380.98 mm ;
- L'évapotranspiration réelle est de l'ordre de 336.3 mm ce qui représente 92% des précipitations ;
- Le bilan hydrique dans l'ensemble est excédentaire.

Aux mois de décembre, janvier, février et mars ;

- L'infiltration ne laisse percoler que 54.23 mm soit 1.18% des précipitations. Cela, traduit que l'alimentation directe de la nappe par les eaux de Précipitation est très faible, ce qui permet d'admettre d'autres sources d'alimentation indirectes. Ici, les calcaires fissurés qui bordent la plaine contribuent largement à l'alimentation de la nappe.

4. Région de chéria :

Le climat est un phénomène très important qui influe sur les différents facteurs du relief pour modification sur les propriétés physico-chimiques des roches et des sols.

L'étude climatique d'un bassin versant de Chéria joué un rôle très important pour déterminer et connaissance du comportement hydrogéologie des cours d'eau.

Par manque de données dans la station de Chéria, on a pris les données enregistrées relatives aux précipitations et aux températures pour la station de Tébessa.

Les coordonnées et les informations de station implantée dans le bassin de Chéria dans le tableau N°29 :

Station pluviométrique	Code	X	Y	Altitude	Période d'enregistrement
Chéria	06.23.01	959.20	231.10	1087	1990-2014

Tableau 29:L'identification pour la station pluviométrique de Chéria.

A. Etude des facteurs climatiques :

a. Les Précipitations :

La précipitation est un volume d'eau liquide ou solide qui tombe sur une surface horizontal déterminée, appelée la section pluviométrique.

- **Précipitations interannuelles:**

La variation de précipitation interannuelle de la région de Chéria entre 1990 - 2014on distingue sur figure N°23 :

Hydroclimatologie

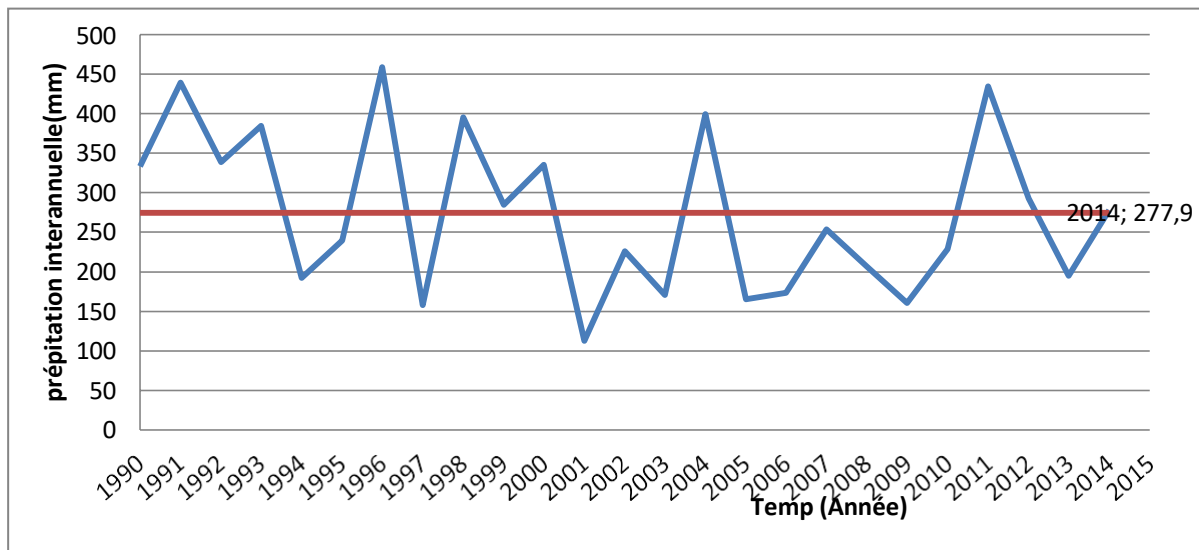


Figure 23: La Variations interannuelles des précipitations interannuelle de la station de Chéria (1990-2014).

La variation interannuelle des précipitations relevée à partir des cycles d'observation pour la station de Chéria présente les constatations suivantes :

- Le moyenne interannuelle des précipitations est de 274.26mm.
- l'irrégularité pluviométrique d'une année sur l'autre .
- Les cycles les plus arrosés correspondent aux années 1991, 1996, 2011 avec les hauteurs respectives 439.3, 458.9,434.3 mm/ans.
- Le cycle le plus sec correspond à l'année 2000 avec une hauteur de 112.7 mm/ans.
- D'après les années excédentaires : 1991, 1993, 1996, 1998, 2000, 2004,2011.
- les années déficitaires : 1994, 1997, 2001,2003, 2005, 2009,2013.

- **Précipitations mensuelles**

La représentation graphique des précipitations mensuelles à la station de Chéria sur une période de 24ans (1990-2014) montre que les mois de septembre et mai sont les mois les plus pluvieux avec respectivement 38.09mm et 33.58mm.Par contre le mois de juillet c'est le moins le plus sec avec 12.33mm.

Mois	Sept	Oct.	Nov	Déc.	Jan.	Fév.	Mar	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout
P (mm)	38,09	23,65	18,1	17,24	18,96	16,23	24,5	22,12	33,58	20,57	12,33	20,49

Tableau 30:Précipitations moyennes mensuelles de Chéria (1990-2014).

Hydroclimatologie

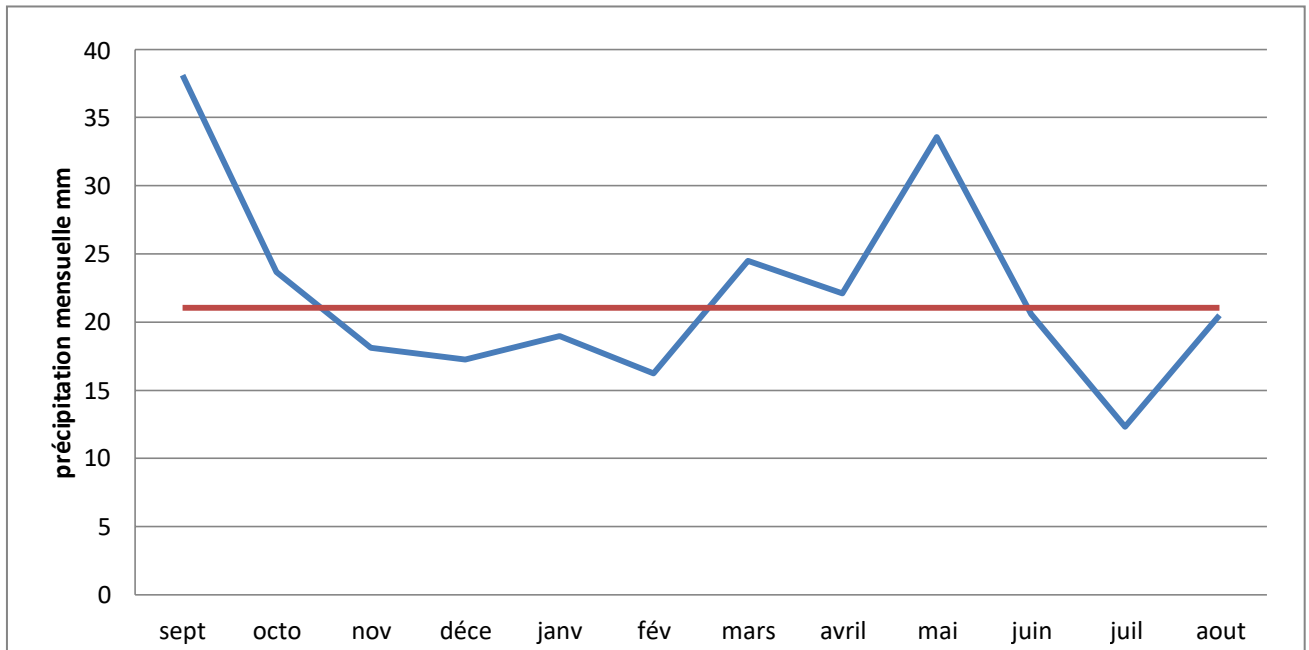


Figure 24: Les Variations des précipitations moyennes mensuelles de la station de Chéria (1990-2014)

b. La neige :

Nous constatons que le terrain environnant série Plateau connus tels que les montagnes charia comme le mont EDDOUKAN. Nous constatons qu'ils jouent un grand rôle dans la pluie résultant de la fonte de la neige, ce qui conduit donc à une augmentation du débit des sources d'eau dans cette région.

c. La Température :

La température est un élément très important qui agit directement sur le climat et joue un rôle important sur le bilan hydrique, elle conditionne le phénomène de l'évapotranspiration et le déficit d'écoulement d'eau.

Le tableau ci-dessous représente les moyennes mensuelles de la station de Tébessa entre 1990 et 2014.

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars.	Avril.	Mai.	Juin.	Juil.	Aout.
T Moy C°	22,1	18	12,53	8,18	6,78	7,98	10,97	13,15	18,34	23,36	27,28	26,32

Tableau 31: Températures moyennes mensuelles à la station de Tébessa (1990-2014).

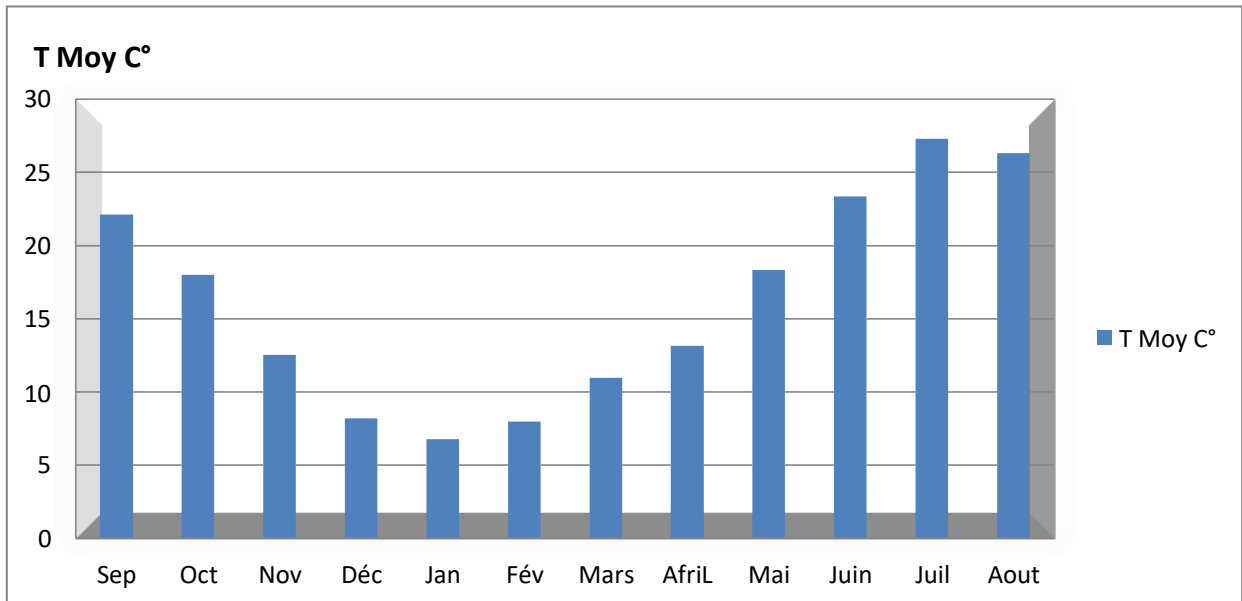


Figure 25: Variation des températures mensuelles à la station de Tébessa

Ces valeurs relativement plus faibles si on tient en compte d'altitude du plateau de Chéria par rapport à de Tébessa.

Le mois de plus chaud est juillet (27.28C°) et le mois plus froid est janvier (6.78c°).

d. Diagramme pluviométrique :

La combinaison des deux principaux facteurs climatiques, la température et les précipitations est intéressante dans la mesure pour visualiser les mois humides et les mois sec dans période 1990 à 2014. La période humide s'étale sur cinq mois de décembre jusqu'au mois avril plus le mois de septembre pour la station de chéria, par contre la période sèche est pendant les mois Octobre, Novembre, Mai, Juin, Juillet, et Aout.

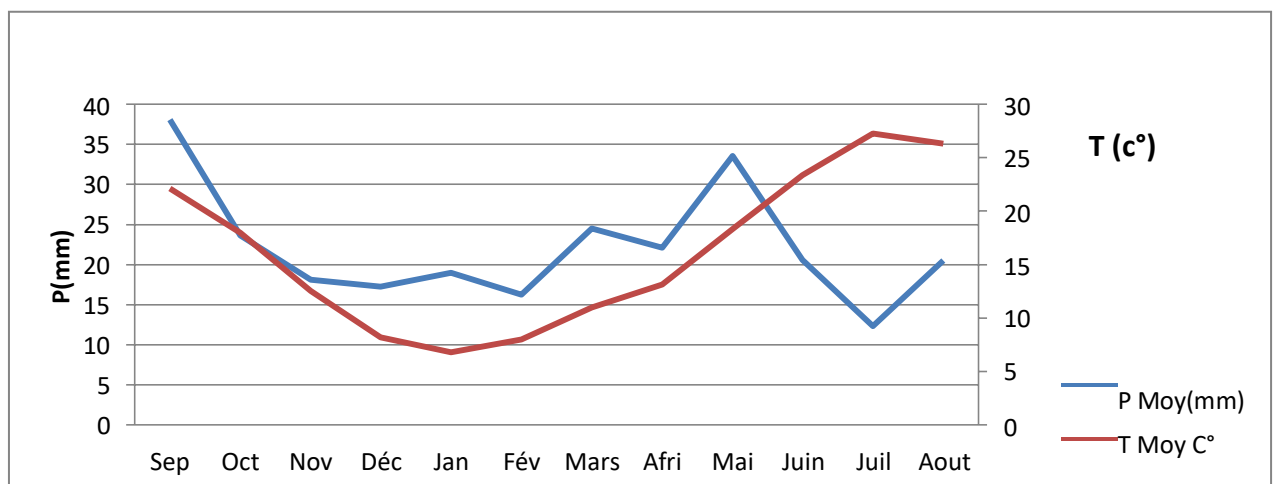


Figure 26: Diagramme pluviothermique a la station de Chéria (1990-2014).

B. Indices climatiques :

Pour définir le type du climat de la région de Chéria nous avons utilisé l'indice de Marton qui exprimé par la formule suivante :

$$I = P/10 + T$$

Où : p : précipitations annuelles moyenne en (mm).

T : Températures annuelles en (C°).

D. Marton a établi une classification d'après des mesures, effectuées dans le monde entier comme suit :

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

Pour la station de Chéria ($P = 274.26\text{mm}$ et $T = 16,24$), cet indice est égal à :

($I = 10,45$), donc le climat est de type semi-aride.

C. Bilan hydrique :

Le bilan hydrique consiste à évaluer la répartition de différents composants du bilan de l'eau dans la région, à savoir l'écoulement, l'infiltration et l'évaporation. Ce dernier paramètre est le plus important, la condition de cet bilan est l'abondance ou le déficit en eau pour la végétation.

a. L'évapotranspiration :

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

On distingue : L'évapotranspiration potentielle (ETP) et l'évapotranspiration réelle (ETR).

- **Evapotranspiration potentielle (ETP)**

L'évapotranspiration potentielle est la consommation d'eau, sous l'action conjuguée de

l'évaporation de l'eau du sol et de la transpiration de la plante. Il s'agit de la perte d'eau d'un couvert végétal en plein développement sous les conditions optimum d'alimentation en eau sans l'influence d'aucun facteur limitant.

- **Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP)**

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

- ❖ **La formule de Thornthwait :**

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

La formule de l'ETP est la suivante

Où:

$$ETP = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a * K$$

ETP: Evapotranspiration potentielle mensuelle en mm

T: température moyenne mensuelle du mois considéré°C

a: Coefficient calculé par la formule suivant :

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

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

Cet indice est calculé par la formule suivante

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

K : coefficient d'ajustement mensuel

Les résultats de calcul de l'ETP par cette méthode sont présentés dans le tableau n°04(bilan hydrique).cette méthode donne les résultats sous-estimés en zone arides ou semi arides, tropicales ou équatoriales, et zone humides ou subhumides.

❖ Formule de Turc :

Elle permet d'évaluer l'évapotranspiration moyenne mensuelle en tenant compte de la durée réelle de l'insolation :

$$ETP = 0.40T / (T + 15(Ig + 50))$$

Où

ETP : évapotranspiration potentielle moyenne mensuelle en (mm).

T : Température de l'air après pendant le mois considéré.

Ig: Radiation solaire global, moyenne du mois considéré en calorie (cm²/jour).

• Evapotranspiration réelle (ETR)

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

Pour le calcul de l'ETR, on a utilisé la méthode de Thornthwaite où on trouve deux cas principaux :

Si $P > ETP$, alors :

- $ETR = ETP$
- il reste un excédent ($P - ETP$) qui est affecté en premier lieu à la RFU, et, si la RFU est complète, à l'écoulement Q
- Si $P < ETP$:

• on évapore toute la pluie et on prend à la RFU (jusqu'à la vider) l'eau nécessaire pour satisfaire l'ETR soit :

$$•• ETR = P + \min(RFU, ETP - P)$$

$$•• RFU = 0 \text{ ou } RFU + P - ETR$$

• si $RFU = 0$, la quantité ($DA = ETP - ETR$) représente le déficit agricole, c'est-à-dire sensiblement la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux plantes pour qu'elles ne souffrent pas de la sécheresse.

b. Bilan hydrologique Selon la méthode de C.W. Thornthwaite :

Cette méthode est basée sur la notion de réserve en eau facilement utilisable (RFU). On admet que le sol est capable de stocker une certaine quantité d'eau (la RFU); cette eau peut être reprise pour l'évaporation par l'intermédiaire des plantes.

Hydroclimatologie

Vu l'absence d'une étude actuelle calculant les réserves facilement utilisables, on a pris la valeur de 25 mm calculé par le bureau d'étude Le Petit (étude agropédologique).

On établit ainsi un bilan hydrologique sur la période entre 1990-2014 comme suit:

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil.	Août.	somme.
Paramètre													
Tmoy (°C)	22,1	18	12,53	8,18	6,78	7,98	10,97	13,15	18,34	23,36	27,28	26,32	/
ETP (mm)	128,54	113,71	96,25	96,03	100,37	96,45	114,97	122,36	142,81	155,43	169,62	156,74	1493,3
P (mm)	38,09	23,65	18,1	17,24	18,96	16,23	24,5	22,12	33,58	20,57	12,33	20,49	268,87
P-ETP (mm)	-91,4	-90,86	-78,49	-79,18	-79,59	-80,87	-89,84	-99,73	-107,11	-134,6	-157,25	-135,5	/
RFU (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	/
ETR (mm)	37,14	22,85	17,76	16,85	20,78	15,58	25,13	22,63	35,7	20,83	12,37	21,25	268,87
DA (mm)	91,4	90,86	78,49	79,18	79,59	80,87	89,84	99,73	107,11	134,6	157,25	135,49	1224,4
EX (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 32: Bilan hydrique globale interannuel (1990-2014)

Formule de vérification

$$-\sum P = \sum ETR + EX \Rightarrow \sum P = 268,87 + 0 = 268,87 = P.$$

$$-\sum ETP = \sum ETR + \sum DA \Rightarrow ETP = 268,87 + 1224,4 = 1493,3$$

D. Le ruissellement (R) :

les méthodes empiriques de Tixeront et Berkaloff. Ces auteurs ont établi une formule qui permet d'étudier le ruissellement moyen annuel.

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

R : Ruissellement (mm).

P : Précipitation moyenne mensuelle (mm).

ETP : Evaporation potentielle (mm).

- Pour l'année plus séché de la station de Chéria (2000):

$$P = 0.306 \text{ m} ; P^3 = 0.0286 \text{ m} ; ETP = 0.812 \text{ m} ; 3ETP^2 = 1.9824 \text{ m}.$$

Application numérique :

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

$$R = 0.0286/1.9824$$

$$R = 0.01442 \text{ m}$$

$$R = 14.42 \text{ mm}$$

E. L'infiltration :

On est appelé d'avoir recours à les équations générales du bilan qui permettrait d'avoir d'admissibles approches du paramètre, puisque tous les composants de l'équation sont connus :

$$-P = ETR + R + I \text{ où } I = P - ETR - R$$

$$-EXC = R + I \text{ où } I = EXC - R$$

Avec :

I : Infiltration efficace moyenne annuelle (mm).

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

ETR : Évapotranspiration réelle annuelle (mm).

R : Ruissellement annuel (mm).

Station	Année	Précipitation (mm)	ETR (mm)	EXC (mm)	R (mm)	I (mm)
<i>Cheria</i>	2000	306.80	292.40	14.40	14.37	8.50

Tableau 33: Tableau récapitulatif des paramètres du bilan

Interprétation des bilans hydriques de l'année 2000

La RFU commence à se reconstituer à partir du mois décembre jusqu'au mois de mars. Pour les mois de février et Mars la RFU atteint la saturation (25 mm) et pour les mois restant elle reste nulle.

-Pour l'excédent, les mois de février et mars enregistrent des valeurs variant de 9.20 et 5.2mm.

L'écoulement souterrain atteint une valeur maximale de 6.65 mm au mois de Mars.

Hydroclimatologie

MOIS	Sept	Oct	Nouv	Déc	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	ANNEE
P	33.90	34.20	25.90	18.80	24.40	20.50	31.60	18.60	34.20	30.90	10.90	22.90	306.80
ETP_c	101.00	56.20	26.00	10.80	8.00	11.80	26.40	48.10	83.10	127.10	164.40	150.00	812.90
ETR	33.90	34.20	25.90	10.80	8.00	11.80	26.40	42.50	34.20	30.90	10.90	22.90	292.40
RFU	0.00	0.00	0.00	8.00	24.40	25.0	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	90.30
P-ETP	-67.10	-22.0	-0.10	8.00	16.40	8.70	5.20	-30.6	-48.9	-96.20	-149.5	-122.1	-498.20
EXC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.20	5.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.40
DEF	67.10	22.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	5.60	48.90	96.20	158.50	122.10	520.5
ECOUL	0.10	0.05	0.025	0.012	0.006	4.05	6.65	3.32	1.66	0.80	0.40	0.20	17.27

Tableau 34: Bilan hydrique selon la méthode de C. W. Thornthwaite pour l'année 2000

F. Conclusion :

L'étude hydro climatique est importante dans l'objectif de notre travail, en raison de la relation directe qui existe entre les paramètres climatiques et le mode d'alimentation des de la nappe aquifère.

Nous avons mis en relief la variabilité des facteurs climatiques tels que les précipitations et les températures, sur une période relativement acceptable (24 ans), ce qui nous a donné les valeurs suivantes :

- la moyenne des précipitations, pour la période d'étude est de 268,87 mm.
- la moyenne température pour la période d'étude est de 16,24 °C.
- Le bilan est déficitaire.

Chapitre IV
Hydrogéologie et
Géophysique

1. Région de El Ma Lbioud :

A. Géométrie de l'aquifère :

a. Introduction :

La prospection géophysique par la méthode électrique dans la plaine d'El-Malabioud, a été réalisée la société Transakta-Géometal en 1970, au cours de laquelle ils ont entrepris 315 mesures de sondage électrique en $AB = 2\ 000m$, pour un rayon d'investigation de $700m$, et 120 mesures de sondage électrique en $AB = 6000m$.

Sur la base des résultats 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 :

Alluvions, et formations quaternaires : 20 à $150\ \Omega m$.

