République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Echahid Larbi Tébessi – Tébessa

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

Département de Sciences de la Terre et de l'Univers

MEMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences de la Terre et L'Univers.

Filière : Géologie

Spécialité : Hydrogéologie

Thème

Étude expérimentale de l'infiltration sur les zones de recharge des systèmes aquifères de Tébessa, El Malabiod et Chéria

Présenté par :

Douaibia Nesrine

Devant le jury :

ATHMANIA DJAMEL	**Professeur**	**Echahid larbi tébessi – Tebessa**	**Président**
GEFAIFIA OMAR	**MCA**	**Echahid larbi tébessi – Tebessa**	**Rapporteur**
FEHDI CHEMSEDDINE	**Professeur**	**Echahid larbi tébessi – Tebessa**	**Rapporteur**
BENHAMMADI HOCINE	**MCA**	**Echahid larbi tébessi – Tebessa**	**Examinateur**

Année universitaire : 2025 /2024

الملخص

تهدف هذه الدراسة التجريبية إلى تحليل آليات التغلغل في مناطق تغذية الأنظمة الجوفية الواقعة في تبسة، الماء الأبيض والشريعة. ومن خلال قياسات ميدانية تم إجراؤها على آبار مراقبة، أظهرت النتائج وجود اختلافات واضحة بين المواقع، تعكس التنوع في السياقات الجيولوجية والمناخية.أظهرت التجارب أن التغلغل يتم بشكل أسرع في منطقة الشريعة التي تتميز بتربة أكثر نفاذية، في حين أظهرت منطقة تبسة تغلغلاً أبطأ. وقد تمت مقارنة هذه النتائج مع المعطيات المناخية (الأمطار، التبخر، الميزان المائي)، مما أكد العلاقة الوثيقة بين الظروف الطبيعية وكفاءة التغلغل.تُبرز هذه الدراسة أهمية تبني مقاربة متكاملة لتقييم إمكانيات تغذية الطبقات الجوفية، في سبيل تحقيق اكتفتاء أفضل للمياه في المناطق شبه الجاف

• **Résumé**

Cette étude expérimentale vise à analyser les mécanismes d’infiltration dans les zones de recharge des systèmes aquifères de Tébessa, El Ma El Abiod et Chéria. À travers des mesures de terrain effectuées sur des puits d’observation, les résultats ont montré des différences notables entre les sites, reflétant la variabilité des contextes géologiques et climatiques.

Les essais ont révélé une infiltration plus rapide dans la région de Chéria, caractérisée par un sol plus perméable, tandis que la zone de Tébessa-centre a montré une infiltration plus lente. Ces résultats ont été comparés aux données climatiques (précipitations, évapotranspiration, bilan hydrique), confirmant la corrélation entre les conditions naturelles et les performances d’infiltration.

L’étude met en lumière l’importance d’une approche intégrée pour l’évaluation des potentialités de recharge des nappes, en vue d’une meilleure gestion des ressources en eau dans les régions semi-arides.

Dédicace

À ceux dont la présence dans ma vie est une bénédiction inestimable,

À mon cher père, mon pilier et mon exemple,

À ma tendre mère, source d'amour et de réconfort.

À mes chers frères et sœurs : Chaima, Kholoud, Ritaj, Diaa Eddine et Hicham,

Vous êtes la lumière de mes jours et la chaleur de mon cœur.

À mes oncles Mouhamed et Ismaïl, à mes tantes bien-aimées ainsi qu'à la femme de mon oncle,

Merci pour votre amour sincère et votre soutien inconditionnel.

À mon grand-père bien-aimé

Ta présence est un trésor, et tes prières me guident à chaque pas.

À la mémoire de mes grands-parents disparus,

Que Dieu vous accorde Sa miséricorde et vous ouvre les portes de Son paradis.

Ce travail est un hommage à vos âmes pures.

À mon cher époux Fouzi,

Mon compagnon de vie, mon soutien indéfectible,

Merci pour ton amour, ta patience et ta présence constante.

À mon amie fidèle Wiâm, ma sœur de cœur,

Ta loyauté et ton affection méritent toute ma gratitude.

À mes amies d'études,

Merci d'avoir été les compagnes de mes efforts et les étoiles de mon parcours.

REMERCIMENT

En tout premiers lieu ; je remercie Dieu le tout puissant et miséricordieux ; qui m'aide et donne la force ; la patience et courage durant ces longues années d'étude ; d'accomplir ce modeste travail. Je remercie Ma chère famille de leurs aides morale et financière J'exprime mes profonds remerciements à mon directeur de mémoire ; **Dr ' GEFiAfAI OMAR** que acquitté de la délicate tâche de rapporteur sur cette étude ; pour sa patience et son encouragement ; encadrement et son orientation. Je voudrais ensuite remercier les membres du jury pour m'avoir guidé et fait l'honneur d'évaluer mon travail ; j'adresse mes plus sincères remerciements à tous mes proches et amis qui ont contribué de près ou de loin à ce mémoire. J'adresse également mes plus vifs remerciements à tous mes collèges de promotion (2éme année Master hydrogéologie 2025) pour leur soutien et leur encouragement. Je remercie toutes les personnes, qui de près ou de loin, m'ont aidé à la réalisation de ce travail. En fin je remercie Tout le corps enseignant et personnel de département de la science de la terre qui a contribué de près ou de loin à ma formation.

Table des matières

II. Région d'El MalAbiod : I-7

A. Situation géographique : I-7

B. Couvert végétal : I-8

III. Région de Chéria : II-9

C. Situation géographique II-9

D. Contexte topographique : II-10

E. Contexte hydrographique : II-10

F. Couvert végétal : II-11

IV. Région de Tébessa : III-12

G. Situation géographique : III-12

H. Couvert végétal : III-12

I. RÉGION D'EL MALABIOD : 15

I. INTRODUCTION : 15

J. Cadre géologique : 15

K. Stratigraphie et description lithologique des formations : 16

1. Trias: 17

1. Crétacé : 17

Aptien moyen et inférieur : 17

2. Tertiaire : 21

3. Quaternaire : 22

L. Tectonique : 23

1. Première phase : 23

4. Deuxième phase : 24

5. Style Tectonique : 24

6. Mouvements récents : 25

M. Conclusion : 26

II. Région de Chéria 27

N. CADRE GÉOLOGIQUE : 27

O. INTRODUCTION : 27

P. Stratigraphie de la région de Chéria : 27

1. Alluvions récentes: 27

Q. TECTONIQUE : 31

R. Conclusion : 32

III. Région de Tébessa 34
S. Introduction : 34
T. Stratigraphie : 34
1. Trias : 34
2. Crétacé inférieur : 34
3. Aptien : 34
4. Vraconien-Albien : 35
5. Crétacé moyen : 35
6. PALEOCÈNE : 36
7. EOCENE : 36
8. NEOGENE : 37
9. PLIOCÈNE : 37
10. QUATERNAIRE : 38
U. Description tectonique et structurale : 38
V. CONCLUSION : 39
I. Région d'El Malabiod : 41
W. Etude des paramètres climatiques : 41
1. La Température : 41
Répartition des Températures annuelles : 42
11. Pluviométrie : 43
12. Précipitations : 43
X. Diagramme pluviothérmique : 45
Y. Détermination des indices climatiques : 46
Z. L'indice d'aridité de E. De Martonne : 47
AA. Bilan hydrique 48
13. Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) 50
14. Formule de L. Turc 50
15. Commentaire sur le bilan hydrique (2007–2017) 52
16. Le bilan hydrique durant l'année excédentaire (2008/2009) 53
BB. Le ruissellement 53
CC. L'infiltration : 54
DD. Conclusion 55
II. Région de Chéria 55
EE. Etude des facteurs climatiques : 56
1. Les Précipitations : 56

FF. Répartition mensuelle des précipitations 57
17. La neige 57
18. La température 57
GG. Diagramme pluviométrique 58
HH. Indices climatiques 59
II. Bilan hydrique 60
JJ. L'évapotranspiration 60
KK. Infiltration : 63
LL. Conclusion : 64
III. Région de Tébessa 65
MM. Etude des paramètres climatiques : 65
1. Temperature: 65
19. Précipitations : 66
NN. Détermination des indices climatiques : 67
1. L'humidité : 67
OO. Estimation des réserves facilement utilisable(RFU) : 73
PP. Conclusion : 74
I. Région d'El Ma El Abiod 76
A. Géophysique 76
1. Géométrie de l'aquifère 76
2. Introduction : 76
3. Profils géo-électrique réalisés : 76
4. Coupe transversale 11 (Nord-Sud) : 78
5. Coupe transversale III (Nord-Sud) 79
6. Profil longitudinal V (Sud-Ouest – Nord-Est) : 81
7. Commentaire des résultats : 82
8. Les cartes isopaches : 82
9. Carte d'épaisseur des grès : 83
10. Carte d'épaisseur des argiles sableuses : 84
11. Conclusion : 84
B. Hydrogéologie 84
1. Les différentes nappes aquifères 84
1. Introduction 84
2. Structure du système aquifère 85
3. Apports du système et conditions aux limites 86

4. Caractéristique hydrodynamique 87
5. Répartition spatiale de la Perméabilité 88
6. Répartition spatiale de la Transmissivité 88
7. Piézométrie de la nappe 89
8. . Évolution de la piézométrie 90
9. Conclusion : 92
II. Région de Chéria 92
C. Géophysique 92
1. Introduction : 92
2. Travaux effectués : 93
3. Résultats de la prospection électrique : 93
4. Validité des résultats : 94
5. L'Analyse des coupes géoélectriques (Figure) : 94
6. L'investigation gravimétrique : 95
7. Conclusion 95
D. Hydrogéologie 96
1. Introduction : 96
2. Description générale de la région de Chéria : 96
3. Géométrie des aquifères : 96
4. L'investigation gravimétrique : 99
5. Structure du système aquifère : 99
6. Les conditions aux limites : 101
7. Position et émergence des sources : 102
8. Évolution de la piézométrie : 105
9. Interprétation des cartes piézométriques : 105
10. Conclusion : 107
III. Région de Tébessa 108
1. Introduction : 108
2. Profils géoélectriques et leur interprétation : 109
3. Les fossés d'effondrement de Tébessa – Morsott et Hammamet : 112
4. Épaisseur du remplissage : 114
5. Description lithologique : 114
6. Échelle des résistivités : 115
7. Profils géoélectriques à la plaine de Tébessa : 116
8. Conclusion : 117

1. Introduction :....117
2. Description générale :....117
3. Conditions aux limites :....118
4. La piézométrie :....119
5. Évolution des niveaux piézométriques dans le temps et l'espace :....120
6. Estimation des réserves :....121
7. Carte de la variation du paramètre de transmissivité :....124
8. Conclusion :....126

I. La région d'EL Malabiod....128
1. INTRODUCTION :....128
2. Vérification de la balance ionique :....128
3. Matériels et moyens d'analyse :....129
4. Les Paramètres mesurés in situ :....129
5. Les paramètres mesurent au laboratoire :....129
6. Evaluation de la qualite des eaux souterraines :....130
7. Paramètres et facies chimiques :....132
8. DETERMINATION DES FACIES HYDROCHIMIQUES :....132
9. Conclusion :....135

II. La région de chéria....136
1. Introduction :....136
2. .L'hydrochimie des aquifères :....136
3. Les faciès chimiques :....137
4. Représentation graphique sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff :....137
5. Résultats de l'étude hydrochimique....141
6. Conclusion :....142

III. Région de Tébessa....142
1. Introduction :....142
2. Représentation graphique et détermination des faciès chimiques :....143
3. Interprétation des résultats à l'aide du diagramme de Schoeller-Berkaloff :....144
1. Résultat de l'étude hydrochimique....145
2. Conclusion :....146

I. Introduction....148
1. Méthodologie expérimentale de l'étude de l'infiltration....148
2. Les coordonnées géographiques et Lamberts des points de prélèvement :....149
3. Résultats expérimentaux de l'infiltration dans les trois zones d'étude....150

4. Application de la formule de Philip pour le calcul de l'infiltration : 153
5. Application de la Méthode de Kostiakov pour le calcul de l'infiltration 156
6. Comparaison entre les résultats de l'expérience d'infiltration et ceux du bilan hydrique. 160
7. Conclusion : 161

LISTE DES FIGURE

Figure 1 : situation géographique et administrative de la plaine El Malbiod I-8
Figure 2 : Présentation et situation géographique des plaines. II-10
Figure 3 : Réseau hydrographique de la région d'étude II-11
Figure 4 : Localisation géographique de zone et station d'étude III-13
Figure 5 : Carte géologique d'el Ma El Mabiod. (G.DUROZOY 1948) 16
Figure 6 : Permis DJEBEL DOUKKANE FORAGE PETROLIER BOUDJELLAL-2 [BDJ-2] (source ANRH) 20
Figure 7 : Coupes géologiques montrant les différentes formations de la région d'étude. 23
Figure 8 : Esquisse tectonique de la zone d'étude (W.M.Kowalski et al. 1997) 24
Figure 9 : Carte du système de failles (UGF-BRNO 1971) 26
Figure 10 : coupe géologique du plateau de Chérai. (Baali et Chafai ; H 2006) 29
Figure 11 : Colonne stratigraphique synthétique des monts de Chérai (D'après Vila, 1980) 30
Figure 12 : Esquisse tectonique de la région de Tébessa. D'après G. Durozoy. 1952 31
Figure 13: Esquisse géologique de la région de cheria (D'appres LAMBERT 1945) 33
Figure 14 : Variation des températures mensuelles, période de 10 ans (2007_2017). 42
Figure 15 : Variation des températures inter annuelles 42
Figure 16 : Station pluviométriques et leurs codes/Bassin d'El Malabiod 43
Figure 17 : : Les Hauteurs annuelles sur période de 10 ans (2007-2017) à la station d'EL MALBIOD 45
Figure 18 : Diagrammes pluviothèrmiques (2007/2017) / Bassin D'EL MALABIOD. 45
Figure 19 : La Variations interannuelles des précipitations interannuelle de la station de Chéria (1990-2014). 56
Figure 20 : Les Variations des précipitations moyennes mensuelles de la station de Chéria (1990- 2014) 57
Figure 21 : Variation des températures mensuelles à la station de Tébessa 58
Figure 22 : Diagramme pluviothermique a la station de Chéria (1990-2014). 59
Figure 23 : variation des températures moyennes mensuelles (1997/1998-2019/2020). 65
Figure 24 : Variation des précipitations moyennes mensuelles (station de Tébessa 1997-2018. et site web2019-2020). 66
Figure 25 : Variation des précipitations annuelle à la Station de Tébessa (1997-2020). 67
Figure 26 : carte de position des sondages électrique (in ROUBHIA Aek 76
Figure 27 : coupe géo-électrique transversale I. Passant par les forages M7, M5, M4, et M15 77
Figure 28 : profil géo-électrique transversal (N/S) N° II traversant les forages ; M10, M9, et M6. 78
Figure 29 : profile géo-électrique transversal (N/S) N° III traversant les forages ; M1, M6, et le puits P23. (In Magister O.Guefaifia 1996) 79
Figure 30 : profile géo-électrique (SW/NE) N° IV traversant les forages M15, M2, et M10. (In Rouabhia et Guefaifia 1996). 80
Figure 31 : Profil géo-électrique (SW /NE) N°V traversant les forages M3, M8, M5, et le S23. 82
Figure 32 : carte d'égale épaisseur des sables –In ROUBHIA 2006- 83
Figure 33 : Carte d'égale épaisseur des Grés –In ROUBHIA 2006- 83
Figure 34 : Carte d'égale épaisseur des Argiles sableuses –In ROUBHIA 2006- 84
Figure 35 : Structures géologique et hydrogéologique du système aquifère du bassin d'El MALBIOD 85
Figure 36 : Carte des conditions aux limites du système aquifère du bassin d'El MALBIOD. (In Rouabhia 2001) 87
Figure 37 : Carte de Perméabilité/Bassin d'El MALBIO 88
Figure 38 : Carte de Transmissivité /Bassin d'El MALABIOD 88
Figure 39 : Evolution de la profondeur du plan d'eau dans les trois piézomètres 90
Figure 40 : Variation de la côte Piézométrique dans le temps et dans l'espace (Période 2007 2021) 91
Figure 41 : Cadre de positionnement des sondages électriques CGG 1970 93
Figure 42 : Coupes géoélectriques H, J et K (CGG, 1970) 95
Figure 43 : Carte de position des profils géo-électriques dans le plateau de Chéria. (In Baali F. 2007) 96

Figure 44 : Coupe géo-électrique : profil H.....97
Figure 45 : Coupe géo-électrique: profil J et K. 97
Figure 46 : Coupe géo-électrique : profil N.....98
Figure 47 : Coupe géo-électrique : profil E 98
Figure 48 : Coupe géo-électrique : profil M 98
Figure 49 : Coupe géo-électrique : profil Q et R 99
Figure 50 : Coupes géologiques du plateau de Chéria 101
Figure 51 : Carte des conditions aux limites de Chéria. (In baali 2007) 102
Figure 52 : Les hydro grammes des débits pour les sources étudiées 104
Figure 53 : La sonde de niveau d'eau.....105
Figure 54 : Carte piézométrique de Chéria (Sep 2002) (in baali 2007).....106
Figure 55 : Carte piézométrique de Chéria (Sep 2005) (in baali 2007).....107
Figure 56 : Carte de situation des sondages électriques (CGG 1970) 108
Figure 57 : Profils des coupes électriques Tébessa-Morsott 109
Figure 58 : coupe géo électrique transversale centrale 111
Figure 59 : :coupe géo électrique transversale WEST.....112
Figure 60 : Coupe géo-électrique présentée le fossé d'effondrement de Morsott 113
Figure 61 : Coupe géo-électrique présentée le fossé d'effondrement de Morsott. 113
Figure 62 : Carte d'épaisseur du remplissage alluvionnaire.....114
Figure 63 : Coupes géoélectriques à travers la plaine de Tébessa selon les profils (J, K, L et M) (in Djabri L. 1987). 116
Figure 64 : Coupes géoélectriques à travers la plaine de Tébessa selon les profils (R, S, T et U) (inDjabri L. 1987) 116
Figure 65 : Coupe hydrogéologique à travers la plaine de la Merdja.....118
Figure 66 : Carte des conditions aux limites de la zone d'étude (Hamili I2020). 118
Figure 67 : la carte d`inventaire des puits sur la plaine (Tebessa-Morsot).....119
Figure 68 : Carte piézométrique la nappe de Tébessa (Juillet 2009) L. Djabri et al. / Larhyss Journal, 22 (2015). .120
Figure 69 : la courbe d`évolution à l`échelle piézométrique spatiale et temporelle. 121
Figure 70 : 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 122
Figure 71 : Valeurs des transmissivitésT(m2/s) et perméabilités K(m/s) moyennes - Méthode de (Theis , Jacb, Chow).....125
Figure 72 : Conductivité électrique (CE) 130
Figure 73 : Variation de la conductivité des puits étudiés en (µS/cm) 131
Figure 74 : Diagramme de Schoeller Berkalof. Période, (2021) 133
Figure 75 : Diagramme de Piper. (2021) 134
Figure 76 : Répartition spatiale des éléments chimiques.....135
Figure 77 : Diagramme de Schoeller Berkalof. Période, septembre 2002 138
Figure 78 : Diagramme de Schoeller Berkalof. Période, septembre 2003 139
Figure 79 : Diagramme de Schoeller Berkalof. Période, Février 2005 140
Figure 80 : Diagramme de Schoeller Berkalof. Période, Septembre 2005.....141
Figure 81 : Diagramme de Piper. Présentation générale 143
Figure 82 : Diagramme de Scholler –Berkallof pour les Cinq sources (2015 2016).....145
Figure 83 : Graphe de variation des niveaux d'eau en fonction du temps.....150
Figure 84 : Graphe de variation des niveaux d'eau en fonction du temps Région de Tébessa. 151
Figure 85 : Graphe de variation des niveaux d'eau en fonction du temps.....152
Figure 86 : Variation du taux d'infiltration dans Région d'El Malabiod 154

Figure 87 : Variation du taux d'infiltration dans la région de Chéria.....155
Figure 88 : Variation du taux d'infiltration dans la région de Tébessa. 155
Figure 89 : variation du taux d'infiltration moyenne dans les trois régionTébessa, El Malabiod, Chéria (formule de Philipe) 156
Figure 90 : Variation du taux d'infiltration dans la région d'El Malabiod. (formule de kostiakov). 157
Figure 91 : Variation du taux d'infiltration dans la région de Chéria. (Formule de kostiakov). 158
Figure 92 : Variation du taux d'infiltration dans la région de Tébessa. (Formule de kostiakov). 159
Figure 93 : variation du taux d'infiltration moyenne dans les trois régions Tébessa, El Malabiod, Chéria (formule de Kostiakov). 159

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau 1 : les températures moyennes mensuelles à la station d'EL MALBIOD (2007-2017) 41
Tableau 2 : Températures moyennes annuelles (2007_2017) 42
Tableau 3 : Moyenne des précipitations mensuelles sur une période de 10 ans (2007/2017). 44
Tableau 4 : Les Hauteurs annuelles sur une période de 10ans (2007\2017) 44
Tableau 5 : Indice d'aridité de E. DE Martone et type de climat. 47
Tableau 6 : Indice d'aridité mensuel/Bassin d'El Malabiod 48
Tableau 7 : ETP selon la formule de C. W. Thornthwaite/Station d'El Ma El Abiod 49
Tableau 8 : ETP selon la formule de C. W. Thornthwaite/Station d'El Ma El Abiod Pour l'année (2008/2009). 50
Tableau 9 : ETR selon la méthode de L. Turc 51
Tableau 10 : Bilan hydrique selon la méthode de C. W. Thornthwaite pour période de 10 ans (2007/2017) 51
Tableau 11 : Bilan hydrique selon la méthode de C. W. Thornthwaite pour l'année (2008/2009) 52
Tableau 12 : Ruissellement selon la méthode de Tixeront-Berkaloff 54
Tableau 13 : Infiltration efficace moyenne annuelle (2008/2009). 54
Tableau 14 : L'identification pour la station pluviométrique de Chéria. 55
Tableau 15 : Précipitations moyennes mensuelles de Chéria (1990-2014). 57
Tableau 16 : Températures moyennes mensuelles à la station de Tébessa (1990-2014) 58
Tableau 17 : Bilan hydrique globale interannuel (1990-2014) 62
Tableau 18 : Tableau récapulatif des paramètres du bilan 63
Tableau 19 : Bilan hydrique pour l'année plus humide de la station de Chéria (1995) 64
Tableau 20 : Les variations des Températures moyennes mensuelles de la station de Tébessa (1997- 2018) 65
Tableau 21 : 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). 66
Tableau 22 : Précipitations moyennes interannuelles (station de Tébessa 1997-2020). 67
Tableau 23 : Bilan hydrique du l`année la plus sèche (2000-2001). 69
Tableau 24 : bilan hydrique de l`année la plus humide (2003-2004). 69
Tableau 25 : Bilan hydrique de la période de 23 ans (1997/1998-2019/2020). 70
Tableau 26 : Evaporation en mm et en % à la station météorologique Tébessa aéroport pour la période 1971-2006. 71
Tableau 27 : Lithologie et résistivités des forages M4, M5 (source ANRH) 78
Tableau 28 : Lithologie et résistivités des forages M6, M9 et M10 (source ANRH) 79
Tableau 29 : Lithologie et résistivités des forages M1, P23, et M6 (source ANRH). 80
Tableau 30 : Lithologie et résistivités des forages M12, M13, M2, M10 et M15 (source ANRH). 81
Tableau 31 : Épaisseur des diverses formatons dans différents ouvrages de captage/Bassin d'EL MALBIOD. 86
Tableau 32 : Valeurs de perméabilité et de transmissivité des forages. (Source ANRH) 87
Tableau 33 : les forages actuellement ou prochainement en service. 89
Tableau 34 : les coordonnées et les informations des sources étudiées 103
Tableau 35 : Les débits des trois sources (01/03/2015 à 15/05/2015) 103
Tableau 36 : échelle des résistivités des formations géologiques 115
Tableau 37 : les résultats des essais de pompage de la station d'étude (hydraulique de Tébessa) 125
Tableau 38 : Caractères chimiques des eaux de sources de la région EL MALABIOD (ANRH) 128
Tableau 39 : Classification des eaux de boisson en fonction de la conductivité. (Journal officiel de la république algérienne) 131
Tableau 40 : récapitulatif des valeurs obtenues au cours de l'expérience 150
Tableau 41 : récapitulatif des valeurs obtenues au cours de l'expérience 151
Tableau 42 récapitulatif des valeurs obtenues au cours de l'expérience 152

Tableau 43: Taux d'infiltration région d'EL Malabiod (model de Fhilip) 153
Tableau 44: Taux d'infiltration région de Cheria (model de Fhilip).....154
Tableau 45: Taux d'infiltration région de Tebessa (model de Fhilip) 155
Tableau 46: Taux d'infiltration moyenne (model de Fhilip).....156
Tableau 47: Taux d'infiltration région d'EL Malabiod (model de KostiaKov) 157
Tableau 48: Taux d'infiltration région d'EL Malabiod Cheria (model de KostiaKov).....158
Tableau 49 : Taux d'infiltration calculés région de Tébessa (model de KostiaKov).....158
Tableau 50: Taux d'infiltration moyenne calculés (modal KostiaKov).....159
Tableau 51 : taux d'infiltration Région d'El Malabiod 160
Tableau 52 : taux d'infiltration Région de Tébessa.....160
Tableau 53 : taux d'infiltration Région de Chéria 160

Introduction General

La gestion durable des ressources en eau est devenue l'un des défis majeurs du 21 siècle, en particulier dans les régions arides et semi-arides où la rareté de l'eau constitue un frein important au développement socio-économique. Dans ce contexte, l'étude des mécanismes de recharge des nappes phréatiques revêt une importance capitale. L'infiltration constitue le processus fondamental à travers lequel l'eau issue des précipitations atteint la zone saturée, assurant ainsi l'alimentation des aquifères souterrains.

Cependant, la complexité de ce processus, influencé par de multiples facteurs (climat, géologie, topographie, couverture végétale, etc.), nécessite une approche rigoureuse alliant investigation sur le terrain, expérimentation et modélisation.

La région de Tébessa, située à l'extrême est de l'Algérie et bordée par la Tunisie, représente un territoire à fort potentiel hydrogéologique mais marqué par une variabilité spatio-temporelle significative de ses ressources en eau. Les plaines de Tébessa, d'El Ma El Abiod et de Chéria, appartenant à la zone des Hauts Plateaux et à l'Atlas saharien, offrent un cadre naturel propice à l'étude des processus de recharge en eau souterraine.

La présence de formations géologiques variées, de structures tectoniques complexes et d'un climat semi-aride accentue la nécessité d'une meilleure compréhension du fonctionnement hydrogéologique de ces zones.La présente étude vise à caractériser expérimentalement le phénomène d'infiltration dans ces trois zones de recharge, en recourant à des essais sur site au niveau de puits d'observation spécialement aménagés à cet effet. Ces essais permettent de quantifier l'intensité de l'infiltration, d'évaluer la perméabilité des sols, et de comparer les résultats obtenus avec les données du bilan hydrique régional, afin de mieux cerner les capacités réelles de recharge des nappes.

Ainsi, cette recherche ambitionne de fournir des éléments scientifiques concrets sur les conditions de recharge dans des environnements contrastés, tout en posant les bases d'une meilleure gestion des ressources en eau souterraine, notamment dans les contextes sahariens et pré-sahariens. Elle s'inscrit également dans une démarche de valorisation des méthodes expérimentales simples, reproductibles, mais efficaces, qui peuvent être adaptées à d'autres territoires confrontés aux mêmes problématiques.

CHAPITRE I :

Cadre générale

I. Région d'El MalAbiod :

1. Situation géographique :

La région d'El Ma El Abiod est située au sud-est de l'Algérie, à proximité de la frontière tuniso-algérienne. Elle se trouve à environ 260 km au sud-est de la ville d'Annaba. Intégrée entièrement dans le bassin versant saharien, elle fait partie des Hauts Plateaux (voir Fig. 01).

Il s'agit d'une dépression délimitée par deux chaînes montagneuses orientées respectivement Est-Ouest et Nord-Est/Sud-Ouest. Entre ces reliefs s'étend une large plaine d'origine mio-plio-quaternaire : la plaine d'El Ma El Abiod.

Au nord, la plaine est bordée par les massifs calcaires du Djebel Doukkane, du Djebel Anoual et du Djebel Bouroumane. Cette limite marque également la séparation entre deux grands bassins versants : celui de la Medjerda, qui s'écoule vers le nord, et celui de l'Oued Melrhir, qui s'écoule vers le sud.

À l'est, la plaine s'approche de la frontière tunisienne, notamment dans la région de Koudiat Sidi Salah, marquant ainsi les confins du territoire algérien.

À l'ouest, la limite est formée par le Guebel Er Rouiss et le Dra Douamiss.

Au sud, on retrouve les monts de Boudjellal, El Guelia et Ed'Dalia, ainsi que le synclinal de Bir Sbeikia, d'âge mio-quaternaire.

L'altitude de cette dépression diminue progressivement du nord vers le sud, passant du Djebel Doukkane (1 712 m) jusqu'à la ville d'El Ma El Abiod (1 019 m). Le relief est traversé par de nombreux ravins à écoulement temporaire et torrentiel lors des fortes pluies, provoquant l'érosion de lits profonds (entre 2 et 3 mètres), avec un tracé sinueux dû à la faible pente de la plaine. Seul l'Oued El Ma El Abiod présente un écoulement permanent, alimentant ainsi un cours d'eau qui se dirige vers le Chott Melghir au sud, situé à une altitude de -40 m.

El Ma El Abiod est une commune relevant administrativement de la wilaya de Tébessa, située à 29 km du chef-lieu. Elle constitue l'une des Daïras de cette wilaya.

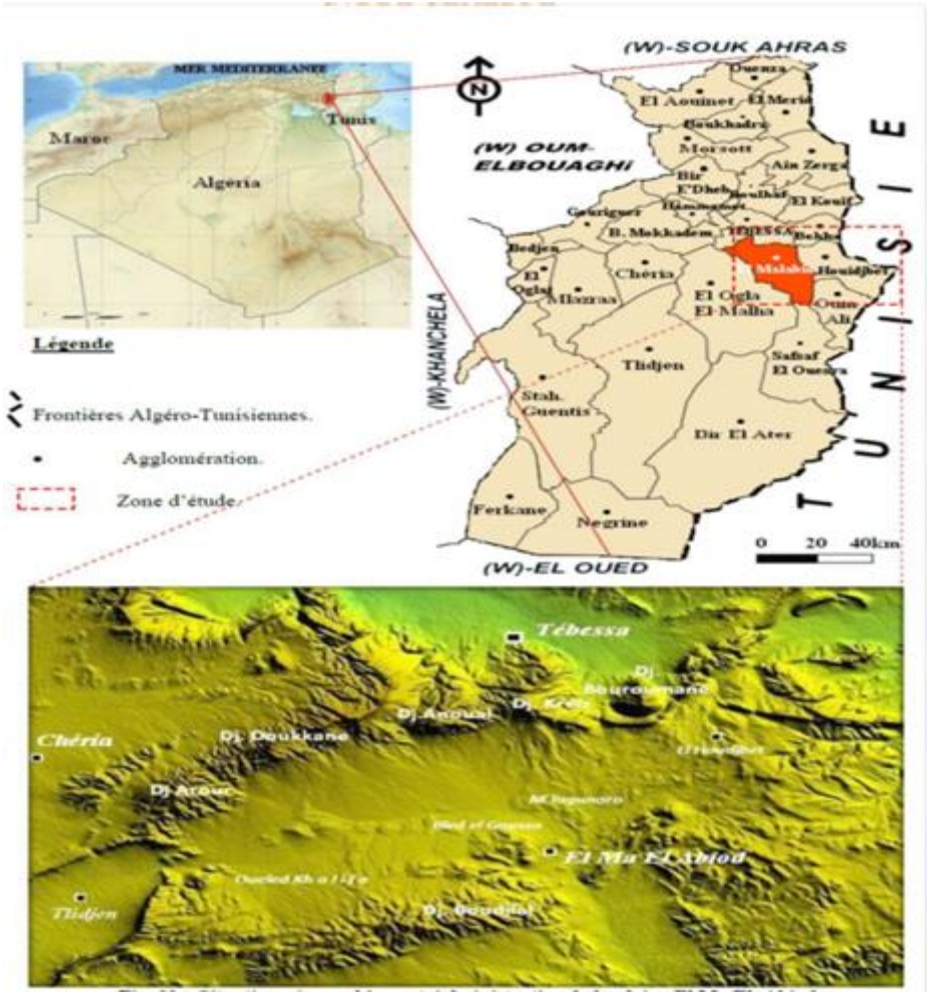


Figure 1 : situation géographique et administrative de la plaine El Malbiod

2. **Couvert végétal :**

La plaine d'El Ma El Abiod appartient à la zone sub-saharienne, caractérisée par un climat semi-aride avec de faibles précipitations, ce qui limite considérablement le développement du couvert végétal. La végétation dominante se compose principalement de forêts de pins d'Alep, plus présentes dans la partie nord de la zone d'étude et devenant de plus en plus rares en se dirigeant vers le sud, jusqu'aux abords du Djebel Boudjellal.

On observe également quelques cultures pastorales et céréalières, bien que celles-ci restent limitées. Les cultures de céréales sont essentiellement destinées à maintenir un certain équilibre économique pour les agriculteurs.

Des genévriers denses sont visibles au niveau du Djebel Doukkane, ainsi que sur les pentes méridionales du Djebel Arour. Ailleurs, la roche ou le sol affleure entre les touffes dispersées d'une steppe basse, dominée par l'alfa. Ces dernières années, on note un retour progressif à l'agriculture maraîchère, notamment à la culture de légumes comme la pomme de terre et la tomate. Cependant, ces cultures

s’appuient fortement sur l’irrigation, ce qui entraîne une surexploitation préoccupante des ressources en eaux souterraines.

II. Région de Chéria :

3. Situation géographique

Le plateau de Chéria, du nom de la ville située en son centre, se trouve à environ 45 km à l’ouest de la ville de Tébessa et à 250 km de la côte méditerranéenne. Il s’agit d’un vaste plateau de forme approximativement triangulaire, couvrant une superficie moyenne d’environ 800 km², avec des altitudes comprises entre 1 050 et 1 500 mètres (voir Fig. 2).

La ville de Chéria est située au sud-ouest du chef-lieu de la wilaya de Tébessa. Elle occupe une superficie de 722 km² et présente une forme grossièrement triangulaire. Ses limites géographiques sont les suivantes ;

À l’est : Djebel Doukkane, Fedj Tafouna, Djebel Arour

À l’ouest : Djebel Kemlal, Djebel Touila

Au nord : Djebel Troubia, Djebel Gaâga

Au sud : Djebel Boukameche, Djebel Babouche, Djebel Zora.

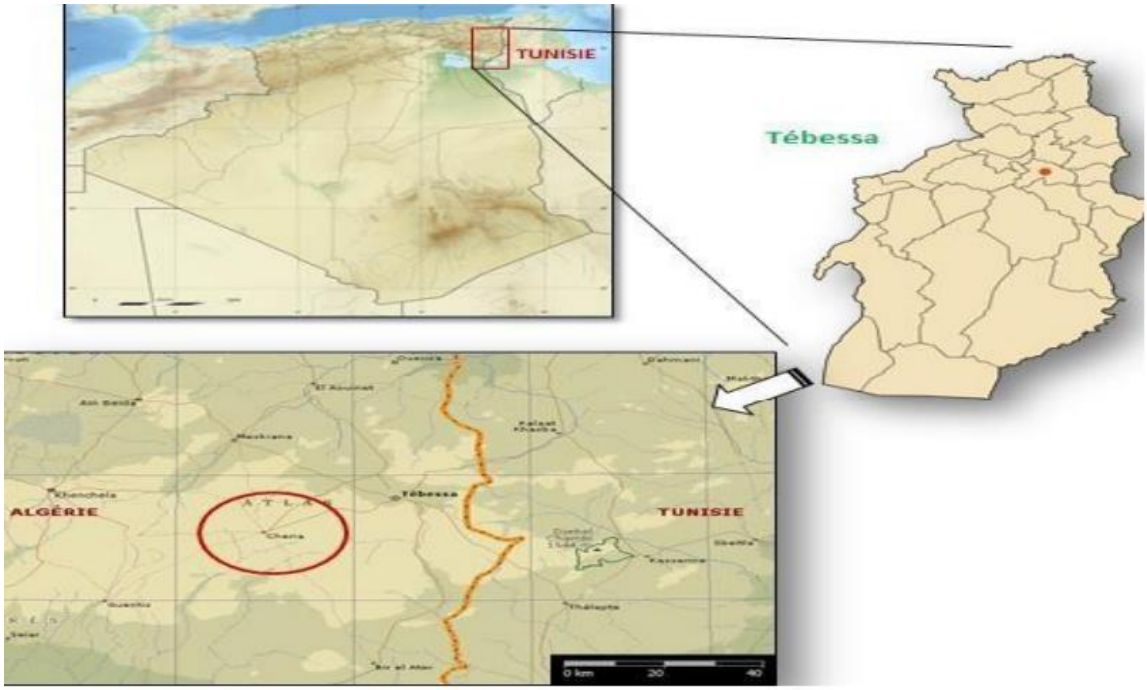


Figure 2 : Présentation et situation géographique des plaines.

4. **Contexte topographique :**

La région d'étude englobe trois plaines, caractérisées par une topographie relativement plate, prenant la forme de cuvettes juxtaposées, entourées de massifs montagneux. L'altitude y varie entre 1 650 mètres, correspondant au point culminant de la région situé au Djebel Doukkane, et 810 mètres, altitude la plus basse observée au niveau de la plaine de Tébessa (voir Fig.3).

5. **Contexte hydrographique :**

La plaine de Chéria est drainée par l'oued Chéria, un cours d'eau à écoulement intermittent dirigé vers le sud. Il est alimenté par un réseau de chenaux ramifiés prenant naissance dans les montagnes qui encerclent la plaine (voir Fig.3).

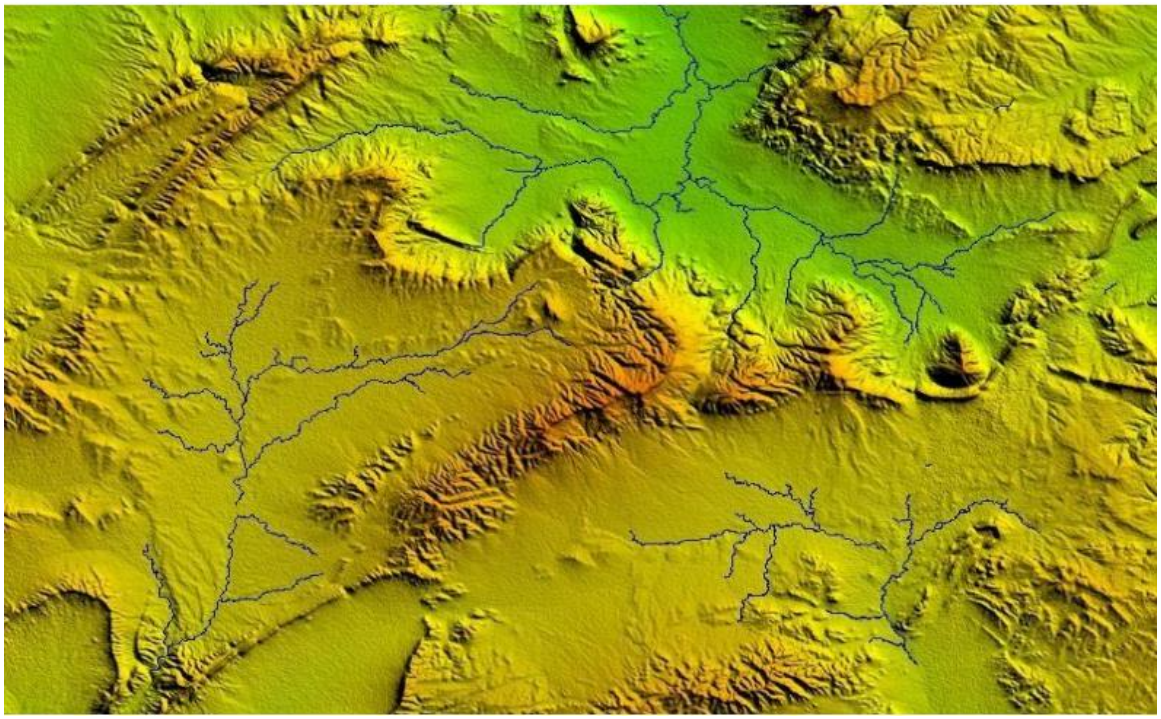


Figure 3 : Réseau hydrographique de la région d'étude

6. Couvert végétal :

Les deux cuvettes de Chéria et d'El Ma El Abiod font partie du bassin versant du Chott Melghir, une zone caractérisée par une végétation très clairsemée en raison de l'influence des courants chauds et secs durant la période estivale. À l'inverse, la plaine de Tébessa, qui relève du sous-bassin versant de la Medjerda, bénéficie d'une couverture végétale relativement plus développée, favorisée par l'apport des courants marins humides.

La végétation naturelle est principalement composée de pins d'Alep, bien présents dans la partie nord de la zone d'étude, mais devenant de plus en plus rares en allant vers le sud, jusqu'à disparaître totalement aux abords du Djebel Boudjellal.

Contrairement aux plaines de la Mellègue et aux monts de Tébessa, les montagnes qui bordent la plaine d'El Ma El Abiod se distinguent par une quasi-absence de couverture végétale. Seul l'escarpement nord du bassin d'El Ma El Abiod fait exception, étant recouvert d'une forêt de pins d'Alep.

III. Région de Tébessa :

7. Situation géographique :

La wilaya de Tébessa est située à l'extrême est de l'Algérie, aux portes du désert. Elle se trouve à environ 230 km au sud d'Annaba, 200 km au sud de Constantine et 330 km au nord d'El Oued. Avec une superficie de 13 878 km², elle s'intègre naturellement dans la vaste zone steppique du pays.

Elle est délimitée au nord par la wilaya de Souk Ahras, à l'ouest par celles d'Oum El Bouaghi et de Khenchela, au sud par la wilaya d'El Oued, et à l'est par la Tunisie, avec laquelle elle partage près de 300 km de frontière (Aounallah et Hadji, 2018) (voir Fig. 4).

La commune de Tébessa est bordée par :

Bekkaria à l'est,

Boulhef Dyr au nord,

Hammamet au nord-ouest,

El Ma El Abiod au sud,

et Bir Mokadem à l'ouest.

8. Couvert végétal :

Le climat de la région de Tébessa, plutôt aride, n'autorise qu'une couverture végétale modeste et peu dense. On y trouve principalement le pin d'Alep et le genévrier de Phénicie, poussant sur les sols calcaires, ainsi que, de manière plus localisée, le chêne kermès qui forme encore quelques belles forêts malheureusement en voie de dégradation.

L'alfa y est également présent, ne poussant que sur les marnes et les grès, et fait l'objet d'une exploitation locale. Quant aux zones alluviales, elles permettent des cultures céréalières, mais les récoltes restent souvent irrégulières à cause des conditions climatiques difficiles.

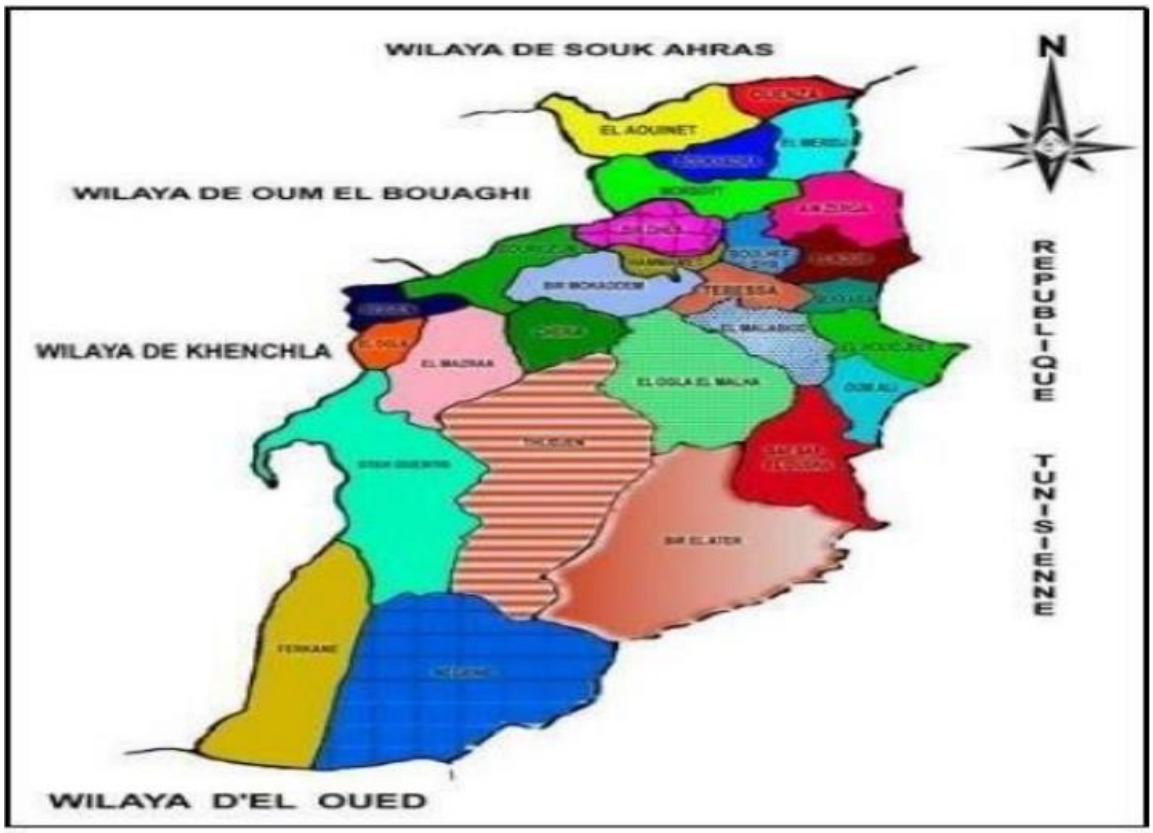


Figure 4 : Localisation géographique de zone et station d'étude

CHAPITRE I :

GEOLOGIE

I. RÉGION D'EL MALABIOD :

9. INTRODUCTION :

La région d'El Malabiod, située à la frontière algéro-tunisienne, fait partie de l'Atlas Saharien. Elle se caractérise par un relief contrasté, dominé par des formations calcaires orientées selon un axe sud-ouest / nord-est, séparées par une dépression correspondant à la plaine cultivée d'El Malabiod, d'âge moi-quaternaire.

Cette région a subi deux phases tectoniques majeures qui ont profondément influencé sa structure actuelle.

Bien que la plaine d'El Malabiod n'ait pas fait l'objet d'études géologiques détaillées, elle s'inscrit néanmoins dans un contexte géologique partiellement connu. Depuis les années 1970, quelques forages ainsi qu'une étude géophysique y ont été réalisés, principalement dans le cadre de recherches en eau et en hydrocarbures.

Le remplissage sédimentaire du sous-bassin versant d'El Malabiod est constitué de :

Dépôts de type épicontinental présentant des variations de faciès et d'épaisseur, orientés SW-NE, datés de l'Aptien au Maastrichtien ;

Grès et argiles bariolées à la base du Miocène ;

Trias germanique sous forme de diapirs.

Les formations crétacées ont, elles aussi, été affectées par des plissements dans la même direction. Les deux épisodes tectoniques ayant touché la région sont responsables de la morphologie structurale actuelle.

A. Cadre géologique :

La zone d'étude s'inscrit dans l'Atlas Saharien et se présente sous forme d'une plaine à pente douce, délimitée au nord et au sud par des plis orientés selon un axe sud-ouest / nord-est (fig.5). La limite nord marque la ligne de partage des eaux entre le bassin versant de la Medjerda et celui du Chott Melhrir.

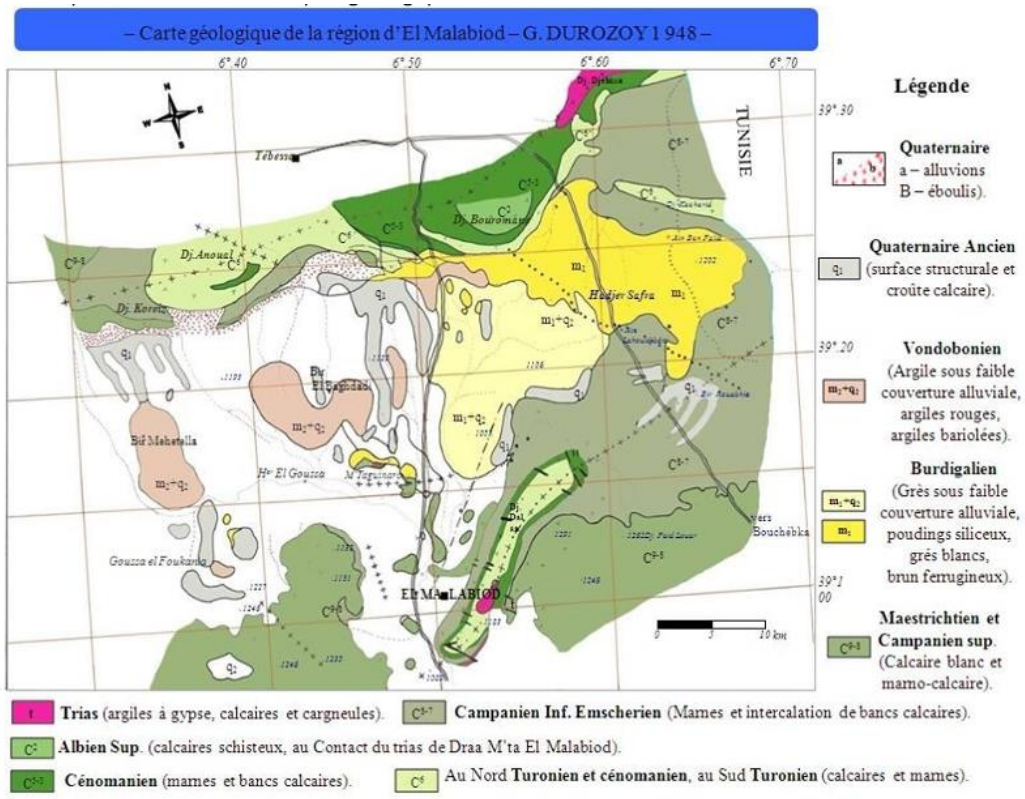


Figure 5 : Carte géologique d'el Ma El Mabiod. (G.DUROZOY 1948)

10. **Stratigraphie et description lithologique des formations :**

(Description basée sur les travaux d'O. Guefaifia, 1997 et A. Rouabhia, 2006)

La région d'El Malabiod n'a pas fait l'objet de nombreuses études géologiques précises. Toutefois, elle a été intégrée dans un cadre géologique régional mieux connu.

D'un point de vue structural, les recherches menées ont permis de montrer que cette région se présente sous forme d'un bassin subsident, encadré au nord par des massifs calcaires imposants (Djebel Anoual, Djebel T'noukla, Djebel El Khorza…), caractérisés par un relief marqué et une orientation générale ouest–est.

La lithostratigraphie du bassin d'El Malabiod se divise en deux grands ensembles :

Le premier est constitué principalement des formations crétacées et tertiaires, visibles en affleurement sur les bordures de la plaine ;

Le second correspond à un recouvrement d'âge miocène à quaternaire, qui couvre presque toute la superficie de la plaine.

Ces deux ensembles forment une série stratigraphique incomplète, marquée notamment par l'absence des formations éocènes. Cette série se compose des unités suivantes (voir Fig.5) :

Trias : formations plastiques et diapiriques ;

Crétacé et Éocène : dépôts néritiques, essentiellement calcaires et marneux .

Miocène : dépôts littoraux, deltaïques et continentaux à faciès sableux et argileux .

Plio-Quaternaire : formations d'origine continentale.

Cette succession stratigraphique est organisée de manière chronologique, allant des formations les plus anciennes aux plus récentes.

A. **Trias:**

Dans la partie sud de la plaine d'El Malabiod, au niveau du Djebel Dalaa Er-Rouail, le Trias affleure de façon limitée sous forme diapirique. Il y est représenté par un faciès caractéristique de la région, composé d'argiles gypseuses, de calcaires et de cargneules.

Plus au nord-est, notamment au Djebel Djebissa, le Trias se manifeste également en diapir, sous forme d'argiles rouges à gypse et de calcaires noirs ou dolomitiques en plaquettes.

B. **rétacé :**

C. **Aptien moyen et inférieur :**

À l'extrémité nord de la zone d'étude, sur le flanc est du Djebel Bouroumane, affleure un ensemble de calcaires et de dolomies, dont la partie inférieure est majoritairement dolomitique. Ces formations renferment une grande quantité d'Obitoires, avec la présence ponctuelle de Rudistes dans les niveaux de calcaires durs, d'une épaisseur moyenne avoisinant les 400 m.Au sud de la plaine d'El Malabiod, au niveau de Koudiat Adella, le forage pétrolier Boudjellal-2 (BDJ2) a rencontré les niveaux de l'Aptien moyen et inférieur respectivement à 2531 m et 2786 m de profondeur (voir fig.6).L'Aptien moyen s'y manifeste sous forme de calcaires gris clair à brun grisâtre, compacts, bioclastiques, pseudo-oolithiques, légèrement carbonatés et souvent feuilletés, sur une épaisseur de 255 m. Quant à l'Aptien inférieur, il se compose d'alternances de marnes gris foncé compactes, silteuses, légèrement pyriteuses, d'argiles grises à gris foncé feuilletées et carbonatées, ainsi que de calcaires gris foncé, compacts et cryptocristallins, parfois à texture argileuse. L'épaisseur atteinte est de 107 m.

Aptien supérieur :

Dans la partie nord, au Djebel Bouroumane, l'Aptien supérieur affleure sous forme de calcaires massifs, gris ou roux, avec quelques intercalations de marnes et de marno-calcaires, sur une épaisseur moyenne de 70 mètres. Plus au sud, le forage pétrolier Boudjellal-2 a rencontré ce niveau à 2316 m de profondeur, où il se compose de calcaires gris clair à foncé, oolithiques, bioclastiques, accompagnés

d’argiles gris noirâtres, durcies, feuilletées, parfois silteuses et pyriteuses, avec une épaisseur de 215 mètres.

Albien inférieur :

Au Djebel Bouroumane, l'Albien inférieur se caractérise par des bancs calcaires bruns, épais et très durs, contenant l'Ostrea latissima, ainsi que des bancs calcaires à Rudistes. Au sud de la zone d'étude, le forage pétrolier Boudjellal-2 a révélé la succession suivante, du bas vers le haut :

- Des calcaires gris clair, blanchâtres et brunâtres, compacts, souvent crayeux, bioclastiques ou graveleux et oolitiques, avec des traces de foraminifères et des intercalations d'argile grise, sur une épaisseur de 85 m.
- Des alternances de calcaires gris clair, blanchâtres, souvent bioclastiques et parfois graveleux, ainsi que d'argile grise à gris foncé, noirâtre et feuilletée, D'une épaisseur de 87 m.
- Des dolomies blanches à gris brunâtre, microcristallines et compactes, sur une épaisseur de 40 m.

Albien supérieur :

Au contact du Trias de Draa M'taa El Malabiod (Djebel Dalaa Er-Rouail), l'Albien supérieur affleure légèrement sous forme de plaquettes de calcaires et de marno-calcaires.

À Adeila, où a été réalisé le forage pétrolier Boudjellal-2, la succession stratigraphique observée, du bas vers le haut, est la suivante :

— Une alternance de calcaires gris clair à beiges, argileux, et d’argiles grises à gris foncé, feuilletées et parfois dolomitiques, sur 116 m d’épaisseur.

— Puis, une alternance de calcaires gris à gris foncé, argileux, et de marnes gris noirâtres, compactes, dures et légèrement silteuses, sur 129 m d’épaisseur.Au nord, au Djebel Bouroumane, les couches correspondant à cet étage se composent de calcaires et marno-calcaires gris en plaquettes ou en petits bancs, renfermant de nombreuses empreintes d’Ammonites et de Bélemnites. L’épaisseur y atteint environ 150 mètres.