- Argiles : 2 à $15\ \Omega m$.
- Argiles sableuses : 20 à $60\ \Omega m$.
- Sables et graviers : 50 à $250\ \Omega m$.
- Grès ou calcaires : plus de $200\ \Omega m$.

b. Profils géo-électriques réalisés:

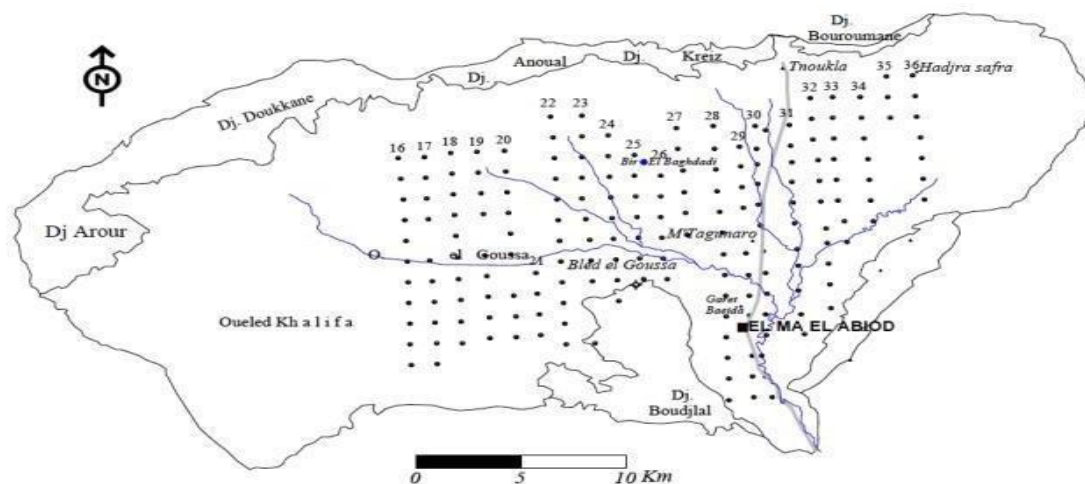


Figure 27: Carte de position des sondages électriques (in ROUABHIA Aek 2006)

- **Coupe transversale I (Nord-Sud) :**

Traversée par les forages M7, M5, M4, M15 la coupe est représentée par quatre horizons pratiquement homogènes, de résistivités variables, sauf le dernier horizon. De par sa faible résistivité (3 à 7Ωm), il constitue un substratum conducteur, au contraire des horizons supérieurs qui sont résistants.

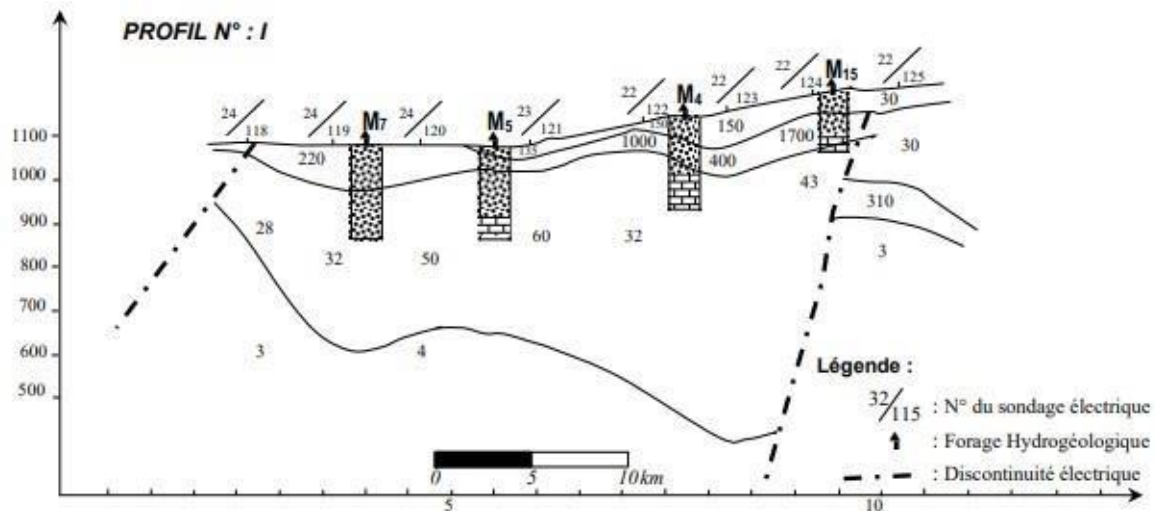


Figure 28: Coupe géo-électrique transversale I. passant par les forages M7, M5, M4, et M15.

- ❖ **Le premier horizon** d'une puissance maximale de 85m n'est pas continu au long du profil. Sa résistivité varie de 90Ωm à 150Ωm. Cette variation s'explique par l'hétérogénéité dans la composante de la couche géologique. La lecture des logs stratigraphiques fait ressortir la variation de ces différents faciès géologiques, où on a une alternance de couches argileuses, de sables gros à fins avec graviers et argiles sableuses. La variation des épaisseurs de ces couches fait augmenter ou diminuer la résistivité de cet horizon, ce qui explique les résultats enregistrés par la prospection électrique.
- ❖ **Le deuxième horizon**, continu le long du profil, est représenté par des résistivités allant de 220Ωm pour atteindre 1700Ωm, son épaisseur varie de 35m à 120m. La corrélation stratigraphique des forages avec les résistivités obtenues, exprime bien les résultats enregistrés. La formation rencontrée dans ce cas précis est représentée par des grès consolidés.
- ❖ **Troisième horizon** résistant, une diminution de la résistivité est observée, due à la variation lithologique des couches. En effet, on note la présence de deux formations géologiques distinctes ; il s'agit des argiles sableuses du Miocène et des calcaires marneux du Maestrichtien. Les résistivités obtenues corrélées à la stratigraphie des forages sont analogues, le tableau suivant schématise cette similitude :

HYDROGEOLOGIE ET GEOPHYSICS

M4	0 – 87m	argiles et argiles sableuses	0 – 50 m : $\square = 150 \Omega m$
	87 – 150 m	argileux avec passées argileuses	50 – 100 m : $\square = 400 \Omega m$
	150 – 164 m	sables moyen	>100 m : $\square = 32 \Omega m$

Forage	Profondeur	Lithologie	Résistivité
M5	0 – 29 m	alternance d'argile et de grès sables	0 – 25 m : $\square = 135 \Omega m$
	29 – 61 m	argileux et grès alternance d'argile	25 – 65 m : $\square = 330 \Omega m$
	51 – 156 m	et de sable	> 65 m : $\square = 60 \Omega m$

Tableau 35: Lithologie et résistivités des forages M4 et M5 (source ANRH)

- **Coupe transversale II. (Nord-Sud) :**

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

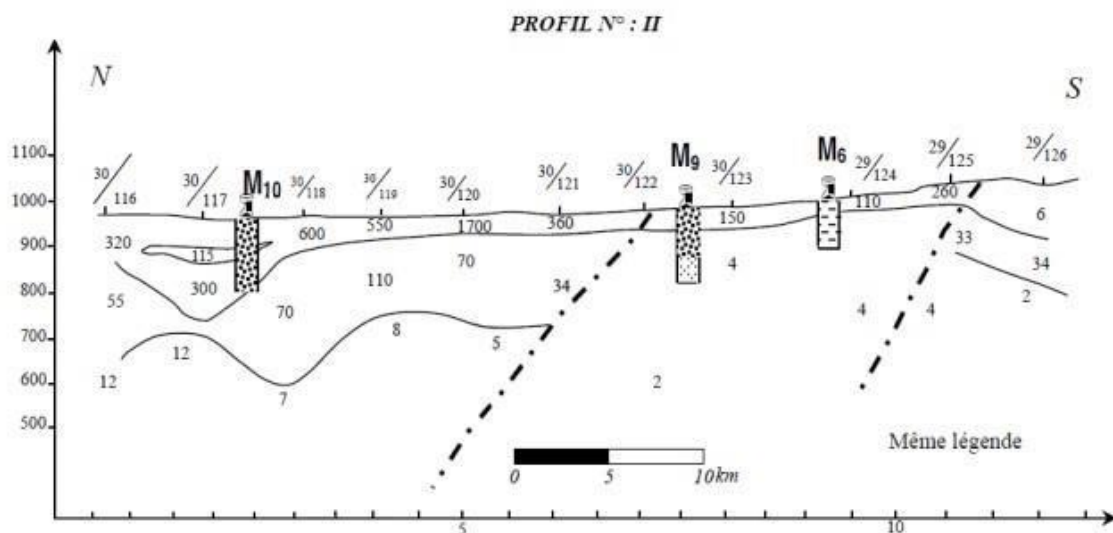


Figure 29: Profil géo-électrique transversal (N/S) N° II traversant les forages ; M10, M9, et M6.

- ❖ **Le premier horizon** est composé par une formation résistante dont la résistivité varie de 110 à 600 Ωm avec une épaisseur assez régulière sur tout le long du profil, égale à 85m. Cependant, au niveau du flanc Nord, le profil a tendance à se transformer en une structure bombée (allure synclinale) avec une épaisseur de 175m.
- ❖ **Le deuxième horizon**, résistant, est continu sur tout le long du profil. Il disparaît en plein milieu de la zone étudiée et sur son flanc sud. Il est remplacé par un horizon conducteur, dont les résistivités vont de 50 à 110 Ωm et une épaisseur de 200m.

HYDROGEOLOGIE ET GEOPHYSICS

- ❖ **Le troisième horizon**, conducteur, constitue le mur de ces formations géologiques. Il est 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	Lithologie	Résistivité
M6	0 – 16m : gravier, calcaire argileux 16- 20m : argile et graviers	0 – 20m : R= 110Ωm >20m : R= 160Ωm
M9	0 – 5m : Argiles 05 – 45m : Argile, sables argileux	00-55m : R= 140Ωm >55m :R= 60Ωm
M10	0 0 – 152m : Grès avec variation de faciès dépendant de la grosseur des graviers et une faible présence d'argiles.	00-150m : R= 140Ωm 150 - 350m : :R= 70Ωm

Tableau 36:Lithologie et résistivités des forages M6, M9 et M10 (source ANRH)

- **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 N°16 .

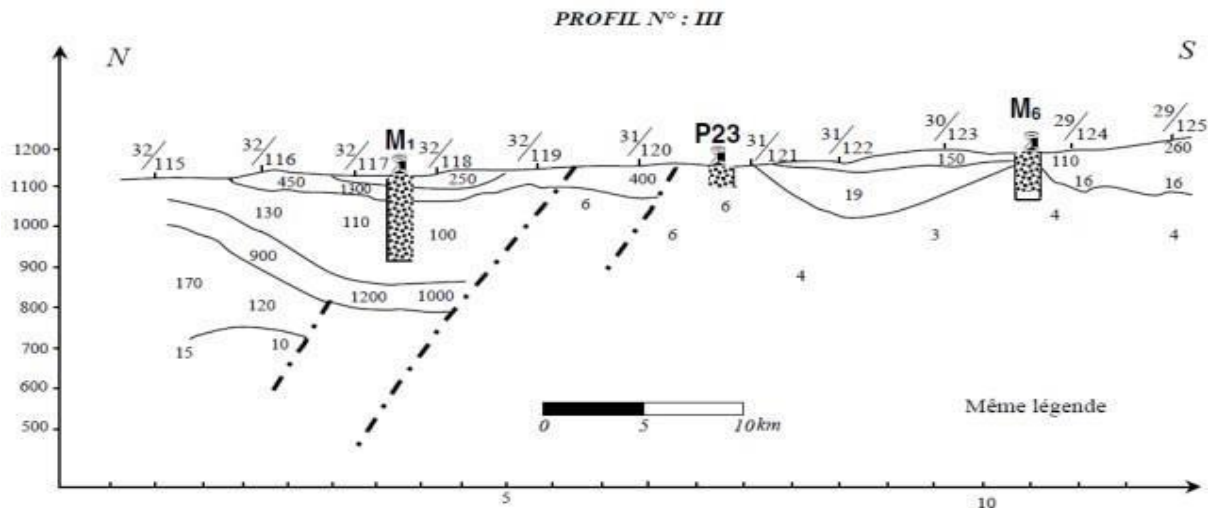


Figure 30:Profil géo-électrique transversal (N/S) N° III traversant les forages ; M1, M6 et le puits P23. (In Magister O. Guefaifia 1996)

HYDROGEOLOGIE ET GEOPHYSICS

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

Tableau 37: Lithologie et résistivités des forages M1, P23 et M6 (source ANRH)

- **Coupe transversale IV (sud-ouest - nord-est) :**

Quatre forages (M15, M2, M13, M10) traversent le profil, qui apparaît composé de trois horizons bien distincts, deux parmi eux sont résistants et l'autre bien évidemment conducteur (Fig. N°31).

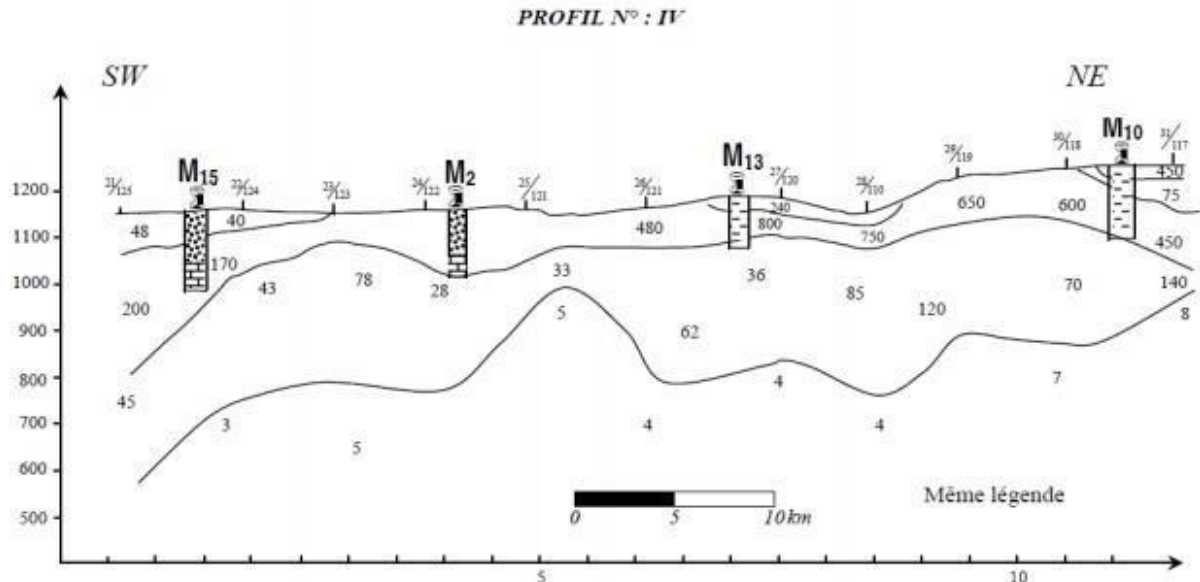


Figure 31: Profil géo-électrique (SW/NE) N° IV traversant les forages M15, M2, M13 et M10. (In Rouabhia et Guefaïfa 1996)

- ❖ **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 $650\Omega\text{m}$, au centre, et deviennent hétérogènes au flanc nord sur une plage de 75 à $1500\Omega\text{m}$.

HYDROGEOLOGIE ET GEOPHYSICS

- ❖ **Le deuxième horizon** : Il est également résistant, est traversé par un seul forage (M13). Sa résistivité oscillant de 28Ωm à 120Ωm, 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.
- ❖ **Le troisième horizon** : Il se comporte comme substratum, puisque les valeurs de résistivité qui y sont enregistrées sont variées de 3 et 10Ω.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 MALBIOD 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.

Forage	Profondeur	Lithologie	Résistivité
M13	0 – 30 m	sables fins et moyens grès argile	0 – 30m : □ = 240 Ωm
	30 – 70 m	sableuse marnes grises	30 – 70m : □ = 800 Ωm
	70 – 88 m		70
	88 – 100 m		– 270m : □ = 36 Ωm >270m : □ = 40 Ωm
M2	0 – 77 m	Sable quartzeux avec parfois des passages Argileux marnocalcaires et calcaire-marneux.	0 – 120m : □ = 200 Ωm
	77,5 – 110 m		
M10	0 – 152 m	Grès avec une variation de faciès, qui dépend de la grosseur des graviers, et faible présence d'argile	0 – 30m : □ = 400 Ωm 30 – 110m : □ = 75 Ωm 110 – 260m : □ = 450 Ωm
M15	0 – 16 m	argiles avec graviers marnes bariolées sable gros à moyen marnes verdâtres sables grossiers calcaires blancs friables avec parfois des passées marneuses	0 – 70m : □ = 90 Ωm
	16 – 25 m		
	25 – 48 m		> 90m : □ = 200 Ωm
	48 – 55 m		
	55 – 70 m		
	70 – 142 m		

Tableau 38: Lithologie et résistivités des forages M12, M13 M2, M10 et M15 (Source ANRH)

- **Profil longitudinal V (Sud-ouest Nord-est) :**

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 $1300\Omega\text{m}$ et $H = 60$ à 150m .
- ❖ **Le deuxième horizon** : $R = 50$ à $150\Omega\text{m}$ et $H = 250$ à 450m .
- ❖ **Le troisième horizon** : $R = 3$ à $10\Omega\text{m}$, l'épaisseur est indéterminée.

La représentation en courbes isopaches des trois horizons aquifères précédemment définis; les sables ($50\Omega\text{m} \leq \rho \leq 250\Omega\text{m}$), les grès aussi ($\rho > 250\Omega\text{m}$) ainsi que les argiles sableuses ($20\Omega\text{m} \leq \rho \leq 50\Omega\text{m}$), pour lesquels, épaisseur et coordonnées, ont pu être déduites dans les divers sondages électriques.

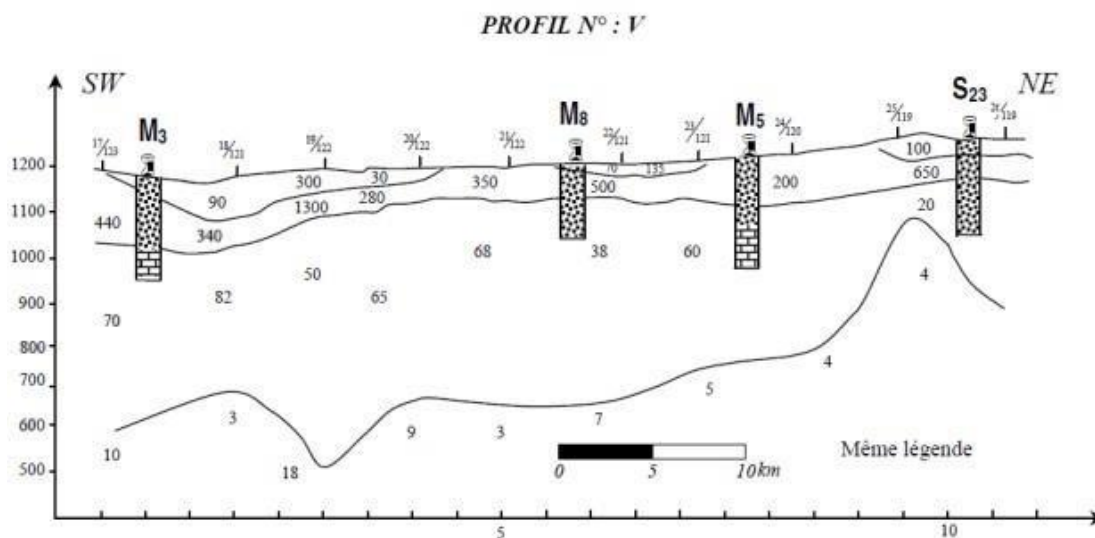


Figure 32: Profil géo-électrique (SW/NE) N°V traversant les forages M3, M8, M5 et le S23..

Commentaire des résultats :

À travers ce qu'on vient d'avancer plus haut, via l'étude corrélatrice de la géologie, des mesures de diagraphie avec les données de prospection géophysique, on a pu constater une analogie presque parfaite des données ainsi obtenues par différents moyens d'étude et d'investigation.

- La quasi-totalité des profils géo-électriques recourent 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.

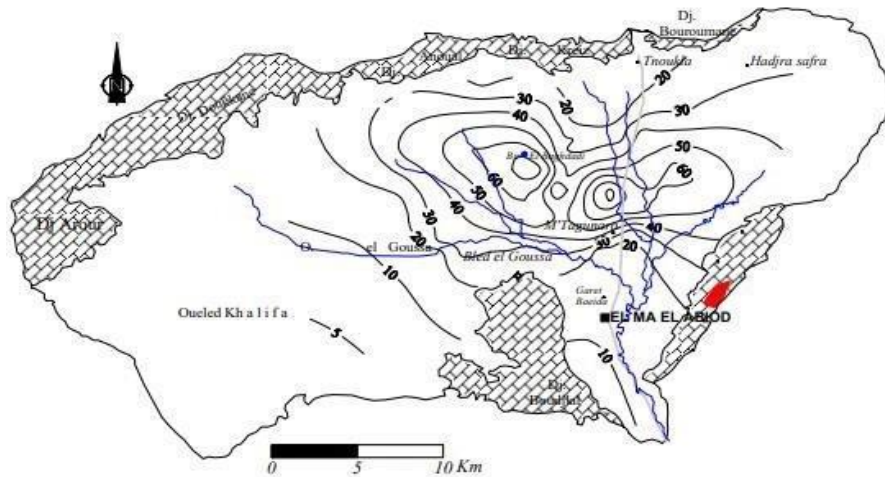


Figure 34: Carte d'égale épaisseur des Grès -In ROUBHIA 2006-

- **Carte d'égale 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.

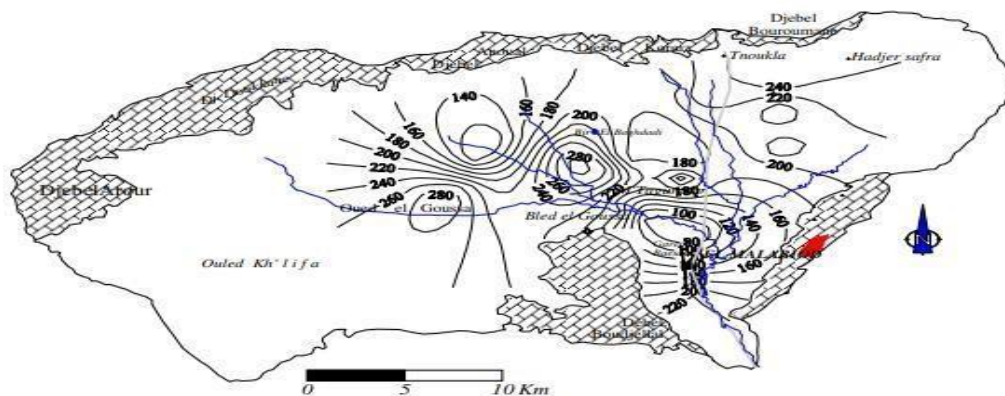


Figure 35: Carte d'égale épaisseur des Argiles sableuses -In ROUBHIA 2006-

B. Conclusion :

En somme, à travers l'étude corrélative de la prospection électrique avec la géologie, on constate une analogie des résultats enregistrés. Les horizons géo-électriques recourent clairement les formations lithologiques rencontrées par les forages. 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.

L'interprétation révèle la présence de trois nappes aquifères superposées :

- Une première formée de sables à grains fins et moyens.

- Une deuxième formée de grès.
- La troisième formée d'argiles sableuses.

2. Région de Boukhadra :

Le synclinal de L'haoudessrhir constitue une nappe aquifère dont les réserves restent limitées. Seules les sources de Ain malga et Ain chegaga au pied du synclinal montre des exutoires à partir des calcaires turoniens.

Le cœur du synclinal a été exploité durant les années 1970 par le forage BK1. Récemment le flan SE de l'anticlinal de Boukhadra a fait l'objet d'une reconnaissance par forage pour l'alimentation de la commune de Boukhadra avec un débit de 20 l/s.

3. Région de Tébessa :

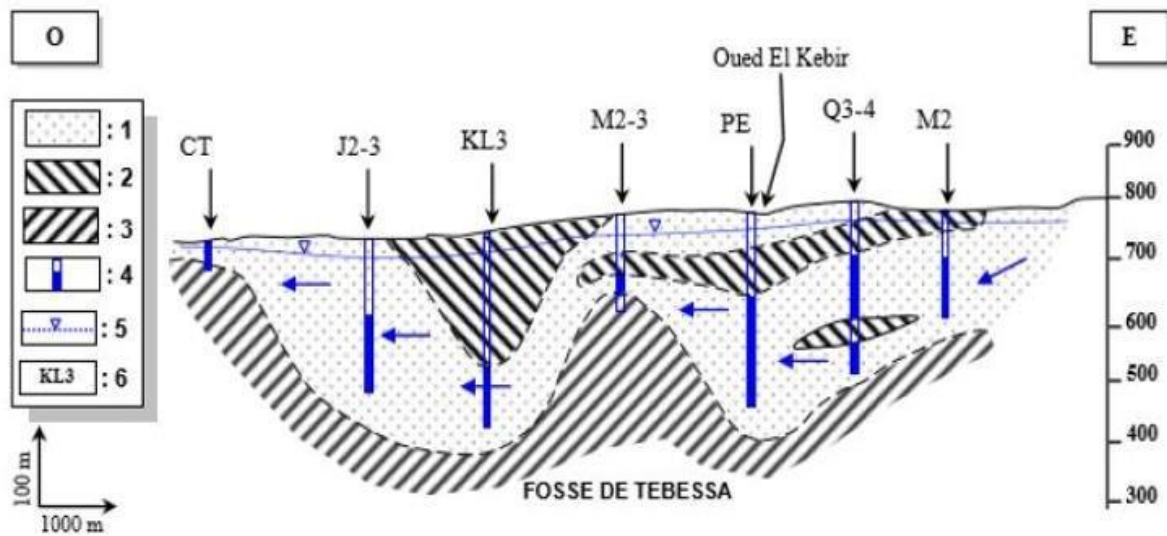
H. HYDROGEOLOGIE

A. Introduction :

L'hydrogéologie constitue un outil très important pour la connaissance des éléments permettant la définition des caractéristiques d'une nappe ; Sur la base des cartes et des coupes géologiques combinés avec les colonnes stratigraphiques des forages réalisés à travers la région, leurs profondeurs, l'altitude, et la mesure des niveaux piézométriques, des coupes hydrogéologiques et des cartes piézométriques ont été établis afin de comprendre le mécanisme de circulation de l'eau souterraine dans les différents systèmes aquifères et déterminer le sens de l'écoulement des eaux et ainsi définir les relations existantes entre les différents systèmes. Nous entendons par le bassin d'effondrement de Tébessa - Morsott la région qui s'étend de Bekkaria au sud est à Morsott au Nord- Ouest.