Cénomanien :

Le Cénomanien affleure largement dans la partie sud-est de la zone, où il est en contact tectonique avec le Trias. Il se compose d’une série de marnes jaunes à grises et de bancs calcaires lumachelliques, renfermant une faune très abondante (Ostrea, Exogyra, Cardita). L’épaisseur totale de cette formation atteint environ 682 mètres, et se présente, du bas vers le haut, comme suit :

– Argiles grises à gris foncé, carbonatées : 238 mAlternances de calcaires gris clair et d’argiles grises à gris verdâtre,feuilletées : 130 m.

– Calcaires gris à gris clair cryptocristallins, avec intercalations d'argiles grises à gris verdâtre, feuilletées : 76 m

– Alternances d'argiles gris foncé et de calcaires gris à gris clair lumachelliques : 115 m.

– Argiles grises à gris verdâtre, avec intercalations de calcaires blancs, crayeux : 29,5 m.

– Alternances de calcaires blancs lithographiques et d'argiles grises à gris verdâtre, feuilletées : 24,5 m.

– Calcaires blancs à crème, parfois gris, cryptocristallins à crayeux : 39 m

– Argiles gris verdâtre, calcaires et fossilifères, devenant marneuses sur les 16 derniers mètres, avec de fines intercalations de calcaires gris blanchâtres et lumachelliques : 72 m.

Turonien :

Le Turonien affleure largement dans la partie nord de la région, notamment à Sif Bouroumane, Djebel El-Koreize et Tenoukla. À sa base, on observe une série régulière de petits bancs de calcaires marneux gris, d'une épaisseur variant entre 60 et 70 mètres. Cette série est surmontée d'une formation massive constituée de calcaires beiges, de dolomies ou de calcaires dolomitiques, avec la présence de rognons de silex dans la partie supérieure.

Près de Tenoukla, le Turonien supérieur, d'une épaisseur de 150 mètres, présente de haut en bas la succession suivante :

Des marnes noires gypsifères

Des marno-calcaires gris en plaquettes

Des marno-calcaires noirs, souvent lumachelliques et à odeur de soufre

Au sud, au niveau du Djebel Ed-Dalaa, on retrouve des affleurements de calcaires, de marnes et de bancs calcaires.

À environ 8 km à l'ouest de la région d'El Malabiod, le sondage pétrolier Boudjellal-2 révèle, du bas vers le haut :

Des calcaires bruns, crayeux, légèrement dolomitiques et partiellement lumachelliques sur 109,5 m

Des calcaires gris clairs et compacts, avec des intercalations d'argile marneuse grise à gris foncé sur 131,5m

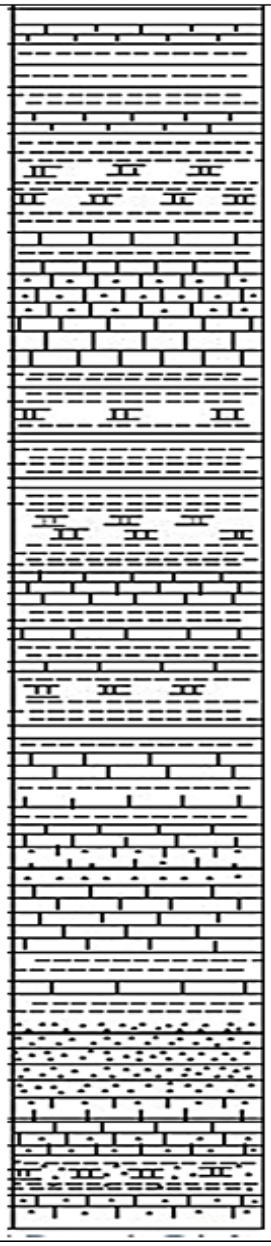
Cote	Coupe	Description lithologique	Étage
		Calcaire blanc, compact Biomicrite argileuse à faune pélagique	Maestrichtien, Campanien supérieur
13		Marne gris verdâtre et argile brun rougeâtre Argile gris foncé, calcareuse avec de rares bancs calcaires gris clair Argile grise avec quelques bancs de calcaire gris clair fossilifères Calcaire gris compact, marneux à foraminifères Marne grise indurée, légèrement dolomitique, intercalation de calcaire brun –rouge, souvent marneux	Campanien inférieur Emschérien
576		Calcaire gris clair, argileux, graveleux, partiellement lumachellique, compact avec fractures remplies de calcite, intercalation d'argile marneuse, gris foncé, trace de calcite et de pyrite Calcaire brun, multicolore, moyen dur, crayeux légèrement dolomitique, partiellement lumachellique bitumeux, trace de calcite blanche, translucide, avec bande d'argile verte, à gris verdâtre, Glauconieuse	Turonien
917		Argile gris verdâtre, calcareuse, pyriteuse, fossilifère devenant marneuse à partir de 873m avec fines passées de calcaire gris blanchâtre, lumachellique Calcaire blanc à crème parfois gris cryptocristallin à crayeux, pyriteux Alternance de calcaire blanc lithographique, cryptocristallin, crayeux moucheté, lumachellique d'argile gris à gris verdâtre, feuilletée marneuse Argile grise, gris verdâtre, feuilletée, calcareuse, finement pyriteuse, parfois légèrement glauconieuse et lumachellique avec intercalation de calcaire blanc, grisâtre lithographique, cryptocristallin, crayeux avec traces de calcite Alternance d'argile gris foncé, feuilletée, marneuse légèrement silteuse et de calcaire gris à gris claire, microcristallin, lumachellique Calcaire gris à gris clair induré cryptocristallin, parfois blanchâtre crayeux avec débris de fossiles, avec intercalation d'argile grise	Cénomanien
1 010		Alternance de calcaires gris, gris foncés parfois noirâtres, argileux. Alternance de calcaire gris clair, beige, crayeux cristallin.	Albien supérieur
2 050		Dolomie blanche à gris brunâtre, microcristallin bitumineuse, compacte. Alternance de calcaire, gris claire blanchâtre souvent bioclastique. Calcaire gris claire blanchâtre, brunâtre, compacte, souvent crayeux, rarement bioclastique ou graveleux, oolithique, traces de foraminifères. Calcaire gris clair, gris foncé, oolithique, bioclastique, parfois cryptocristallin. Calcaire gris claire, légèrement dolomitique avec fines passées d'argiles vertes. Alternance de marnes gris foncée compactes, argiles grises à gris foncé, feuilleté, carbonaté.	Albo-Aptien
2093		Grès blanc à gris, fins à très fin, bien consolidé, quartzitique, ciment silicodolomitique glauconieux avec passées d'argiles grise à gris noirâtre, compact, silteuse, carbonaté. Intercalations de grès quartzitique, de siltes, d'argiles dolomitiques et de dolomies.	Barrémien
2058		Dolomies, grises, brunes et beiges, cryptocristallin à microcristalline, fines passées d'argiles grises et grises noirâtres. Dolomies moyennes à fantôme de débris. Alternance de dolomies oolithiques, de calcaires dolomitiques de grés quartzitiques et d'argiles dolomitiques silteuses à 3760m. dolomies fines à huîtres.	Néocomien
3560			

Figure 6 : Permis DJEBEL DOUKKANE FORAGE PETROLIER BOUDJELLAL-2 [BDJ-2] (source ANRH)

Coordonnées : Géographiques : Lambert :

X = 8°07'35''E X = 993.533,5

Y = 35°13'12''N Y = 227.121,2 Z = 1120m (sol)

Campanien inférieur - Emschérien :

Cette formation est constituée de marnes avec des intercalations de bancs de calcaires lumachelliques. Ces faciès affleurent largement au Djebel Doukkane, au nord-ouest, ainsi qu'au Djebel Ed-Dalaa. On observe

également des affleurements de dimensions relativement modestes (quelques mètres) à proximité de Tenoukla, M'togui-Naro et Adeila, situés au sud-sud-ouest de la ville d'El-Malabiod.

D'après les données du forage pétrolier Boudjellal-2, où la série apparaît dans sa forme la plus complète, la succession lithologique observée, du sommet vers la base, est la suivante :

Argiles brun-rouge et marnes gris-verdâtre : 47 mètres ;

Argiles grises renfermant quelques bancs de calcaires gris clairs : 83 mètres ;

Argiles avec quelques bancs de calcaires gris clairs fossilifères : 242 mètres ;

Calcaires gris compacts, marneux à foraminifères : 24 mètres ;

Marnes grises indurées, légèrement dolomitiques, avec intercalations de calcaires brun-rouge souvent marneux : 88 mètres.

Maastrichtien

Campanien supérieur :

Ce niveau est localisé au nord-ouest, au Djebel Koreiz, ainsi qu'au centre de la plaine (M'tagui Naro) et dans les environs de la ville d'El-Malabiod. Il se caractérise par des calcaires, des marno-calcaires blancs et des calcaires blancs à Inocerames.

À Adelia, cette formation affleure largement. Le forage pétrolier Boudjellal-2 a permis de la reconnaître sur une épaisseur de 67 mètres, révélant le faciès suivant :

Calcaire blanc compact, de type biomicrite argileuse, contenant une faune pélagique.

D. **Tertiaire :**

a) Miocène :

Selon le rapport de G. Durozoy daté du 18 avril 1949, la plaine d'El Malabiod est majoritairement occupée par des formations datant du Miocène.

En prenant comme repère la route nationale N16 reliant Tébessa à El Malabiod selon un axe nord-sud, on observe que les formations du Miocène moyen et inférieur affleurent largement à l'est de cette route. À l'ouest, c'est le Miocène supérieur, recouvert d'une mince couche alluviale, qui s'étend sur le reste de la Superficie. Ces formations représentent des séries transgressives reposant sur des terrains plus anciens.

b) Miocène moyen et inférieur (Vindobonien et Burdigalien) :

Il s'agit d'une série gréseuse blanche, parfois brunâtre et ferrugineuse, sous une faible couverture alluviale. On y rencontre par endroits des poudingues siliceux, souvent ferrugineux, avec des intercalations de marnes allant du jaune au vert (voir fig.7). À Hadjar Sefra, les niveaux supérieurs

présentent une grande dureté et un aspect conglomératique. L'épaisseur de cette formation varie considérablement, allant de 45 m à 1480 m, selon les données des forages hydrauliques.

c) Miocène supérieur (Pontien) :

Dans la région de Tenoukla, cet étage est représenté par des marnes rouges d'origine continentale, comportant quelques niveaux bariolés, bien que peu fréquents.

E. **Quaternaire :**

Les formations quaternaires recouvrent largement l'ensemble de la plaine. Leur épaisseur reste toutefois très limitée, ne dépassant généralement pas une vingtaine de mètres. Le Quaternaire se compose, de manière générale, de faciès anciens tels que les conglomérats et les croûtes calcaires, ainsi que de faciès plus récents comme les éboulis et les couches limoneuses (G. Durozoy, 1949).

a) Faciès anciens :

Les faciès anciens sont principalement représentés par des conglomérats issus de la cimentation d'anciens éboulis ou de divers matériaux d'épandage.

Le forage M6, situé à environ 2 km au nord de la ville d'El Malabiod, a traversé les dépôts quaternaires sur une épaisseur de 20 mètres.

À l'ouest de la route nationale reliant Tébessa à El Malabiod, on observe un développement notable de la croûte calcaire, notamment sur les alluvions caillouteuses. Cette croûte calcaire résulte de la précipitation des carbonates contenus dans les eaux circulantes.

Faciès récents :

Les faciès récents sont constitués principalement d'alluvions composées de graviers fins à moyens, parfois mêlés à du sable et de l'argile. Le forage M12, réalisé sur le flanc sud-ouest du Djebel Dalaa, met en évidence la présence de ces niveaux. On Observe également des éboulis actuels au pied de l'ensemble des reliefs calcaires qui forment les bordures de la région.

b) Les conglomérats :

Il s'agit essentiellement de conglomérats issus de la cimentation d'anciens éboulis ou de matériaux d'épandage variés. Une série de ce type, d'épaisseur variable mais relativement faible, a été mise en évidence grâce au forage M6 (X = 999 100 ; Y = 228 175), situé au nord du chef-lieu d'El Malabiod. Cette série se compose d'une alternance de graviers calcaires, de gros galets à la base, ainsi que de sables grossiers et de galets calcaires, dont la présence tend à disparaître progressivement en allant vers l'est.

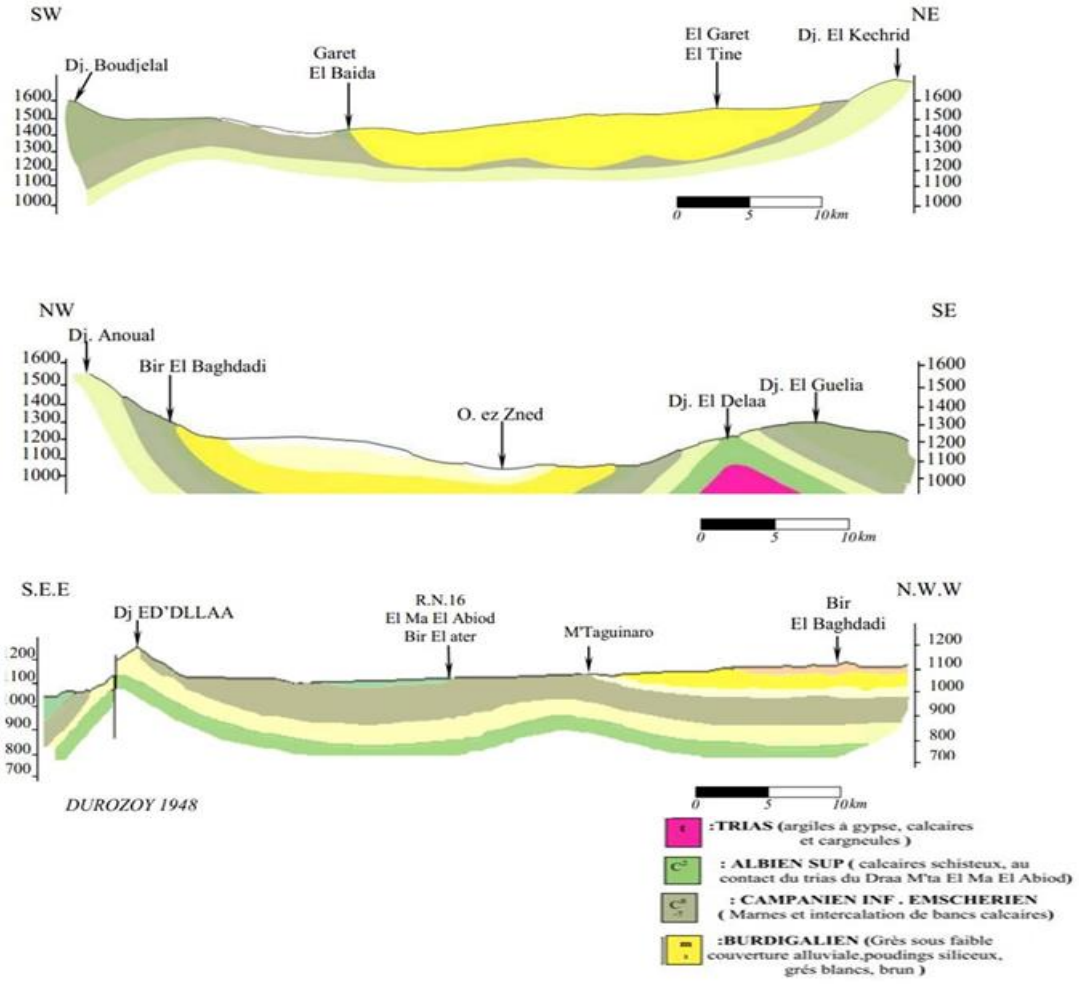


Figure 7 : Coupes géologiques montrant les différentes formations de la région d'étude.

11. **Tectonique :**

La structure tectonique de la région étudiée résulte de l'impact de deux phases orogéniques, selon M. Villa (1977).

A. **Première phase :**

Cette phase se manifeste dès la fin du Crétacé supérieur et inférieur, avec son paroxysme se situant entre le Lutétien supérieur et le Miocène inférieur. Il s'agit de la phase atlasique, qui constitue sans doute la phase principale de plissement dans la région étudiée. Selon R. Laffite (1949), qui l'a identifiée à travers ses travaux sur l'Aurès, il s'agit de l'événement orogénique majeur de l'Atlas Saharien. C'est pendant cette phase que se sont produits les plissements de couverture orientés SW-NE, formant les grands axes anticlinaux, comme celui du Djebel Bouroumane.

2. Deuxième phase :

Cette phase suit les plissements précédents et est responsable d'une tectonique cassante, caractérisée par des mouvements du socle. Selon L. D. Visse (1956), après les mouvements liés à cette phase, les grands bassins délimités par les chaînes montagneuses anticlinales ont certainement été soumis à des affaissements, ce qui a conduit à la formation de la plaine d'El Malabiod dans sa configuration actuelle. Cette description et hypothèse de L. D. Visse correspondent bien à l'observation géologique de la région.

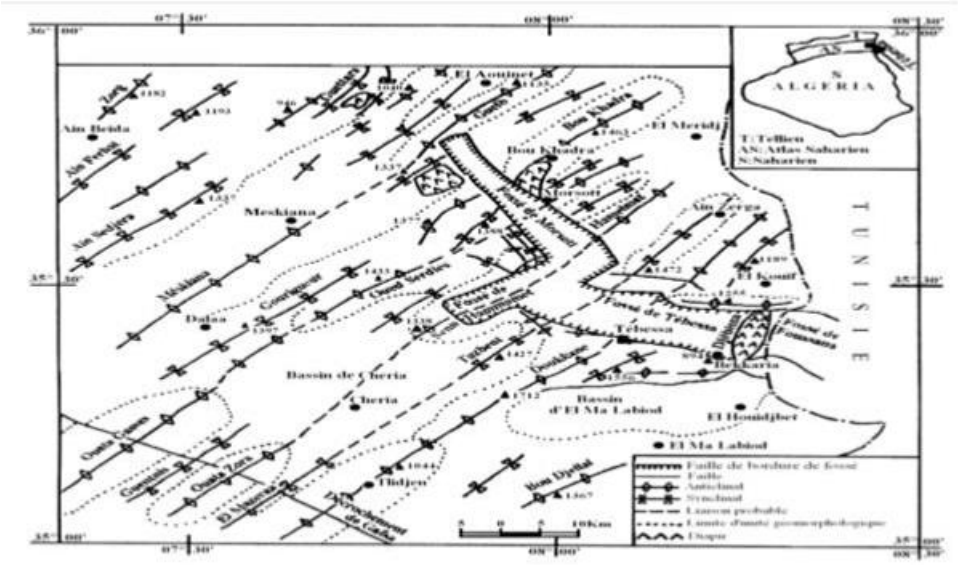


Figure 8 : Esquisse tectonique de la zone d'étude (W.M.Kowalski et al. 1997)

B. Style Tectonique :

Dans la région étudiée, on observe deux directions structurales principales qui se manifestent à travers des accidents tectoniques tels que des plissements, des flexures, l'allongement des bassins et des fractures. Ces directions se reflètent dans la morphologie du terrain et, dans une moindre mesure, dans l'hydrographie. Les deux directions dominantes sont SW-NE et E-W.

Les plis présents dans cette zone sont caractéristiques de ceux généralement observés dans l'Atlas Saharien. Ce sont des plis de type isopaque, ce qui signifie qu'ils proviennent du niveau structural moyen. Ils sont souvent serrés et orientés verticalement, ce qui indique un fort raccourcissement de la couverture sédimentaire. Le socle, plus rigide, n'a pas subi le même raccourcissement que la couverture. Cela traduit une tectonique de couverture.

C. **Mouvements récents :**

La tectonique récente, responsable de la formation du fossé d'El MALBIOD, ne perturbe pas l'organisation des plissements plus anciens. Castany (1954) et Dubourdieu (1965) ont décrit cette tectonique comme caractéristique des formations autochtones de l'Algérie orientale et de la Tunisie. On note une différence d'intensité dans la tectonique plissée et cassante, affectant d'une part les formations crétacées (par exemple, les fractures qui brisent la falaise turonienne de Tnoukla) et la dislocation de l'anticlinal cenomanien-turonien de Draa M'Ta Abiod, et d'autre part, le Miocène (plissement du grès miocène du col de Tnoukla). Cette phase est considérée comme étant la phase atlasique, responsable des structures plissées. Il s'agit d'une phase compressive, avec une contrainte principale orientée NN-SE. A. Caire, en 1957, a montré que ces structures résultent de coulissements importants ayant affecté le socle au Plio-Quaternaire. L'ouverture des fossés est due aux déchirures causées par des fractures de distension dans la couverture, partiellement entraînées par les déplacements méditerranéens dans la région d'El Ma El Abiod. Ce mouvement se caractérise par de nombreuses déchirures orientées NE-SW, de longueurs variables, atteignant jusqu'à 30 km. Il est représenté par trois failles (Fig. 9), du sud au nord :

Faille F1 : située à l'est de la ville d'El MALBIOD, avec une longueur de 6 km.

Faille F2 : caractérisée par un décrochement très important, traversant le centre de la plaine. Elle est orientée NE-SW, puis change de direction pour devenir EW plus à l'est, près du village de l'Houidjbate. Le rejet observé est d'environ 30 km.

Faille F3 : longe la partie nord de la plaine, avec une orientation NE-SW. Le rejet est important, de l'ordre de 22 km.

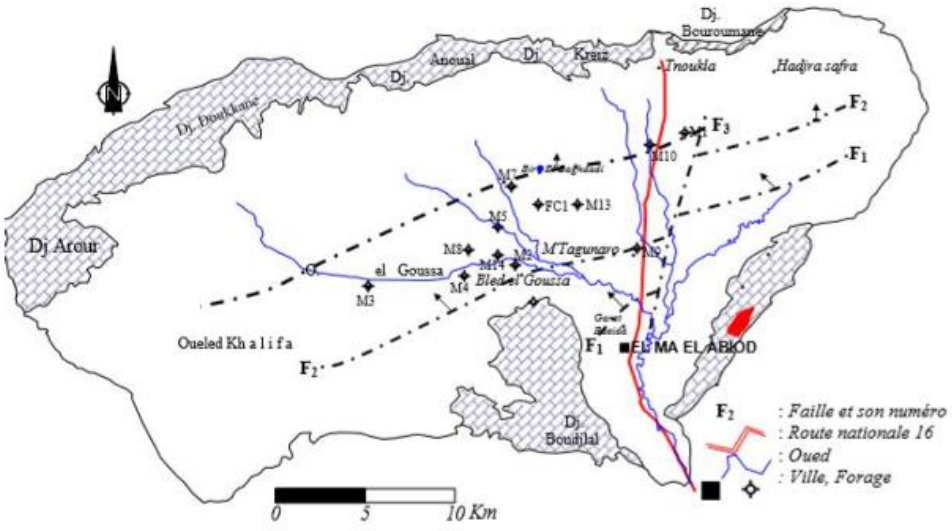


Figure 9 : Carte du système de failles (UGF-BRNO 1971)

12. Conclusion :

Après avoir consulté les documents disponibles et effectué cette étude géologique, plusieurs observations relatives à ce contexte ont pu être retenues.

L'étude géologique de la région d'El Malabiod a permis d'identifier les premières remarques sur l'évolution géologique de cette zone.

La région fait partie de l'Atlas Saharien et est délimitée par des plis orientés NE-SW au nord et au sud. Il s'agit d'un haut plateau qui se divise en deux grands ensembles :

Les affleurements de bordure d'âge Crétacé ;

Les formations d'âge Miocène et Quaternaire qui occupent la quasi-totalité de la plaine.

Suite à divers phénomènes géologiques et à deux phases orogéniques, la structure de la région a été façonnée. Il s'agit d'un haut plateau appartenant à l'Atlas Saharien, où des plis orientés du nord-est au sud-ouest encadrent un bassin subsident. Ce bassin présente deux grands ensembles : les affleurements crétacés sur les bordures et les formations du Miocène et du Quaternaire qui couvrent la majeure partie de la plaine.

La plaine ressemble à une dépression en forme de cuvette, avec un substratum calcaire et marneux datant du Crétacé, séparé du Miocène par des éboulis très perméables.

Les formations de bordure (environ 100 m de calcaire) constituent une source d'alimentation du système aquifère. Quant aux formations de la plaine (plus de 50 m de grès et des sables variant de 40 à 250 m

d'épaisseur), elles agissent comme réservoir principal, grâce à leurs bonnes propriétés hydrodynamiques et leur potentiel hydraulique intéressant.

Enfin, le matériau alluvial situé au-dessus de ces formations représente également un aquifère, mais de moindre importance en raison de ses caractéristiques hydrauliques moins performantes.

II. Région de Chéria

A. CADRE GÉOLOGIQUE :

13. INTRODUCTION :

Le plateau de Chéria constitue l'un des quatre principaux systèmes aquifères de la région de Tébessa, située au nord-est de l'Atlas Saharien. Il est représenté essentiellement sur trois cartes topographiques à l'échelle 1/50 000 : Youkous-les-Bains (n° 205), Chéria (n° 234) et Aïn Thlidjen (n° 265). Ce plateau fait partie de la zone des Hautes Plaines, avec une altitude moyenne avoisinant les 1100 mètres, et il est grossièrement délimité entre les parallèles 35°50 et 36° de latitude nord, et les méridiens 7°30 et 8° de longitude est.Dans le cadre de ce travail, une étude géologique approfondie de la région ne sera pas développée. Nous nous appuierons donc principalement sur les travaux antérieurs réalisés par plusieurs auteurs, notamment Lambert et Durozoy (1947), Gaud (1977), Ricard (1979), entre autres.

14. Stratigraphie de la région de Chéria :

À partir des recherches et études géologiques précédentes, il est possible de décrire la stratigraphie de la région de Chéria de manière suivante, en allant des formations les plus anciennes aux plus récentes (voir Fig.10)

A. **Alluvions récentes**:

a) Eluvions:

Constituées par des esquilles plates venant de l'action du gel sur les calcaires Maestrichtiens leur faible épaisseur est cependant inversement proportionnelle à leur rôle hydrologique.

Alluvions de piémont :

Constituées de cailloutis très propres, elles peuvent atteindre des épaisseurs importantes au pied des reliefs Maestrichtiens (Dj – Doukkane).

Alluvions de remplissage :

Elles sont formées de cailloutis de petits galets enrobés dans un ciment plus ou moins Argileux, elles peuvent atteindre une puissance minimum de 50 m. Le marécage de Chérai est constitué d'une alternance de ces niveaux avec des horizons argileux

b) Le Quaternaire:

En aval de Chérai il est représenté par des cailloutis qui peuvent atteindre 20 m d'épaisseur notamment à Ain Babouche dont la surface est couverte d'une croûte de tufs calcaires.
Au Nord c'est surtout vers le Djebel Tazbent qu'il est constitué de vastes plateaux faiblement inclinés vers le Sud-Ouest.

c) Le Moi-Pliocène:

Vers Ain Babouche, il est discordant et transgressif sur les calcaires de l'Eocène moyen, de la base vers le sommet et sur une quarantaine de mètres d'épaisseurs, on note : une alternance d'argiles gypseuses et lentilles de sables. Surmontées par des sables siliceux d'environ 20 m de puissance.

d) L'Eocène moyen:

Il est formé de barres calcareuses où l'on peut observer divers niveaux phosphates

e) L'Eocène inférieur :

Il est particulièrement développé au Djebel Tazbent ce sont des marnes très argileuses noirâtres d'une épaisseur de 100 à 150 m. Vers le Sud, le niveau marneux se réduirait considérablement en passant latéralement à la partie inférieure à des calcaires crayeux à silex Son épaisseur devient alors difficile à évaluer mais elle ne serait alors dépasser les 20 mètres.

f) Le Maestrichtien:

Il correspond à des calcaires tendres crayeux surmontés de marnes dont l'épaisseur peut être estimée à 250 m. Ses calcaires subissent également des variations de faciès du Nord au Sud, les bancs supérieurs se chargeant en silex présentent une grande analogie de faciès avec certaines niveaux de l'Eocène moyen.

Le Campanien :
Il est constitué de marnes grises en profondeur devenant verdâtres dans les parties.Superficielles altérées où elles contiennent de nombreux cristaux de gypse, leur épaisseur est d'environ 300 m au N-E du plateau.

g) Le Turonian:

Ce sont des calcaires compacts représentés par des petits affleurements au Nord et au Sud du plateau de Chéria.