B. Description générale :

Le système aquifère de la plaine de Tébessa est formé essentiellement par un manteau alluvial d'âge Quaternaire ; composé de cailloutis calcaires d'une épaisseur qui varie entre 10 et 400 m. Les calcaires du Turoniens, Maestrichtiens et du Campaniens constituant les reliefs en bordures Nord Est et Sud de la plaine, forment également d'importants aquifères.



1 : zone perméable (marno calcaire, cailloutis calcaires, grès et gravier). 2 : zone imperméable (argiles et marnes).
 3 : substratum marneux. 4 : partie crépinée du sondage. 5 : niveau piézométrique. 6 : nom du forage

Figure 36: Coupe hydrogéologique à travers la plaine de la Merdja.

C. Conditions aux limites :

La figure 36 représente une synthèse des travaux antérieurs, qui représente les conditions aux limites caractérisant le système aquifère de la zone objet de la présente étude. Le sens d'écoulement de l'eau souterraine suit celui d'Oued el-Kébir qui joue le rôle d'axe de drainage de la nappe superficielle sur un axe Sud-est Nord-Ouest, l'aquifère est caractérisée par une limite à flux entrant à l'Est, au Nord et au Sud-est. Une limite à flux sortant est située à l'Ouest. Au sud, la limite est à flux entrant qui constitue la limite la plus importante en matière de recharge de la nappe, car dans cette partie l'aquifère est en contact direct avec les formations carbonatées qui représente aussi un autre système aquifère voisin.

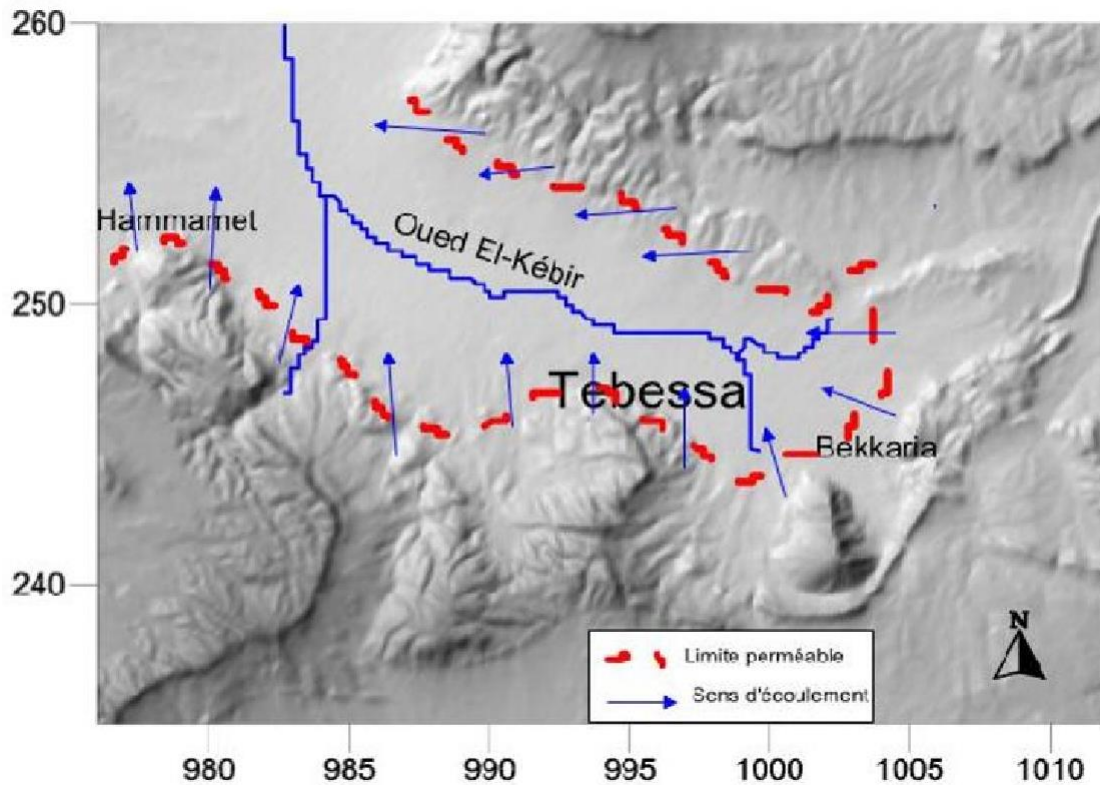


Figure 37: Carte des conditions aux limites de la zone d'étude (Hamili I2020).

D. La piézométrie :

La piézométrie est la mesure de profondeur de la surface de la nappe d'eau souterraine. Ce niveau est mesuré à l'aide d'une sonde électrique. 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.

a. Inventaire des points d'eau :

Elle sera basée sur les relevés effectués sur les 36 puits domestiques figure 37. Les mesures ont été réalisées une campagne au cours du mois de mars 2020. Les points d'eau échantillonnés pour l'établissement des cartes piézométriques, se répartissent comme sur la carte d'inventaire, ils ont été creusés selon les moyens disponibles et qui généralement ne disposent d'aucunes protections contre les eaux de surface.

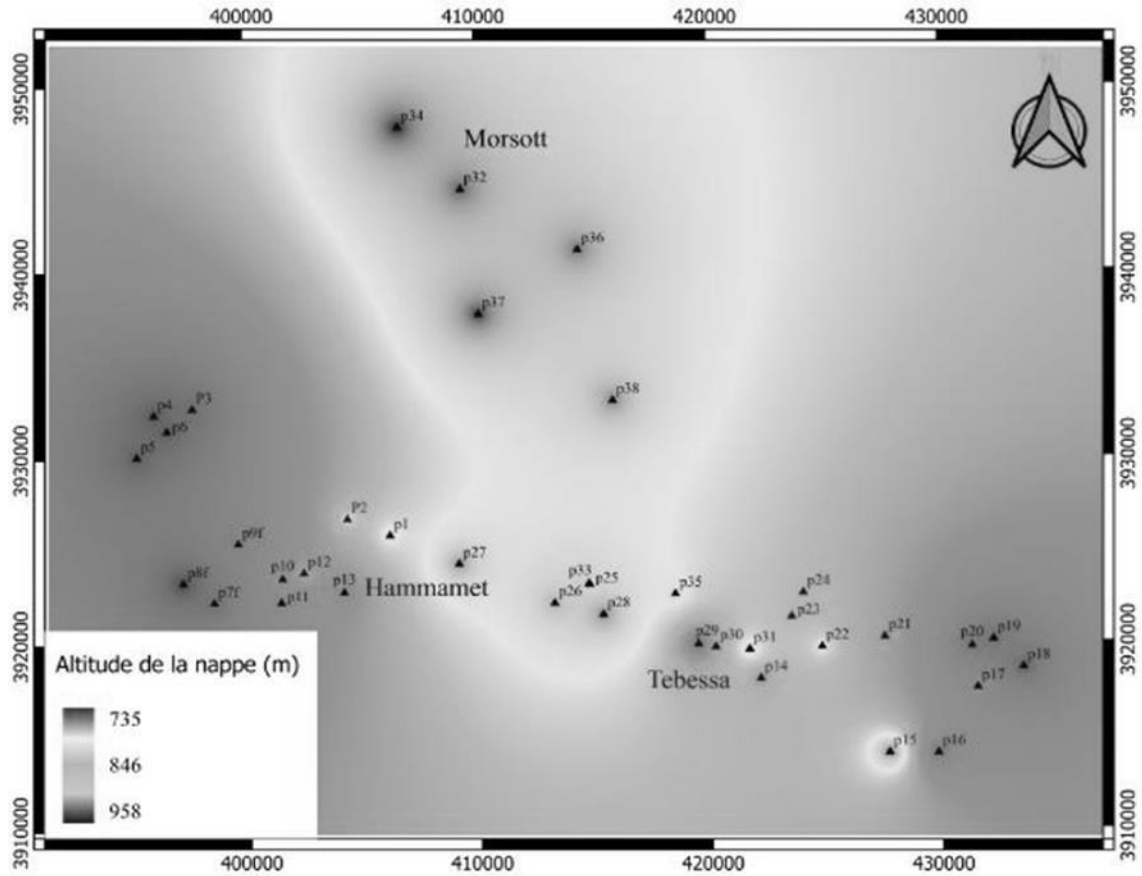


Figure 38: la carte d'inventaire des puits sur la plaine (Tebessa-Morsot)

b. Etablissement d'une carte piézométrique :

L'observation de la carte (Figure 39) montre une surface piézométrique irrégulière ; la morphologie des courbes indique un écoulement de direction sud-est nord-ouest.

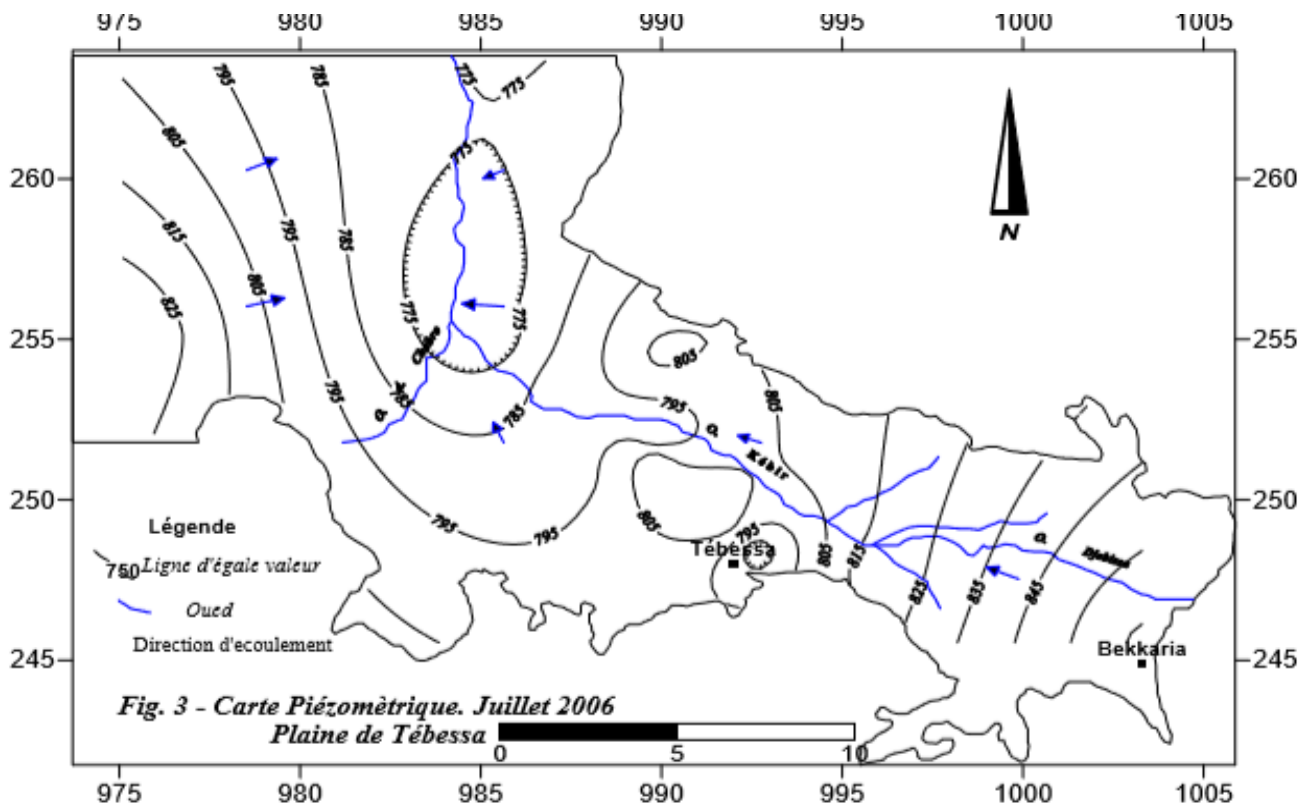


Figure 39: Carte piézométrique la nappe de Tébessa (Juillet 2009) L. Djabri et al. / Larhyss Journal, 22 (2015).

c. Interprétation de la carte piézométrique :

La mesure de niveaux piézométrique de 37 puits au niveau de La plaine de Tébessa la majorité des puits sont des ouvrages imparfaits, répartis irrégulièrement sur toute la plaine et qui servent en grande partie à l'irrigation et aux besoins domestiques ; la profondeur de l'eau dans les puits est de 1.6 à 49.73m.

La carte piézométrique (figure 38) nous permet de visualiser un écoulement général du Sud Sud-est vers Ain chabro et puis vers le Nord (Morsott) ce qui confirme le sens d'écoulement connu dans la région. Un écoulement rapide remarqué dans la partie Sud-Sud-est avec un gradient hydraulique estimer à 0.03 et dans la partie Sud-est un écoulement d'une direction vers le Nord qui peut être expliqué par une alimentation latérale par les calcaires de Maastrichtien de Hammamet avec un gradient hydraulique moins important.

E. L'évolution des niveaux piézométriques dans le temps et dans l'espace :

Pour mieux visualiser les variations de niveau des souterraines de la plaine dans l'espace dans le temps on procède à l'établissement de courbe d'évolution partir des différentes

niveaux piézométriques des années (2007 jusqu'a 2020) .

La réalisation de la courbe se fait Selon un repère bien précisé (x-y) des cartes piézométriques, suivant une ligne de profil S-S-Est vers le N-N-Ouest.

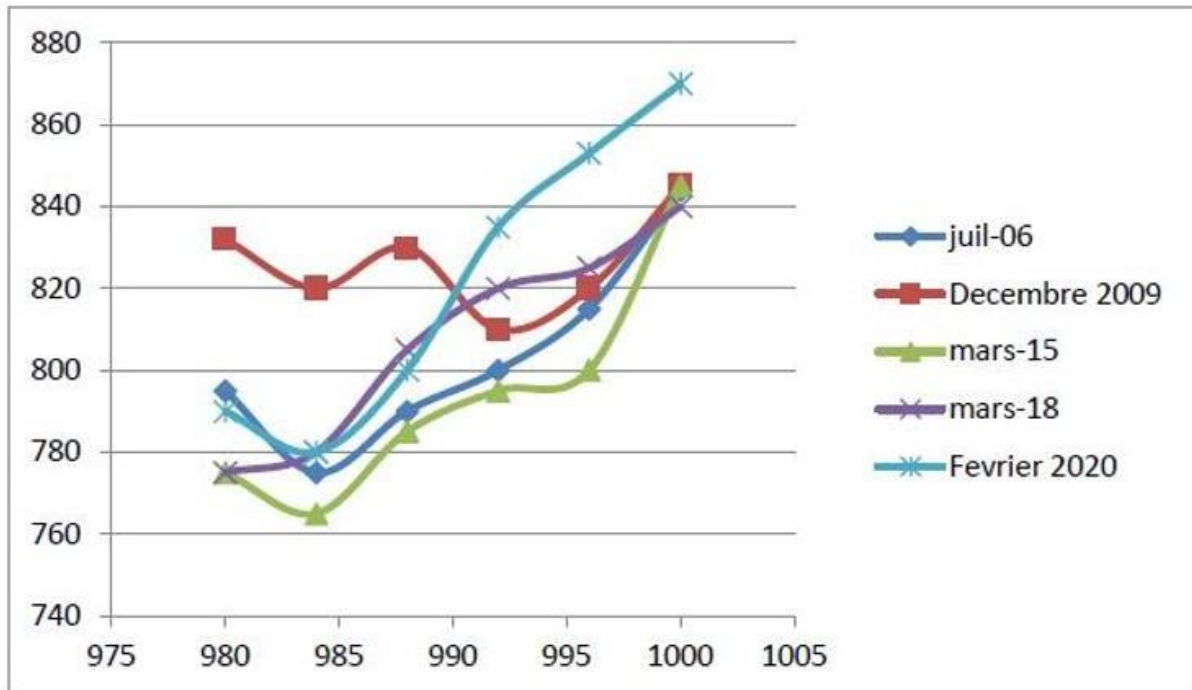


Figure 40: la courbe d'évolution à l'échelle piézométrique spatiale et temporelle.

Le manque de la réalimentation durant les périodes (2006-2015/2018-2020) a causé une fluctuation importante de la courbe d'évolution dans la direction nord-ouest, la nappe superficielle est la plus touchée jusqu'à l'épuisement et cela peut être traduit la surexploitation et aussi la température élevée.

L'année 2009, le niveau d'eau est très important (830m) ce qui indique que c'est une année excédentaire (Le fait le plus marquant sur cet état piézométrique est la présence d'un dôme au niveau de l'oued el kebir, cette protubérance de la surface piézométrique est due à une alimentation direct et importante par l'eau de l'oued à travers les puis domestique en cet endroit) .

Sur une direction Sud-est le niveau de la nappe profond n'est pas encore touché 840m durant (2007-2009-2015-2018) due à l'alimentation directe par les bordures.

En Février 2020 l'évolution de l'état piézométrique de la nappe profond est très importante Due à la recharge par la précipitation.

F. Estimation des réserves :

Les réserves r présentent le volume d'eau gravifique ou libérable emmagasine dans un horizon aquifère. Il est possible de distinguer les réserves régulatrices, les réserves géologiques et les réserves potentielles. Leur calcul nécessite la connaissance des structures hydrogéologiques et la détermination de la porosité efficace ou du coefficient d'emmagasinement. L'utilisation des courbes de tarissement permet des évaluations rapides

Réserves régulatrices: Elles correspondent au volume d'eau gravifique stocké dans l'horizon aquifère délimité par les surfaces piézométriques maximale et minimale, dont l'amplitude

détermine la puissance Dh .

a. Calcul de réserves potentielles :

Réserves potentielles: Elles représentent la totalité du volume d'eau gravifique stocké dans l'horizon aquifère, du substratum à la surface piézométrique maximale. Elles sont donc égales à la somme des réserves régulatrices et géologiques (fig.40).

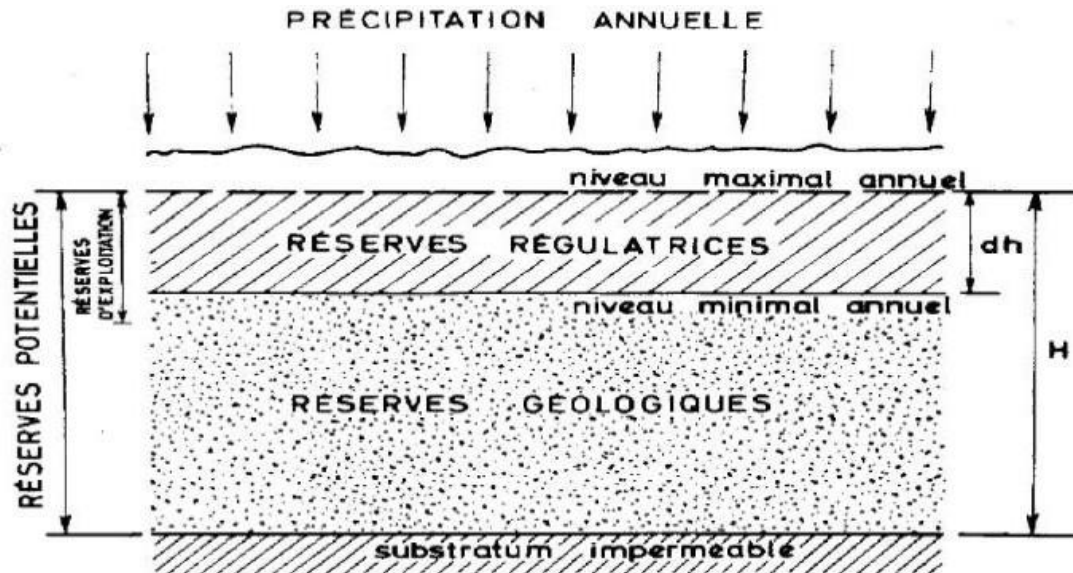


Figure 41: Détermination des réserves en nappe libre sur l'année hydrologique. Dh , amplitude de la fluctuation de la surface piézométrique au cours de 1'année hydrologique.

b. Détermination de la structure hydrogéologique :

Il s'agit de déterminer le volume de terrain aquifère compris entre deux surfaces piézométrique maximale et minimale. Les mesures de niveaux, effectuées dans puits, sondages et piézomètres, but essentiel de l'inventaire des ressources hydrauliques, permettent l'établissement de cartes en courbes iso pièzes de chaque surface libre. Leur interprétation permet également de dresser des cartes isopâques. Le calcul se complique du fait que les déformations de la surface piézométrique ne sont pas uniformes en tous les points. Il en résulte des variations de superficie et d'amplitude de la fluctuation Dh .

Dans le cas d'une nappe régulière, de plaine alluviale par exemple, nous pouvons retenir une surface moyenne et un Dh_{moyen} . Mais en général, il faut calculer la surface piézométrique par planimétries sur les cartes en courbes iso pièzes selon des méthodes identiques celles utilisées pour les études topographiques.

L'amplitude moyenne Dh est également obtenue par les cartes en courbes isopièzes et les profils piézométriques.

c. Détermination de la porosité efficace :

La porosité efficace, m_e , est le rapport du volume d'eau gravifique au volume total (solide et eau). Pour les nappes libres, sa valeur est voisine de celle du coefficient d'emménagement (S). La porosité efficace peut être déterminée en laboratoire sur échantillons ou par des essais sur le terrain. Comme il est nécessaire d'obtenir, non pas des données ponctuelles, mais une Porosité efficace moyenne de l'horizon aquifère, les essais sur les terrains donnent des résultats plus utilisables.

Les déterminations sur le terrain sont effectuées essentiellement par les essais de débits par pompage.

d. Calcule de la réserve :

La puissance de l'horizon aquifère est égale l'amplitude moyenne D_h des fluctuations de la surface piézométrique au cours de l'année hydrologique considérée. Le volume unitaire de la réserve DR , la porosité efficace moyenne étant, sera donc:

$$DR = D_h / m_e$$

Avec :

DR : le volume unitaire de la réserve

D_h : l'amplitude (hauteur) moyenne

m_e : porosité efficace moyenne

❖ **Calcule de la profondeur moyenne du substratum :**

- La profondeur minimale est de l'ordre de 30 m, signalées au niveau des sondages géo-électriques K-H, W-7 situés respectivement auprès de la bordure Nord-Centrale de la partie Nord- Est.

- La profondeur maximale est de l'ordre de 320 m, au niveau du sondage Géo-électrique P3-4 au près de la bordure Sud Centrale de la plaine.

La profondeur moyenne est : $30 + 320 = \implies 350 \quad 350/2 = 175\text{m}$

❖ **Calcule de la profondeur moyenne de la piézométrie :**

- La profondeur minimale est de l'ordre de 1.2 m . mesurée au niveau du puit n° p28.
- La profondeur maximale est de l'ordre de 69.7 m. mesurée au niveau du puit n° P8F.

La piézométrie moyenne est : $1.2 + 69.7 = 70.9 \implies 70.9/2 = 35.45 \text{ m}$

HYDROGEOLOGIE ET GEOPHYSICS

Par curvimètre et par planimétrie on a déterminé :

- Le périmètre (P) du sous bassin : $P = 123\text{Km}$.
- La surface (S) : $S = 288\text{Km}^2$.
- La surface (S) : $S = 288\,000\,000\text{ m}^2$.