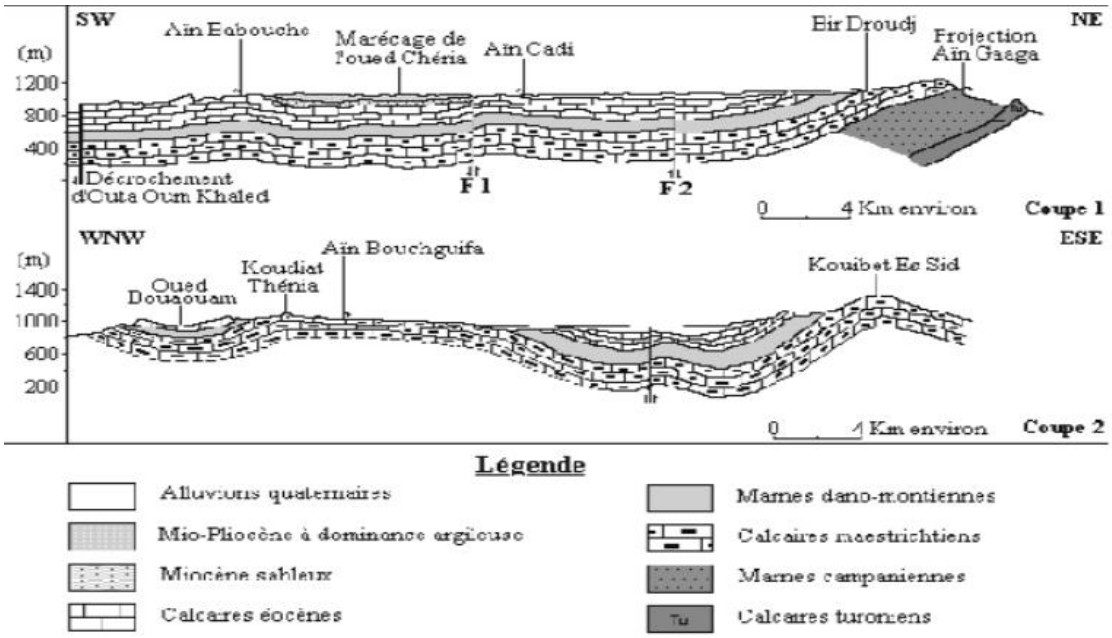


Figure 10 : coupe géologique du plateau de Chérai. (Baali et Chafai ; H 2006)

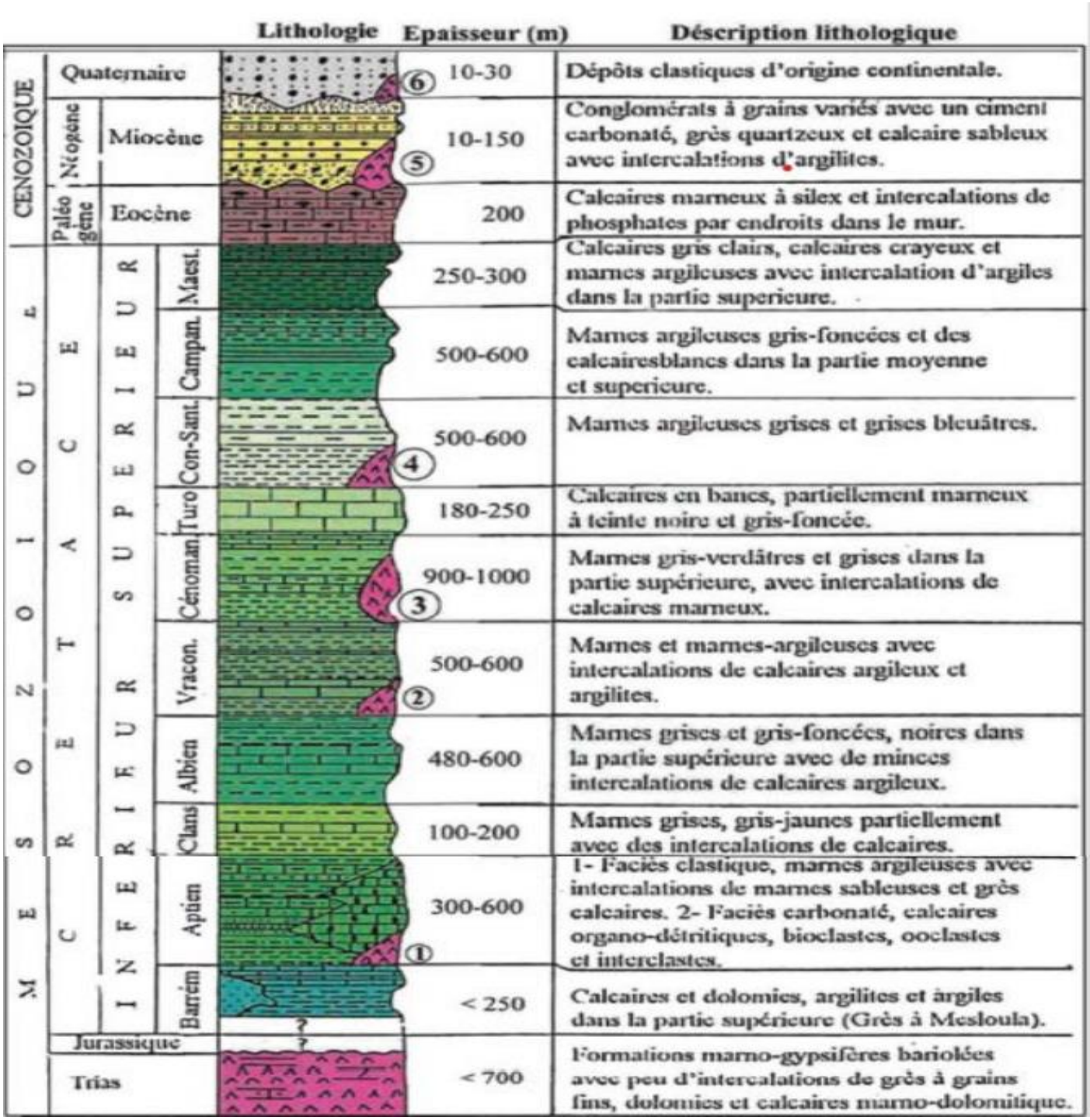


Figure 11 : Colonne stratigraphique synthétique des monts de Chérai (D'après Vila, 1980)

15. **TECTONIQUE :**

D'un point de vue tectonique, la région a connu deux phases majeures : la première après le Miocène, et la seconde après le Pontien. On peut résumer la situation tectonique comme suit : Le plateau de Chéria est constitué de deux cuvettes synclinales accolées au niveau de la localité de Chéria. La cuvette amont montre une tendance à se ramifier sur sa bordure nord-est, tandis que la cuvette aval s'étend vers le sud-ouest, en formant un synclinal situé entre les dômes de Hamimat Querra et de Hamimat Guibeur. Les charnières synclinales présentent un allongement selon une direction nord-est / sud-ouest. Une autre direction tectonique, sensiblement perpendiculaire à la première, est marquée par de grandes failles et des plis peu accentués sur l'ensemble du plateau. L'un de ces plis divise même la zone synclinale en deux parties de Chéria, c'est celui qui va du Djebel Allouchette au djebel Krah (CGG 1970) (Figure 12).

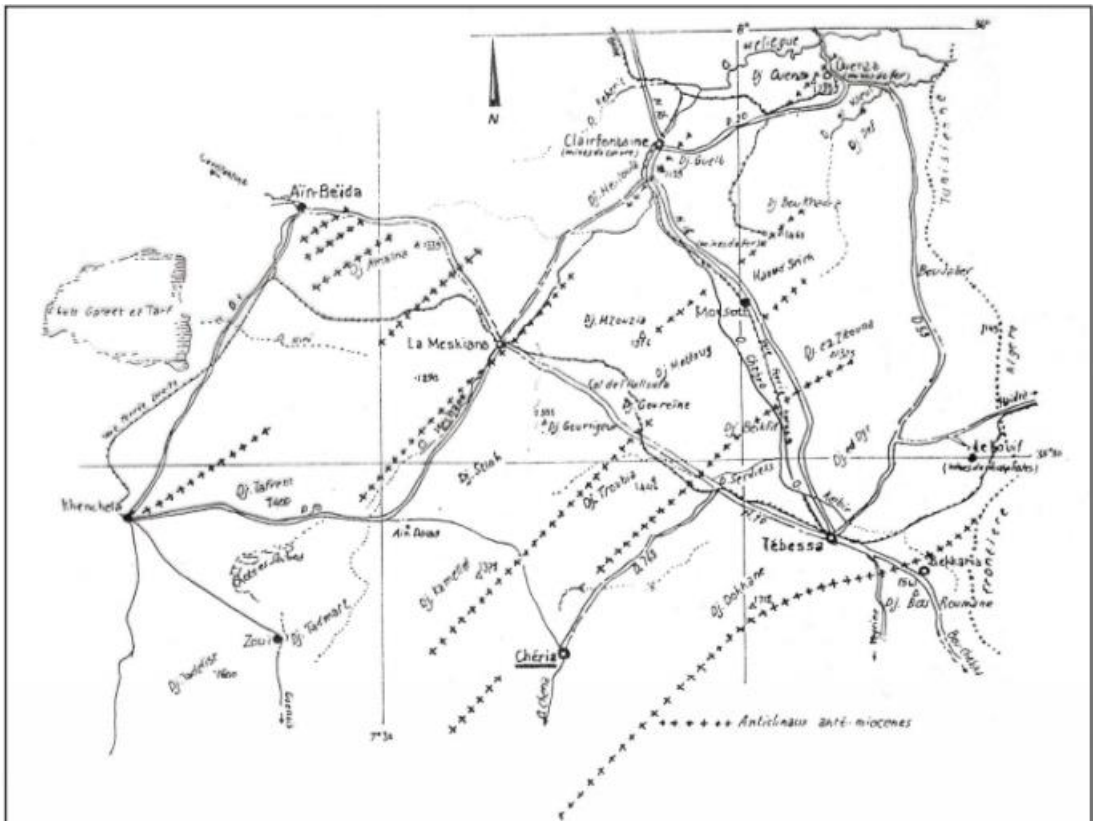


Figure 12 : Esquisse tectonique de la région de Tébessa. D'après G. Durozoy. 1952

16. **Conclusion :**

Les études géologiques menées dans cette région ont permis de confirmer la succession des formations suivantes au sein du synclinal de Chéria : les marnes d'âge campanien, les calcaires du Maastrichtien, les marnes du Danien, puis les calcaires éocènes, surmontés par les alluvions et les sables du Moi-Plio-Quaternaire.

Les investigations géologiques et hydrogéologiques ont permis d'identifier trois aquifères distincts :

L'aquifère des calcaires maastrichtiens, important sur les bordures mais peu productif au centre ;

L'aquifère des calcaires éocènes, qui constitue la principale réserve en eau tant en termes de volume que d'exploitation ;

Enfin, l'aquifère de recouvrement du Moi-Plio-Quaternaire, qui a perdu tout intérêt hydrogéologique après plusieurs décennies de sécheresse.

La structure géologique du plateau de Chéria correspond à un synclinal, dont les bordures sont constituées de reliefs structuraux orientés selon deux directions principales, résultant de deux phases de plissement successives : une phase dite anté-miocène orientée NW-SE, suivie d'une phase post-miocène orientée NE-SW.

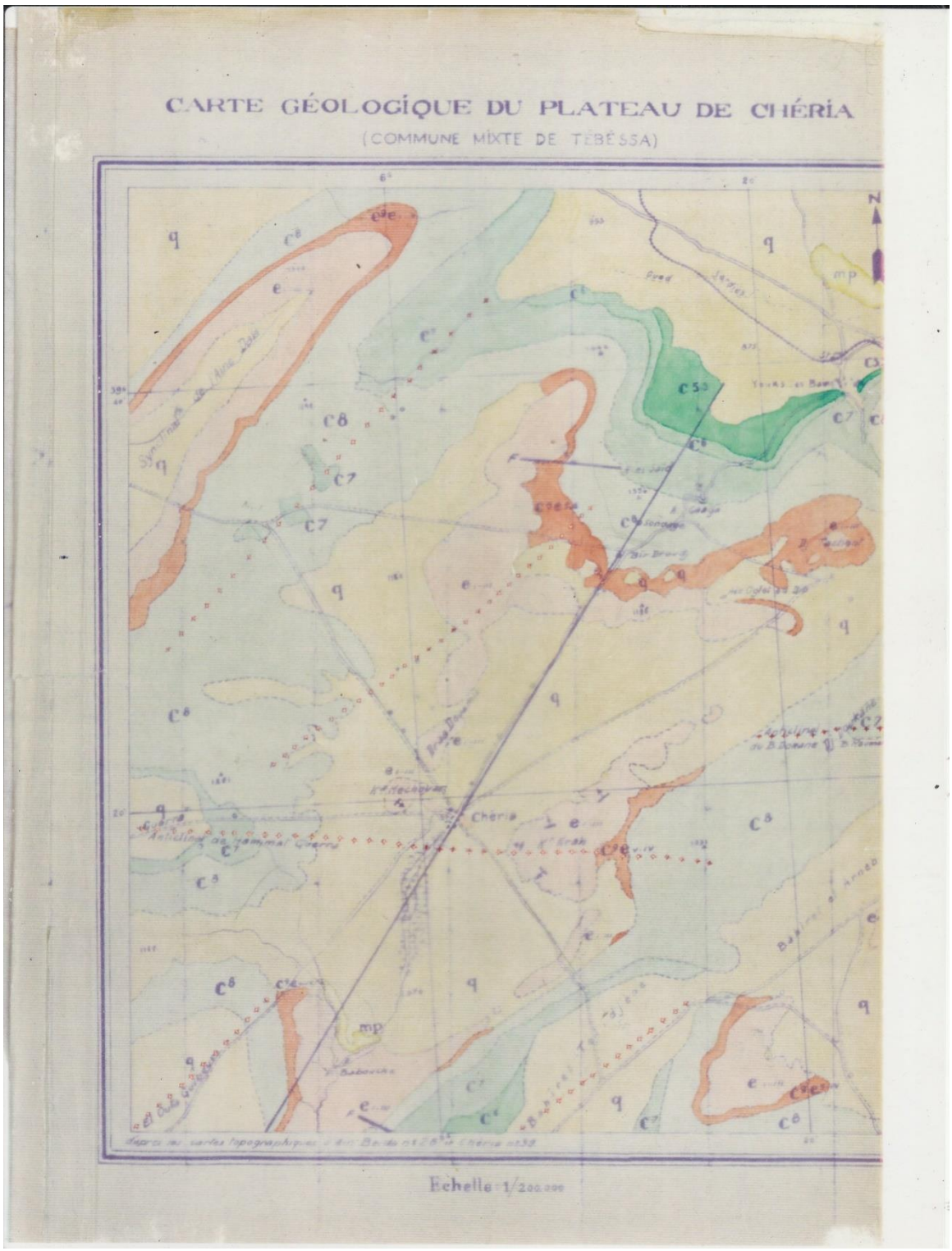


Figure 13: Esquisse géologique de la région de cheria (D'appres LAMBERT 1945)

III. Région de Tébessa

17. Introduction :

La compréhension du contexte géologique d'une région constitue une étape fondamentale dans toute étude hydrogéologique ou environnementale. La wilaya de Tébessa, située à l'extrême est de l'Algérie, se caractérise par une diversité remarquable de structures géomorphologiques et de formations stratigraphiques s'étalant du Trias jusqu'au Quaternaire. Cette diversité résulte d'une histoire géologique complexe marquée par des phases successives de sédimentation, de déformation tectonique et d'érosion. Le présent chapitre vise à présenter une synthèse détaillée des principaux éléments géologiques de la région, à travers une description de la géomorphologie, de la stratigraphie, ainsi que du cadre tectonique et structural. Ces éléments constituent le socle nécessaire à la compréhension des mécanismes d'infiltration et des dynamiques hydrogéologiques étudiées dans les chapitres suivants.

18. Stratigraphie :

La stratigraphie de la wilaya de Tébessa montre une grande diversité de formations, allant du Trias jusqu'au Crétacé moyen, avec des affleurements importants selon les régions.

A. Trias :

Les formations triasiques sont peu étendues et localisées principalement au nord-est de Bekkaria, notamment sous forme de diapirs (ex. Dj. Djebissa, région d'Ouenza). Elles sont composées d'argiles rouges, de gypses, de marnes et de lentilles de sel, parfois accompagnées de dolomies bréchifiées et de calcaires dolomitiques. Dans le sud de la wilaya, ces formations affleurent notamment à Draâ MaLbiod et dans le bassin d'Aïn Telidjène

B. Crétacé inférieur :

C'est la formation la plus étendue de la région. Elle comprend une alternance de grès, marnes, calcaires et marno-calcaires.

C. Aptien :

Bien représenté à Dj. Mesloula, Dj. Belkfif, Hameimat nord/sud et Aïn Zerga. On y trouve des calcaires graveleux à orbitolines et des faciès récifaux, atteignant jusqu'à 430 m à Ste Embarka.
Dans le sud (Aïn Telidjène), l'Aptien est surtout formé de calcaires dolomitiques et de grès à matrice calcaire-argileuse.

D. **Vraconien-Albien :**

Présente des calcaires à bélemnites, des marnes argileuses, et d'épaisses couches de calcaires au sud-ouest de Dj. Ouenza (jusqu'à 225 m) et au Dj. Def. À El Ma Labiod, ce sont surtout des calcaires gris et des marnes. À Oum Ali, on observe un lambeau probable d'Albien supérieur.

E. **Crétacé moyen :**

Cénomanien :

Dominé par des marnes grises avec intercalations calcaires, visible à Dyr Bellela, Aouinet, Hadjra Touila, Kt El Khemeissia, et Morsott. Ces formations peuvent atteindre 1200 m (Boukhadra). À Telidjène, elles forment une alternance de marnes et de calcaires sur 500 à 600 m.

Turonien :

Le Turonien se caractérise par des alternances de calcaires marneux, de marno-calcaires et de marnes argileuses, bien visibles à Dyr Bellela et Dyr Belkfif. Dans la région ouest du Djebel Krorza (Ouenza), ces formations sont peu épaisses (environ 30 m), tandis qu'à Morsott, elles atteignent environ 300 m et se présentent sous forme de corniches de calcaires gris massifs, entrecoupées de calcaires argileux et de marnes

Calcaires (Dj Zitouna, Dj Belkfif). Dans la région sud et ouest de Boukhadra, ces formations deviennent Plus épaisses, atteignant plusieurs centaines de mètres, sous forme de calcaires pélitiques marneux massifs. Au sud de la wilaya, dans la région nord d'El Malabiod, le Turonien affleure sous forme de calcaires récifaux de 30 m d'épaisseur, reposant sur des bancs de calcaires interstratifiés de marnes. À Draâ Foum Debbane (Télidjène), il se compose de calcaires argileux en plaquettes d'une puissance de 600 à 700 m, notamment sur le flanc gauche de la zone centrale de l'anticlinal de Foum Debbane.

Crétacé supérieur :

Cenomanien-Emchérien : Constitué de marnes argileuses à plaquettes de calcite et de marnes lumachelliques (500 à 600 m à Dyr Mesloula et Ouenza). Dans le bassin de Télidjène, il est recouvert par des alluvions quaternaires.

Campanien : Formé de marnes grises claires (170 m) et de calcaires crayeux. À Ouenza, il atteint 600 m, et 300 m au nord-est du plateau de Chéria. Dans la région d'Oum Ali, l'ensemble Campanien-Maestrichtien est essentiellement calcaire, plus dur et siliceux au sud et à l'ouest (Dj. Foua, Dj. Bottena...).

Maestrichtien : Composé de calcaires massifs gris à inocérames (170 m à Morsott), suivis de marnes grises à intercalations calcaires (150 m à Dj. Boulhef). À Ouenza, on le trouve dans le synclinal de Kalaât Essenan avec une puissance de 250 à 300 m. À Dj. Doukkane, le sondage J8-9Bis révèle des calcaires

blancs et gris compacts atteignant 362 m. Des affleurements apparaissent aussi à Dj. Babouche et dans le synclinal d'Aïn Delaâ.

Paléogène :

Le Paléogène comprend le Paléocène, l'Éocène et l'Oligocène.

Le Paléocène est représenté par des marnes et calcaires.

L'Éocène affleure largement dans la région sous forme de marnes, calcaires, phosphates, gypses et argiles.

L'Oligocène, bien que mentionné, n'est pas décrit en détail.

F. PALEOCÈNE :

Dano-Montien :

La partie ferrugineuse (Danien) est constituée de calcaires argileux gris clair à beige, parfois crayeux, disposés en petits bancs alternant avec des marnes grises. Son épaisseur varie de 75 à 100 mètres dans la région de Morsott. D'après le sondage 15-Tis réalisé dans la région de Chéria, cette formation atteint une puissance de 177 mètres, représentée par des marnes grises avec de très minces intercalations de calcaires à silex.Dans la partie sud, l'ensemble Dano-Montien est composé de dépôts marno-calcaires irréguliers et de

Calcaires détritiques en concordance avec les terrains crétacés sous-jacents. Ces formations sont également observées sur les flancs des synclinaux de Djebel Ouk et Djebel Darmoun.

Paléocène supérieur :

Il s'agit de calcaires argileux en petits bancs, souvent noduleux et à silex. Leur épaisseur moyenne est de 20 mètres (moins de 10 mètres à Kourd et plus de 40 mètres à la pointe sud du Djebel Dyr). La partie inférieure de ces calcaires comprend des intercalations phosphatées, avec à la base une couche de phosphate exploitable.

G. EOCENE :

Eocène inférieur :

Constitué de marnes et de calcaires marneux à silex, renfermant plusieurs couches phosphatées.

Lutétien inférieur - Yprésien :

Dans la région de Djebel Dyr, on observe environ 150 mètres de bancs épais (1 mètre et plus) de calcaires massifs riches en gros silex, huîtres et lumachelles, tandis qu'ils sont absents à Djebel El Kouif. Ces calcaires alternent avec des niveaux plus tendres.À Chéria, cette formation est représentée par une couche de calcaires blancs de 261 mètres d'épaisseur, reposant sur des marnes grises selon le sondage 18-9.Dans

le sud, on retrouve des calcaires durs à intercalations marneuses et des calcaires à silex dans la région de Telidjène. Dans la région de Darmoun, cette série est formée de calcaires à silex avec des intercalations phosphatées, des calcaires dolomitiques et des calcaires gypseux.

Eocène moyen (Lutétien) :

Il se présente sous forme de calcaires massifs à silex, en bancs épais de 50 à 60 mètres. À leur base, on note 5 mètres de calcaires marneux blancs à silex.

H. NEOGENE :

Les formations néogènes se développent au piedmont sud du Djebel Bouroumane. Elles présentent une lithologie et une épaisseur très variables. Elles sont essentiellement constituées de calcaires, de marnes rouges et verdâtres, de sables et de grès. Les sables et grès sont caractéristiques du Miocène, tandis que les marnes appartiennent plutôt au Pliocène.

Miocène inférieur :

Les faciès dominants sont des grès et des marnes, avec des conglomérats blancs et fins au sommet, de teinte rougeâtre, devenant plus grossiers à leur base. Les grès alternent avec des marnes vertes ou rouges, généralement riches en gypse, et Montrent souvent une stratification entrecroisée. Les fossiles présents sont principalement des Ostrea et des Turritella

Miocène moyen :

Il s'agit d'une série gréseuse deltaïque de 150 mètres d'épaisseur à Aïn Bekkaria, transgressive sur les terrains plus anciens. Un poudingue de base, très siliceux et souvent ferrugineux, existe par endroits, avec quelques intercalations de marnes jaunes ou vertes. Les niveaux supérieurs du Miocène sont très durs.

MIOCÈNE SUPÉRIEUR :

Cet étage est composé de marnes rouges d'origine continentale ou lagunaire, affleurant au sud de Tenoukla, avec une puissance pouvant atteindre 100 mètres. Le Tortonien est reconnu dans la région de Djebel Belkefif.

PLIOCÈNE :

Il est principalement constitué d'argiles rouges, de conglomérats et de sables quartzeux. Cette formation recouvre largement les calcaires éocènes. Les sables du Pliocène continental sont localisés notamment à proximité de Bekkaria.

I. QUATERNAIRE :

Ce système est représenté par des formations typiquement continentales, composées essentiellement de limons alluviaux renfermant de nombreux fragments détritiques grossiers. On y observe également une large extension de croûtes calcaires. De manière générale, les formations quaternaires se caractérisent par une grande irrégularité en termes d'épaisseur, de granulométrie et de composition chimique.

19. **Description tectonique et structurale :**

Sur le plan structural, le territoire de la wilaya de Tébessa appartient à deux grandes régions tectoniques, différenciées par l'âge de leur socle plissé et par les caractéristiques de leurs structures. Au nord et au centre, on trouve des plateformes épihercyniennes, tandis qu'au sud s'étend le socle antécambrien nord-africain, séparé par une grande faille de direction nord-atlasienne.

La région est traversée par de vastes structures plissées — synclinaux et anticlinaux — orientées NE-SO. Ces structures sont particulièrement visibles sur le plateau de Chéria et au Djebel Dyr. Dans la plaine effondrée, un anticlinal de direction NE-SO part de Chéria, passe par Bir Droudj, se prolonge jusqu'à Fedj-Tala, et se manifeste à proximité de Sidi-Ahça par des affleurements triasiques.

Dans la région d'El Malabiod, des structures plus profondes sont recouvertes par des formations miocènes continentales, indiquant qu'elles sont antérieures au Miocène et à la phase de distension ayant provoqué l'effondrement de la plaine de Tébessa-Morsott, située plus au nord derrière Bekkaria.

Dans la région de Morsott, il est difficile de dater précisément les plissements. Les seuls dépôts tertiaires postérieurs à l'émersion éocène sont les sables littoraux tortoniens localisés au cœur du synclinal de Djebel Dyr, où ils reposent sans discordance apparente sur les calcaires du Lutétien inférieur. Cependant, à l'est du Djebel Kouif, ces sables miocènes inférieurs reposent en discordance sur les formations éocènes et paléocènes.

Plus au nord (feuilles Boukhadra, Djebel Ouenza et Djebel Mesloula), le Miocène repose également en discordance sur toute la série crétacée et remanie localement le Trias (feuille de Tébessa).

On peut donc conclure que le plissement régional est postérieur au Lutétien inférieur et antérieur au Miocène, et qu'il serait à l'origine de l'émersion de la région au cours de l'Éocène moyen.

Un grand accident tectonique de direction NE-SO, interprété comme une faille inverse, traverse la plaine de Tébessa. Le compartiment sud-ouest chevauche le compartiment nord-est, ce qui est bien observable au Djebel Chemla. Cette faille se prolonge vers le sud-ouest en s'enfonçant dans l'anticlinal central de Chéria, affectant essentiellement les niveaux turoniens sans atteindre les calcaires du Maastrichtien.

Dans les niveaux profonds, l'empilement des structures se traduit par une réduction du rayon de courbure et, à partir d'une certaine profondeur, par la formation de failles importantes, notamment dans les niveaux

compétents (comme les calcaires turoniens). Vers le sommet, ces accidents s'atténuent dans les marnes plus plastiques de l'Angoumien, du Coniacien, du Santonien et du Campanien inférieur, tandis que le Maastrichtien de Chéria semble épargné.

Enfin, l'axe des grandes structures présente un plongement vers le sud-ouest, le point culminant de la région étant situé au sud-ouest du synclinal du Djebel Dyr avec une altitude de 1472 mètres. Les reliefs calcaires, s'élevant de 1000 à 1500 mètres, constituent les témoins d'un ancien modelé structural.

20. **CONCLUSION :**

L'âge des formations géologiques constituant le territoire de la wilaya s'étend du Trias jusqu'au Quaternaire récent. Ces formations sont représentées par des dépôts marins, carbonatés, terrigènes et évaporitique datant du Trias, du Néogène et du Quaternaire.

Les dépôts triasiques affleurent à plusieurs endroits, avec des massifs rocheux plus importants localisés à l'extrême nord de la wilaya. Ils sont principalement constitués de

Marnes, de gypses et de dolomies. Ces formations forment des dômes diapirique dont les roches sont souvent broyées, plissées et affectées de failles.

Les formations crétacées bénéficient d'une large extension à travers la région et sont représentées essentiellement par des dépôts carbonatés, des marnes calcaires et des dolomies.

Le Paléogène est subdivisé en deux unités : le Paléocène et l'Éocène.

Le Paléocène est constitué de marnes et de calcaires. Quant à l'Éocène, ses

Affleurements couvrent de vastes surfaces du territoire de la wilaya et sont représentés par des marnes, des calcaires, des phosphates, des gypses et des argiles.

Le Néogène est représenté par des dépôts miocènes et pliocènes, qui reposent en discordance sur les formations crétacées et paléogènes.

Enfin, les formations quaternaires sont largement répandues dans les parties centrale et septentrionale de la wilaya, occupant également toute la région méridionale. Elles se présentent sous forme de dépôts alluviaux et lacustr

CHAPITRE I :

Hydroclimatologie

I. Région d'El Malabiod :

1. Etude des paramètres climatiques :

A. La Température :

La température constitue un facteur déterminant influençant fortement le phénomène d'évapotranspiration ainsi que le déficit d'écoulement annuel et saisonnier. Sa variation affecte directement la transformation de l'eau en vapeur, que ce soit en surface ou dans le sous-sol. Par conséquent, elle agit sur l'intensité de l'évapotranspiration et, de manière indirecte, sur le taux de salinité des eaux.

En effet, la température joue un rôle central dans la dynamique des composantes du bilan hydrologique. Cependant, dans la région d'étude, aucune mesure directe des températures n'a été effectuée en raison de l'absence de stations météorologiques locales. La seule station disponible est celle de Tébessa, située à une altitude de 809 mètres au sud de la ville, et elle a été utilisée comme station de référence pour l'analyse climatique de la zone.

Température moyen mensuelle :

Le tableau 1 ci-dessous donne les températures moyennes mensuelles pour une période de 10 ans (2007/2008-2016/2017).

Tableau 1 : les températures moyennes mensuelles à la station d'EL MALBIOD (2007-2017)

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

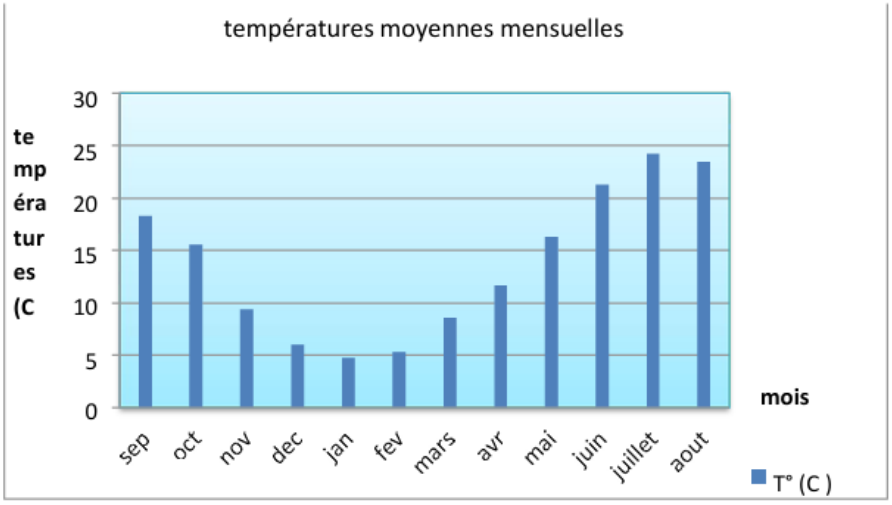


Figure 14 : Variation des températures mensuelles, période de 10 ans (2007_2017).

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.

B. **Répartition des Températures annuelles :**

Tableau 2 : Températures moyennes annuelles (2007_2017)

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

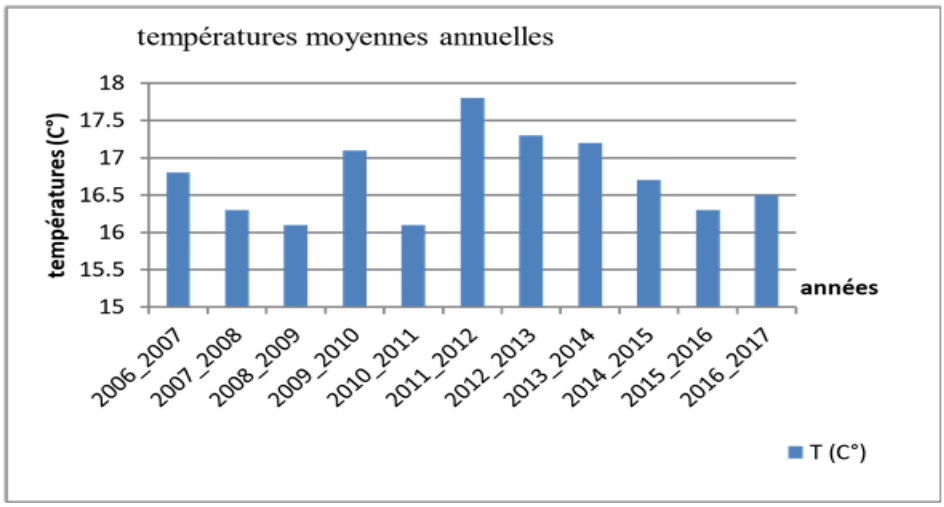


Figure 15 : Variation des températures inter annuelles

L'analyse de la variation des températures au cours de la période d'observation (2007-2017) révèle que l'année la plus chaude a été 2011-2012. En revanche, les années les plus fraîches ont été 2008-2009 et 2010-2011. Cette variabilité thermique est illustrée dans la figure n°14.

C. **Pluviométrie :**

L'étude de la pluviométrie revêt une importance majeure en hydroclimatologie, car elle permet de caractériser le régime d'écoulement dans une région donnée. Le suivi et l'enregistrement précis des précipitations sont en effet essentiels pour toute tentative d'estimation des lames d'eau recueillies à l'échelle de l'impluvium. Ces données permettent par la suite de déduire les différentes composantes du bilan hydrologique, telles que l'écoulement superficiel, l'écoulement souterrain, les infiltrations, etc.

Dans le bassin d'El Ma El Abiod, les précipitations se distinguent par leur irrégularité et leur forte variabilité, tant sur le plan saisonnier qu'annuel — des caractéristiques typiques des zones à climat semi-aride.

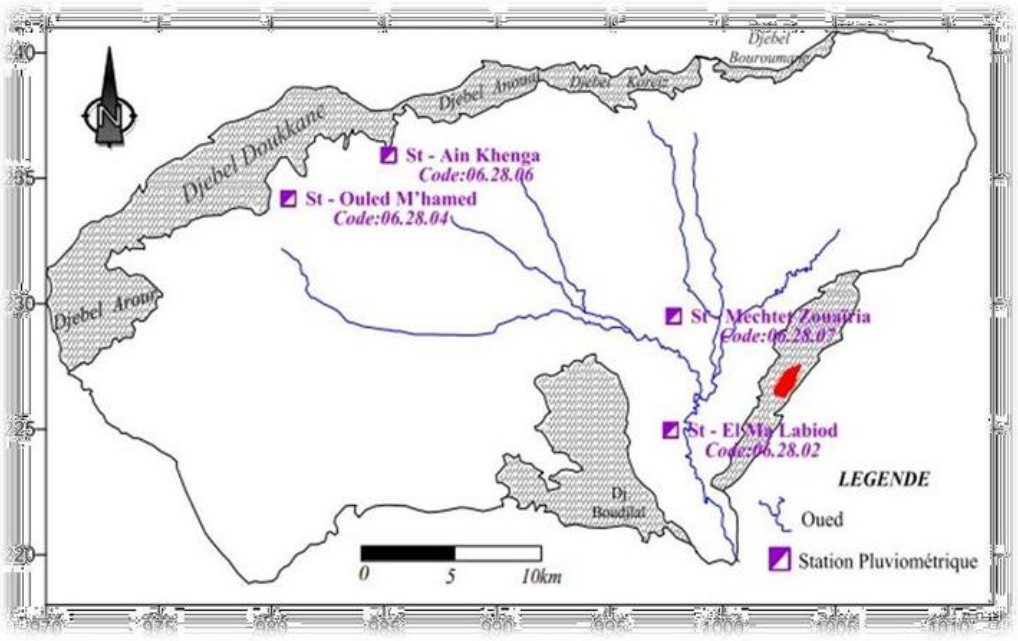


Figure 16 : Station pluviométriques et leurs codes/Bassin d'El Malabiod

D. **Précipitations :**

Précipitations moyennes mensuelles :

L'observation graphique (Tab 2) présente la répartition des précipitations moyennes mensuelles à la station d'El Malbiod comme suit :

Une première période, qui regroupe les mois de novembre, décembre, janvier, février, juin, juillet et août, se caractérise par des précipitations mensuelles moyennes ne dépassant pas 17,89 mm, avec un minimum de 5,3 mm enregistré en juillet. Une seconde période pluvieuse s'étend sur les mois de septembre, octobre, mars, avril et mai, où les hauteurs de précipitations mensuelles moyennes ne dépassent pas 34 mm, avec un minimum de 26,61 mm observé en octobre.

Tableau 3 : Moyenne des précipitations mensuelles sur une période de 10 ans (2007/2017).

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

Précipitation moyennes annuelles (sur une période de 10 ans : 2007/2017) :

Les précipitations annuelles présentent une variabilité notable d'une année à l'autre. Pour la station d'El Ma El Abiod, l'année hydrologique 2014-2015 s'est révélée la plus sèche, avec un cumul annuel de seulement 120,1 mm. En revanche, l'année 2008-2009 a été la plus arrosée, enregistrant un total de 410,13 mm (voir tableau n°05 et figure n°).

Il est à noter que certaines années peuvent être qualifiées d'excédentaires en termes de précipitations, notamment les périodes 2007-2008, 2008-2009, 2010-2011, 2011-2012 et 2015-2016.

Tableau 4 : Les Hauteurs annuelles sur une période de 10ans (2007\2017)

Année	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

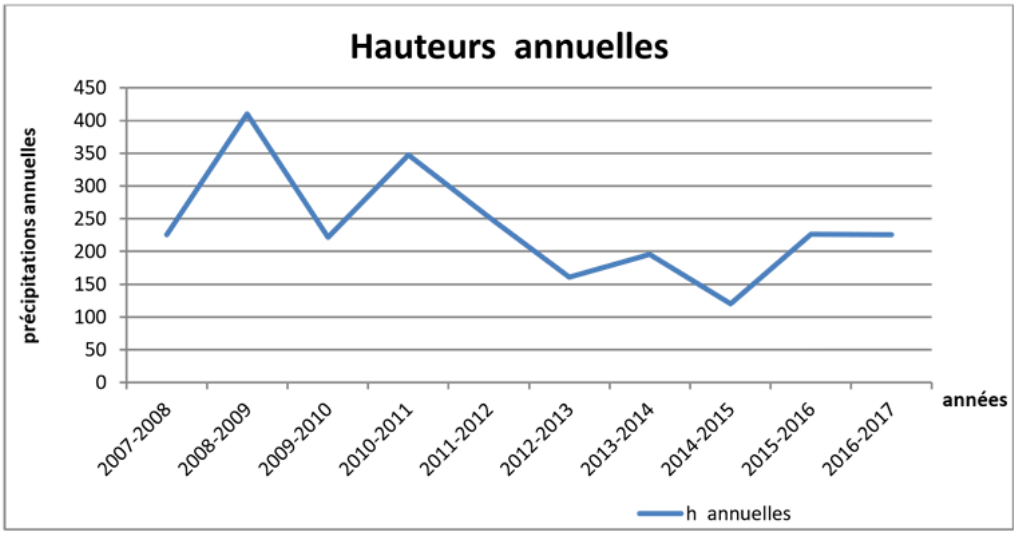


Figure 17 : : Les Hauteurs annuelles sur période de 10 ans (2007-2017) à la station d'EL MALBIOD

2. **Diagramme pluviothérmique :**

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 ($P \leq 2T$).

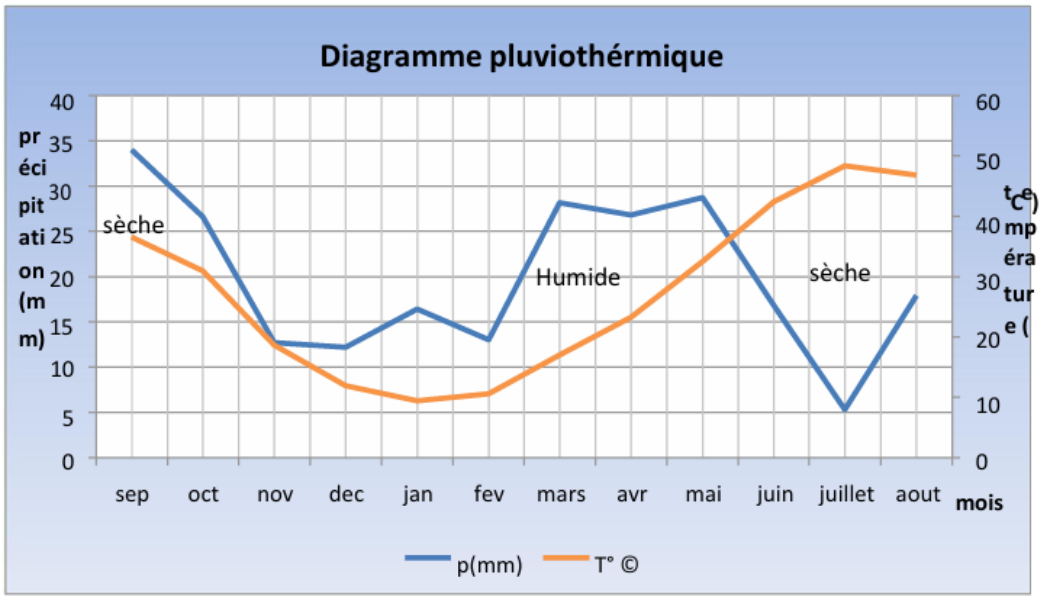


Figure 18 : Diagrammes pluviothèrmiques (2007/2017) / Bassin D'EL MALABIOD.

Le diagramme met en évidence une période humide s'étendant d'octobre à mai, durant laquelle les précipitations sont relativement plus importantes. En revanche, la période sèche s'étale de juin à septembre. Toutefois, cette dernière peut être ponctuée par de courtes périodes d'instabilité

atmosphérique, marquées par des pluies orageuses, notamment à la fin juillet, au début août et parfois en septembre.

3. Détermination des indices climatiques :

L'humidité relative :

L'humidité relative correspond au rapport entre la pression de vapeur réelle (*e*) et la pression de vapeur saturante (*es*) à une température donnée, exprimé en pourcentage (%). Elle reflète l'état hygrométrique de l'atmosphère, c'est-à-dire son degré de proximité avec la saturation en vapeur d'eau, condition préalable à la condensation et, par conséquent, aux précipitations.

L'humidité relative joue également un rôle essentiel dans le processus d'évaporation de l'eau, qu'elle provienne du couvert végétal, du sol ou des nappes d'eau libres.

Comme mentionné précédemment, la région étudiée se situe dans une zone climatique semi-aride. Dans ce contexte, le mois de janvier se distingue généralement comme étant le plus humide de l'année.

Le vent :

Le vent constitue un paramètre climatique dont l'influence est particulièrement notable sur plusieurs phénomènes environnementaux, notamment l'évapotranspiration, les précipitations, et dans une moindre mesure, les températures.

D'après les données issues des services météorologiques de la station de Tébessa, les vents dominants soufflent majoritairement des secteurs nord-ouest (NW) et sud-ouest (SW), avec des vitesses pouvant dépasser 60 km/h. Les relevés indiquent une vitesse maximale atteignant 70 km/h, et une vitesse minimale de l'ordre de 34 km/h.

Les effets du sirocco, vent chaud et sec d'origine saharienne, peuvent se manifester à tout moment de l'année. Toutefois, ce phénomène est plus fréquent durant la saison estivale, période pendant laquelle il provoque des élévations brutales de température. Cela engendre une intensification de l'assèchement du milieu, en raison de l'augmentation du pouvoir évaporant et de l'érosion éolienne. Le sirocco peut atteindre une vitesse moyenne avoisinant les 40 km/h.

La région est également sujette à des vents de sable fréquents, s'étendant sur plusieurs kilomètres. Leur direction dominante est ouest-nord-ouest / est-sud-est (WNW-ESE). Des vents similaires, soufflant depuis le sud, peuvent aussi affecter la zone. Ces phénomènes peuvent durer jusqu'à une vingtaine de jours par an, contribuant à la dynamique climatique et à la dégradation éolienne des sols.

Voici une reformulation claire et académique de la section

4. **L'indice d'aridité de E. De Martonne :**

En 1925, le climatologue Emmanuele De Martonne a proposé un indicateur climatologique, connu sous le nom d'indice d'aridité, permettant de caractériser le type de climat d'une région en fonction de deux variables essentielles : la température moyenne annuelle (T, en °C) et les précipitations annuelles (P, en mm).

La formule de calcul de cet indice est la suivante :

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

Où:

I est l'indice d'aridité de De Martonne,

P représente les précipitations annuelles moyennes (en millimètres),

T est la température annuelle moyenne (en degrés Celsius),

le terme constant 10 est ajouté au dénominateur pour éviter des valeurs extrêmes ou nulles dans les climats froids.

Cet indice permet de classer les climats selon les seuils suivants :

I < 5 : climat est hyperaride

5 ≤ I < 7,5 : il est désertique

7,5 ≤ I < 10 : on parle de climat steppique

10< I >20: il semi-aride

20< I >30 le climat est tempéré

Ainsi, l'indice d'aridité constitue un outil simple mais efficace pour l'analyse comparative des régimes climatiques, notamment dans les régions sensibles aux déficits hydriques.

Tableau 5 : Indice d'aridité de E. DE Martone et type de climat.

Station	Précipitation (mm)	Température (C°)	Indice d'aridité	Observation
El ma labiod	**238.618**	**13.53**	**10.13**	**Climat semi-aride**

L'indice d'aridité mensuel :

La formule permettant de déterminer cet indice est établie en fonction des températures et des précipitations, ces dernières étant prises sous forme de moyennes mensuelles. Avec :

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

P : Moyenne mensuelle des précipitations (mm).

T : Moyenne mensuelle des températures

(Cº). Mensuelle des températures (Cº).

Tableau 6 : Indice d'aridité mensuel/Bassin d'El Malabiod

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**
Aout	**17.89**	**23.42**	**6.42**

5. **Bilan hydrique**

Le bilan hydrique reflète les différentes étapes par lesquelles passe l'eau issue des précipitations (pluie, neige, grêle) après avoir atteint le sol, avant de retourner vers l'atmosphère. Il peut être estimé à l'aide de la formule de G. Castany (1982) :

P = ETR + R + I (en mm)

où :

P : precipitations annuelles,

ETR : evapotranspiration réelle annuelle,

R : ruissellement,

I: infiltration.

h) Evapotranspiration

L'évapotranspiration regroupe l'évaporation de l'eau à partir des surfaces et la transpiration des plantes. Elle constitue une composante clé du cycle de l'eau. Son évaluation est complexe car elle dépend de nombreux facteurs climatiques et environnementaux comme l'humidité, la température, l'ensoleillement et la couverture végétale.

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 l9expression suivante :

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

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

$$\mathbf{a}=\frac{1{,}6}{100.I} + \mathbf{0.5}$$

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 :

$$\text{ETP}=16.\left(\frac{10.T}{I}\right)^{a}.k$$

Avec :

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

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

Tableau 7 : ETP selon la formule de C. W. Thornthwaite/Station d'El Ma El Abiod

Mois	S	O	N	D	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juiel	Aout	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
ETPnc	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	
ETPc	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 Pour l'année (2008/2009).

T	**20.89**	**16.55**	**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**
ETPnc	**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**	
ETPc	**97.28**	**62.8**	**26.39**	**13.14**	**10.35**	**10.9**	**27.75**	**46.43**	**119.82**	**131**	**163**	**145.2**	**857.03**

E. **Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR)**

L'évapotranspiration réelle représente une part de l'évapotranspiration potentielle (ETP), déterminée par la quantité d'eau disponible dans le sol. Lorsque les réserves en eau du sol sont suffisantes, les pertes par évaporation et transpiration peuvent atteindre le niveau de l'ETP. En revanche, si l'eau disponible est insuffisante, ces pertes sont réduites à une valeur inférieure, appelée évapotranspiration réelle (selon G. Castany).

Pour estimer l'ETR, on peut utiliser l'une des formules empiriques suivantes : celle de L. Turc ou celle de G.W. Thornthwaite.

F. **Formule de L. Turc**

La formule de L. Turc permet d'évaluer directement l'évapotranspiration réelle annuelle d'un bassin versant à partir des précipitations annuelles et de la température moyenne annuelle.

$$\mathbf{ETP}=\frac{p}{\sqrt{0.9+\frac{p^2}{L_{(mm)}}}}$$

Avec :

P : Précipitation moyenne annuelle (m).

L : Facteur qui tient compte des échanges de chaleur (L = 0.5T3 +25T+300).

T : Température moyenne annuelle (°C).

Tableau 9 : ETR selon la méthode de L. Turc

Station	Précipitation	Température (Cº)	L	ETR
EL MA LBIOD	**238.618**	**13.73**	772.66	**239.17**

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 formed'infiltration efficace vers la nappe, soit sous la forme de ruissellement.

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

Mois / Paramétre	sept	oct	Nov	déc	janv	fév	Mar	avr	mai	juin	juil	aout	Annee
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**	
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**
RFU (mm)	**0**	**0**	**0**	**0**	**6.79**	**8.75**	**9.68**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	
EX (mm)	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	
DA	**49.43**	**34.99**	**11.27**	**0.44**	**0**	**0**	**0**	**0**	**9.2**	**53.68**	**109.6**	**146.1**	**532**

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

Pour vérification :

p = ETR +EX 240,61 = 240,7 +00

DA= ETP 3P 532,05 = 772,66 - 240,61

Tableau 11 : Bilan hydrique selon la méthode de C. W. Thornthwaite pour l'année (2008/2009)

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	O	TOT
TºC	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
ETPc	97.25	62.8	26.39	13.14	10.35	13.9	27.75	46.34	119.82	131	163	145.2	857.03
RFU	0	0	0	13.26	29	21.43	25.48	29	0	0	0	0	49.79
ETR	60.3	44.1	11.6	13.14	10.35	13.9	27.75	46.43	46.43	39.1	12.5	0	310.37
EX	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

G. **Commentaire sur le bilan hydrique (2007–2017)**

L'analyse du bilan hydrique moyen sur la période 2007–2017 montre un déficit quasi permanent, traduisant un déséquilibre entre les précipitations reçues et les pertes par évapotranspiration potentielle (ETP). Ce constat met en évidence les caractéristiques climatiques de la région.

Les principales observations sont les suivantes :

La réserve facilement utilisable (RFU) commence à se constituer dès le mois de janvier, et cette accumulation se poursuit durant février et mars, en lien avec les

Une reprise notable des précipitations est observée entre mars et mai. Toutefois, cette période coïncide avec une augmentation importante de l'ETP, réduisant

Ainsi la part d'eau effectivement disponible pour les plantes, ce qui accentue le déficit hydrique.

Ce déséquilibre confirme le **climat semi-aride** de la région, où la pluviométrie annuelle dépasse rarement les **300 mm**, limitant ainsi le potentiel de recharge des nappes et la disponibilité en eau pour les usages agricoles

H. **Le bilan hydrique durant l'année excédentaire (2008/2009)**

Au cours de l'année excédentaire 2008/2009, l'évapotranspiration potentielle (ETP) a atteint son **maximum au mois de juillet**, avec une valeur de **163 mm**, tandis que le **total annuel** s'élève à **857,03 mm**.

Le **déficit hydrique agricole** débute dès le mois d'**avril** et se prolonge jusqu'au mois de **novembre**, avec un **déficit maximal** enregistré en **juillet (163 mm)**, et un **déficit minimal** observé en **février**.

La **recharge de la réserve facilement utilisable (RFU)** commence au mois de **décembre** et se poursuit jusqu'en **avril**, période durant laquelle les précipitations sont généralement suffisantes pour couvrir les besoins hydriques.

Un **excédent hydrique** est enregistré principalement au cours des mois de **janvier** et **avril**, ce qui contribue partiellement à la reconstitution des réserves en eau du sol.

6. **Le ruissellement**

Le **ruissellement** correspond à la fraction des précipitations qui s'écoule directement à la surface du sol lors des épisodes pluvieux, sans s'infiltrer. Il peut être estimé de manière générale soit par l'analyse de l'**hydrogramme** d'un cours d'eau, soit à l'aide de **méthodes empiriques**, qui permettent d'obtenir des valeurs approximatives mais utiles à l'échelle régionale.

Parmi ces méthodes empiriques, on peut citer celle de **Tixeront** et **Berkaloff**, qui ont proposé une formule destinée à l'estimation du **ruissellement moyen annuel**, spécifiquement adaptée aux **zones à climat semi-aride**. Cette méthode, bien que pratique, **ne prend pas en compte la nature lithologique des sols**, ni l'impact de leur **perméabilité** sur les écoulements superficiels.La formule proposée s'écrit comme suit :

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

R : Ruissellement (m).

P : Précipitation moyenne mensuelle (m).

ETP : Évaporation potentielle (m).

Application numérique :

$$R=\frac{(410.13)^3}{3(857.03)^2}=31.30$$

Calcul de l'infiltration : (I)

EX= R+I et d'où R=Ecoulement /2

R=99.58/2 =49.79

EX= R+I ⟹ I=EX –R

Avec EX= 99.76 et R =49.79 on obtient :

I = 99.76 -49.79 = 49.97.

Tableau 12 : Ruissellement selon la méthode de Tixeront-Berkaloff

Paramètre	Précipitation (mm)	ETP (mm)	R(mm)
Station d'El Malabiod	410.13	857.02	31.2

7. **L'infiltration :**

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

P = ETR+R+I 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 duites de la méthode rationnelle :

I=P-(E+R)

I=410.13-(310.37+31.2)

Tableau 13 : Infiltration efficace moyenne annuelle (2008/2009).

Paramètre	Précipitation (mm)	ETP (mm)	R(mm)	I(mm)
Station d'El Malabiod	410.13	310.37	31.2	68.56

8. Conclusion

La plaine d'**El Malabiod** se caractérise par un **climat méditerranéen de type semi-aride**, marqué par des **hivers froids et peu arrosés** et des **étés chauds et secs**. Ce régime climatique est fortement influencé par plusieurs facteurs géographiques, notamment l'**éloignement de la mer**, l'**altitude** ainsi que l'**orientation des reliefs** environnants.

Ce chapitre a permis d'analyser les principaux paramètres climatiques sur une période de **dix ans (2007–2017)**. Les données montrent une **précipitation moyenne annuelle de 238,2 mm** et une **température moyenne de 13,73 °C**. Le **bilan hydrique global** de la région s'avère **déficitaire**.

L'**évapotranspiration réelle** est estimée à environ **239,17 mm/an**, ce qui signifie qu'elle **mobilise l'intégralité des précipitations reçues**, voire légèrement plus. Le **ruissellement** représente à peine **6 mm/an**, indiquant une part très limitée des eaux de pluie qui s'écoulent en surface. L'**infiltration efficace**, quant à elle, reste **très faible**, voire négligeable.

La plaine d'El Malabiod subit une **saison sèche prolongée de près de sept mois**, ce qui suggère que l'**alimentation de la nappe phréatique** ne repose pas uniquement sur l'infiltration directe des pluies, mais **dépend également des apports latéraux** en provenance des **calcaires fissurés** bordant le bassin.

II. Région de Chéria

Le climat constitue un facteur fondamental influençant de manière significative les différents éléments du relief, en induisant des modifications des propriétés physico-chimiques des roches et des sols.

Ainsi, l'étude du climat du bassin versant de Chéria revêt une importance majeure pour la compréhension du comportement hydrogéologique des cours d'eau de la région.

En raison de l'insuffisance des données climatiques enregistrées à la station de Chéria, les données relatives aux précipitations et aux températures provenant de la station météorologique de Tébessa ont été utilisées, cette dernière étant la plus proche et la plus représentative des conditions climatiques locales.

Les coordonnées géographiques ainsi que les principales caractéristiques de la station implantée dans le bassin de Chéria sont présentées dans le tableau n° 14 :

Tableau 14 : L'identification pour la station pluviométrique de Chéria.