❖ Le coefficient d'emmagasinement :

Définition : c'est le rapport du volume d'eau libérée (ou emmagasiner par unité de volume d'un aquifère pour une perte de charge hydraulique donnée, c'est-à-dire une baisse de pression, sans référence de temps.

Il est utilisé pour caractériser plus précisément le volume exploitable par un forage et se détermine lors de pompage d'essais.

Dans un aquifère libre telle que la plaine de Tébessa, sujet d'étude, l'eau est libérées par l'action des forces de gravité (drainage). Le coefficient d'emmagasinement est égal, en pratique, à la porosité efficace et sa signification indépendante du temps.

Les valeurs usuelles vont de 1% pour certains limons et jusqu'à 30 – 40 % pour les alluvions grossières.

D'après les études antérieures réalisés dans la région ont donnés les valeurs suivantes :

Sol	Valeurs usuelle du porosité efficace
limon	1 %
Alluvion grossier	30 %
Moyenne	$(30+1)/2 = 15.50 \% = 0.155$

1ER variant de calcul des réserves : pour les valeurs minimales

G. Carte de la variation du paramètre de transmissivités:

La carte des transmissivités montre une zone préférentielle située dans le secteur d'Ain Chabro, avec des valeurs atteignant ($5 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$). Ce secteur regroupe les forages d'exploitation les plus productifs avec des débits importants. Nous remarquons une bonne

HYDROGEOLOGIE ET GEOPHYSICS

concordance entre la carte des transmissivités et la carte des résistances transversales, mettant en exergue une zone transmissive à Ain Chabro et El Hammamet, à remplissage grossier et à perspectives hydrogéologiques prometteuses.

Les zones de Bekkaria et la zone intermédiaire entre Tébessa et Ain chabro se caractérisent par des valeurs de transmissivité faible à moyenne

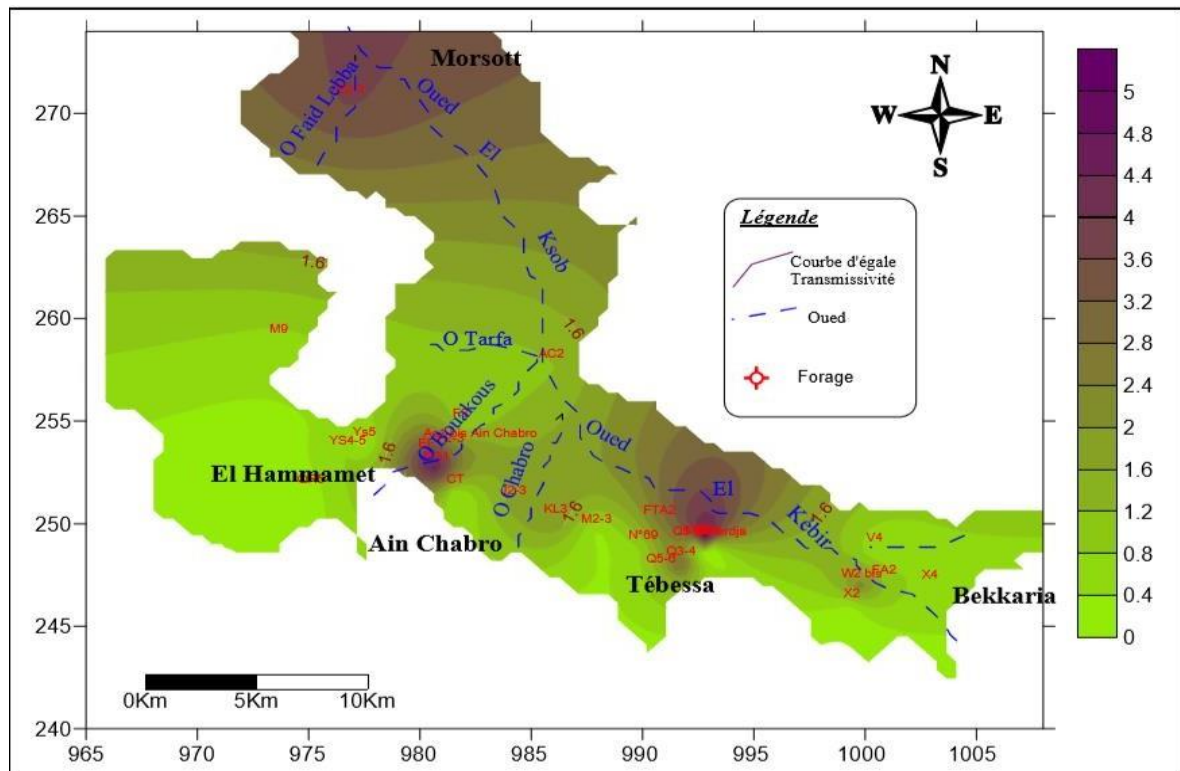


Figure 42: Valeurs des transmissivités $T(m^2/s)$ et perméabilités $K(m/s)$ moyennes - Méthode de (Theis, Jacob, Chow).

HYDROGEOLOGIE ET GEOPHYSICS

forages	TU BIS	Q3-4 BIS	T8	T9	P1	O3	O2-3	P3
formations	Calcaire	Calcaire	calcaire	Calcaire	Miocène	Miocène	Maestrichtien	Miocène
X (m)	992.500	991.730	992.409	988.798	988.834	988.523	988.424	988.953
Y(m)	246.250	248.035	245.696	246.613	247.257	247.670	247.115	247.739
Z(m)	940	857.5	984	901.4	874	860	867	863
Profondeur (m)	/	/	/	200	550	550	550	550
Débit Variable (m ³ /s)	/	/	/	10	40	40	20	40
Niveau dynamique (m)	92.96	40.38	104.71	12.95	/	/	/	/
Niveau statique (m)	82.70	29.00	98.35	120	107	114	124	112
Débit d'exploitation (m ³ /s)	30	30	15.64	5	30	30	20	30

Tableau 39: les résultats des essais de pompage de la station d'étude (hydraulique de Tébessa)

H. Conclusion :

L'aperçu hydrogéologique nous a montré que La direction des eaux souterraines de la région étudiée est en générale du SE vers le NW et le Nord.

Le drainage de la nappe superficielle s'effectue principalement par oued Elkebir et ses affluents. L'alimentation provenant des bordures calcaires situées dans la partie sud et Nord de la région contribue à ce drainage souterrain.

Les valeurs du paramètres hydrodynamique (transmissivité et perméabilité) sont élevés dans la zone de Tébessa et Ain Chabro.

GEOPHYSIQUE :

A. Introduction :

L'étude géophysique par prospection électrique de la plaine de Tébessa-MORSOTT a été réalisée par la compagnie générale de la géophysique (CGG en 1970). Durant cette étude il a été réalisé 242 sondage électrique avec une ligne AB = 2000 m, et 105 sondages avec une ligne AB = 6000 m.

-A la suite de cette étude des forages ont été entrepris, ces derniers s'adressent

Uniquement aux formations du remplissage quaternaire plus au moins perméable.

L'objectif de cette étude était de déterminer :

- Les lentilles à lithologie grossière dans le remplissage alluvionnaire, avec reconnaissance des zones à forte salure des eaux;
- La profondeur et la nature du sous-sol, en particulier la position du Trias;
- Les grands accidents de bordure qui accompagnent le fossé d'effondrement.

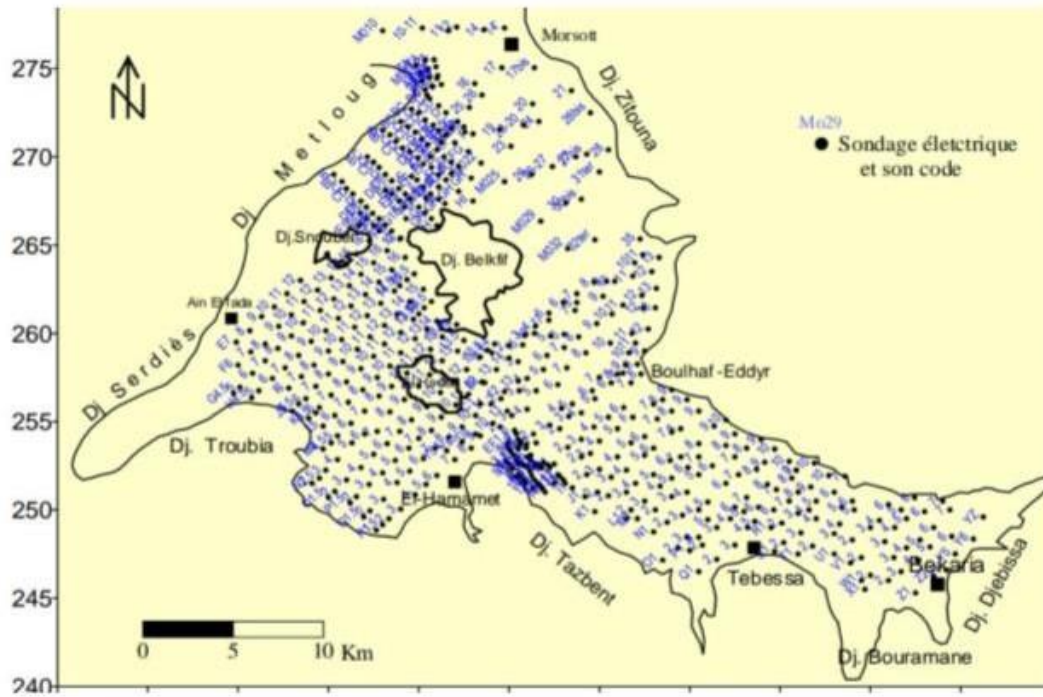


Figure 43: Carte de situation des sondages électriques

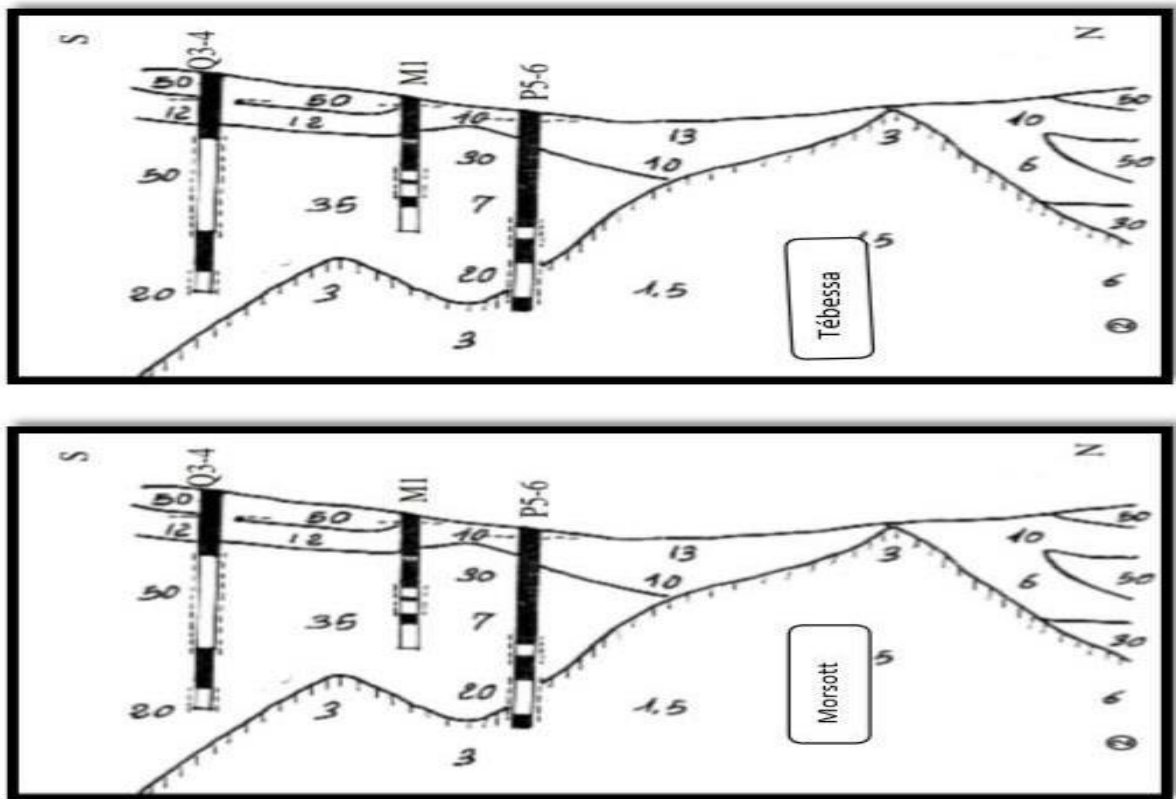


Figure 44: Profils des coupes électriques Tébessa-Morsott

B. Profils géo-électrique et leur interprétation :

a. Coupe transversale(SE-NE):

Sur la coupe géo électrique transversale établit sur le profil de la coupe hydrogéologique (Z-1 Bis – Békkaria X-4 – OgletR’baib) ; de direction SE-NE, on note l’existence de quatre horizons dont un résistant ; deux moyennement résistants et le dernier conducteur.

- ❖ **L’horizon résistant:** S’étend le long de la surface topographique, formé par une succession de lentilles résistantes d’une résistivités comprise entre 15 et 80 Ohm et une épaisseur qui varie de 10 m et plus, il est traversé par les forages Z1Bis, X-4,OG.

- ❖ **L’horizon supérieur de résistivité moyenne :** s’étend sur une partie de la coupe ; allongé un peu vers le centre , puissant de 40 à 80 m, et d’une résistivité comprise entre 10 et 30 Ohm.Cet horizon est traversé par les trois forages ; ou on note la présence d’une lentille résistante(80 Ohm). Aux environs du forage Z-1Bis avec une épaisseur de 15 à 25 m.

❖ **L'horizon inferieur de résistivité moyenne** : caractérisé par une épaisseur considérable par rapport aux autres horizons de 65 à 165 m, croissant tout en approchant vers le centre de l'horizon, et décroissant à l'extrémité de la coupe, avec une résistivité de 15 à 25 Ohm. Cet horizon est traversé par deux forages le Z-1 Bis et le X-4 où on note la présence d'une lentille résistante (40 m) au niveau du forage Z-1 Bis d'une épaisseur variant entre 10 et 65 m. Cet horizon peut présenter une nappe captive limitée par un substratum et l'horizon conducteur au toit.

Ces trois horizons sont favorables du point de vue hydrogéologique, leur résistivité est comprise entre 20 et 80 Ohm .

La nature du terrain est caractérisée par des graviers et des cailloutis.

- **L'horizon conducteur** : Il s'étend entre les formations de résistivité fortes et moyennes. Il est traversé par les Trois forages (U-4- Z-1Bis-OG). Sa puissance est de 40 à 75 m, cet horizon est marqué par une résistivité Inférieur à 10 Ohm.

▪ **LE SUBSTRATUM :**

Constitué par une formation imperméable car sa résistivité est inférieure à 10 Ohm, formée par des marnes et des argiles.

Elle est importante dans la bordure sud au environs du forage Z-1 bis d'une Valeur maximale égale à 7000 Ohm.

Puis elle diminue graduellement vers le nord pour atteindre une valeur de 1300 Ohm au niveau du sondage électrique T- 6.

b. Coupe transversale centrale :

Sur la coupe géo électrique établit sur le profil de la coupe hydrogéologique (Q3-4, M1 ; P5-6), d'une direction Sud – Nord, on signale l'apparition de l'affleurement du substratum à la surface du sol au niveau du sondage électrique (N-8).

Cette coupe montre trois parties :

- **Partie 1:** on note l'existence de deux horizons, le premier est faiblement Résistant et le 2eme est résistant.

➤ **L'horizon faiblement résistant:** s'étend sur toute la partie de la Coupe parallèlement à la surface topographique limitée par le sondage électrique N-8 d'une épaisseur qui varie de 20 à 60 m et d'une résistivité comprise entre 10 et 13 Ohm. Il reflète une formation argileuse avec cailloutis calcaireux. Cet horizon est Traversé par les forages Q3-4, P5-6 ; M1 où on note l'apparition d'une lentille Résistante (50Ohm) aux environs des forages Q3-4 et M1 d'une épaisseur de 25 m.

HYDROGEOLOGIE ET GEOPHYSICS

➤ **Partie 2:** Il s'agit d'une épaisseur considérable de 50 à 300 m, composé par des graviers cailloutis puisque la résistivité est de 20 à 50 Ohm. Cet horizon est traversé par les trois forages, où on note l'existence d'une lentille conductrice (7 Ohm) Entre les deux forages (M1) et (P5-6) on note une épaisseur variant entre 10 et 50 m.

➤ **Partie 3:** formée essentiellement par un seul horizon d'une résistivité inférieure qui est conducteur, d'une résistivité inférieure à 10 Ohm et une épaisseur 10 à 175m. Au niveau de cet horizon il existe trois lentilles résistantes de 30 à 50 Ohm, et d'une épaisseur plus au moins égale (10 à 50m).

- Le substratum présente une résistivité inférieure à 10 Ohm formé par des Marnes et des argiles.
- Le changement de la résistivité transversale pour cette coupe est suivi.
- Elle très important au bordure Sud d'un maximum atteint dans le sondage Géo électrique Q-3 (12000).
- Elle très faible au centre de la plaine d'une valeur égal à 0 Ohm. □ Elle est moyennement importante à la bordure Nord d'une valeur égale à 6275 Ohm.

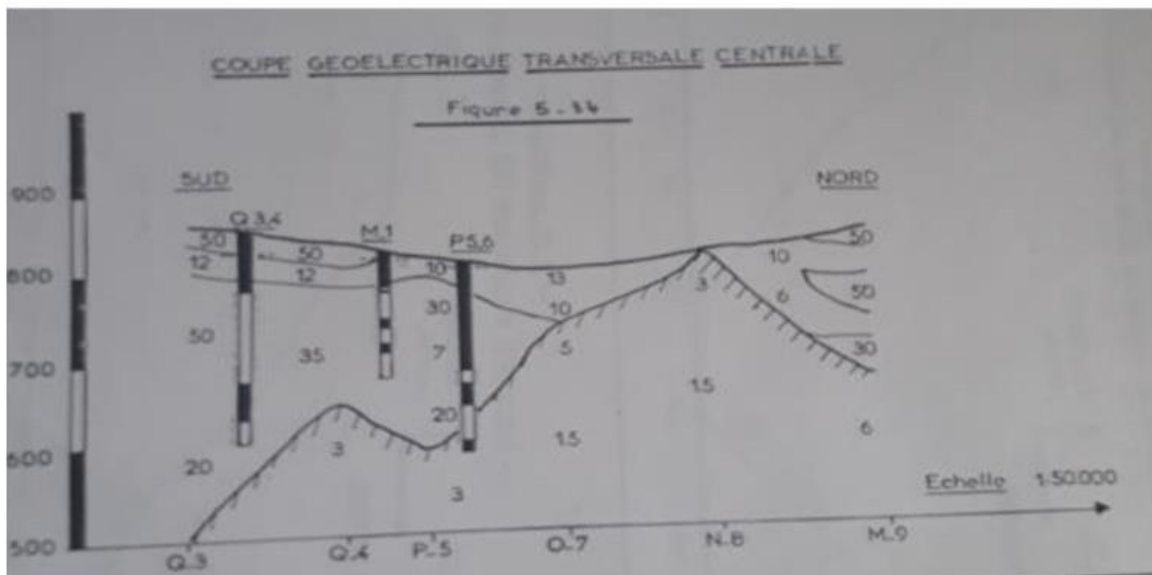


Figure 45: coupe géo électrique transversale centrale

c. Coupe transversale ouest SW - NW :

Sur la coupe géo électrique transversale établit sur le profil de la coupe hydrogéologique (FG-1 ; AC-1 ; AC2) d'une direction SW-NW, on note l'existence de trois horizons dont un

HYDROGEOLOGIE ET GEOPHYSICS

résistant, le second moyennement résistant et le dernier conducteur.

- **L'horizon résistant:** cet horizon est sous forme d'une lentille très résistante qui s'étend à la bordure NW où elle se limite et intercepte le forage AC-2 d'une résistivité comprise entre 100 et 200 Ohm et une épaisseur qui varie de 25 –125m. A l'intérieur de cette lentille il existe une deuxième lentille conductrice (80Ohm), d'une épaisseur comprise entre 10 et 40m.
- **L'horizon moyennement résistant :** cet horizon est allongé sur toute la coupe transverse par les trois forages (FG-1, AC-1, AC-2), sa puissance est de 40 à 225 m, et sa résistivité entre 10 et 50 Ohm. A l'intérieur de cet horizon, ils existent trois lentilles de différentes épaisseurs, deux sont résistantes entre 50 et 70 Ohm, et une épaisseur de 10 à 160 m ; la troisième lentille présente l'horizon conducteur.
- **L'horizon conducteur :** Comme on a cité au-dessus, c'est une lentille imposée dans un horizon moyennement résistant, d'une épaisseur de 10 à 150m et une résistivité très faible, formant une nappe imperméable composée par des marnes et des argiles. Elle est traversée par un seul forage (AC-1) où il y a la présence d'une seconde lentille moyennement résistante (20 Ohm) et une épaisseur égal à 50m.

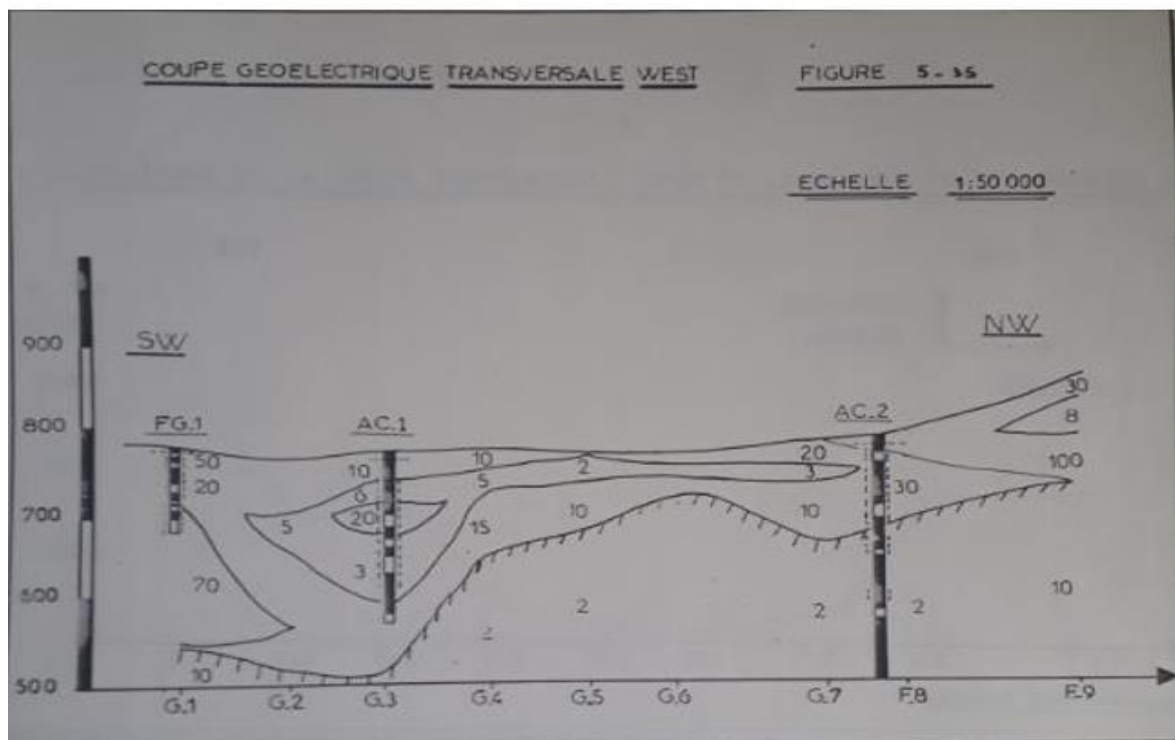


Figure 46: coupe géo électrique transversale WEST

LE SUBSTRATUM : Formé par des marnes et des argiles d'une résistivité inférieure à

10 Ohm.

La coupe transversale Ouest correspond au profil géo électrique(G), reflète la même allure de la coupe transversale centrale avec un maximum égal à 11000 Ohm au niveau du sondage électrique G-1 et un minimum au sondage électrique G-6 avec une valeur de 400 Ohm.