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

9. 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° 15 :

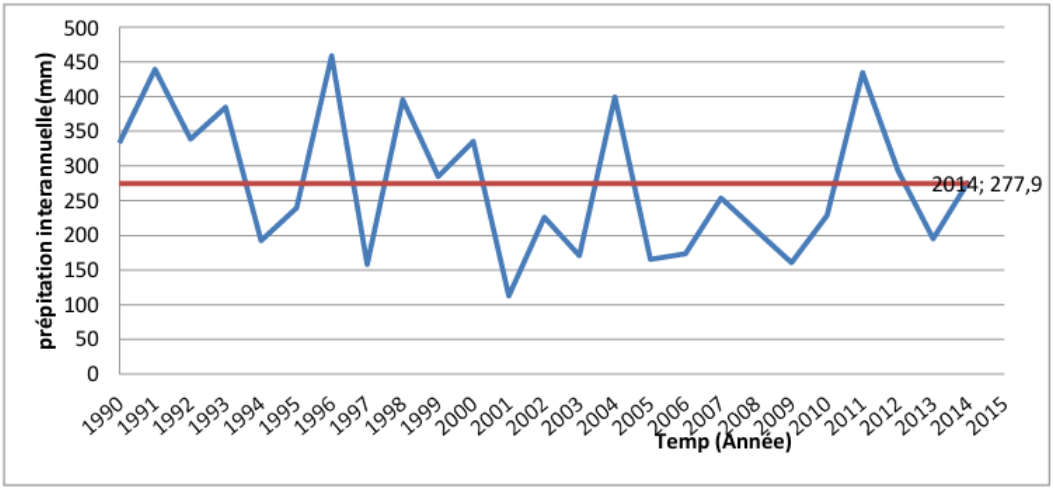


Figure 19 : La Variations interannuelles des précipitations interannuelle de la station de Chéria (1990-2014).

Analyse de la variabilité des précipitations à la station de Chéria

L'analyse de la variation interannuelle des précipitations, fondée sur les cycles d'observation enregistrés à la station de Chéria, révèle plusieurs constats importants :

- La moyenne interannuelle des précipitations s'élève à **274,26 mm/an**.

Une irrégularité marquée est observée d'une année à l'autre, témoignant d'une variabilité pluviométrique significative.

- Les années les plus humides correspondent à **1991 (439,3 mm)**, **1996 (458,9 mm)** et **2011 (434,3 mm)**.
- L'année la plus sèche est **2000**, avec un cumul annuel de **112,7 mm**.
- Les années qualifiées d'**excédentaires** en termes de précipitations sont : **1991, 1993, 1996, 1998, 2000, 2004 et 2011**.
- En revanche, les années **déficitaires** sont : **1994, 1997, 2001, 2003, 2005, 2009 et 2013**.

10. **Répartition mensuelle des précipitations**

L'analyse graphique des précipitations mensuelles sur une période de **24 ans (1990-2014)** à la station de Chéria montre une distribution irrégulière au cours de l'année. Les mois les plus pluvieux sont **septembre** et **mai**, avec des moyennes respectives de **38,09 mm** et **33,58 mm**. À l'inverse, **juillet** se distingue comme le mois le plus sec, avec une moyenne de **12,33 mm**.

Tableau 15 : Précipitations moyennes mensuelles de Chéria (1990-2014).

Mois	sep	oct	nov	dec	jan	Fev	Mar	avr	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

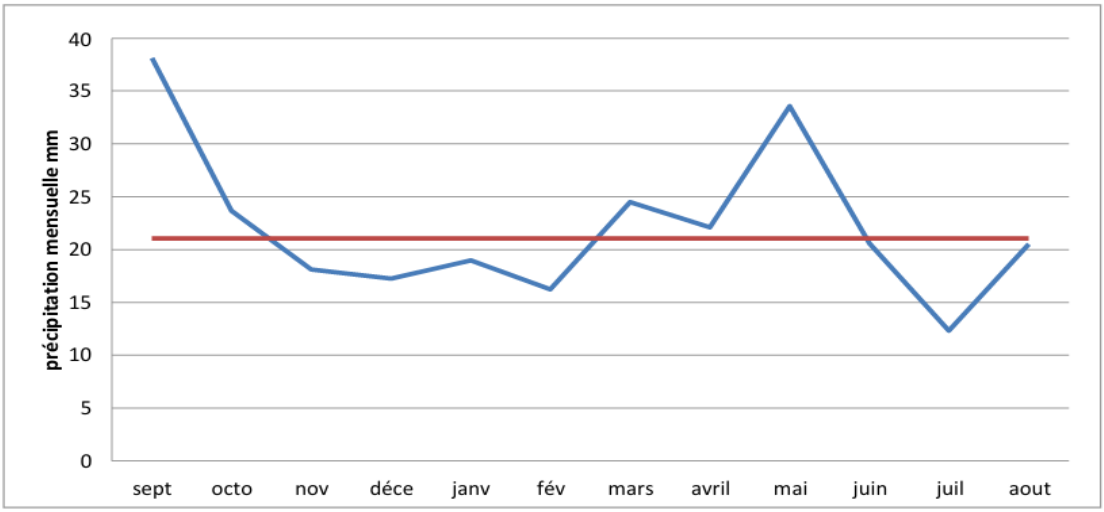


Figure 20 : Les Variations des précipitations moyennes mensuelles de la station de Chéria (1990-2014)

B. **La neige**

Les reliefs environnants du plateau de Chéria, notamment les montagnes telles que le mont Eddoukan, jouent un rôle significatif dans le régime hydrologique local. En hiver, ces zones montagneuses sont fréquemment couvertes de neige. La fonte de cette neige contribue directement à l'alimentation des sources d'eau de la région, en augmentant leur débit, notamment au cours du printemps. Ce phénomène constitue une composante importante du cycle hydrologique local.

C. **La température**

La température représente un facteur climatique majeur qui influence directement le bilan hydrique d'une région. Elle joue un rôle essentiel dans la régulation de l'évapotranspiration, affectant ainsi la quantité d'eau disponible à la surface. Une température élevée entraîne une augmentation de l'évaporation et de la transpiration des plantes, ce qui peut accentuer le déficit hydrique et réduire l'écoulement des eaux de surface.

Le tableau ci-dessous présente les moyennes mensuelles des températures enregistrées à la station météorologique de Tébessa durant la période allant de **1990 à 2014**.

Tableau 16 : Températures moyennes mensuelles à la station de Tébessa (1990-2014).

Mois	sep	oct	nov	dec	jan	Fev	Mar	avr	mai	juin	juil	aout
T Moy Cº	22.1	18	12.53	8.18	6.78	7.98	10.97	13.15	18.34	23.36	27.28	26.32

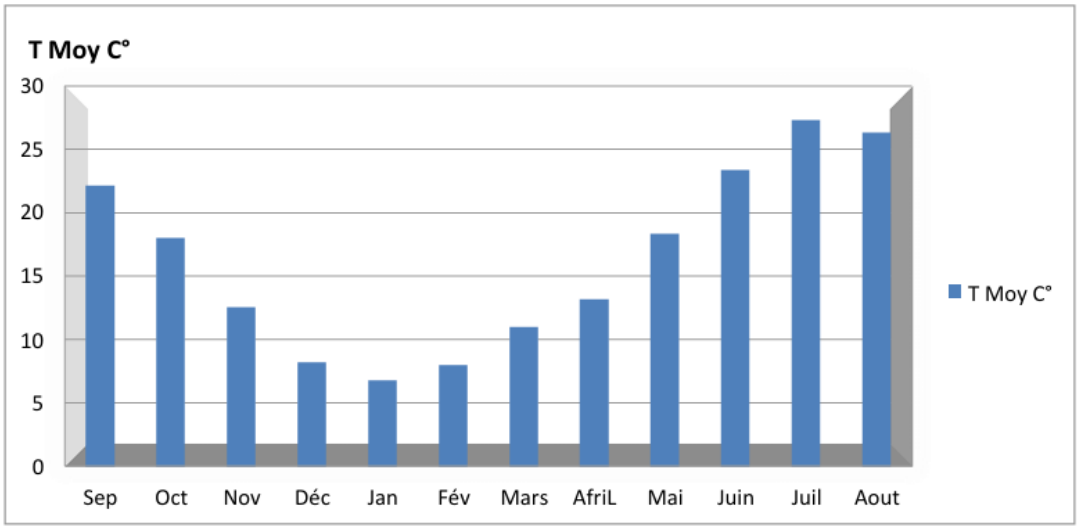


Figure 21 : Variation des températures mensuelles à la station de Tébessa

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°).

11. **Diagramme pluviométrique**

La combinaison des deux principaux paramètres climatiques — les températures et les précipitations — permet de mieux appréhender la répartition saisonnière de l'humidité et de la sécheresse au sein de la région. L'analyse du diagramme ombrothermique de la station de Chéria, couvrant la période **1990-2014**, met en évidence une distinction nette entre les mois humides et les mois secs.

La **période humide** s'étend généralement sur **cinq mois**, allant de **décembre à avril**, avec une contribution supplémentaire du **mois de septembre**. En revanche, la **période sèche** correspond aux mois de **mai, juin, juillet, août, octobre et novembre**, durant lesquels les précipitations sont insuffisantes face aux températures élevées, entraînant un déficit hydrique marqué.

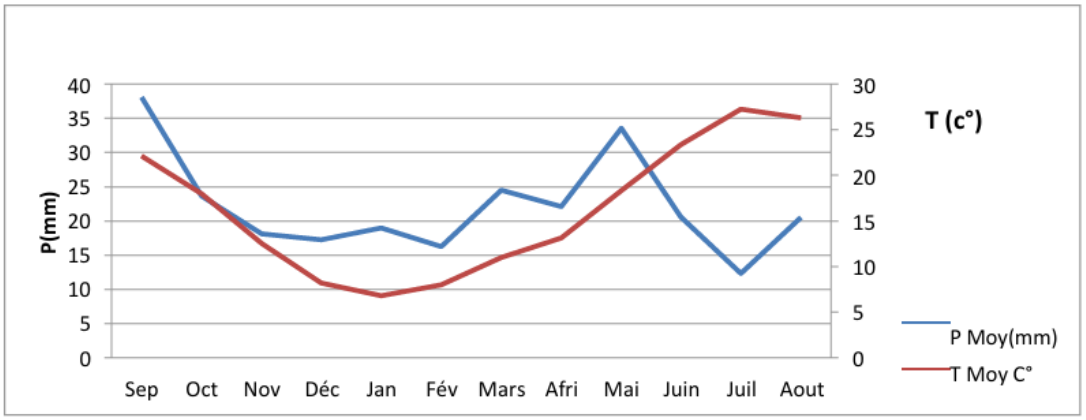


Figure 22 : Diagramme pluviothermique a la station de Chéria (1990-2014).

12. **Indices climatiques**

Pour définir le type de climat de la région de Chéria, nous avons utilisé **l'indice de Martonne**, qui s'exprime par la formule suivante :

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

Où:

- P : précipitations annuelles moyennes (mm)

T : température annuelle moyenne (°C)

D. Martonne a établi une classification basée sur 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 = 274.26mm et T = 16,24), cet indice est égal à : (I =10,45), donc le climat est de type semi-aride.

13. Bilan hydrique

Le bilan hydrique consiste à évaluer la répartition des différents composants du cycle de l'eau dans une région donnée, à savoir : **l'écoulement**, **l'infiltration** et **l'évaporation**. Ce dernier paramètre est le plus déterminant, car il influence directement la disponibilité ou le déficit en eau pour la végétation.

14. L'évapotranspiration

L'évapotranspiration désigne le processus par lequel l'eau est restituée à l'atmosphère sous forme de vapeur, à partir de la surface du sol, quelle que soit sa nature (sol nu, couvert végétal, surface libre d'eau). Elle constitue un élément essentiel dans l'établissement du bilan hydrologique et dépend de plusieurs facteurs : la température, les précipitations, l'humidité de l'air et le couvert végétal.

On distingue généralement deux formes :

- **L'évapotranspiration potentielle (ETP)**
- **L'évapotranspiration réelle (ETR)**

Evapotranspiration potentielle (ETP) :
L'évapotranspiration potentielle correspond à la consommation d'eau résultant de l'action combinée de **l'évaporation** de l'eau contenue dans le sol et de **la transpiration** des plantes. Elle représente la quantité d'eau perdue par un couvert végétal en plein développement, dans des conditions optimales d'alimentation en eau, **sans influence de facteurs limitants**.

Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) :

L'estimation de l'évapotranspiration potentielle repose sur l'utilisation de méthodes empiriques fondées sur des variables climatiques. Le choix de la méthode dépend essentiellement des **données climatiques disponibles** ainsi que du **type de climat** de la région étudiée. Parmi les formules les plus couramment utilisées figurent celles de **Thornthwaite** et de **Turc**.

◆ **La formule de Thornthwaite :**

Établie en **1948**, cette méthode prend en compte **l'indice thermique** ainsi que la **température moyenne mensuelle**. La formule de calcul de l'ETP s'exprime comme suit :

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 l9indice 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 d9évaluer l9évapotranspiration 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 l9air 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 qualité 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 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.

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

Cette méthode repose sur la notion de **réserve en eau facilement utilisable (RFU)**. Il est admis que le sol possède une capacité de rétention d'eau permettant de stocker une certaine quantité, appelée RFU. Cette eau est ensuite mobilisable par les plantes pour couvrir les besoins en évapotranspiration.

En l'absence d'une étude récente déterminant précisément cette réserve dans la région, une valeur de **25 mm** a été retenue, sur la base des résultats issus de l'étude **agro pédologique réalisée par le bureau d'études Le Petit**.

Ainsi, un **bilan hydrologique** a été établi pour la période **1990-2014** selon cette approche.

Tableau 17 : Bilan hydrique globale interannuel (1990-2014)

Mois / Paramètre	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil.	Août.	somme.
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

Formule de vérification :

-∑P=∑ETR+EX => ∑P=268,87+0 =268,87=P.

-∑ETP=∑ETR+∑DA=> ETP=268,87+1224,4=1493,3

Le ruissellement (R):

Les méthodes empiriques de Tixeront et Berkaloff. Ces auteurs ont établi une formule qui permet d9étudier le ruissellement moyen annuel.

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

R : Ruissellement (mm).

P : Précipitation moyenne mensuelle (mm).

ETP : Evaporation potentielle (mm).

Application numérique :

$R=\frac{268.87^3}{3(1493.3)^2}$ =2.905

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

P = 0.306 m; P3 = 0.0286 m; ETP = 0.812 m; 3ETP2 =1.9824m.

15. **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 D'où I = P − ETR − R

- EXC = R + I D'oùI = EXC –R

Avec :

I : Infiltration efficace moyenne annuelle (mm).

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

ETR : Évapotranspiration réelle annuelle (mm).

R : Ruissellement annuel (mm).

Tableau 18 : Tableau récapulatif des paramètres du bilan

Station	Année	Précipitation (mm)	ETR (mm)	EXC (mm)	R(mm)	I(mm)
Chéria	2000	306.80	292.40	14.40	14.37	8.50

Interprétation des bilans hydriques de l'année 1995 :

La (RFU) commence à se constituer dès le mois d'octobre (6.72 mm), indiquant un début de réhydratation du sol. Elle devient nulle en novembre et décembre, puis augmente de manière significative en janvier (15.34 mm) et atteint le seuil de saturation (25 mm) en février et mars, traduisant une forte humidité du sol. En avril, la RFU diminue à 14.72 mm, ce qui indique un début de déperdition. À partir du mois de mai jusqu'à septembre, la RFU reste nulle.

Tableau 19 : Bilan hydrique pour l'année plus humide de la station de Chéria (1995) .

Mois	sept	oct	Nov	déc	janv	fév	Mar	avr	mai	juin	Juil	Aout	annee
P	60.2	68.1	25.3	18.7	38.2	69.3	64.6	28.7	30.4	27.8	6.5	21.1	458.9
ETPc	94.22	61.38	33.41	26.38	22.90	12.66	27.72	38.98	45.12	27.8	6.5	21.1	754.18
ETR	60.2	61.3	32.02	18.7	22.90	12.66	27.72	38.98	45.12	27.8	6.5	21.1	375.08
RFU	0	6.72	0	0	15.3	25	25	14.72	0	0	0	0	86.74
EXC	0	0	0	0	0	46.94	36.88	0	0	0	0	0	83.82
DA	34.02	0	1.39	7.68	0	0	0	0	28.59	64.21	125.91	117.3	379.1
ECOUL	0.47	0.23	0.11	0.05	0.02	23.47	30.17	15.08	7.54	3.77	1.88	0.94	83.73

Calcul du ruissellement R :

R=$\frac{P^3}{3(ETP)^2}$ =$\frac{458.9^3}{3(754.18)^2}$ = 56.63 mm

Calcul de l'infiltration

EX=R+I Où I=EX-R ═► R=ecoulement/2

Alors : I=EX - $\frac{ecoulement}{2}$ **=83.82 -** $\frac{83.73}{2}$ **= 41.96**

16. **Conclusion :**

L'étude hydroclimatique revêt une importance particulière dans le cadre de notre travail, en raison du lien direct qui existe entre les paramètres climatiques et les modalités d'alimentation de la nappe aquifère.

Nous avons mis en évidence la variabilité des facteurs climatiques, notamment les **précipitations** et les **températures**, sur une période d'observation relativement représentative de **24 ans**, ce qui nous a permis d'obtenir les résultats suivants :

- La **précipitation moyenne** enregistrée sur la période d'étude est de **268,87 mm** ;

- La **température moyenne annuelle** est de **16,24 °C** ;
- Le **bilan hydrique** de la région est **plus humide.**

III. Région de Tébessa

17. Etude des paramètres climatiques :

A. Temperature:

La **température** constitue le paramètre le plus déterminant dans la caractérisation du climat, car elle joue un rôle essentiel dans l'établissement du **bilan hydrique**. Pour les besoins de cette étude, les **données de température** ont été extraites de la **station météorologique de Tébessa** pour la période **1997–2018**, ainsi que du **site web spécialisé** 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)

Tableau 20 : Les variations des Températures moyennes mensuelles de la station de Tébessa (1997-2018)

Mois	sep	oct	nov	dec	jan	fev	mar	avr	mai	juin	juil	aout	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

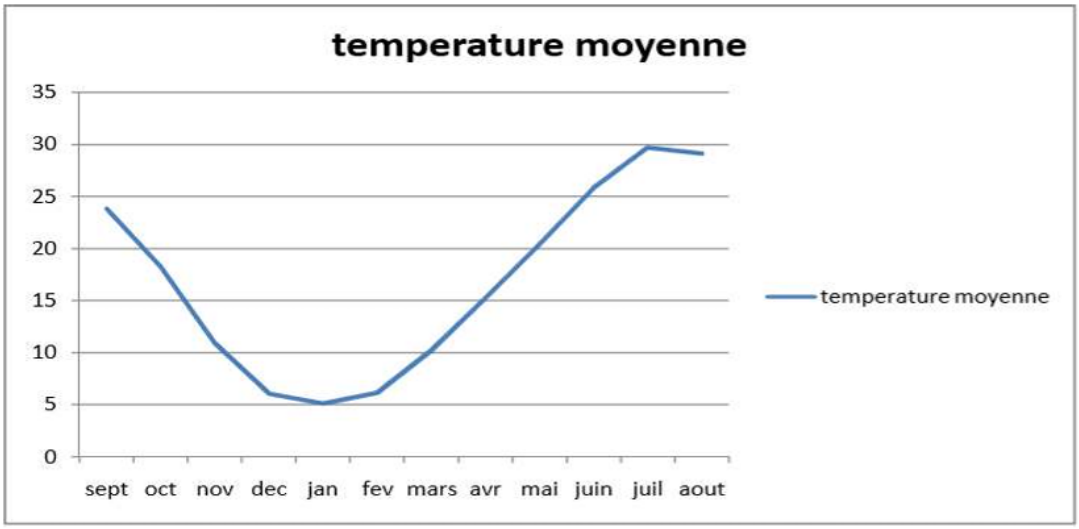


Figure 23 : variation des températures moyennes mensuelles (1997/1998-2019/2020).

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.

B. **Précipitations :**

L'étude des précipitations revêt une importance majeure en **hydrogéologie**, car elle permet d'évaluer la **lame d'eau** tombée sur l'ensemble du **bassin versant**, ainsi que son impact sur **l'alimentation de la nappe** et sur les éventuelles modifications du **comportement hydrodynamique** de celle-ci.

Notre analyse repose sur les données pluviométriques enregistrées sur la période **1997/1998 à 2019/2020**.

À partir des données recueillies à la **station météorologique de Tébessa** sur une durée de **vingt-trois ans** (1997–2020), les **valeurs moyennes mensuelles des précipitations** ont été établies et sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 21 : 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).

Mois	Sep	oct	nov	dec	jan	fev	Mars	avr	mai	jui	juil	aout	Tatal
P (mm)	45.10	38.21	32.33	32.09	31.14	21.42	30.94	36.60	45.63	25.03	15.33	27.06	380.98

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.

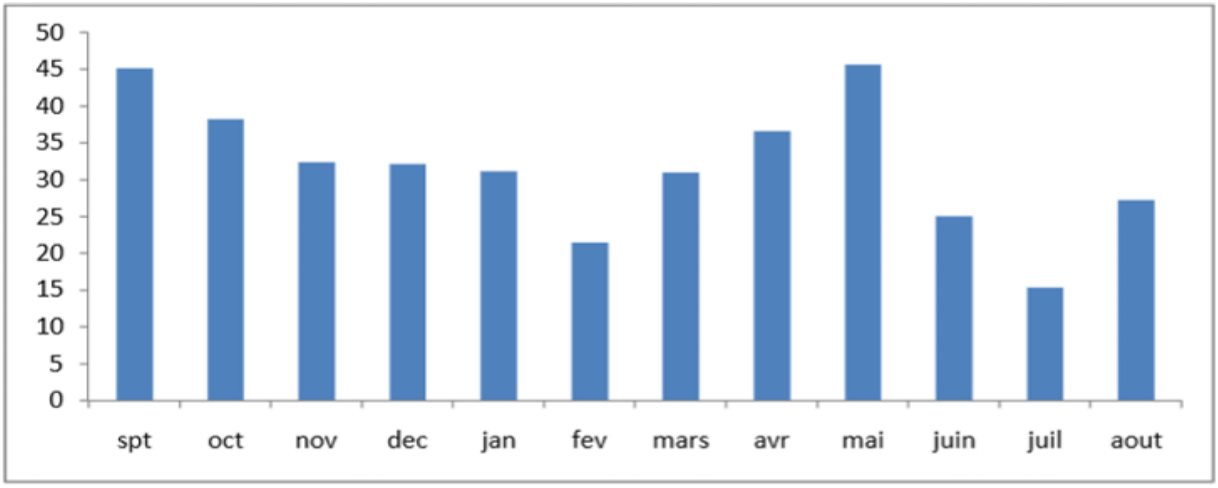


Figure 24 : Variation des précipitations moyennes mensuelles (station de Tébessa 1997-2018. et site web2019-2020).

Precipitation moyenne annuelle :

L'étude des précipitations annuelles dans notre région montre une grande variation dans le Temps à l'échelle (1997-2020) présentées dans le tableau suivant :

Tableau 22 : Précipitations moyennes interannuelles (station de Tébessa 1997-2020)

Station	Minimum	Année d'observation	Maximum	Année d'observation	P Moy (mm)
Tébessa	149.1	2000/2001	650.44	20003/20004	394.98

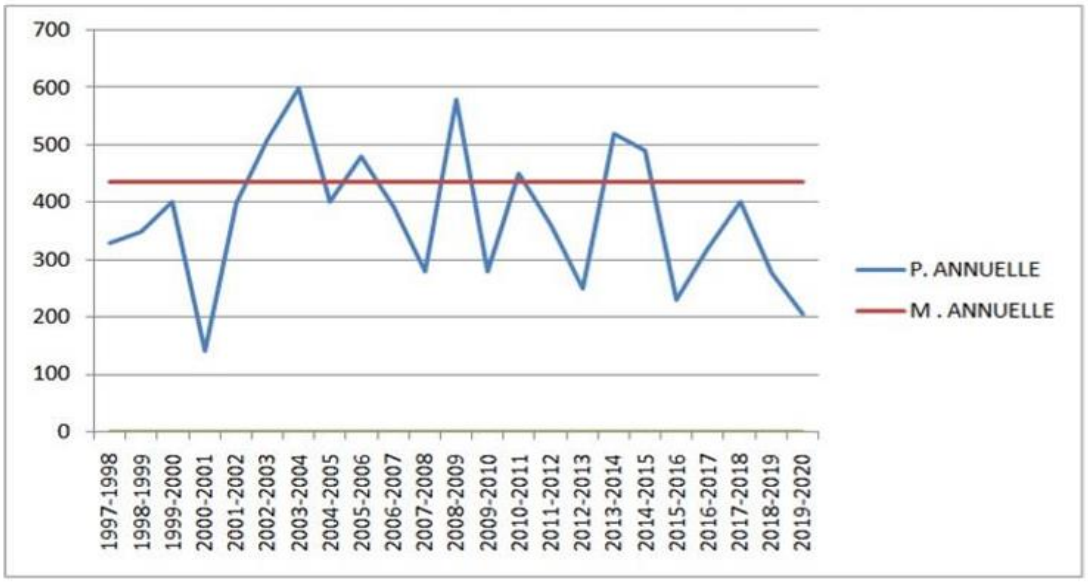


Figure 25 : Variation des précipitations annuelle à la Station de Tébessa (1997-2020).

18. **Détermination des indices climatiques :**

A. **L'humidité :**

Le tableau ci-dessous montre les valeurs d9humidité relative moyenne à la station de Tébessa aéroport entre 1972 et 2006.

Mois / Station	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jut	Aout
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 l9humidité relative est presque moyenne peu variable durant toute l9année, le minimum est observé au mois de juillet avec une valeur de 40.74 %, alors que le maximum est de l9ordre de 72.63 % observé au mois de décembre.

Bilan hydrique :

Le **bilan hydrique** traduit le parcours suivi par une quantité d'eau issue des **précipitations** après son arrivée au sol, jusqu'à son retour dans l'atmosphère. Il permet d'évaluer la **répartition des précipitations** reçues à la surface du sol.

Cette méthode, couramment utilisée dans les **climats subhumides et semi-arides**, repose sur la notion de **réserve en eau facilement utilisable (RFU)**. Il est généralement admis que cette réserve, stockée dans le sol et mobilisée par l'**évapotranspiration**, est de l'ordre de **100 mm en moyenne**, selon **Laborde (2000)**.

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

P= ETR+R+I Avec :

ETR : l9évapotranspiration 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 relatives à **l'évapotranspiration potentielle (ETP)**, **l'évapotranspiration réelle (ETR)** moyenne et aux **précipitations (P)**.

Les quantités d'eau stockées dans la **réserve facilement utilisable (RFU)** sont encadrées par deux limites : **0 mm** (RFU vide) et **RFU max**, qui correspond à la capacité maximale de stockage, variant généralement de **0 à 200 mm**, avec une **moyenne estimée à 100 mm**, selon la nature des sols et des sous-sols.

Il est admis que la **satisfaction de l'ETP** est prioritaire par rapport à l'**écoulement** : autrement dit, **aucun écoulement** ne peut avoir lieu tant que le **besoin évaporatif** n'est pas entièrement couvert (**ETP = ETR**). De plus, la **reconstitution de la RFU** est également considérée comme prioritaire avant tout écoulement.

L'établissement du Bilan hydrique nous permet de calculer :

RU : Réserve utile.

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

Exc. : Excèdent 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 d9infiltration efficace vers la nappe, soit sous

la forme de ruissellement.

*** 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 :

Tableau 23 : Bilan hydrique du l`année la plus sèche (2000-2001).

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	15.5	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	20.5	0	0	19.3	43.5	44.	144.5	180.7	160.3	685.8
EXC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Vérification du bilan

$\sum P = \sum ETR + \sum EX$ **=► 225.7=225.7+ 0**

$\sum ETP = \sum ETR + \sum DA$ **=► 911.5=225.7+ 685.8**

Tableau 24 : bilan hydrique de l`année la plus humide (2003-2004).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	A	TOT
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
Ecoulement	0.63	0.31	0.15	63.75	36.12	18.06	20.28	10.14	5.07	2.53	1.26	158.3

Formule de vérifécation :

$$\sum P = \sum ETR + \sum EX$$

$$\sum \boldsymbol{ETP} = \sum \boldsymbol{ETR} + \sum \boldsymbol{DA}$$

Calcul du ruissellement R :

Calcul du ruissellement R :

R=$\frac{P^3}{3(ETP)^2} = \frac{611.8^3}{3(855.6)^2}$ = 104.27

Calcul de l'infiltration

EX=R+I Où I=EX-R ═► R=écoulement/2

Alors : I=EX - $\frac{ecoulement}{2}$ **=158 -** $\frac{158.3}{2}$ **= 78.85**

Etablissement du bilan hydrique (Tab.25) :

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.