C. Les fossés d'effondrement de Tébessa- Morsott et hammamet:

Ils caractérisent la partie orientale de l'atlas saharien et sont orientés NW-SE à E-W. leur orientation est orthogonale par rapport à la direction de plissement .Ces fossés se suivent sur plusieurs kilomètres. Ils sont limités par des accidents majeurs ayant joués en failles normales. Cette structure est considérée comme résultant d'une phase tectonique d'intensive post-Miocène (Dubourdiou, 1956 ; David, 1956 ; Castany, 1951, Kazi-Tani, 1986). Ce dernier, donne naissance aussi aux bassins subsidient (Kowalski et Hmimed, 2000). Ces fossés sont comblés par de puissants dépôts du Plio-Quaternaire atteignant jusque 170 m dans le fossé de Tébessa-Morsott (Dubourdiou et Durozoy 1950)(Figure 46 et 47).

HYDROGEOLOGIE ET GEOPHYSICS

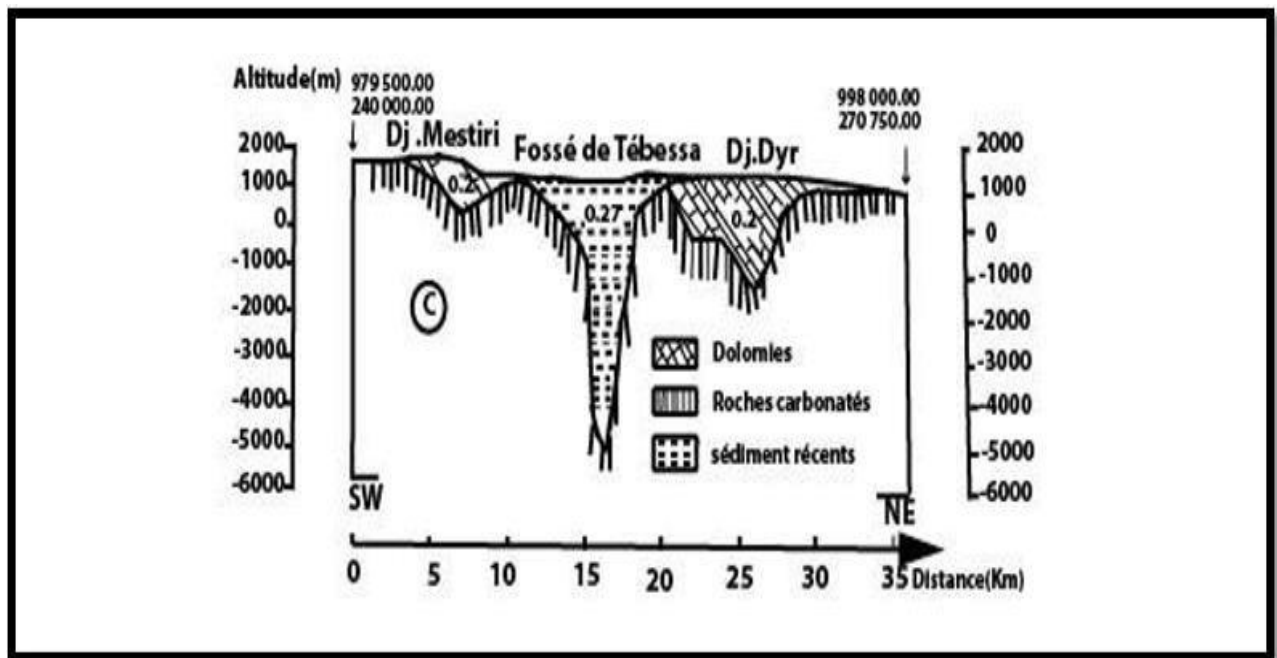
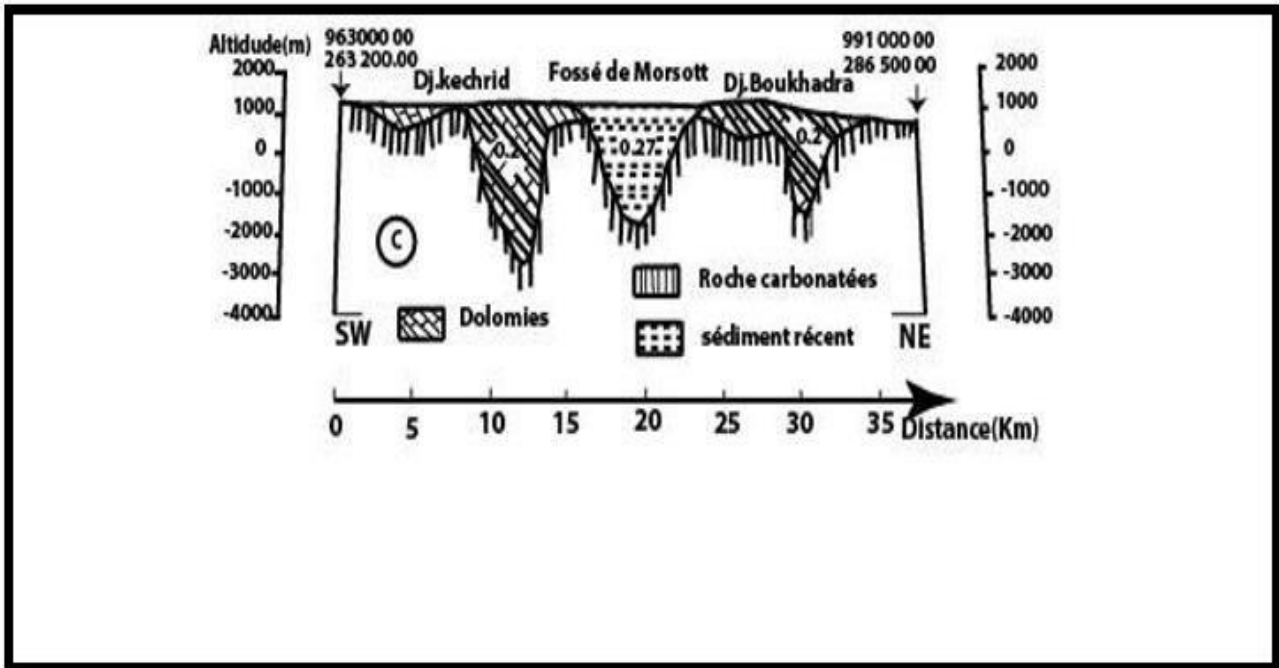


Figure 47: Coupe géo-électrique présentée le fossé d'effondrement de Morsott.

Figure 48: Coupe géo-électrique présentée le fossé d'effondrement de Tébessa.

D. Epaisseur du remplissage :

L'évolution et le dimensionnement du remplissage de la nappe en espace, que ce soit en longueur ou en profondeur sont mis en évidence au cours de l'étude géophysique par prospection électrique réalisée en 1970 par C.G.G et améliorée par Stroj Export Brague en

HYDROGEOLOGIE ET GEOPHYSICS

1978. Afin de mieux comprendre l'évolution des dimensions de la plaine d'effondrement de Tébessa-Morsott, nous avons combiné les données géophysiques et les logs stratigraphiques des forages.

Le recouvrement est constitué d'une part à sa base par un remplissage argileux très conducteur, au mois dans les fossés d'effondrement, d'autre part à sa partie supérieure, par des dépôts quaternaires sableux ou sablo-argileux et en bordure par des éboulis anciens et cône de déjection.

On constate sur la carte de l'épaisseur du remplissage entre Tébessa et Morsott les épaisseurs sont très importantes et varient de 150 à 450 m. On trouve également de fortes épaisseurs aux pieds de Dj. Tazbent, Dj. Zitouna et dans la plaine au niveau de Morsott. Il faut noter que ses zones de fortes épaisseurs sont localisées aux bordures et au sein des fosses d'effondrement de Tébessa, Bekkaria et Morsott et présentent généralement de fortes résistivités.

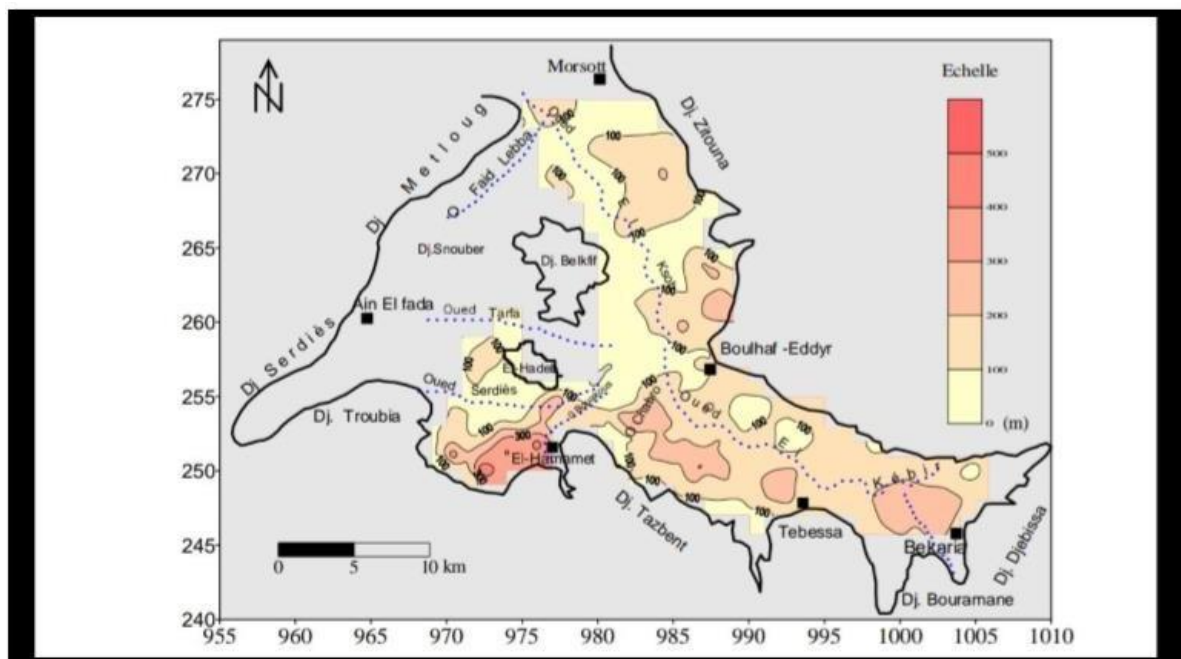


Figure 49: Carte d'épaisseur du remplissage alluvionnaire.

E. Description lithologique :

Le fossé a été comblé par une alternance sur plusieurs centaines de mètres de sédiments détritiques d'âge Mio-Plio-quaternaire. Les différentes phases d'érosion et de sédimentation qu'a connue la plaine ont influencé cette alternance.

HYDROGEOLOGIE ET GEOPHYSICS

Les forages profonds ont bien montré que les séries du Mio-Plio-quaternaire sont formées par d'alternance de sédiments perméables et aquifères (sables, graviers, cailloutis de calcaires, argiles et limons) plus au moins épais séparées par étanches.

Sur la plaine, les sédiments détritiques s'étendent de manière continue et présentent des variations des facies de bordures vers le centre traduisant un grano-classement latéral des sédiments. Ce grano-classement est confirmé par la variation latérale des résistivités apparentes, elles sont aussi accentuées par l'augmentation de la conductivité de l'eau.

- Au centre, des alluvions récentes composées par des argiles avec graviers fins, sont réparties sur l'axe de la plaine.
- Aux bordures, des alluvions anciennes, il s'agit des dépôts de cailloutis de calcaires.

F. Echelle des résistivités:

Un certain nombre de sondages réalisés sur les forages et les formations affleurant ont permis d'obtenir des valeurs des résistivités. Ces résistivités sont le plus souvent des valeurs moyennes, à cause de la complexité des formations qui ne permet pas d'obtenir une seule valeur de la résistivité pour une même formation.

Ages	Lithologie	Résistivité (Ohm)
Quaternaire	Limons sales du centre de la plaine	1-3
	Limons et argiles	5-10
	Alluvions argilo-sableuse	15-20
	Alluvions sableuse	25-50
	Eboulis sec	300-400
	Eboulis humides	70-100
Plio-quaternaire	Marnes à gypse	0.5-2
	Alluvions caillouteuses (Pliocène)	30-50
	Alluvions argileuses (Pliocène)	3-5
Eocène	Calcaire blanc a silex (Eocène moyen)	100-200
Crétacé	Marnes (Dano-montien)	2-8
	Calcaire maestrichtien	100-1000
	Marnes et calcaire marneux (Emschérien)	5-10
	Calcaire turonien	50-1000
	Marnes et marno-calcaires (Cénomanién)	5-25
	Calcaire-dolomie (Aptien)	150-200

Tableau 40: échelle des résistivités des formations géologiques

G. Profils géo-électriques à la plaine de Tébessa :

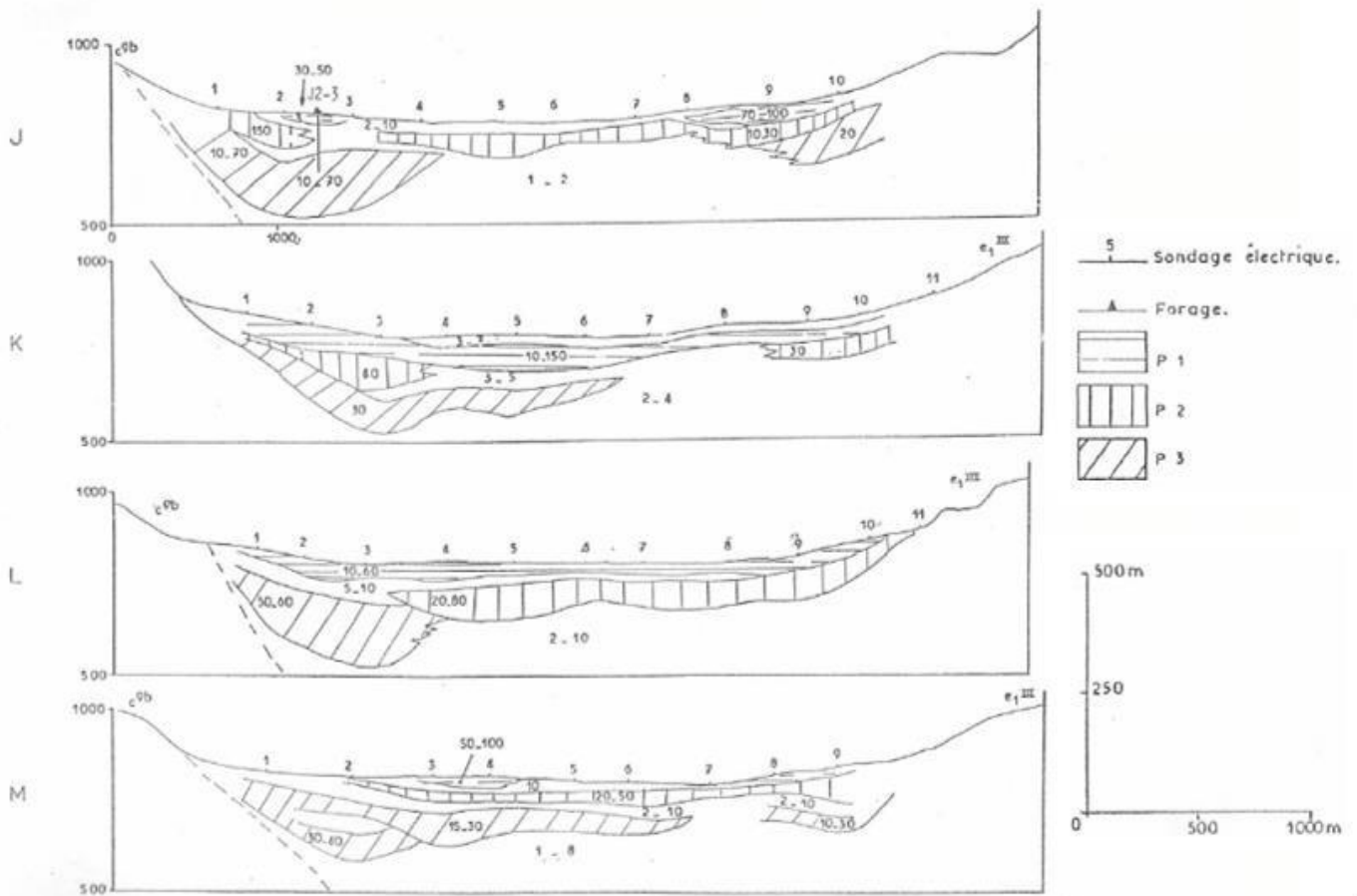
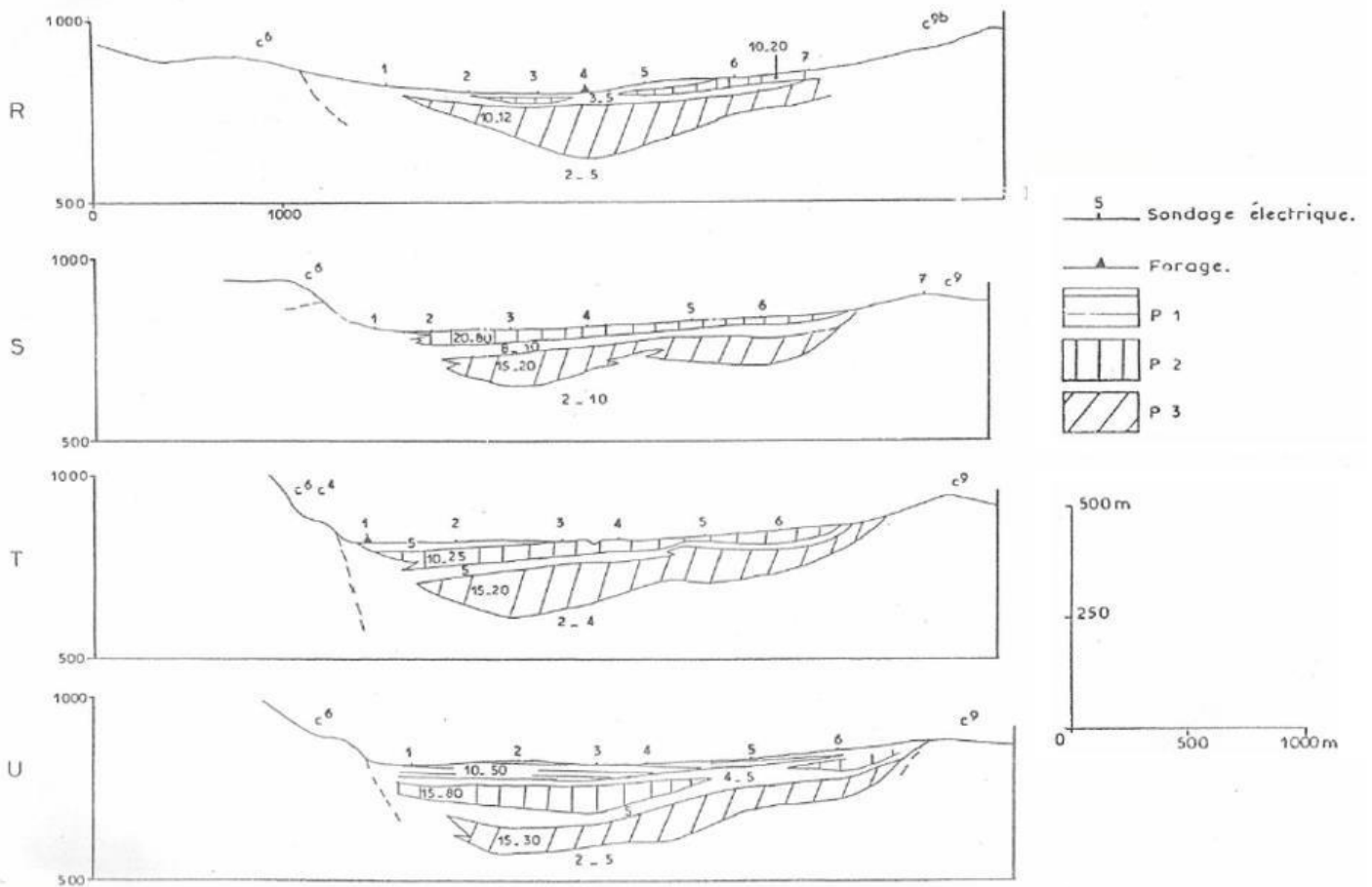


Figure 50: Coupes géo-électriques à travers la plaine de Tébessa selon les profils (J, K, L et M) (in Djabri L. 1987).



**Figure 51: Coupes géo-électriques à travers la plaine de Tébessa selon les profils (R,S,T et U)
(in Djabri L. 1987)**

H. Conclusion :

Nous pouvons affirmer que les résistivités de $10 \Omega\text{m}$ correspondent aux formations rencontrées, représentées par des argiles. Par contre les graviers sont représentés par des résistivités supérieures à $10 \Omega\text{m}$. A travers la corrélation de l'étude géophysique avec la géologie, on remarque une correspondance des résultats enregistrés.

La méthode de prospection électriques nous a permis d'identifier que les deux types de faciès se composent respectivement de remplissage sédimentaire dominant le centre de la plaine (argile, sable et marne) et les niveaux de calcaires fissurés dans les bordures.

La méthode gravimétrique montre fidèlement les contours du bassin qui se caractérise par sa vaste étendue. Elle correspond au fossé d'effondrement de Tébessa-Morsott.

4. La région de Cheria :

A. Introduction:

La complexité de la circulation des eaux souterraines se diffère selon la composition des systèmes aquifères. Pour comprendre ce mécanisme on se base sur plusieurs études et travaux utilisant les cartes, les coupes géologiques, combinés avec les colonnes stratigraphiques des forages réalisés à travers la région, et la mesure des niveaux piézométriques. Les coupes hydrogéologiques et les cartes piézométriques, sont indispensables pour l'étude consacrée à l'hydrogéologie de la région d'étude.

B. Description générale de Chéria :

A Chéria on trouve une superposition de trois couches qui forment le système aquifère : le premier niveau correspond aux calcaires d'âge Maestrichtiens d'un intérêt hydrogéologique uniquement en bordure, suivis par les calcaires éocènes qui constituent l'aquifère principal du plateau de Chéria. Ces deux niveaux sont sous le recouvrement plio-quaternaire ; formés par des cailloutis fluviatiles, de colmatage, de bas-fonds, alluvions de piémont.

C. Géométrie des aquifères :

Après une prospection géo électrique réalisée par la société CGG en 1971 sur une superficie de 790 km² où il a été exécuté 291 sondages électriques. Après interprétation des résultats des mesures des coupes géo électriques et des cartes d'équirésistivité ont été établies et qui montrent les résultats suivants :

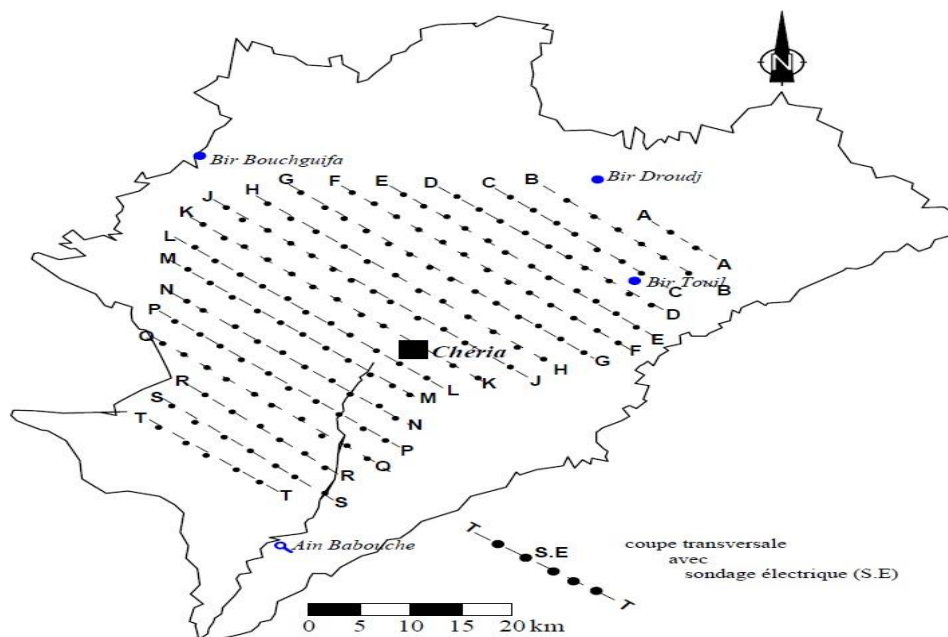


Figure 52: Carte de position des profils géo-électriques dans le plateau de Chéria. (In Baali F. 2007)

a. Formation anti-miocène :

Dans la zone Nord les coupes de B à L sont particulièrement simples. Elles traduisent bien la structure synclinale de l'écène, du Danien et du Maestrichtien. Les épaisseurs sont respectivement constantes (200 à 250 m) pour des résistivités de l'ordre de 200 à 300 ohm.m.

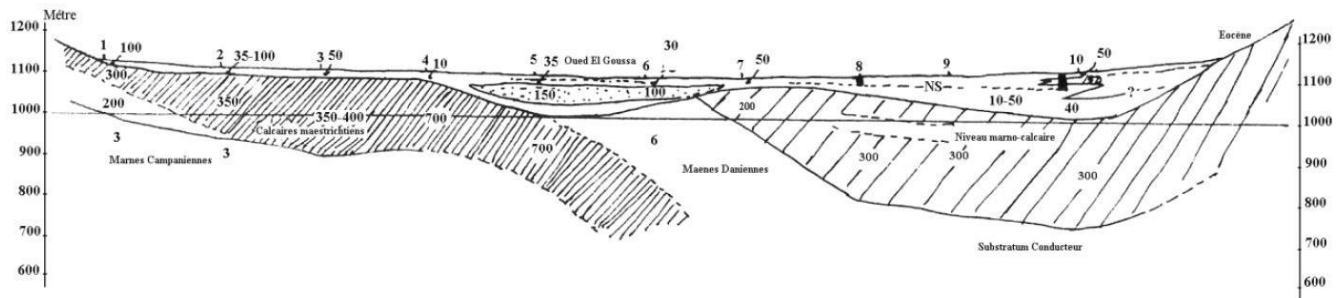


Figure 53: Coupe géo-électrique : profil H

Les épaisseurs du Danien semble plus variable diminue du Nord vers le sud (400 à 250 m) alors que l'épaisseur moyenne des calcaires Maestrichtiens semble être de l'ordre de 250 m. Ils sont érodés dans la partie Ouest. Ces calcaires se terminent en biseau vers l'Ouest, (profil N) et leurs épaisseurs est parfois inférieure à 100 m (Fig0.). Les marnes daniennes se trouvent réduites en épaisseur (ordre de 100 m) ce qui peut paraît très faible, d'autant plus qu'au sud (200 sur profil S et T).

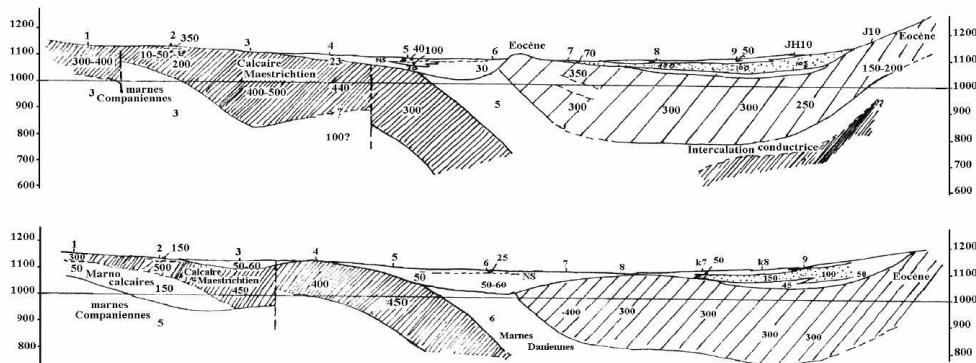


Figure 54: Coupe géo-électrique : profil J et K.

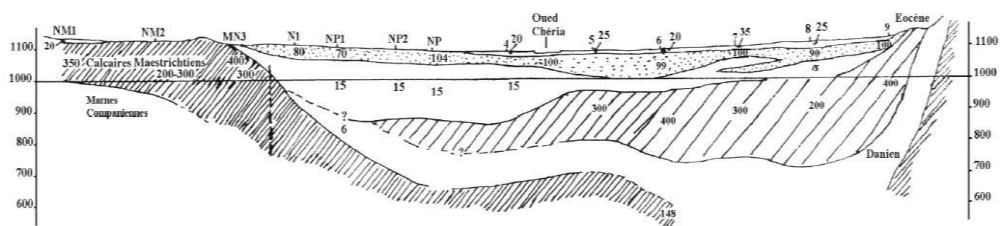


Figure 55: Coupe géo-électrique : profil N.

b. Recouvrement Plio-Quaternaire :

Le remplissage continental dans la partie Nord est constitué généralement de trois Niveaux :

- Un niveau superficiel avec une résistivité générale entre 20 et 40 ohm.m.
- Un niveau d'une épaisseur pourrait atteindre 30 – 40 m. il est résistant (70 – 100 ohm.m) correspondant à des éléments grossiers (galets plus ou moins symétriques) Ce niveau est développé d'avantage le long de la bordure Est du bassin et semble provenir de l'érosion du massif.

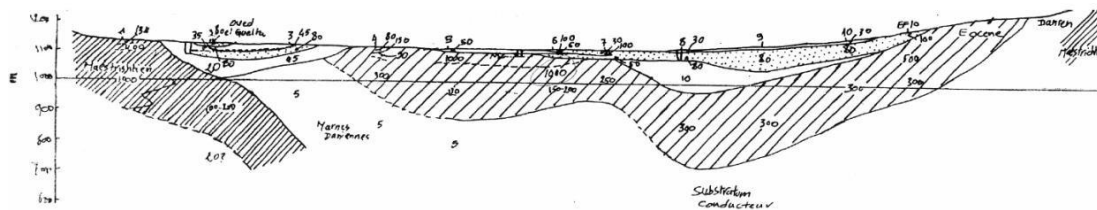


Figure 56: Coupe géo-électrique: profil E

- un troisième niveau moins résistant, (10-20 ohm.m) souvent épais et constitue le remplissage principal au cœur du synclinal. Le remplissage des plaines dépasse parfois une centaine de mètre (Oued el Guelta, el Goussa à l'Ouest). En surface existe également en surface un niveau grossier. Au sondage électrique M5 le niveau résistant (150 ohm.m) peut être attribué aussi à un remplissage alluvionnaire. (Fig. 55).

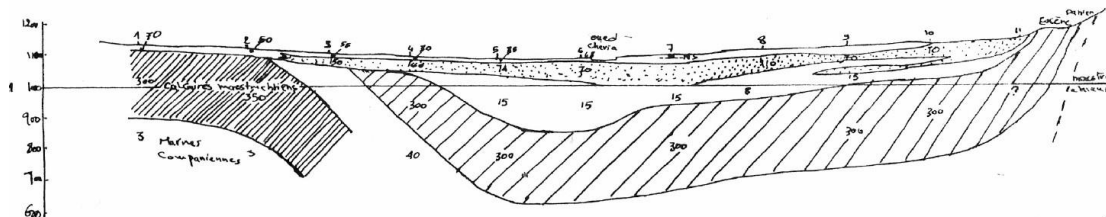


Figure 57: Coupe géo-électrique: profil M

Dans la partie Sud du bassin le remplissage Mio-Pliocène prenait de l'importance (formations argileuses). On note que souvent en profondeur, apparaît un autre niveau résistant, dont l'interprétation en termes de profondeur et épaisseur est assez délicate.

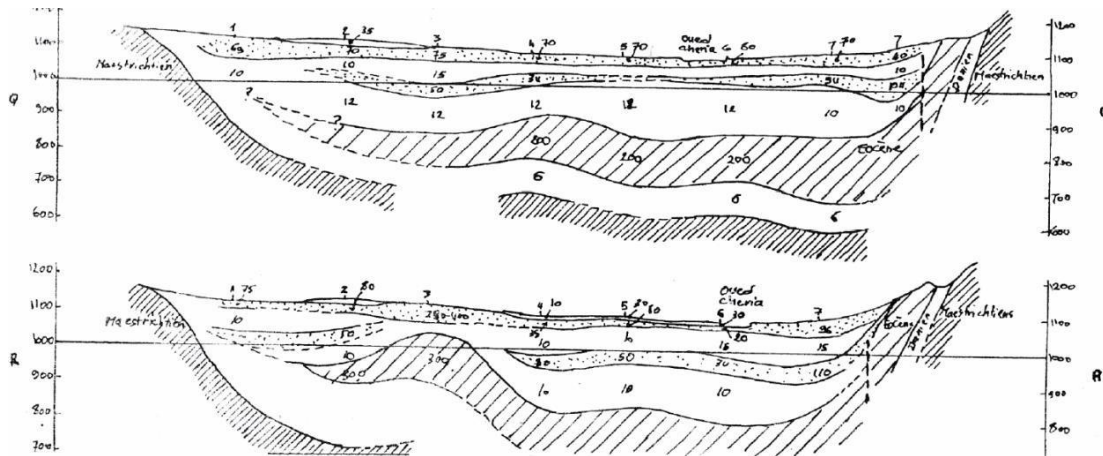


Figure 58: Coupe géo-électrique : profil Q et R

D. L'investigation gravimétrique :

Comme les méthodes géo-électriques, la gravimétrie peut être d'un grand apport dans l'identification des structures et des formations en profondeur.

Les travaux de Zerdazi Abdelhamid (1990) ont abouti à la réalisation d'une carte d'anomalie de

Bouguer, à l'échelle de 1/50000, dont l'analyse a permis de dégager les points suivants :

Une anomalie négative dans le secteur Nord correspondant au fossé de Tébessa. Plus au sud, des anomalies positives pouvant correspondre à des formations denses et compactes (Dj.

Gaagaa). Enfin une anomalie négative avec un axe Est-Ouest, cela correspond à des sédiments de comblement de faible densité (Quaternaire).

E. Structure du système :

a. L'aquifère des calcaires maestrichtiens :

Les différents forages qui ont atteint les calcaires maestrichtiens jusqu'à nos jours ont montré que ces formations fissurées sont aquifères dans les bordures (fissures et parfois des cavités ouvertes rencontrées. F502, F503, F2, F521) et imperméables au centre du bassin (calcaires massifs sans fissures rencontrées. F533, F536) on a plus de chances de rencontrer des zones fissurées ou karstifiées lorsque on se place sur des discontinuités tectoniques et dans les zones où les calcaires sont recouverts directement par le quaternaire (ou ils ont été émergés et attaqués selon la fissuration par les eaux de ruissellement).

b. L'aquifère des calcaires éocènes

C'est l'aquifère principal de Chéria. Il a été reconnu par de nombreux forages spécialement autour de la ville de Chéria et fait l'objet d'une importante exploitation pour l'alimentation en

HYDROGEOLOGIE ET GEOPHYSICS

eaux potable et pour l'irrigation. La perméabilité est donnée par des fissures et un karst bien développé autour de la ville.

Les caractéristiques des forages qui ont traversé ou touché les calcaires Eocène ont permis d'établir les remarques suivantes :

- les zones fissurées se rencontrent en général dans les 100 premiers mètres de l'éocène et les zones karstifiées sont encore plus localisées dans les 50 premiers mètres.
- Pour la géophysique les niveaux fissurés sont marqués par des résistivités qui varient entre 100 Ohm.m et 250 Ohm . Les valeurs enregistrées par carottage électrique petite et longue normale semblent donner des résistivités de l'ordre de 200 ohm.m pour les calcaires fissurés et 400 à 600ohm.m pour les calcaires non fissurés.

c. L'aquifère Mio-Plio-Quaternaire

Particulièrement cette aquifère rassemble deux aquifère:

- l'aquifère des niveaux sableux du Miocène : Le petit nombre de forages exécutés dans cet aquifère (N°523 et N°524) rend les informations moins importantes. Le niveau compris entre 53 et 80 m est attribué aux graviers et sables quartzeux du Miocène.
- L'aquifère des alluvions quaternaires et actuelles. D'après la définition de Lambert on pouvait les classer en cailloutis fluviaux, de colmatage, de bas-fonds, alluvions de piémont. Ces formations occupent la majeure partie du plateau de Chéria. Elles jouent dans la partie Nord le rôle d'alimentation des calcaires maestrichtiens et éocènes par infiltration. Cet aquifère est devenu actuellement sans intérêt vu la sécheresse qui a sévi pendant les dernières décennies, ainsi que la surexploitation des ressources hydriques.

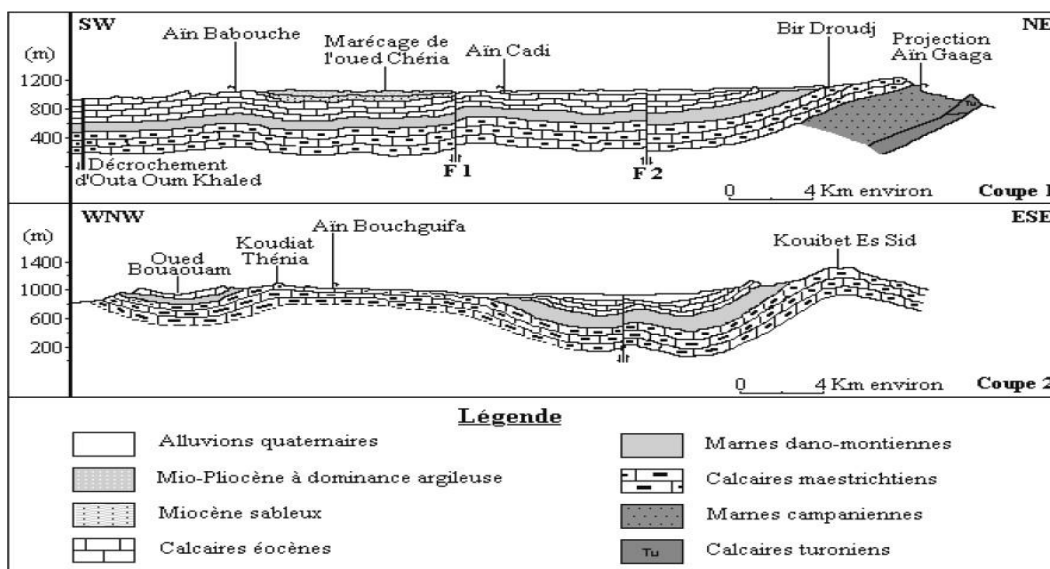


Figure 59: Coupes géologiques du plateau de Chéria

F. Les conditions aux limites :

Les forages implantés dans les calcaires maestrichtiens ont montré que cette horizon est aquifère aux bordures et stérile au centre du plateau (sondage J8-9 -profondeur 800 m). Les calcaires éocènes sont en contact avec les alluvions quaternaires aquifères (qui souvent drainent les calcaires maestrichtiens). Il y a donc une limite perméable d'alimentation.

Vers le Sud on doit admettre une limite de fuite souterraine si l'on arrête le sens d'alimentation d'Outa Oum Khaled.

La nappe du Mio-Plio-Quaternaire est alimentée directement par la pluie et l'éocène adjacent.

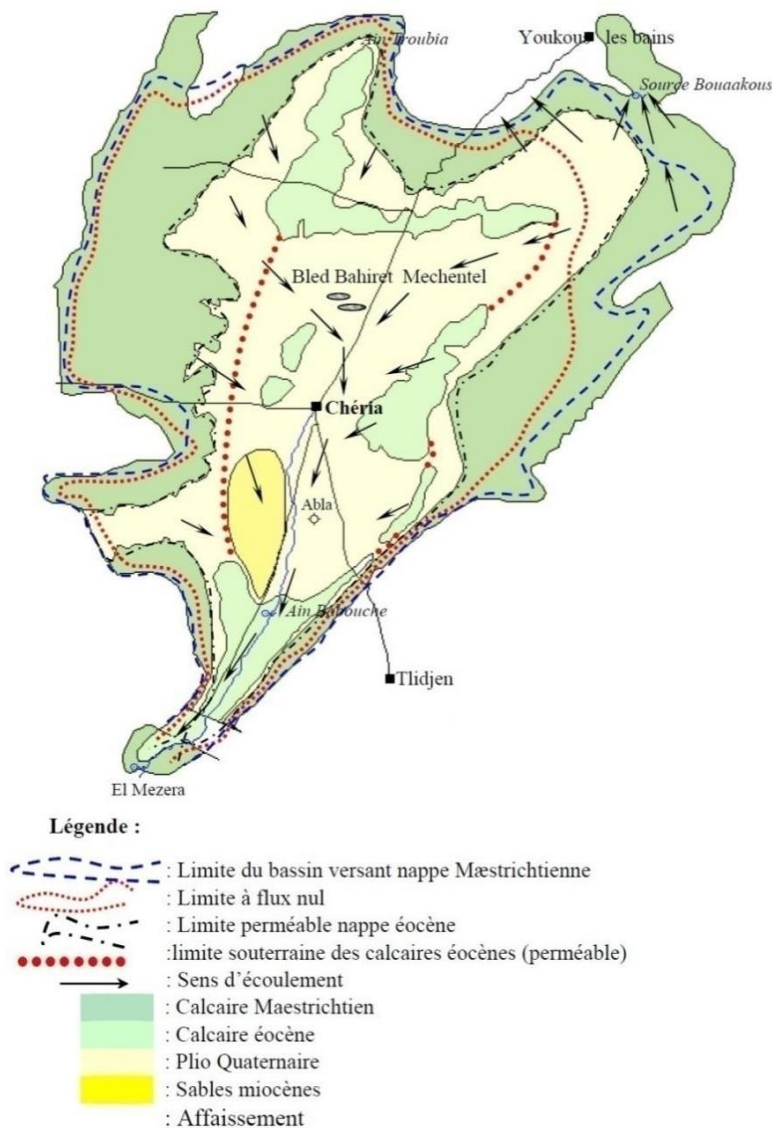


Figure 60: Carte des conditions aux limites de Chéria. (in baali 2007)

G. La position et l'émergence des sources :

Aux bordures de la région Chèria existent des sources Karstiques dans les calcaires éocènes.

La région de Chèria comprend une série stratigraphique qui s'échelonne du Trias au Quaternaire, abritant ainsi plusieurs aquifères qui sont alimentées par les massifs avoisinants, les massifs étudiés (Djebel Es Senn, massif de Troubia, Gaagaa, Aammacha...), affectées par de nombreux et importants accidents, renfermant les nappes généralement avec des sources d'eau telles, Gaagaa et Ain Troubia, Ain Aammacha, Ain Cadi....

- La source d'Ain babouche, située au sud de plateau de Chèria et plus précisément dans la gorge sépare DJ Boukemchie et DJ Ennamoura. Cette source a pris naissance à la faveur d'une rupture topographique due purement à l'action de l'oued qui a érodé le toit de la nappe. D'un débit moyen a 1.4l/s.

- La source de Gaagaa, L'émergence de la source de Gaagaa est due à la mise en place d'une tectonique très cassante engendrant une fracturation bien développée de la roche encaissante et l'affaissement à un rejet important de la région d'el Hammamet

La condition peut être responsable de l'émergence de la source de Gaagaa au niveau de l'aquifère maastrichtien.

-La surélévation du substratum imperméable marneux d'âge maastrichtien inférieur et campanien

A partir de ces conditions, on admet que la source de Gaagaa est une source de débordement c'est à dire elle est considérée comme source de trop plein. Son débit très variable a moyennement 1.3l/s

- La source d'Aammacha c'est une petite source qui émerge des calcaires maastrichtien et capté dans les alluvions. Son débit est très faible de l'ordre de 1.56 l/s. l'émergence de cette source est dû à une tectonique très cassante par la mise en place d'une faille de direction de N140E.

- La source d'Ain Troubia, l'émergence de cette source d'Ain Troubia est due à la mise en place d'une tectonique très cassante engendrant une fracturation développée de la roche encaissante.

Les coordonnées et les informations des sources dans la région de Cheria figurent dans le tableau suivant N°41 :

HYDROGEOLOGIE ET GEOPHYSICS

Les sources	X (km)	Y (km)	Z (m)	Altitude(m)	Situation	Débit Moy l/s
Gagàa	970.24	246.98	1096	1311	En court	1.3l/s
Ain troubia	962.83	250.83	1254	1390	En court	1.42l/s
Ain Aammacha	973.28	247.72	999	1780	En court	1.56l/s
Ain Babouche	956.65	219.65	1099	1520	Négligeable	/

Tableau 41: les coordonnées et les informations des sources étudiées

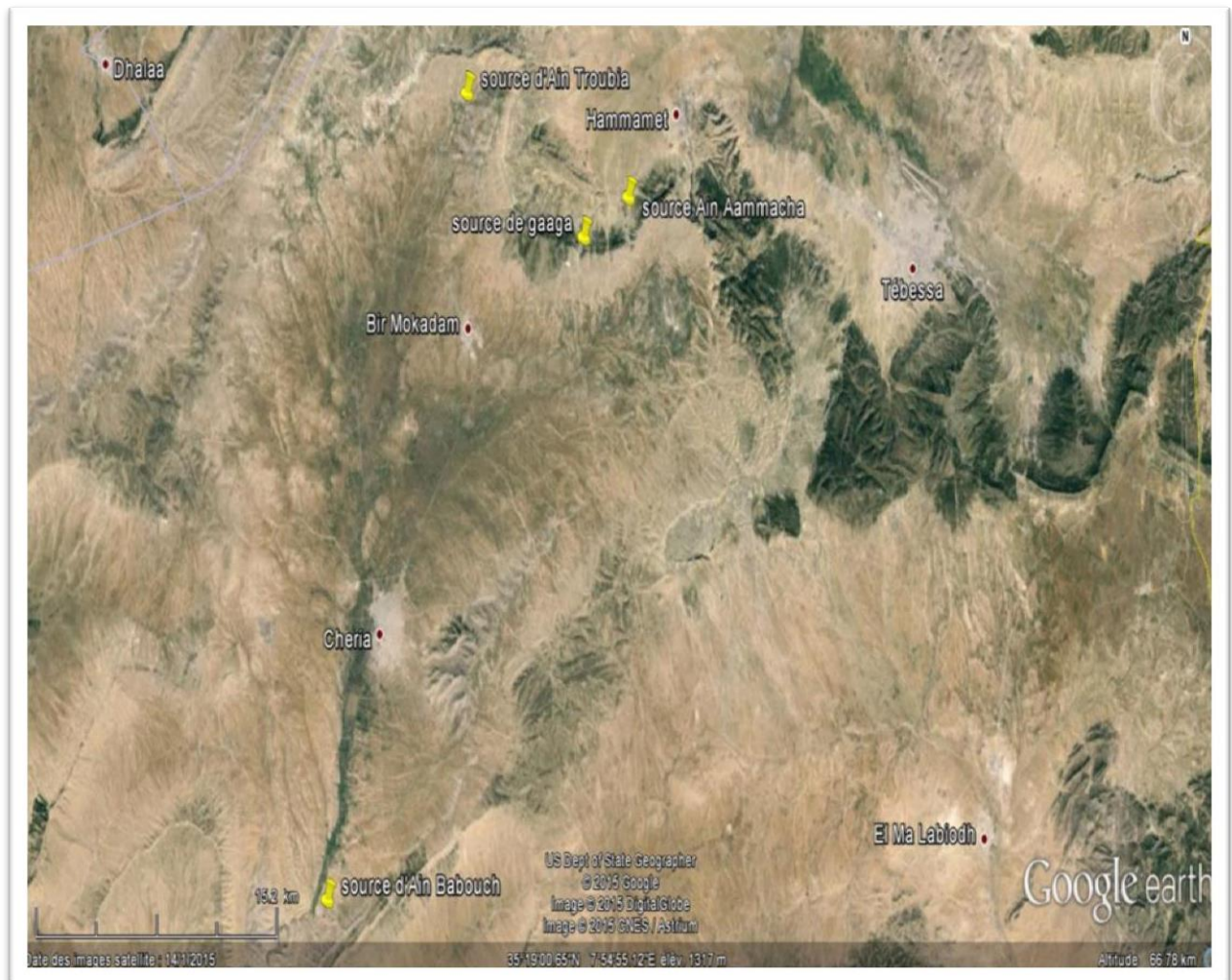


Figure 61:: Situation géographique des sources dans la zone d'étude, Image satellitaire ALSAT 01. Centre d'image SAT. Bouzariaa Alger.

HYDROGEOLOGIE ET GEOPHYSICS

H. .Présentation des débits des sources :

Après les mesures des débits et l'échantillonnage ont obtenu Le tableau ci- dessous qui representent les débits dans période d'étude (01/03/2015 à 15/05/2015) pour les trois sources.