Tableau 25 : Bilan hydrique de la période de 23 ans (1997/1998-2019/2020).

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	O	TOT
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
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
ETPc	66.45	43.83	19.72	8.97	7.35	9.15	21.76	39.01	63.58	86.69	157.74	98.89	623.15
P-ETPc	-21.35	-5.63	12.61	23.12	23.79	12.27	9.18	-2.41	-17.95	-61.66	-142.41	-71.73	-242.17
RFU	0	0	12.61	29	29	29	29	26.59	8.64	0	0	0	163.84
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	324.01
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

- Verification:

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

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

L'évapotranspiration :

L'évaporation est le phénomène par lequel un liquide se transforme en vapeur ou en gaz. Ce processus a fait l'objet de nombreuses études expérimentales visant à identifier les différents facteurs qui régissent l'évaporation de l'eau. Parmi ces facteurs, on peut citer :

- La **production de chaleur** ;
- Le **vent** ;
- La **chaleur emmagasinée** dans le milieu ;
- 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 **valeurs mensuelles moyennes** enregistrées sur la période d'observation **1971–2006** sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 26 : Evaporation en mm et en % à la station météorologique Tébessa aéroport pour la période 1971-2006.

Mois / Paramètre	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

D'après l'analyse des données, les observations suivantes peuvent être formulées :

- Le mois de **juillet** enregistre le **taux d'évaporation le plus élevé**, avec une moyenne mensuelle de **16,03 mm** ;
- Le mois de **janvier** présente, quant à lui, le **taux d'évaporation le plus faible**, avec une moyenne mensuelle de **3,87 mm**.

L'**évapotranspiration** constitue un **élément clé du bilan hydrique**. Elle résulte de la **combinaison de deux phénomènes** : un phénomène **physique**, l'évaporation, et un phénomène **biologique**, la

transpiration. Ensemble, ils traduisent les **pertes en eau** par retour à l'atmosphère sous forme de **vapeur d'eau**.

On distingue deux formes d'évapotranspiration :

- L'**évapotranspiration potentielle (ETP)**.
- L'**évapotranspiration 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 = ∑i,** avec i (indice thermique mensuel) =(T/5)1,514.

a : l9exposant 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 l9attitude.

● Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) :

Les **pertes en eau** d'un sol peuvent atteindre le niveau de l'**évapotranspiration potentielle (ETP)** uniquement lorsque le **stock d'eau disponible** dans la **réserve facilement utilisable (RFU)** est **supérieur ou égal** aux besoins évaporatifs. En cas de

Déficit hydrique, ces pertes sont **réduites** à une quantité inférieure, appelée **évapotranspiration réelle (ETR)**.

L'**estimation de l'ETR** est effectuée à l'aide des **formules empiriques 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 T3.

T : température annuelle moyenne en C°.

Application :

P = 380.98 mm

T = 16.75 C°

L = 742.24

ETR = 353.20 mm

- Formule de G.W.Thornthwaite :

- **Si ETP ⟶ >0: ⟶ P>ETP ETR =ETP**
- **Si P - ETP ⟶ <0 P < ETP Ce dernier cas est subdivisé en deuxcas:**

P+RFU>ETP ⟶ ETR =ETP

P+RFU<ETP ⟶ ETR =P+RFU

D. Calcul du ruissellement (R) :

D'après T9ixeront 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.

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.**

19. **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 :

- La nature, la lithologie et l9épaisseur 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 Tébessa en tenant comptede la nature de sol et du type de culture : 25 < RFU < 35, soit une moyenne de 30 mm. D9après la formule de Hailler: RFU = 1 / 3 (Da.He.P)ou

RFU : réserve facilement utilisable enmm

Da : densité apparente du sol (pour plaine Da =1,4)

He : humidité équivalente du sol (He = 25%)

P : profondeur de la couche de la terre parcourue par les racines en .m. (P = 0,225m) L'application numérique :

RFU = 29mm

20. **Conclusion :**

L'analyse des **paramètres climatiques** observés sur une période de **23 ans** (1997/1998 à 2019/2020) à la **station de Tébessa** permet de tirer les conclusions suivantes :

- Le **climat** de la région est **typiquement semi-aride à caractère continental**, marqué par des **hivers froids** et des **étés chauds** ;
- La **température annuelle moyenne** est de l'ordre de **16,75 °C** ;
- La **précipitation annuelle moyenne** est estimée à **380,98 mm** ;
- L'**évapotranspiration réelle (ETR)** atteint **336,3 mm**, ce qui représente **environ 92 %** des précipitations reçues ;
- Le **bilan hydrique global** apparaît **excédentaire**, en particulier durant les mois de **décembre, janvier, février et mars**.

Concernant l'**infiltration**, celle-ci ne permet la **percolation** que de **54,23 mm**, soit environ **1,18 %** des précipitations totales, ce qui indique une **alimentation directe très faible** de la nappe phréatique par les eaux de pluie.

Ce constat suggère la présence de **sources d'alimentation indirectes**, notamment les **formations calcaires fissurées** bordant la plaine, qui contribuent de manière significative à l'**alimentation de la nappe**.

CAPITRE I :

Géophysique et Hydrogéologie

I. Région d'El Ma El Abiod

A. Géophysique

A. Géométrie de l'aquifère

B. Introduction :

Une prospection géophysique utilisant la méthode électrique a été réalisée dans la plaine d'El Ma El Abiod par la société Transakta-Géometal en 1970. À cette occasion, 315 sondages électriques ont été effectués avec un espacement AB de 2000 mètres, permettant une profondeur d'investigation d'environ 700 mètres, ainsi que 120 sondages supplémentaires avec un AB de 6000 mètres.

Les résultats obtenus ont été comparés aux coupes stratigraphiques des forages existants dans la même zone. Cette comparaison a permis d'identifier les différentes formations géologiques et de définir leurs caractéristiques en termes de résistivité :

Alluvions et formations quaternaires : entre 20 à 150 Ω·m

Argiles : entre 2 et 15 Ω·m d'épaisseur

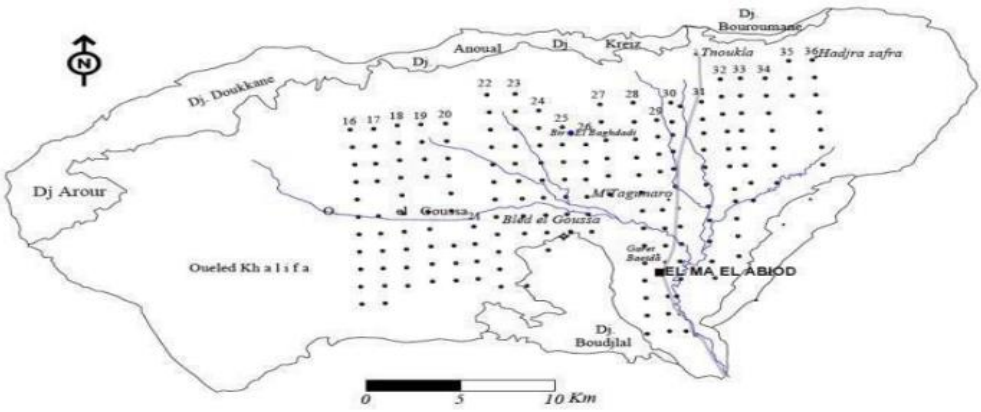
Argiles sableuses : entre 20 et 60 Ω·m

Sables et graviers : entre 50 et 250 Ω·m

Grès ou calcaires : plus de 200 Ω·m d'épaisseur.

C. Profils géo-électrique réalisés :

Figure 26 : carte de position des sondages électrique (in ROUBHIA Aek



Coupe transversale 1 (Nord-Sud) :

Cette coupe, traversée par les forages M7, M5, M4 et M15, met en évidence quatre horizons relativement homogènes, présentant des résistivités variables. Le dernier horizon se distingue des autres par sa faible résistivité, comprise entre 3 et 70 Ω·m ce qui en fait un substratum conducteur. À l'inverse, les horizons supérieurs présentent des résistivités plus élevées, les caractérisant comme des formations résistantes.

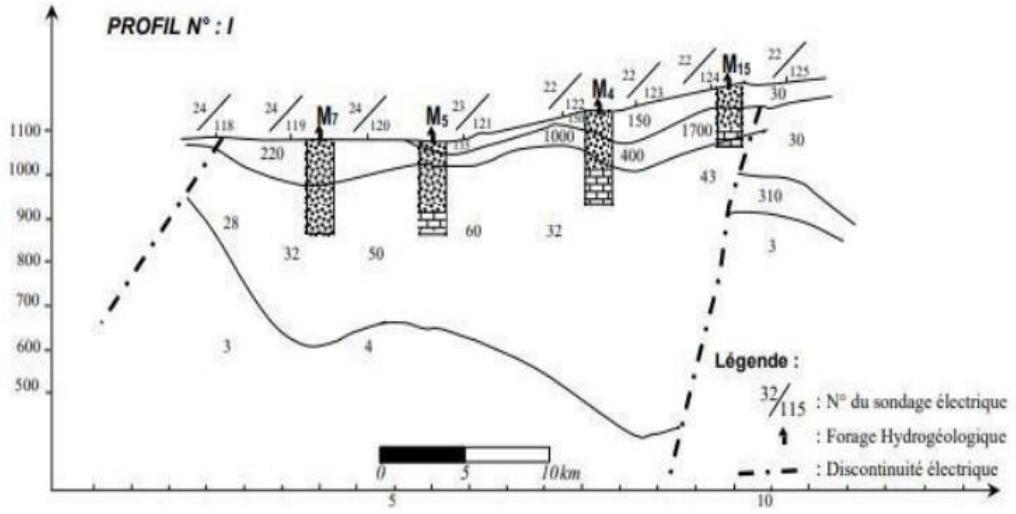


Figure 27 : coupe géo-électrique transversale I. Passant par les forages M7, M5, M4, et M15

Le premier horizon, d'une épaisseur maximale atteignant 85 mètres, n'est pas continu tout au long du profil. Sa résistivité varie entre 900 et 1500 ohm·m, une variation attribuée à l'hétérogénéité de la composition géologique de cette couche. L'analyse des logs stratigraphiques révèle une alternance de faciès géologiques comprenant des couches argileuses, des sables (gros à fins), des graviers et des argiles sableuses. Cette variation dans l'épaisseur et la nature des matériaux entraîne des fluctuations de la résistivité, ce qui explique les valeurs observées lors de la prospection électrique.

Le deuxième horizon, quant à lui, est continu sur l'ensemble du profil. Il présente des résistivités comprises entre 2200 et 17000 ohm·m, avec une épaisseur variant de 35 à 120 mètres. La corrélation entre les données de forages et les résistivités mesurées confirme la fiabilité des résultats. Cette formation correspond principalement à des grès consolidés.

Dans le troisième horizon, également résistant, on observe une diminution progressive de la résistivité due à des variations lithologiques. Deux formations géologiques distinctes sont identifiées : les argiles sableuses du Miocène et les calcaires marneux du Maastrichtien. Les résistivités mesurées, mises en relation avec les données stratigraphiques des forages, présentent une bonne concordance. Le tableau suivant illustre cette correspondance.

M4	0 – 87m 87 – 150 m 150 –164 m	argiles et argiles sableuses sables argileux avec passées argileuses sables moyen	0 – 50 m : □ = 150 Ωm 50 –100 m : □ =400 Ωm >100 m : □ = 32 Ωm

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

Tableau 27 : Lithologie et résistivités des forages M4, M5 (source ANRH)

D. **Coupe transversale 11 (Nord-Sud) :**

Cette coupe, traversée par les forages M10, M9 et M6, révèle la présence de trois horizons discontinus et de nature hétérogène.

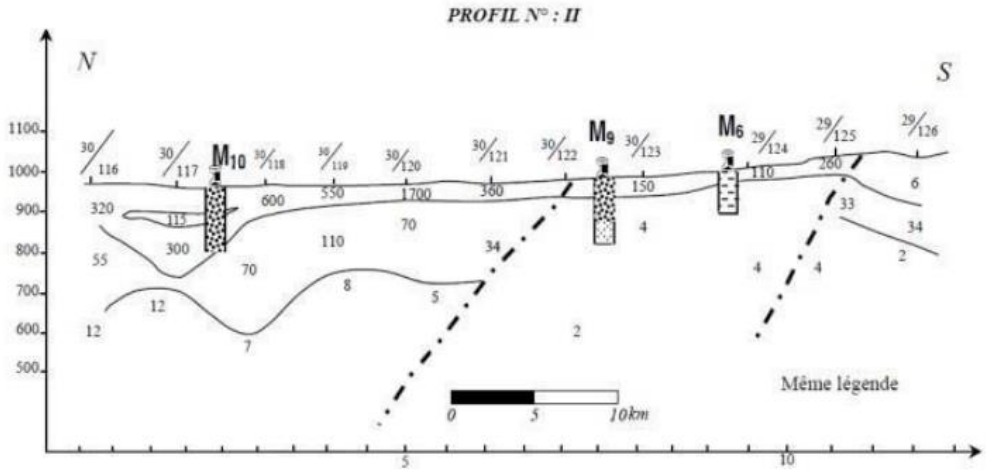


Figure 28 : profil géo-électrique transversal (N/S) N° II traversant les forages ; M10, M9, et M6.

- Le **premier horizon** est constitué d'une formation résistante, présentant une résistivité comprise entre 110 et 600 ohm·m. Son épaisseur reste relativement constante sur l'ensemble du profil, avoisinant les 85 mètres. Toutefois, au niveau du flanc nord, cette couche prend une forme bombée, évoquant une structure synclinale, où son épaisseur atteint jusqu'à 175 mètres.
- Le **deuxième horizon**, également résistant, est continu tout au long du profil, mais disparaît brusquement au centre de la zone étudiée ainsi que sur son flanc sud. Il y est remplacé par un horizon conducteur, dont les résistivités varient entre 50 et 110 ohm·m, avec une épaisseur atteignant 200 mètres.
- Le **troisième horizon**, de nature conductrice, constitue le substratum de ces formations. Il se caractérise par des résistivités comprises entre 2 et 160 ohm·m. Ce profil met également en évidence la présence de deux discontinuités électriques, suggérant l'existence de deux failles.

Tableau 28 : Lithologie et résistivités des forages M6, M9 et M10 (source ANRH)

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

E. Coupe transversale III (Nord-Sud)

Cette coupe présente des caractéristiques similaires à celles de la coupe II. Elle est traversée par les forages M1, P23 et M6. La corrélation entre les données lithologiques et les mesures géophysiques est illustrée dans la figure n°16.

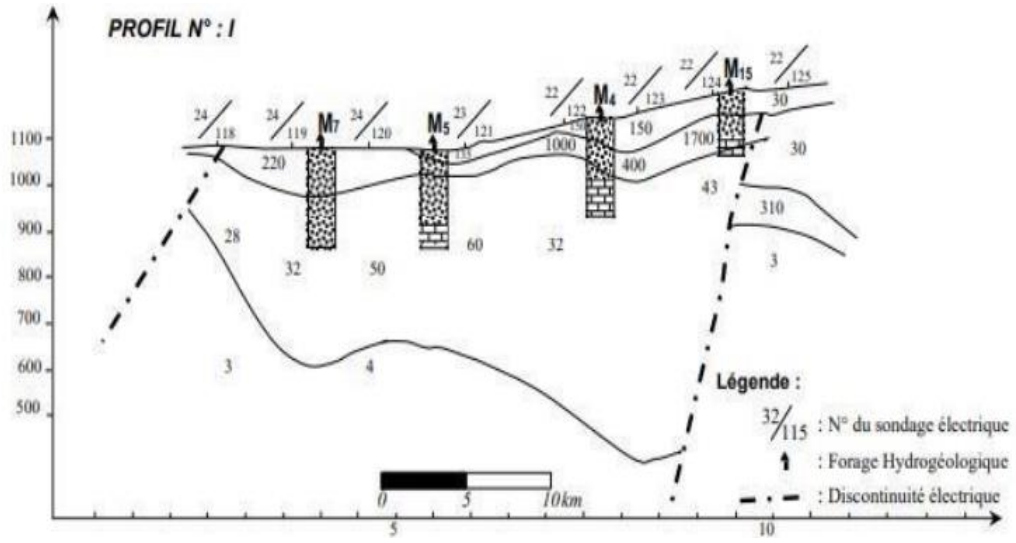


Figure 29 : profile géo-électrique transversal (N/S) N° III traversant les forages ; M1, M6, et le puits P23. (In Magister O.Guefaifia 1996)

Forage		Profondeur	Lithologie	Résistivité
M1		0 – 125 m 125 – 200 m	Sables argileux, les grains sont plus fins au niveau du toit . marnes grises	0 – 55 m : □ = 250 à 1500Ωm 55 – 285 m : □ = 100Ωm 285 – 325 m : □ =- 1000Ωm > 325 m : □ = 10Ωm
P23		0 – 7 m 7 – 41 m	Argiles sableuses Sable à grains moyen	0 – 40 m : □ = 19 - 60Ωm > 40 m : □ = 6Ωm
M6		0 – 16 m 16 – 20 m	Gravier, calcaire argileux graviers argiles et graviers	0 –20 m : □ = 110Ωm > 20 m : □ = 16Ωm

Tableau 29 : Lithologie et résistivités des forages M1, P23, et M6 (source ANRH).

Coupe transversale IV (Sud-Ouest – Nord-Est) :

Le profil est traversé par quatre forages (M15, M2, M13, M10) et met en évidence trois horizons bien différenciés : deux horizons résistants et un horizon conducteur, comme le montre la figure nº 29.

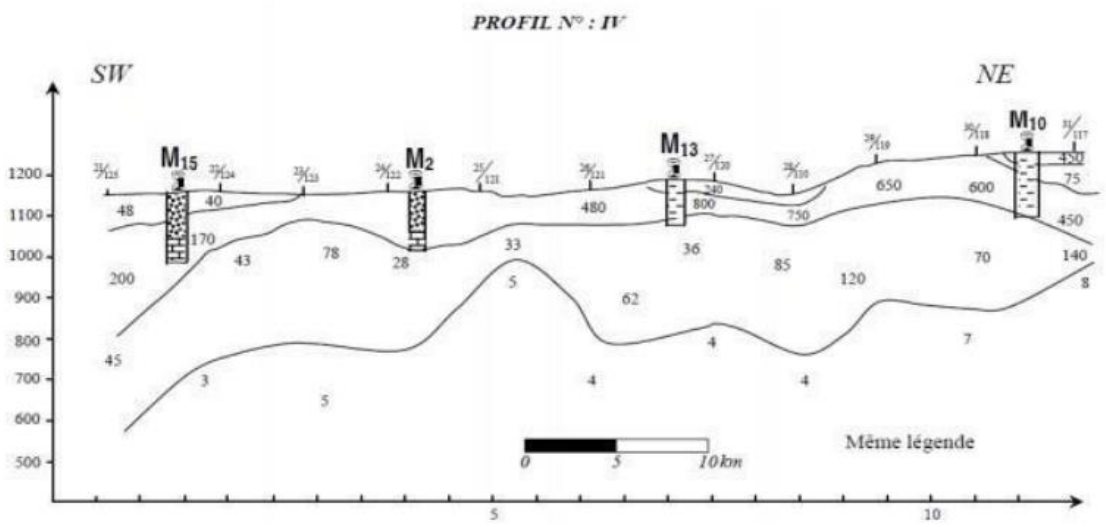


Figure 30 : profile géo-électrique (SW/NE) N° IV traversant les forages M15, M2, et M10. (In Rouabhia et Guefaifia 1996).

- Premier horizon :
  Cet horizon présente une épaisseur d'environ 170 mètres au niveau des flancs, mais celle-ci diminue progressivement en direction du centre du profil. Les formations qui le composent affichent des résistivités variant de 250 à 6500 ohm·m au centre, tandis qu'au flanc nord, elles deviennent plus hétérogènes, avec des valeurs comprises entre 75 et 15000 ohm·m.

- Deuxième horizon :
  Également de nature résistante, cet horizon est traversé uniquement par le forage M13. Sa

résistivité varie entre 280 et 1200 ohm·m. Cette large variation s'explique par la composition lithologique hétérogène de la formation. L'épaisseur de cet horizon est estimée à environ 300 mètres.

- Troisième horizon :
  Ce dernier horizon joue le rôle de substratum, comme en témoignent les faibles valeurs de résistivité enregistrées, comprises entre 3 et 102 ohm·m, ce qui indique une nature conductrice de la couche. On note également la disparition des discontinuités électriques, suggérant que le bassin d'El Malabiod est traversé par

Deux failles longitudinales situées respectivement aux limites nord et sud. Une autre observation importante concerne l'absence de certaines couches visibles sur les coupes transversales, ce qui témoigne de l'homogénéité des formations présentes.

Tableau 30 : Lithologie et résistivités des forages M12, M13, M2, M10 et M15 (source ANRH).

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

F. **Profil longitudinal V (Sud-Ouest – Nord-Est) :**

Ce profil met également en évidence deux horizons résistants et un horizon conducteur, dont les résistivités et les épaisseurs varient comme suit :

Premier horizon : résistivité comprise entre 90 et 1300Ω·m, avec une épaisseur variant de 60 à 150 mètres.

Deuxième horizon : résistivité allant de 50 à 150,Ω·m pour une épaisseur comprise entre 250 et 450 mètres.

Troisième horizon : de nature conductrice, avec une résistivité variant entre 3 et 10 Ω·m ; son épaisseur reste indéterminée.

La représentation en courbes isopaches des trois horizons aquifères ainsi définis a permis de distinguer :

Les sables (avec une résistivité comprise entre environ 50 et 250Ω·m), les grès (rho > 250Ω·m), ainsi que les argiles sableuses (20 Ω·m ≤ rho ≤ 50Ω·m).

Les épaisseurs et coordonnées de ces formations ont pu être déduites à partir des différents sondages **électriques réalisés.**

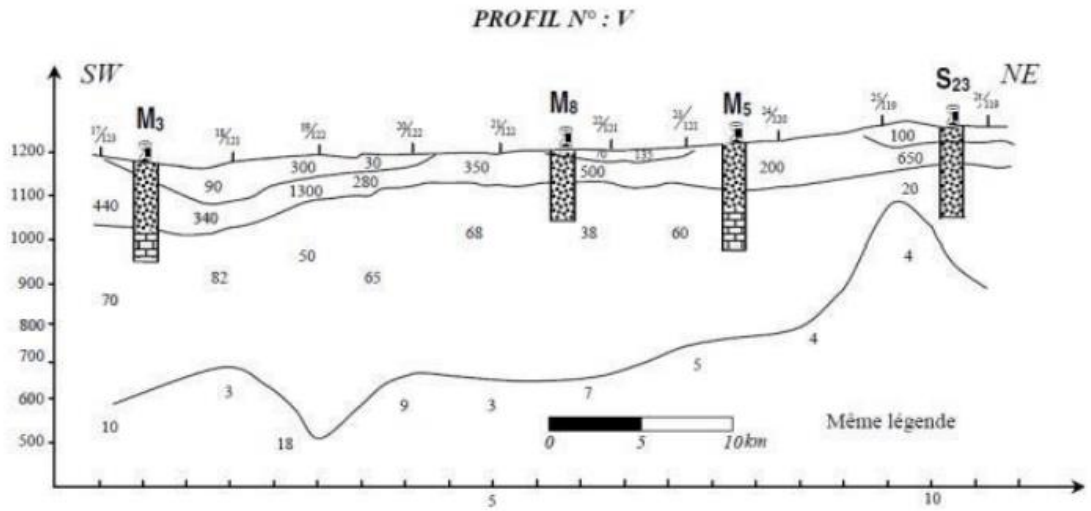


Figure 31 : Profil géo-électrique (SW /NE) N°V traversant les forages M3, M8, M5, et le S23.

G. Commentaire des résultats :

L'analyse corrélative entre les données géologiques, les mesures de diagraphie et les résultats de la prospection géophysique a révélé une concordance remarquable entre les différentes méthodes d'étude utilisées. En effet, les profils géoélectriques recoupent de manière claire et précise les formations lithologiques traversées par les ouvrages de captage existants.

L'interprétation des résultats a permis de mettre en évidence deux grandes failles majeures, localisées respectivement au nord et au sud, délimitant une structure synclinale centrale.

L'étude géophysique, confrontée aux données géologiques dans une approche intégrée, a permis d'identifier trois horizons aquifères superposés :

Le premier horizon, constitué d'une nappe dans des sables à grains fins et moyens,

Le deuxième horizon, correspondant à une nappe dans des grès,

Le troisième horizon, formé d'argiles sableuses.

Il convient de souligner que l'ensemble de ces horizons aquifères est d'âge Miocène.

H. Les cartes isopaches :

Les cartes isopaches sont des représentations graphiques en courbes d'égale épaisseur, permettant d'illustrer les différents horizons aquifères identifiés précédemment : les sables (résistivité comprise entre

50 et 250 Ω·m), les grès (rho > 250 Ω·m) ainsi que les argiles sableuses (20 ≤ rho ≤ 50 Ω·m). Les épaisseurs et localisations de ces formations ont été déduites à partir des sondages électriques réalisés.

Carte d'épaisseur des sables :
La répartition des sables n'est pas homogène sur l'ensemble de la région. À l'ouest, leur présence est limitée, avec des épaisseurs ne dépassant pas 65 mètres. En revanche, vers le centre et l'est de la zone, leur extension devient plus importante, atteignant respectivement des épaisseurs de 100 mètres au centre et jusqu'à 145 mètres à l'est.

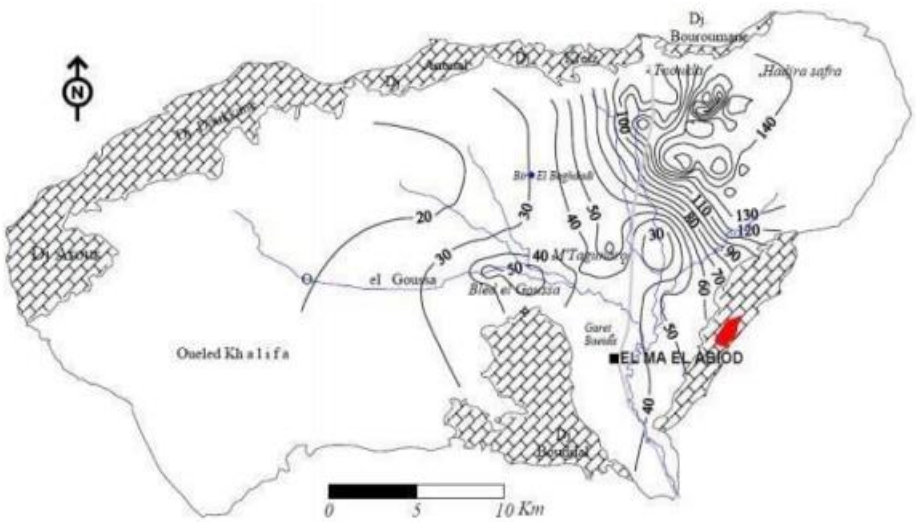


Figure 32 : carte d'égale épaisseur des sables –In ROUBHIA 2006-

I. Carte d'épaisseur des grès :

Une observation similaire peut être faite concernant la répartition des grès. Ceux-ci sont localisés à la fois à l'est et à l'ouest de la région, avec une importance comparable en termes d'extension. Toutefois, leurs épaisseurs varient sensiblement : elles atteignent un maximum d'environ 75 mètres à l'ouest et jusqu'à 90 mètres à l'est.