Nom de source	Le débit des sources en(l/s)		
	Ain Troubai	Ain Ammacha	El Gagàa
01/03/2015	1,8	2,1	1,9
07/03/2015	1,66	1,5	2
14/03/2015	1,69	1,7	1,6
21/03/2015	1,74	1,9	1,5
28/03/2015	1,7	2	1,55
05/04/2015	1,41	1,5	1
12/04/2015	1,41	1,4	1,2
19/04/2015	1,3	1,4	1
26/04/2015	1,1	1,25	0,9
03/05/2015	1	1,27	0,9
15/05/2015	0,9	1,2	0,8

Tableau 42:: Les débits des trois sources (01/03/2015 à 15/05/2015)

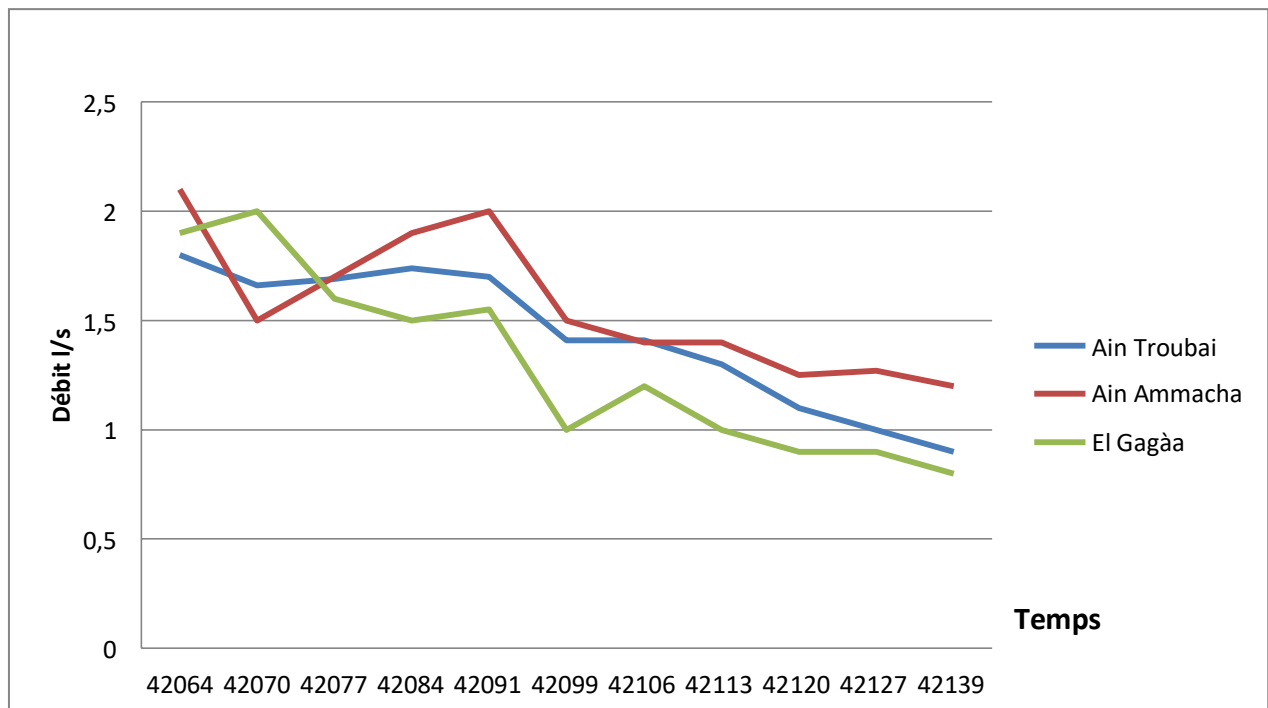


Figure 62:Les hydro grammes des débits pour les sources étudiées

Sur la base de la figure ci-dessus, qui représente l'évolution des débits des différentes sources étudiées dans la région de Chéria, durant la période concernée, nous pouvons indiquer ce qui suit :

- L'observation des différents hydrogrammes, montrent d'un point de vue descriptif, une décroissance généralisée pour l'ensemble des émergences, sur toute la période d'étude. Cela mis à part quelques pics pas trop importants à différentes dates de la période d'étude.

-D'un point de vue interprétatif, nous pouvons avancer les hypothèses suivantes :

La baisse plus ou moins continue des courbes de débits pour les différentes sources, pourrait être attribuée à une absence d'alimentation de l'aquifère durant la période d'étude, de plus les rares épisodes de pluie sur la période d'étude pourraient expliquer les légers pics de l'hydrogramme des différentes sources, d'une part, d'autre part, cela montre aussi le faible impact de ces précipitations sur l'alimentation du réservoir, en raison de la décroissance plus ou moins régulière des courbes de débits.

I. 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.



Figure 63: La sonde de niveau d'eau

a. Évolution de la Piézométrie:

L'évolution de la piézométrie dans le temps est de mesurer le niveau d'un puit précis plusieurs fois dans le temps, l'objectif principal de l'étude de cette évolution est de suivre la profondeur du niveau piézométrique de la nappe aquifère, par contre dans l'espace en la suit par la mesure de plusieurs puits existants dans la surface de la nappe pour visualiser la

direction générale de l'écoulement horizontal et 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.

b. Interprétation des cartes piézométriques :

➤ Carte piézométrique : Septembre 2002 :

L'examen de la carte piézométrique dont les mesures remontent au début de la période d'observation (2002), fait ressortir deux zones distinctes :

La première centrale caractérisée par une surexploitation marquée par une dépression au niveau de la ville et ces alentours, cette dernière est expliquée par le nombre de forages alimentant la population tel que le forage J8-9bis et le CH1.

La deuxième zone localisée en aval du plateau est aussi marquée par deux dépressions de part et d'autre de l'oued Chéria, où une partie de l'écoulement converge vers l'axe de l'oued.

L'écoulement se fait de manière générale du Nord vers le Sud. Le gradient hydraulique qui varie entre 0.28 et 1.6.

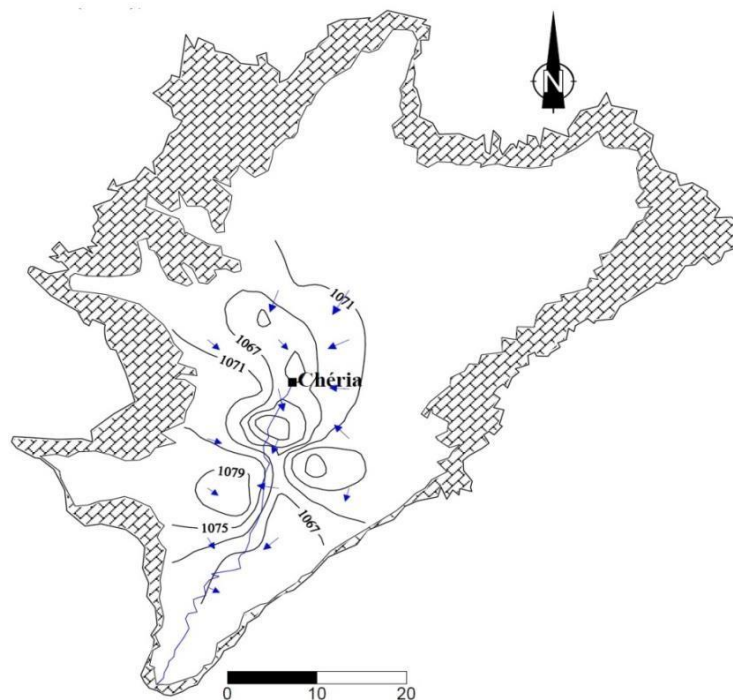


Figure 64: Carte piézométrique de Chéria (Sep 2002) (in baali 2007).

➤ Carte piézométrique : septembre 2005. (Fig. 65)

Pour cette carte, le plan d'eau est caractérisé par un écoulement nord-sud au nord avec des courbes isopièzes très serrées témoignant l'importance de la vitesse d'écoulement et en aval au Sud avec des courbes espacées signifiant un écoulement lent.

Une zone de surexploitation très remarquable au centre. Le resserrement est probablement lié à la diminution de la section d'écoulement.

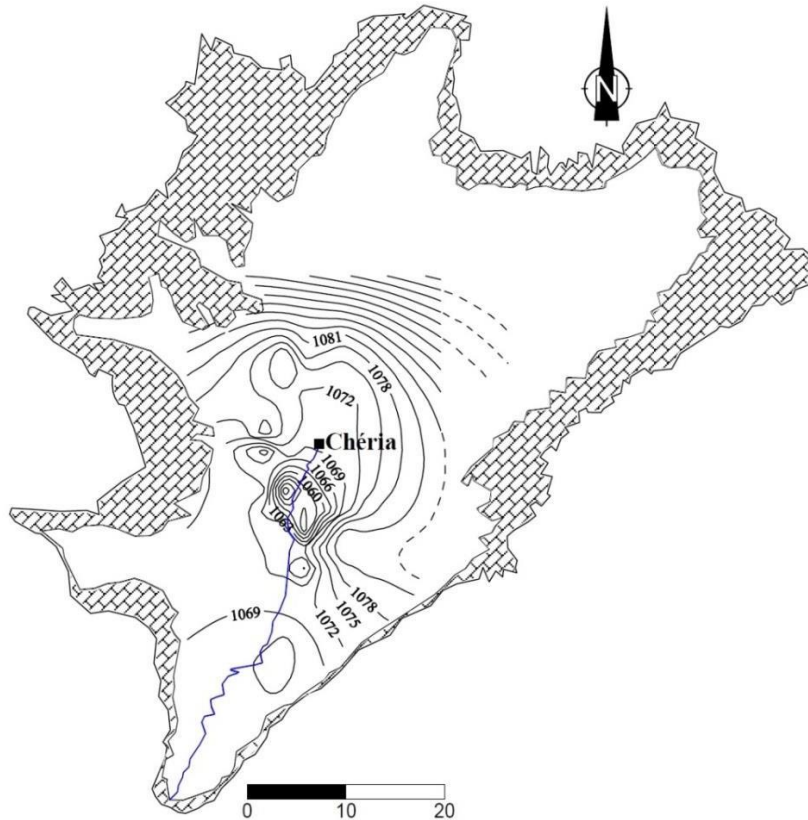


Figure 65: Carte piézométrique de Chéria (Sep 2005) (in baali 2007).

J. Conclusion :

L'étude géophysique de la région de Chéria et dont nous avons présenté un aperçu ci-dessus, a permis d'identifier le système aquifère de cette région.

Le contraste des valeurs des résistivités obtenues a mis en évidence l'alternance des niveaux conducteurs et des niveaux résistants, corrélés avec les formations calcaires et marneuses qui composent le système aquifère en question. Cette étude a également identifié la structure en cuvette (synclinal) des formations.

D'après l'étude hydrogéologique qu'on a fait nous concluons que la région étudiée est composée de trois systèmes aquifères voisins sur le plan géographique et topographique et différant l'un par rapport à l'autre sur le plan hydrogéologique.

HYDROGEOLOGIE ET GEOPHYSICS

La nappe Miocène formée de matériau sableux et gréseux, est plus importante que la première avec épaisseur très intéressante de point de vue hydrogéologique à Chéria le principal réservoir est d'âge éocène ; formé par des calcaires fissurés et karstifiés.

Le sens d'écoulement des eaux souterraines suit le sens d'écoulement des cours d'eaux

Les massifs montagneux qui entourent les différentes unités jouent un rôle primordial dans l'alimentation des différents systèmes.

CHAPITRE V

ZONES PERIPHERIQUES POTENTIELLES du point vue hydrogéologiques

A. Introduction :

Les études géophysique par la méthode électrique des plaines Tébessa, d'EL Ma-Labiod, et Chéria montrent des profils géo-électriques qui conviennent ces plaines. En examinant les parties NN-E, NN-O et SS-E, SS-O et en réalisant des corrélations au niveau des sondages électriques verticaux correspondant aux extrémités des profils, il nous a été possible de visualiser la continuité dans l'espace des différents niveaux perméables et imperméables.

B. Région El Ma Labiod :

a. Zone périphérique potentielles SS-O :

L'extension de ces zones correspond aux coordonnées $X = 1001 / Y = 288,800 / Z = 1087$ (P33). Et $X = 995,100 / Y = 221,400 / Z = 1035$ (P28) et $X = 979,300 / Y = 220,600 / Z = 1150$ (P10).

Ils montrent la description suivante :

- **Un premier horizon** marqué par une résistivité qui varie entre 9 et 900ohm avec une épaisseur de 30 à 160 m (P33 jusqu'à P27) et de 10 m à 160 m (P24 jusqu'à P10).

Les faciès rencontrés dans cet horizon se présentent sous forme de : sable, argile, argiles sableuse et grès.

- **Le deuxième horizon** montre des résistivités qui varient entre 7 et 1100 ohm avec une variation d'épaisseur de 50 et 330 m (P33 jusqu'à P27) et de 50 m à 150 m (P24 jusqu'à P10). Il s'agit de formations sablo-argileuse, sableuse et gréseuse.
- **Le troisième horizon** se caractérise par une résistivité qui varie entre 22 et 650ohm avec une épaisseur de 230 à 330 m. (P33 jusqu'à P27) et de 50 à 700 m (P24 jusqu'à P10). Cet horizon est dominé par des argiles, sables, sables argileux et grès.

➤ **Géométrie et extension des aquifères rencontrés :**

Latéralement : ces formations viennent en contact par faille normale avec les couches calcaires.

La sédimentation des sables, argiles et grès varie en épaisseur et se biseaute au profit de formation plus ou moins perméable.

➤ **Définition de la nappe et alimentation :**

Il s'agit d'une nappe libre. Les logs géologiques et les SEV l'indiquent parfaitement.

L'alimentation est assurée en grande partie par les bordures des Djebels Ed Dalaa et Djebel Bou Djellal .

Zones périphériques potentielles

b. Zone périphérique potentielles NN-E :

L'extension de cette région correspond aux coordonnées : X=1001 / Y=237,450 / Z=1105 (P33) et X=979 / Y =233 / Z = 1260 (P11).

- **Un premier horizon** marqué par une résistivité qui varie entre 6 et 2800 ohm avec une épaisseur de 15 à 500 m (P33 jusqu'à P11).

Les faciès rencontrés dans cet horizon se présentent sous forme de : argile, argile Sableuse, sable argileux et grès.

- **Le deuxième horizon** montre des résistivités qui varient entre 6 et 900 ohm avec une variation d'épaisseur de 25 à 665 m (P33 jusqu'à P11).

Il s'agit de formations argileuse, argile sableuse, sable argileux, sableuse et gréseuse.

- Le troisième horizon se caractérise par une résistivité qui varie entre 22 et 180 ohm avec une épaisseur de 50 à 850 m (P33 jusqu'à P11).

Cet horizon est dominé par des sables argileux, sables et grès.

➤ **Géométrie et extension des aquifères rencontrés :**

Latéralement : ces formations viennent en contact par faille normale avec les couches calcaires.

La sédimentation des sables, argiles et grès varie en épaisseur et se biseaute au profit de formation plus ou moins perméable.

➤ **Définition de la nappe et alimentation :**

Il s'agit d'une nappe libre. Les logs géologiques et les SEV l'indiquent parfaitement.

L'alimentation est assurée en grande partie par les bordures de Djebel Bouramane et Djebel Anoual.

Zones périphériques potentielles

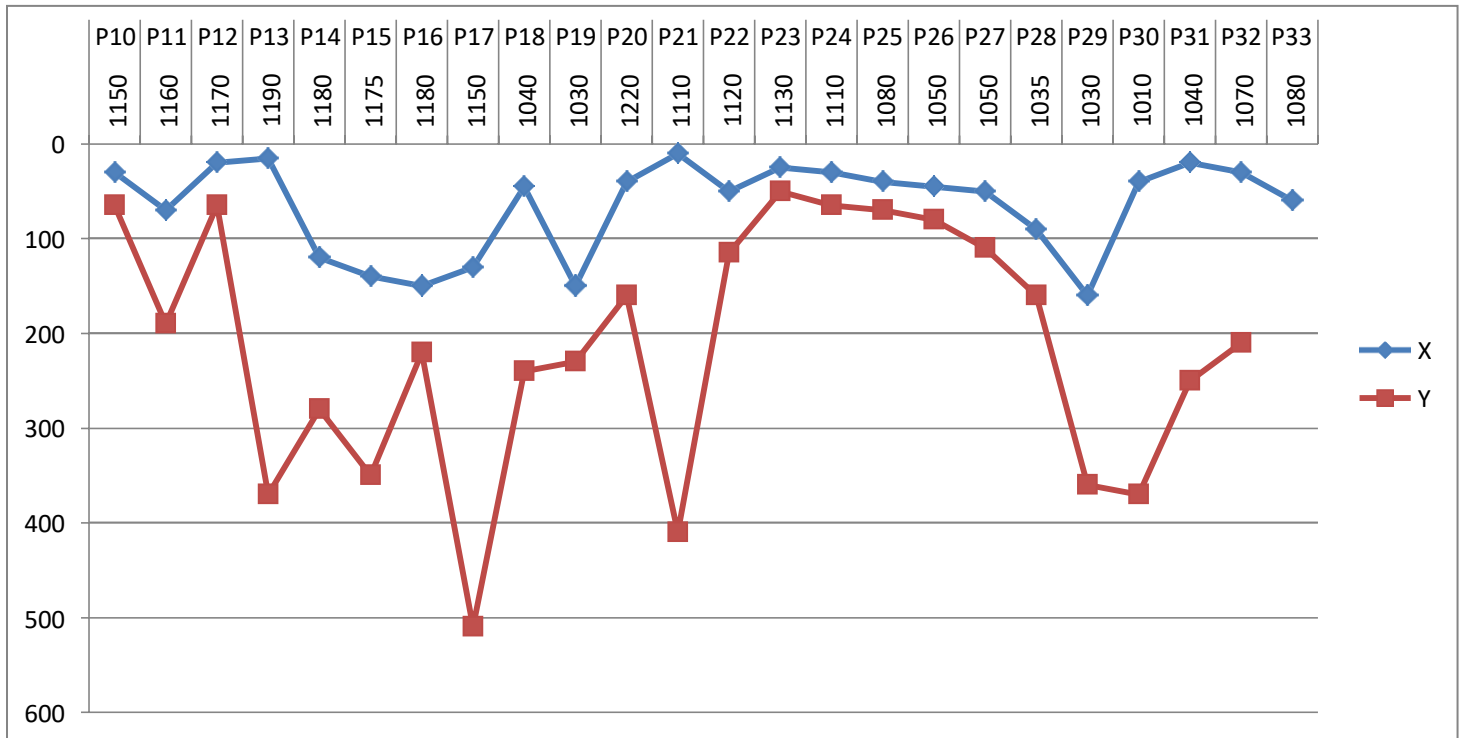


Figure 66: variations latérales des deux niveaux des zones périphériques potentielles d'El Ma Labiod (zones Sud Sud-Ouest)

C. Région de Tebessa :

a. Zone périphérique potentielles SS-O :

L'extension de cette région correspond aux coordonnées : X=1002,500 / Y=244,350 / Z=900 (Profil Z-Y) et X=980,8 / Y =253,2 / Z = 800 (Profil F1)

- **Un premier horizon** marqué par une résistivité qui varie entre 5 et 200 ohm avec une épaisseur de 15 à 110 m (Profil Z-Y jusqu'à Profil F)

Les faciès rencontrés dans cet horizon se présentent sous forme de : argile, caillouté, gravier et calcaire fissuré.

- **Le deuxième horizon** montre des résistivités qui varient entre 3 et 100 ohm avec une variation d'épaisseur de 15 à 130 m (Profil Z-Y jusqu'à Profil F).

Il s'agit de formations argileuse, cailloutis, gravier et marno- calcaire fissuré.

- **Le troisième horizon** se caractérise par une résistivité qui varie entre 5 et 500 ohm avec une épaisseur de 30 à 140m (Profil Z-Y jusqu'à Profil F).

Cet horizon est dominé par des : argiles, cailloutis, graviers, calcaire fissuré et calcaire compacte.

- **Géométrie et extension des aquifères rencontrés :**

Latéralement :

Zones périphériques potentielles

les sables viennent en contact par faille (mise en évidence par la géophysique) avec une formation argileuse quaternaire ($\rho=3$ ohm.m), cette faille constitue une paroi imperméable.

Les cailloutis reposent en discordance sur les deux formations précédentes à savoir les sables et la formation argileuse à $\rho =3$ ohm.m.

Au sud : les cailloutis et sable viennent en contact par faille normale avec un graben du crétacé supérieure et en particulier avec le maestrichtien moyen (selon Durozoy) qui est lui-même plus au sud en contact par faille normale avec un autre graben constitué par des formations du crétacé supérieur et en particulier avec le turonien moyen (selon durozoy).

Les formations d'âge maestrichtien moyen et turonien moyen sont constituées par des calcaires très fissurés et aquifères Les failles constituent une limite d'alimentation pour les sables et cailloutis. Cette alimentation est mise en évidence par la géochimie et la piézométrie.

L'exemple du O5-6 se situe approximativement de 1000 à 1500 m de ladite zone d'alimentation.

A l'Est et à l'Ouest :

On considérera la nappe est d'extension infinie.

➤ **Définition de la nappe :**

Les deux formations quaternaires précédemment décrites (cailloutis et sables) ont des caractéristiques hydrodynamiques T et S différentes des sables qui sont plus perméables.

b. Zone périphérique potentielles NN-E :

L'extension de cette région correspond aux coordonnées : X=1003,750 / Y=247,850 / Z=879 (Profil X) et X=988,5 / Y =258,2 / Z = 860 (Profil F9)

- **Un premier horizon** marqué par une résistivité qui varie entre 5 et 100 ohm avec une épaisseur de 10 à 150 m (Profil X jusqu'à Profil F)

Les faciès rencontrés dans cet horizon : argile, caillouté, gravier et calcaire fissuré.

- **Le deuxième horizon** montre des résistivités qui varie entre 3 et 100 ohm avec une variation d'épaisseur de 40 à 130 m (Profil X jusqu'à Profil F).

Il s'agit de formations argileuse, caillouté, gravier et calcaire fissuré.

- **Le troisième horizon** se caractérise par une résistivité qui varie entre 2 et 100 ohm avec une variation d'épaisseur de 100 à 110m (Profil Z-Y jusqu'à Profil F).

Cet horizon est dominé par des : argiles, cailloutés, graviers et calcaire fissuré.

Zones périphériques potentielles

➤ Géométrie et extension du aquifères rencontrés :

Latéralement : le forage N° 69 se trouve à 1350 m au NN-O du Q 5-6 ? nous nous reporterons au paragraphe 1.1.2.

➤ Définition de la nappe :

Nous retenons du paragraphe 1.2 :

La nappe des sables et des cailloutis a la même charge hydraulique

La formation optée est considérée comme une nappe libre ayant une zone à circulation privilégiée.

Des phénomènes de drainante sont possibles.

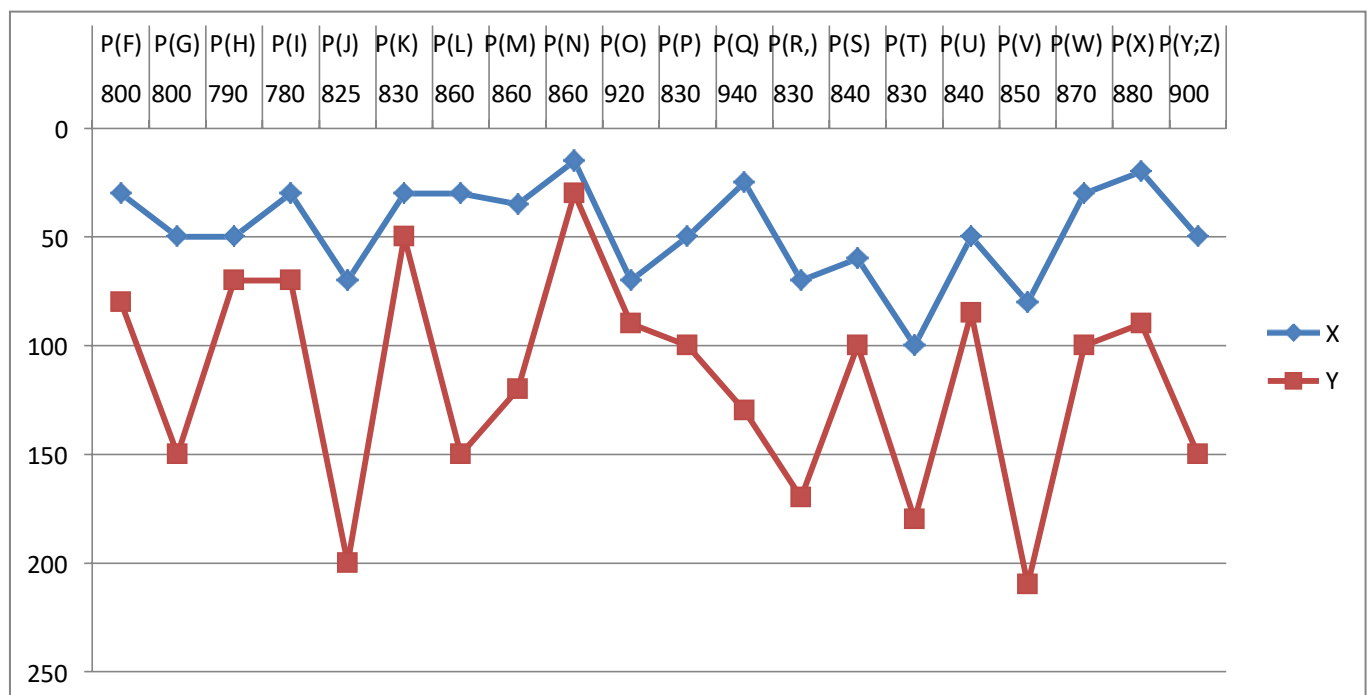


Figure 67: variations latérales des deux niveaux des zones périphériques potentielles de Tebessa (zones Sud Sud-Ouest).

D. Région de Chéria :

a. Zone périphérique potentielles S-E :

L'extension de ces zones correspond aux coordonnées X= 970.900/ Y= 237,300 / Z = 1195 (Profil B). Et X = 952.800 / Y = 223.250 / Z= 1125 (Profil T).

Ils montrent la description suivante :

- **Un premier horizon** marqué par une résistivité qui varie entre 6et 150 oh.m avec une épaisseur de 10 à 200 m (Profil B jusqu' à Profil T).

- Les faciès rencontrés dans cet horizon se présentent sous forme de :argile, cailloutis, gravier et calcaire fissuré.

Zones périphériques potentielles

- **Le deuxième horizon** montre des résistivités qui varient entre 10 et 500 oh.m avec une variation d'épaisseur de 25 et 220 m (Profil B jusqu'à Profil H) et de 20 m à 170 m (Profil K jusqu'à Profil T).

- Il s'agit de formations sablo (Profil M et N) –argile, calcaire éocène, gravier, cailloutis

- **Le troisième horizon** se caractérise par une résistivité qui varie entre 6 et 300 oh.m avec une épaisseur de 115 à 210 m. (Profil B et Profil F, Profil G, Profil H) et de 20 à 270 m (Profil K jusqu'à Profil T).

Cet horizon est dominé par des argiles, calcaire beige à silex et marno-calcaire.

- **Le quatrième horizon** caractérise par une résistivité qui varie entre 10 et 400 oh.m avec une épaisseur de 70 à 190 m (Profil Q jusqu' à Profil T)

Cet horizon est dominé par des calcaires et des argiles.

➤ **Géométrie et extension du aquifères rencontrés :**

a. Latéralement

Le forage f.9 se situe sur un axe synclinal. Cet axe a une direction NE.SW.

Au SW à 5 Km affleure les calcaires de l'éocène qui forment l'autre bordure synclinale.

Le cœur du synclinal est formé par le remplissage quaternaire de cailloutis calcaires provenant des bordures Eocène et Maestrichtien moyen (selon Durozoy).

➤ **Définition de nappe**

Les calcaires de l'éocène ne sont pas fissurés. Une essai au Pake a confirmé l'observation des carottes. Les cailloutis quaternaires par contre sont aquifères et ont été captés de 70.5 m à 90.50 m. Il s'agit d'une nappe libre.

I. d. Zone périphérique potentielles N-O :

L'extension de ces zones correspond aux coordonnées X= 967/ Y= 239.800 / Z = 1147(Profil B).Et X = 950.500 / Y = 242.200 / Z= 1170 (Profil T).

Ils montrent la description suivante :

- **Un premier horizon** marqué par une résistivité qui varie entre 20et 1000 oh.m avec une épaisseur de 5 à 250 m (Profil B jusqu' à Profil T).

- Les facies rencontrés dans cet horizon se présentent sous forme de :argile, cailloutis, gravier et calcaire fissuré et compacte.

- **Le deuxième horizon** montre des résistivités qui varient entre 10 et 400 oh.m avec une variation d'épaisseur de 10 et 235 m (Profil B jusqu'à Profil D et Profil F et H) et de 20 m à 220 m (Profil K jusqu'à Profil T).

- Il s'agit de formations argilo, calcaire éocène, gravier, cailloutis

Zones périphériques potentielles

- **Le troisième horizon** se caractérise par une résistivité qui varie entre 200 et 500 oh.m avec une épaisseur de 90 à 215 m. (Profil C et Profil H) et de 30 à 120 m (Profil P jusqu' à Profil T) de une résistivité qui varie entre 6 et 300oh.m.

Cet horizon est dominé par des argiles, calcaire beige à silex et marno-calcaire.

* **Le quatrième horizon** caractérise par une résistivité qui varie entre 50et 400 oh.m avec une épaisseur de 30 à 185 m (Profil P, Profil R jusqu' à Profil T)

Cet horizon est dominé par des calcaires et des argiles.

➤ Géométrie et extension du aquifères rencontrés :

a. Latéralement

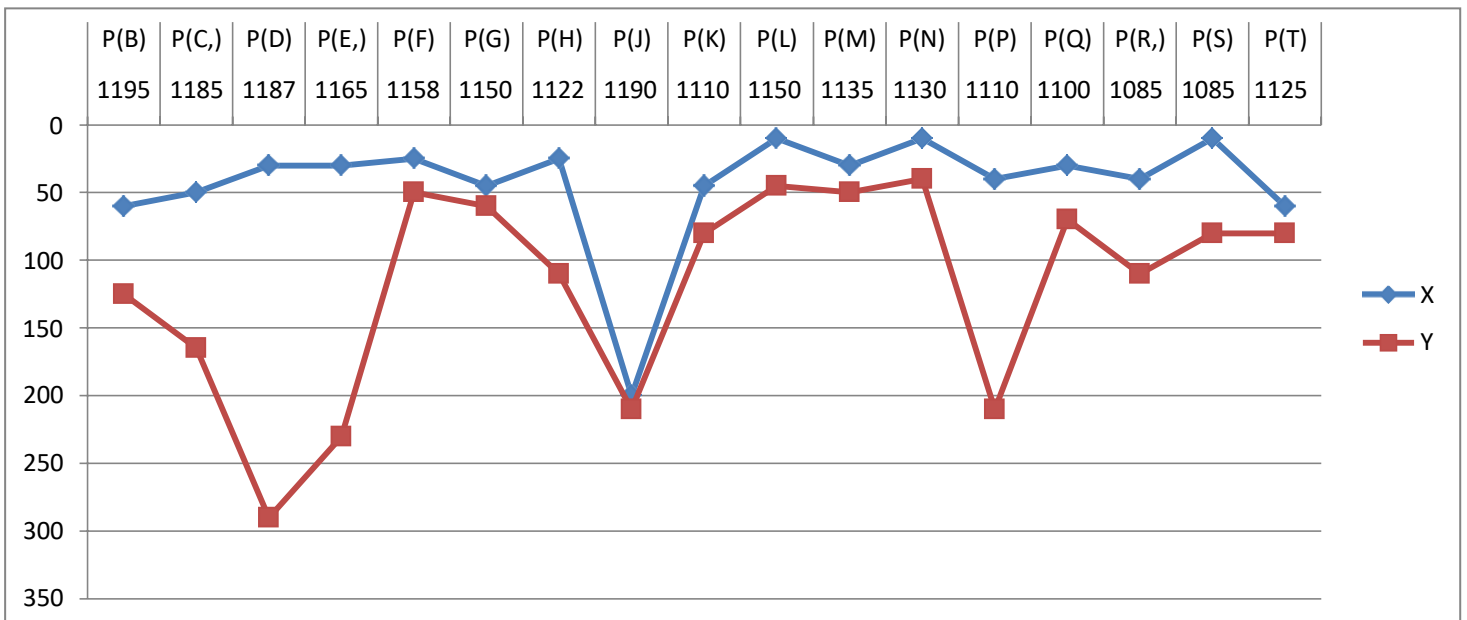
*/ Au Nord à l'Ouest, au Sud : les calcaires du Maestrichtien affleurent.

*/ A l'Est le maestrichtien s'enfonce sous les marnes Dano-montiennes et de l'éocène inférieur.

➤ Définition de la nappe :

Le NS est le même dans le quaternaire et le maestrichtien. La zone kartstifiée des calcaires est une zone de circulation privilégiée. Le quaternaire est alimenté en grande partie par le bas.

Il s'agit d'une nappe libre ou semi-captive.



**Figure 68: variations latérales des deux niveaux des zones périphériques potentielles de Chéria
(zones Sud Sud-Est).**

E. Conclusion :

Les zones périphériques potentielles d'EL-MaLabioud sont situées dans les bordures de Djebel Ed Dalaa , Djebel Bou Djellal dans la partie SS-O et de Djebel Bouramane , Djebel Anoual dans la partie NN-E.

Les résistivités varient entre 9 à 900ohm avec une profondeur qui va entre 30 à 160 m (SS-O) et 22 à 180 ohms sur une profondeur de 50 à 350 m.

Les zones périphériques potentielles de Tébessa sont situées au niveau du flanc (N-E) de Djebel Bouromane, le flanc (N-E) de Djebel Djoua, Djebel Doukoure et le flanc de Djebel Mestiri dans la partie SS-O.

Les résistivités varient entre 5 et 100 ohm avec une épaisseur de 10 à 150 m

Au nord-Est : les zones périphériques potentielles de Tébessa se situent au niveau de la zone de OgletRbaib, flanc (S-O) de Djebel Guenifida et la zone de Kissa.

Au Sud –Est : les zones périphériques potentielles de Chéria se situent dans le premier horizon marqué par une résistivité 150 Ohm.m avec une profondeur de 200 m .La zone Nord –Ouest se caractérise par une résistivité qui varie entre 10 et 400 Oh.m sur une profondeur de 235 m. les bordures dans la partie Sud-Est le flanc de Djebel Doukkane, Djebel Arouar , Djebel Radama, Djebel Zerhata, le flanc NN-O de Djebel Krima ,Djebel Radama ,Djebel Zerhata, Djebel Boukamech , et dans la partie Nord- Ouest les zones de PrssKhssar Nadja et le flanc Sud- Ouest de Djebel Gaagaa et le zone de Ain Garicnnc et le flanc S-E de Djebel Sardiassc et le flanc (SS-E) de Djebel Kemlal.

Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE

Les études qui sont réalisés sur les zones périphériques de la wilaya de Tébessa, nous ont permis d'obtenir les conclusions suivantes :

La géologie de la région d'EL Ma-labiod, se présente d'un haut plateau où on peut distinguer deux grands ensembles :

- Les affleurements de bordure d'âge Crétacé ;

- Les formations d'âge Miocène et Quaternaire occupant la totalité de la plaine. Elle se présente comme une cuvette, dont le substratum crétacé, calcaireux et marneux, est séparé du Miocène, qui constitue la réserve principale de la région, par des éboulis très perméables.

L'étude géologique au niveau de la plaine de Tébessa montre la présence de plusieurs formations qui ont donné à La nappe une certaine hétérogénéité ; les calcaires fissurés affleurent sur les bordures, pourraient jouer un rôle important dans les apports latéraux en eau. Les formations meubles siègent au centre de la plaine et constituent les dépôts de remplissage du bassin d'effondrement.

Le plateau de Chéria est constitué du point de vue géologique de formations d'âge crétacé et tertiaire. La série d'âge crétacé se présente essentiellement de calcaires blancs d'âge Maestrichtien surmontés d'une série marneuse d'âge Dano-montien. La série d'âge Eocène constituée de calcaires beiges à silex constitue le niveau supérieur sous le recouvrement Quaternaire.

L'étude climatologique de la région d'El Malabiod se distingue par 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 238.218mm. Pour une température moyenne annuelle de 13,75°C. L'évolution annuelle de ces deux paramètres permet de révéler une grande période de sécheresse, qui se traduit par une évapotranspiration réelle moyenne qui est de l'ordre de 239.17mm, mobilisant la totalité des précipitations (100%), Avec un ruissellement faible et une infiltration peu importante.

La région de Boukhadra est soumise à un climat typiquement semi-aride de type continental (hiver froid et été chaud). La température moyenne annuelle qui y règne est de 15.53 °C.

Les précipitations moyennes annuelles, sur une période de 35 ans (71/72 –05/06), sont estimées à 266.86 mm pour la station de Morsott.

L'infiltration est évaluée par la méthode de la décomposition de l'hydrogramme unitaire, elle représente au même temps le débit de base qui coule dans l'oued Chabro, cette valeur est estimée à 0.47 mm soit un peu moins de 1% des précipitations.

CONCLUSION GENERALE

L'étude climatologique de Tébessa montre les résultats suivantes

- Le climat est typiquement semi-aride de type continental (hiver froid et été chaud);
- La température annuelle moyenne est de l'ordre de 16.75 C°;
- Les précipitations annuelles moyenne est de 380.98 mm ;
- L'évapotranspiration réelle est de l'ordre de 336.3 mm ce qui présente 92% des Précipitations ;
- Le bilan hydrique dans l'ensemble est excédentaire.

Aux mois de décembre, janvier, février et mars ;

Dans La région de chéria nous avons mis en relief la variabilité des facteurs climatiques tels que les précipitations et les températures, sur une période relativement acceptable (24 ans), ce qui nous a donné les valeurs suivantes :

- la moyenne des précipitations, pour la période d'étude est de 268,87 mm.
- la moyenne température pour la période d'étude est de 16,24 °C.
- Le bilan est déficitaire.

Du point de vue hydrogéologique, le bassin d'El MALABIOD est composé essentiellement de deux nappes aquifères de nature différentes. La première est de type alluviale, rencontrée dans les formations Quaternaire. La deuxième nappe c'est celle des formations d'âge Miocène (sables et grès) qui semble la plus importante et qui constitue le principal réservoir d'eau dans la région d'étude. Les assises marneuses constituent un substratum imperméable.

L'hydrogéologie de Boukhadra basé sur Le synclinal de L'haouessrhir constitue une nappe aquifère dont les réserves restent limitées. Seules les sources de Ain malga et Ain chegaga au pied du synclinal montre des exutoires à partir des calcaires turoniens.

Le cœur du synclinal a été exploité durant les années 1970 par le forage BK1. Récemment le flan SE de l'anticlinal de Boukadra a fait l'objet d'une reconnaissance par forage pour l'alimentation de la commune de Boukhadra avec un débit de 20 l/s.

La cartographie piézométrique de la plaine de Tébessa montre que l'écoulement général est de direction Est-Ouest. Au centre la profondeur de la surface piézométrique est faible ; ce qui facilite le contact des eaux de la surface avec les eaux souterraines.

La méthode de prospection électriques nous a permis d'identifier que les deux types de facies se composent respectivement de remplissage sédimentaire dominant le centre de la plaine (argile, sable et marne) et les niveaux de calcaires fissurés dans les bordures.

CONCLUSION GENERALE

D'après l'étude hydrogéologique réalisée dans la région de Chéria on note que le système aquifère est composé de trois niveaux aquifères formées de matériau alluvionnaire, sableux, calcaires fissurés et karstifiés.

Le sens d'écoulement des eaux souterraines suit le sens d'écoulement des cours d'eaux

Les massifs montagneux qui entourent les différentes unités jouent un rôle primordial dans l'alimentation des différents systèmes.

L'interprétation et la corrélation des différents sondages électriques selon les profils géo-électriques réalisés dans les régions de Tébessa (plaine Bekkaria-Tébessa-Morsott), la plaine d'El Malabiod et le plateau de Chéria nous ont permis de définir l'extension latérale des zones périphériques potentielles du point de vue réserves hydriques.

Pour la région d'El Malabiod la partie Nord représente Djebel Bouromane et Djebel Anoual.

Les résistivités varient entre 22 à 180 ohm sur une profondeur de 50 à 350 m.

La partie sud correspond à la région de Djebel Ed Dalaa et Djebel Bou Djellal . Où

Les résistivités varient entre 9 à 900ohm sur une profondeur qui va varier de 30 à 160 m.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

- Agence National des Ressources hydrauliques (ANRH) Constantine , Tébessa
- ALILAOUAR A. (1986)**, Ressource en eau d'une région semi-aride d'Algérie. Plaine d'El MALABIOD . Hydrodynamique et hydrochimie, Thèse Doc-Ing. Université Paul Sabatier Toulouse 204p
- AMRANI Fatma Zohra(1998/1999)**, Cartographie des paramètres hydrodynamique (Transmitivités et perméabilités) du remplissage miocène de la cuvette d'EL MALBIOD
- ANSER, 2012**. Guide pratique pour l'utilisation des indices et coefficients climatologiques. I.S.B.N : 978.9961
- BAALI F. LATRECHE Dj. (1 994)**, Approche hydrogéologique de la région d'El MALBIOD. Mémoire d'Ingénieur. IST Université de Annaba 168p.
- CASTANY G. (1968)** : Prospection et exploitation des eaux souterraines. Ed. Dunod Paris France 683p
- CASTANY G. (1982)** : Principes et méthodes de l'Hydrogéologie. Dunod Edit. Paris, 334p
- CASTANY G. et MARGAT (1977)** : Dictionnaire français d'Hydrogéologie. Bur. Rech. Géol. Minière, 249p.
- CASTANY. G, 1982. Principes et méthodes de l'hydrogéologie** .Edition Dunod, Paris, France, 236 pages.
- CBOUCHAOU L., CHAUVE P., MUDRY J., MANIA J., HSISSOU Y. (1997)** : Structure et fonctionnement d'un hydrosystème karstique de montagne sous climat semi-aride : cas de l'atlas de béni Mellal (Maroc). Journal of african earth sciences, Vol. 26, n°2. pp225-236.
- Collection internationale ABH 4 et 5 juin 2012**
- Contrôle Technique Hydraulique (CTH)** , 1970-2016.Fichier technique des forages : M2, M4, M5, M7, M8, M9, M13, M14, M18.
- Dia T. et Souli M. (1989-1990)** : Contribution a l'étude hydrogéologique de la plaine **D'EL MALABIOD**. (Tébessa) Mémoire d'ingénieur (Université de Constantine) 61p.
- DJEBARI Hacene, 2011**. Ressources et essais de gestion intégrée des eaux du bassin d'EL MALABIOD W de TEBESSA, Thèse de magister, Université BADJI MOKHTAR-ANNABA
- DUROZOY G. 1949**, Captage d'El Ma El Abiod. Implantation des sondages de reconnaissances. Arch. Au S. C H. alger : rapport du 28/3/1947, 1947.coupes et carte géologique provisoire au 1/100.000 de la région d'El MALABIOD.
- Elie Serge Gaëtan SAURET, 2005**. Caractérisation hydrochimique et qualité des eaux souterraines du projet hydraulique villageoise 310 forages, dans la boucle du mouhoun : provinces des banwa, des balles, du mouhoun et de la kossi (BURKINA FASO), Mémoire de fin d'études d'ingénieur géologue, 60 p.
- ERIC GILLI, CHRISTIAN MANGAN, JACQUES MUDRY, 2004**. Hydrogéologie : Objets, méthodes, applications, Paris, France, 292 pages.
- Guefaifia Omar** .Contribution a l'étude hydrogéologique de la nappe aquifère d'El Ma El Abiod. Université de Annaba. 1996. Magister.
- Journal officiel de la république algérienne**, JORA, Décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif la qualité de l'eau de consommation humaine. Imprimerie Officielle, Algérie.
- LEKRINE Yacine, 2015**. Hydrodynamisme et minéralisation du complexe aquifère du bassin frontalier d'EL MALABIOD Wilaya de TEBESSA. Thèse de magister, Université Constantine1 ,157 p.
- Debbez M 2019** Contribution à la reconnaissance de la potentialité aquifère du versantNord de Djebel DoukaneTébessa.Mémoire de master, Université de Tébessa.

Manchar Nabil., étude comparative de deux gisements de fer en contextes géologiques distincts .le

gisement de Sidi Marouf (petite Kabylie, Jijel) et de Boukhadra (monts du Mellegh, Tebessa) Algérie nord orientale. Mémoire Magister en géologie Constantine 2007. (Géologie de Boukhadra).

Hamad A 2018 Modélisation et intérêt hydrogéologique des réservoirs carbonatés karstiques : contributions du SIG (2D/3D), des données géophysiques et approches hydrochimiques et isotopiques - cas du bassin transfrontalier (Tébessa-Kasserine/Algérie-Tunisie). Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat. Université Larbi Tébessa.

Hemali I 2020 actualisations des données hydrogéologiques et hydrochimiques du bassin versant Tébessa-Morsott, université Larbi Tébessa - Tébessa

LES CARTE:

MARSILY DE G. (2004) : Cours d'hydrogéologie. Université pierre & marie curie. 226p

ROUABHIA Abdelkader, et al, 2004. 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. Université d'Annaba, Algérie. 2006. Thèse de doctorat

Rouabhia Aek , cartes piézométriques et structures géologique et hydrogéologique du système aquifère de la plaine d' d'El MALABIOD.

ROUABHIA Aek et BOUDOUKHA A (1996) : Essai de synthèse sur l'hydrogéologie karstique du plateau de Chéria exp. du forage JK8. Séminaire national des sciences de la terre INH Boumédès 10p

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 MAELABIOD. (Tébessa) Mémoire d'ingénieur (Université de Constantine) 169 p

Thorntwaite C. W. and Mather, J.R; (1955), the water balance. Climatology 8(1), 104 p

Verdeil P. (1988) : Abaque pour calcul du déficit d'écoulement (Régions semi-arides).

YASMINA Bouroubi .projet, Réseaux de surveillance des ressources en eaux du Nord-est Algérien . <https://www.researchgate.net/publication/329864244>

Manchar Nabil., étude comparative de deux gisements de fer en contextes géologiques distincts .le gisement de sidi marouf (petite Kabylie ,Jijel) et de Boukhadra (monts du mellegue, Tébessa) Algérie nord orientale. Mémoire Magister en géologie Constantine 2007.

. Gadri Larbi., étude de la déformation et de la rupture des massifs fissurés par la méthode des éléments finis « cas de la mine souterraine de Boukhadra». Thèse doctorat en science option exploitation minière Annaba 2012.

. Arcelor Mittal étude de dangers actualisation mine de Boukhadra centre national des technologies de production plus propre c.n.t.p.p 2017.

Hadji Hadjer, Aounallah Saïda, (2018) -: contribution a l'étude de la faune de nid de la cigogne blanche (*Ciconia ciconia* L., 1758) dans la région de Tébessa, Mémoire de Master en Ecologie et environnement.

Hemmaili I 2020 actualisations des données hydrogéologiques et hydrochimiques du bassin versant Tébessa-Morsott, université larbi tébessi- Tébessa .

Debbez M 2019 Contribution à la reconnaissance de la potentialité aquifère du versant Nord de Djebel Doukane Tébessa. Mémoire de master, Université de Tébessa.

G- castany1962 Réserves en eaux souterraines classification et évaluation

Hamad A 2018 Modélisation et intérêt hydrogéologique des réservoirs carbonatés karstiques : contributions du SIG (2D/3D), des données géophysiques et approches hydrochimies et isotopique- cas du bassin transfrontalier (Tébessa-Kasserine/AlgérieTunisie). Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat. Université larbi Tébessa (site web : caractéristiques principales des nappes).

F. BAALI, Thèse de Doctorat, Contribution à l'étude hydrogéologique, hydro chimique et Vulnérabilité d'un système aquifère karstique en zone semi-aride, Cas du plateau de Chéria N. E. Algérien, Université Annaba, 1 60p, 2007.

F. BAALI. F, et All, Hydrochemistry and isotopic exploration for a karstic aquifer in a semi-arid region: case of Cheria Plain, Eastern Algeria, 13p, 2014.

GAUD, Eude géologique et hydrogéologique du plateau de Chéria Wilaya de Tébessa. Rapport interne N°2. A.N.R.H de Tébessa 68p (Agence Nationale des ressources hydriques), 1977.

S. Ghalmi, thèse de Magister, Relation et fonctionnement des sources issues de la corniche calcaire de djebel Bouziane-Gaagaa, Région de Hammamet-Gaagaa, Université de Tébessa, 2012.

BAALI F, (2000) : Eude hydrogéologique hydrochimique de la région karstique de Chéria N-E Algérien. Magister Univ Annaba Algérie 100p.

BAALI F, Rouabhia A, Kherici N etDjabri L, (2006): Natural chemical tracers of urban pollution: case o Born example of application on the area of Algerian Cheria. WRP, LLC ISBN-13: 978-1-887201647-6 Michigan, USA Pp 39-45.

CGG (compagne generale de géophysique 1970): Prospection géophysique sur le plateau de Chéria. Rapport interne R.A.D.P. Paris VII 26p.