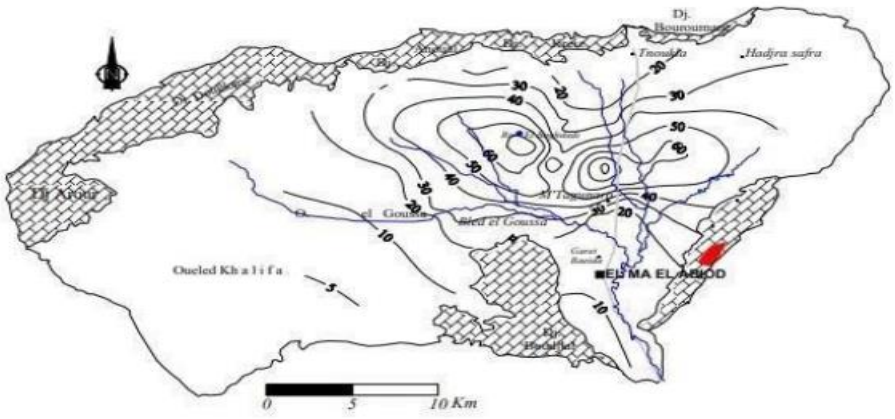


Figure 33 : Carte d'égale épaisseur des Grés –In ROUBHIA 2006-

J. **Carte d'épaisseur des argiles sableuses :**

La répartition de ces horizons présente une certaine hétérogénéité, toutefois deux zones d'extension significative se distinguent à l'est et à l'ouest de la région (Fig. 33). À l'est, notamment aux abords de Draâ El Herakel, l'épaisseur atteint jusqu'à 270 mètres. À l'ouest, du côté de Bled El Goussa, elle est légèrement plus élevée, atteignant environ 290 mètres.

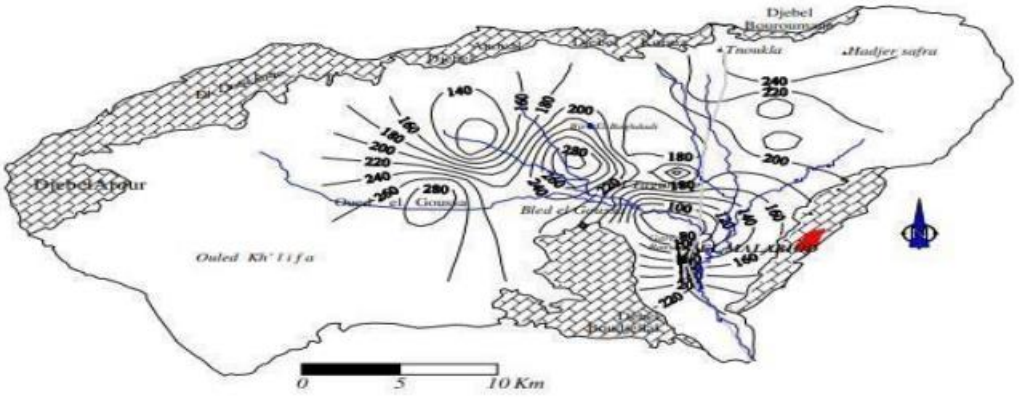


Figure 34 : Carte d'égale épaisseur des Argiles sableuses –In ROUBHIA 2006-

K. **Conclusion :**

En résumé, l'étude corrélative entre les données de prospection électrique et les informations géologiques a permis de constater une concordance significative entre les résultats obtenus. Les horizons géoélectriques identifiés correspondent parfaitement aux formations lithologiques traversées par les forages existants.

L'analyse des coupes transversales a mis en évidence deux failles longitudinales majeures, délimitant une structure synclinale entre les parties nord et sud de la zone étudiée.

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

La première, contenue dans des sables à grains fins et moyens ;

La deuxième, localisée dans des formations gréseuses ;

La troisième, hébergée dans des argiles sableuses.

21. **Hydrogéologie**

A. **Les différentes nappes aquifères**
B. **Introduction**

Les eaux souterraines sont stockées dans des formations géologiques appelées **aquifères**. Un aquifère est défini comme une structure géologique, ou une partie de celle-ci, composée de matériaux perméables ayant la capacité de contenir et transmettre des quantités significatives d'eau.

La plaine d'**El Malbiod** se présente sous forme d'une cuvette reposant sur un substratum crétacé constitué de calcaires et de marnes, surmonté par une couverture sédimentaire d'âge mio-pliocène. Le système aquifère est constitué d'un assemblage de matériaux disposés de manière lithologiquement hétérogène, aussi bien horizontalement que verticalement.

Du bas vers le haut, la stratigraphie révèle la présence de marnes et de calcaires localisés, sur lesquels viennent se superposer des formations de grès et de sables. À l'extrémité nord-est, on observe des affleurements sableux, tandis qu'au centre apparaissent des argiles limoneuses. Aux marges nord et sud du bassin, les affleurements sont dominés par des galets et des graviers calcaires, qui plongent progressivement vers le centre, se trouvant ensuite recouverts par les dépôts quaternaires.

C. Structure du système aquifère

L'analyse géologique et hydrogéologique du bassin d'El Malbiod met en évidence l'existence de deux nappes aquifères principales, chacune présentant des caractéristiques distinctes :

- La première nappe, superficielle, est logée dans des formations alluviales récentes, composées essentiellement de sables, cailloutis et argiles remaniées. Elle couvre une large étendue, mais demeure de faible épaisseur et capacité.
- La seconde nappe, plus profonde, se développe dans des formations miocènes constituées de graviers, sables et grès. Elle se situe à des profondeurs plus importantes que la nappe superficielle, et possède en général une meilleure productivité.

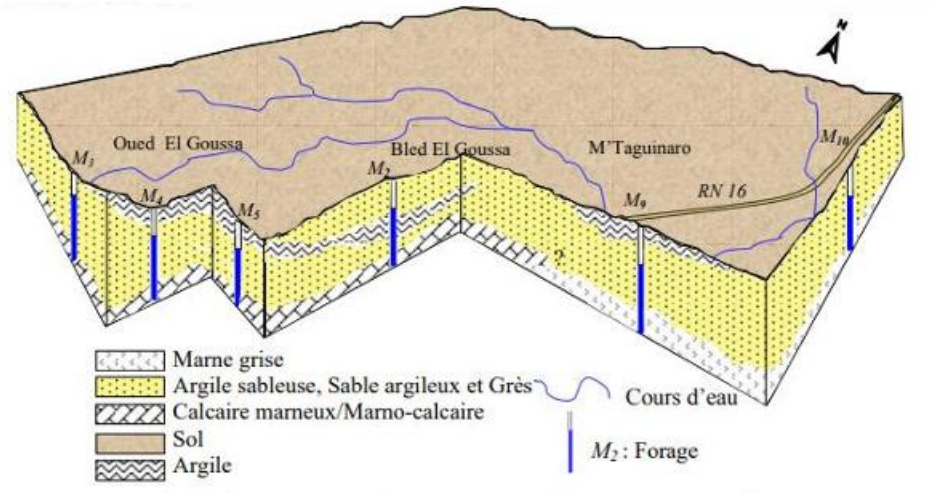


Figure 35 : Structures géologique et hydrogéologique du système aquifère du bassin d'El MALBIOD

a) La nappe alluviale

Située principalement en périphérie de la plaine, cette nappe s'étend sur une superficie non négligeable. Elle est constituée de dépôts récents et actuels, principalement des alluvions. Son épaisseur varie selon les zones : relativement mince au nord, elle atteint jusqu'à **15 mètres** au sud, comme l'indique le forage M6.

Bien que sa présence semble s'estomper à proximité des formations qui composent la nappe miocène, son rôle hydrogéologique demeure important. En effet, sa **position topographique** ainsi que la **nature**

perméable du substratum facilitent l'**infiltration verticale** des eaux vers les couches plus profondes, contribuant ainsi à l'alimentation de la nappe miocène.

b) La nappe du Miocène

Cette nappe trouve son origine dans les nombreuses fractures tectoniquessurvenues au cours du Mio-Quaternaire, qui ont conduit à la formation d'un fossé d'effondrement au sein de la plaine d'El Malbiod. Ce fossé a ensuite été comblé par des dépôts continentaux, venant entransgression sur les formations géologiques plus anciennes d'âge secondaire, ce qui explique l'architecture actuelle de la nappe.

Localisée dans un périmètre délimité par un réseau complexe de failles affectant la région, la nappe du Miocène est libre dans la majorité de son étendue, bien qu'elle deviennelégèrement captive à l'extrémité est **.** Les données issues des différents forages

Réalisés dans la zone, ainsi que l'analyse des diagraphies, indiquent que cette nappe présente une épaisseur significative et s'étend sur une large surface.

Tableau 31 : Épaisseur des diverses formatons dans différents ouvrages de captage/Bassin d'EL MALBIOD.

Ouvrage / Formation	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7	M_8	M_9	M_{10}	M_{12}
Épaisseur des formations quaternaires (m)	/	2.5	11	09	13	30	/	12	05	/	7.3
Épaisseur des formations miocènes (m)	125	86	122	155	143	/	212	203	40	152	36
Épaisseur des formations calcaires (m)	/	21	67	06	60	06	/	3	/	/	/
Hauteur saturée (m)	91	75	111	136	135	14	172	166	31	37	38
Profondeur de l'ouvrage (m)	125	110	200	179	213	100	212	218	150	152	45.7

D. Apports du système et conditions aux limites

D'après les caractéristiques hydrauliques et hydrodynamiques ainsi que le contexte hydrogéologique régional, l'étude du comportement du système aquifère de la région d'El MalAbiod met en évidence plusieurs éléments. La bordure nord, constituée de formations calcaires dont le pendage est orienté vers la plaine, permet l'alimentation de la nappe alluviale ainsi que de celle du Miocène, en particulier du côté de Hadjer Safra, où ces formations présentent un bon niveau de perméabilité. La bordure sud-sud-ouest est formée par une série de calcaires et de marno-calcaires datant du Maastrichtien. Une zone de contact entre les deux nappes se manifeste, favorisée par le système de failles, facilitant le passage vers la nappe du Miocène. L'alimentation de cette dernière est également assurée par un drainage descendant des eaux d'infiltration en provenance de la nappe alluviale, ce processus étant facilité par la nature du substratum, avec un écoulement général allant du nord vers le sud. À la bordure sud-ouest, une limite imperméable constituée de marnes du Campanien inférieur empêche les infiltrations profondes mais favorise un ruissellement dirigé vers l'intérieur de la nappe. Il est à noter que les précipitations efficaces représentent la principale source d'alimentation du système aquifère, définissant une limite imposée en aval de la plaine, vers l'oued El Malbiod.

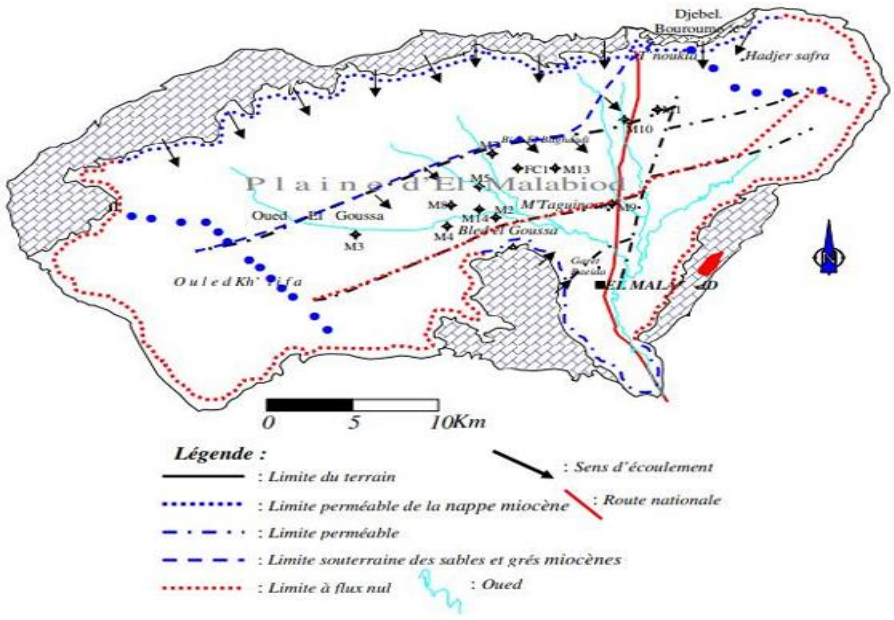


Figure 36 : Carte des conditions aux limites du système aquifère du bassin d'El MALBIOD. (In Rouabhia 2001)

E. Caractéristique hydrodynamique

Le tableau suivant présente les valeurs de la transmissivité et de la perméabilité telles qu'elles ont été déterminées à la suite de l'interprétation des essais de pompage réalisés sur les forages exploitant la nappe du Miocène. Ces données sont issues de la fiche technique et reflètent les propriétés hydrodynamiques du système aquifère étudié.

Tableau 32 : Valeurs de perméabilité et de transmissivité des forages. (Source ANRH)

Forages	Coordonnée L			Tansmissivité T en $(m^2/s).10^{-2}$	Perméabilité k en $(m/s).10^{-4}$
	X	Y	Z		
M_1	100,525	235	1090	1.33	1.46
M_2	992,975	229,1	1075	1.15	1.72
M_3	990,7	228,625	1080	2.88	3.42
M_4	992,19	230,78	1075	0.70	0.51
M_5	998,65	223,6	1011	0.76	0.56
M_7	992,78	992,78	992,78	0.70	0.37
M_8	990.890	229.785	1072	0.5	0.27
M_9	998.400	229.850	1048	0.95	1.50
M_{10}	998.975	234.450	1085	1.33	1.03
M_{13}	995,75	995,75	995,75	0.55	0.62
M_{14}	991,25	991,25	991,25	1.76	0.88

F. Répartition spatiale de la Perméabilité

L'ensemble de valeurs obtenues est utilisé dans la représentation cartographique suivante.

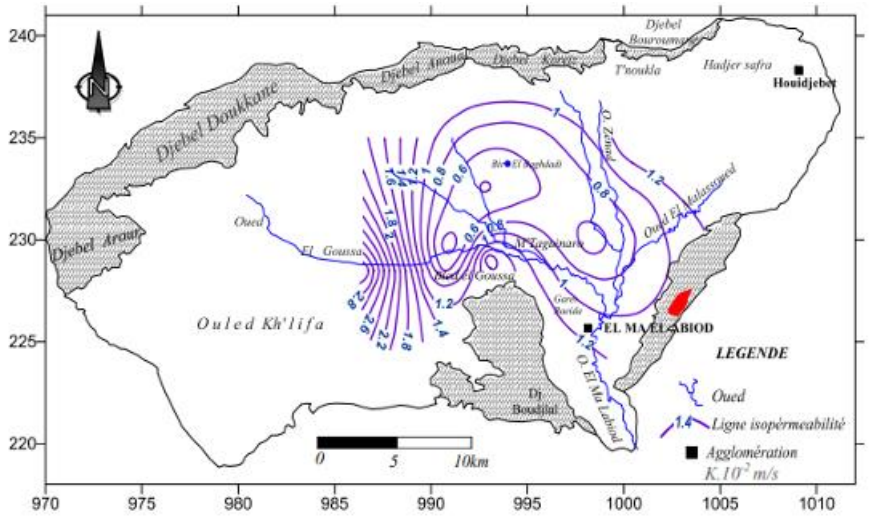


Figure 37 : Carte de Perméabilité/Bassin d'El MALBIO

L'analyse de cette carte met en évidence le comportement du système aquifère du point de vue de la perméabilité. Il apparaît que deux zones principales se distinguent. La première se situe dans la partie ouest, au niveau d'El Goussa, où les valeurs de perméabilité varient entre $0{,}27\times10^{-4}$ m/s et $3{,}42\times10^{-4}$ m/s. La seconde se trouve à l'est, dans la région de Draâ El Herakel, avec des valeurs comprises entre $1{,}03\times10^{-4}$ m/s et $1{,}46\times10^{-4}$ m/s. En revanche, dans la zone centrale et au nord du bassin, la perméabilité est nettement plus faible, les valeurs enregistrées ne dépassant pas $0{,}50\times10^{-4}$ m/s.

G. Répartition spatiale de la Transmissivité

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

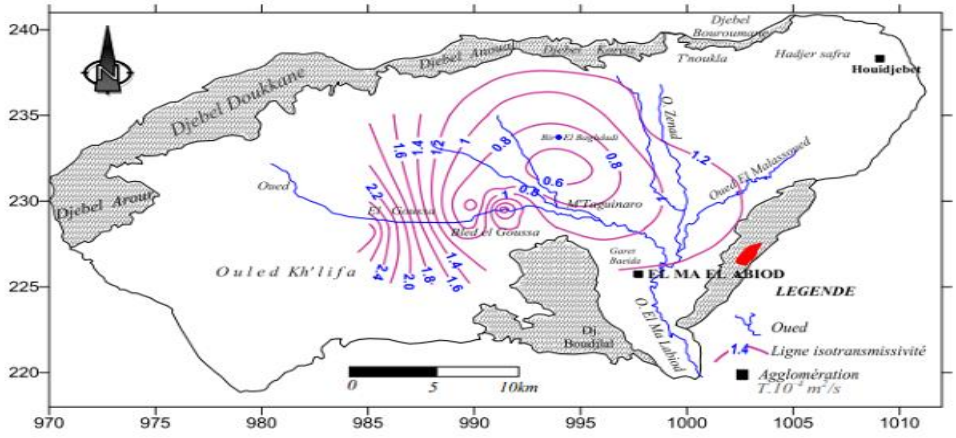


Figure 38 : Carte de Transmissivité /Bassin d'El MALABIOD

Interprétation de la carte de transmissivité (figure N°) met en évidence trois zones distinctes au sein du bassin étudié. La première, située à l'ouest, dans la région de Bled El Goussa, se distingue par des valeurs de transmissivité relativement élevées, comprises entre $0{,}5\times10^{-2}$ et $2{,}88\times10^{-2}$ m²/s. La deuxième zone, localisée à l'est, dans le secteur de Draâ El Herakel, présente des valeurs légèrement inférieures, variant de $1{,}20\times10^{-2}$ à $1{,}33\times10^{-2}$ m²/s. Enfin, la troisième zone couvre les parties nord et nord-ouest du bassin, où les valeurs relevées sont plus faibles, oscillant entre $0{,}44\times10^{-2}$ et $0{,}70\times10^{-2}$ m²/s.

a) Synthèse des deux cartes (Transmissivité / Perméabilité)

L'analyse conjointe des cartes de transmissivité et de perméabilité met en évidence deux zones majeures d'intérêt hydrodynamique : la région d'El Goussa et celle de Draâ El Herakel. La partie ouest du bassin, correspondant à Bled El Goussa, se révèle être la zone la plus favorable du point de vue hydraulique, ce qui justifie de la considérer comme prioritaire pour toute implantation d'ouvrages de captage.

Quant à la zone orientale, bien qu'elle présente un potentiel légèrement inférieur à celui de Bled El Goussa, elle demeure néanmoins exploitable. Cela vaut également pour les secteurs environnants, notamment le périmètre de Bir El Baghdadi, qui mérite d'être pris en considération dans les projets de développement hydrique.

H. Piézométrie de la nappe

L'étude piézométrique d'un aquifère fournit des informations essentielles sur ses caractéristiques. Elle permet notamment d'avoir une vision globale des conditions d'écoulement des eaux souterraines, d'en analyser les modalités d'alimentation et de drainage, ainsi que de suivre l'évolution des réserves disponibles dans le temps.

a) Extension et alimentation de la nappe

Tableau 33 : les forages actuellement ou prochainement en service.

FORAGE	X	Y	Z	M. Sée	h(tot)	h(eau)	Ns	Débit	alluvions	Miocène	marnes/ cal
M2bis	992.975	229.07	1075	2003-8	96	66.6	29.4	40	2	86	12
M3bbis	986.100	228.750	1100	201101	150	90.8	59.10	30	0	150	0
M4bis	990.7	228.6	1080	2003-6	165	126.5	38.5	40	1	160	4
M5bis	992.19	230.78	1075	2008-10	170	140.5	29.5	44	3	153	14
M7bis	992.78	232.6	1080	2005-12	205	168.52	36.48	50	0	205	0
M8bis	900.89	229.785	1072	2006-9	190	152.6	37.4	35	0	190	0
M9	998.4	229.82	1048	1982-12	50	30	20	20	5	40	5
M10bis	998.572	232.925	1087	/	150	118.09	31.91	40	0	150	0
M13bis	995.349	231.864	1080	2007-9	100	61.16	38.84	40	6	82	12
M14	992.2	229.55	1072	1988-6	200	181.9	18.1	20	10	123	67
M2bis	992.975	229.07	1075	2003-8	100	70.6	29.4	40	5	87	12
M16	992.684	992.975	1067	2007-8	120	98.09	22.91	40	2	93	25
M17	991.25	230.5	1075	2008-7	200	165.75	34.85	40	5	155	40
M18	989.310	230.258	1089	2015-10	200	149.55	50.5	17	35.5	165	10
M19	988.973	229.909	1097	2017	200	145	55	15	35.5	165	10
AT1bis	1007.325	229.5	1136	2008-7	150	144.6	5.4	10	0	109	41

Voici la réécriture en français académique et fluide de votre texte tout en conservant le contenu d'origine et les titres :

I. . Évolution de la piézométrie

L'étude de l'évolution piézométrique au fil du temps a pour objectif principal de mettre en évidence la direction générale de l'écoulement des eaux souterraines, qu'il soit horizontal ou, dans certains cas, vertical (caractère drainant). Elle permet également de déterminer la profondeur du niveau piézométrique. Sur le plan spatial, cette étude vise à comparer l'évolution d'un système aquifère à un autre.

En effet, les eaux souterraines constituent un vecteur important pour le transport de substances minérales ou organiques. Ainsi, l'analyse de l'écoulement permet d'identifier les zones potentiellement vulnérables ou contaminées.

III-6.1 Évolution dans le temps et dans l'espace

Le suivi piézométrique réalisé sur trois piézomètres implantés dans la région d'El Ma El Abiod (P1, P2, P3) a permis de tracer l'évolution de la profondeur du niveau de la nappe à la fois temporellement et spatialement. Les observations, menées par les services de l'ANRH et du CTH de Tébessa, couvrent la période allant de 2006 à 2021.

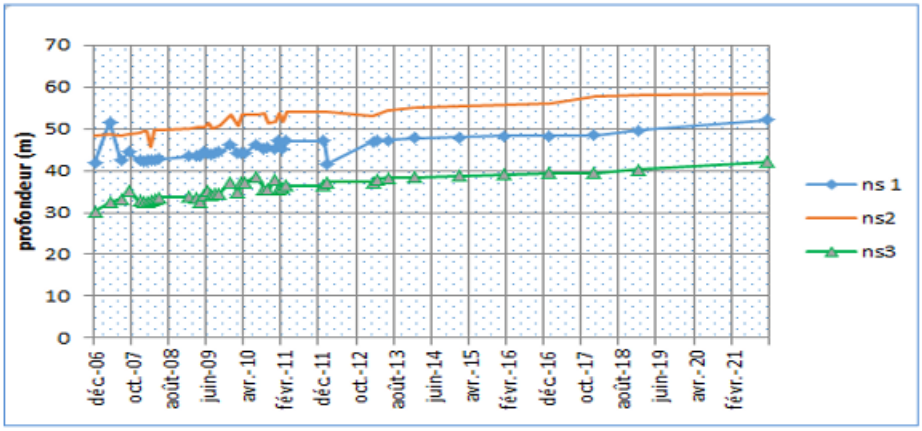


Figure 39 : Evolution de la profondeur du plan d'eau dans les trois piézomètres

- **Le piézomètre n°1 (l'Est)** :
  Ce piézomètre montre un rabattement notable du niveau piézométrique, avec une fluctuation de l'ordre de 10,14 mètres sur une période de 15 ans. Cette baisse

importante peut être attribuée principalement à l'exploitation intensive de la nappe pour les besoins d'irrigation, conjuguée à l'irrégularité des précipitations, à une forte évaporation, ainsi qu'à la prolifération de forages illicites dans cette zone.

- **Le piézomètre n°2 (localisé au centre de la plaine d'El Ma El Abiod)**:
  Plus profond que le premier, ce piézomètre présente également un rabattement marqué du niveau piézométrique, estimé à 10,5 mètres sur les 15 années d'observation. Cette situation met en

évidence une surexploitation excessive de la nappe, en grande partie due à la densité élevée de forages destinés à l'irrigation, ainsi qu'à des conditions climatiques défavorables, notamment la rareté des pluies et une évapotranspiration importante.

- **Le piézomètre n°3 (implanté à l'Ouest de la région étudiée)**:
  Bien qu'il soit moins profond que les deux précédents, ce piézomètre révèle un rabattement encore plus accentué, de l'ordre de 11,5 mètres sur la même période. Cette tendance s'explique par la présence d'un grand nombre de forages étatiques concentrés dans cette zone, ce qui témoigne également d'une pression accrue sur la ressource.

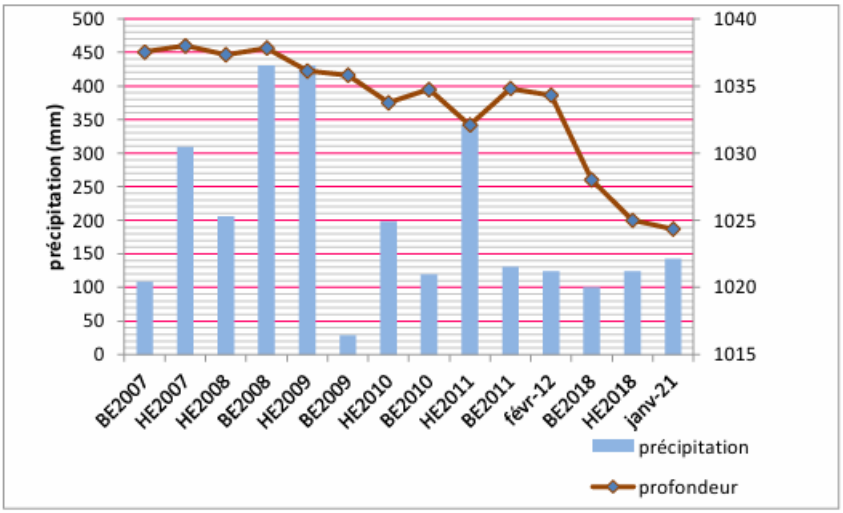


Figure 40 : Variation de la côte Piézométrique dans le temps et dans l'espace (Période 2007 2021)

Observation de l'évolution du niveau piézométrique :

L'analyse du graphe représentant l'évolution du niveau piézométrique met en évidence plusieurs observations importantes :

- Une tendance générale à la baisse est clairement observable tout au long de la période étudiée, bien qu'elle soit ponctuée par quelques pics modérés. Cette

Baisse débute à partir des basses eaux de l'année 2008 et se poursuit jusqu'en 2011.

Une légère remontée est enregistrée entre 2011 et 2012, imputable à la recharge liée aux précipitations importantes de l'année 2011. Cependant, dès les basses eaux de cette même année, une nouvelle phase de diminution du niveau est amorcée, se poursuivant jusqu'à la fin de l'année 2012, avant que la courbe ne chute de manière brutale et continue jusqu'en janvier 2021.

La corrélation entre les précipitations et l'évolution du niveau piézométrique, analysée à partir des histogrammes, révèle un impact significatif des pluies sur le comportement de la nappe. Trois périodes sont particulièrement notables :

- 2007 à 2009 : période de précipitations relativement abondantes, correspondant à un maintien du niveau.
- 2009 à 2010 : diminution des précipitations entraînant une baisse du niveau.

- 2011 : retour de précipitations appréciables ayant temporairement soutenu le niveau de la nappe jusqu'en 2021.

En conclusion, l'évolution chronologique des fluctuations du niveau de la nappe traduit une surexploitation manifeste de l'aquifère, avec des sorties nettement supérieures aux apports, aggravée par un contexte de sécheresse persistante qui a affecté la région au cours des dernières décennies.

L'analyse de cette carte révèle un écoulement souterrain orienté globalement du Nord vers le Sud, regroupant ainsi les contributions hydrauliques en provenance des zones Nord, Nord-Est et Sud-Ouest.

J. Conclusion **:**

À la lumière des conditions lithologiques, tectoniques et hydrogéologiques, il ressort que le système aquifère du bassin d'El Ma El Abiod se compose principalement de deux nappes de nature distincte.

La première, une nappe alluviale localisée dans les formations quaternaires, occupe le centre et l'ouest de la plaine. Elle est constituée de matériaux graveleux et d'argiles sableuses, avec une épaisseur relativement faible, avoisinant les 15 mètres.

La seconde, la nappe du Miocène, est formée de matériaux sableux et gréseux. Elle se distingue par une plus grande importance hydrogéologique, avec une épaisseur variant de 30 mètres (cas du forage M9) jusqu'à environ 200 mètres (cas du forage M8). Cette nappe représente le principal réservoir en eau de la région d'El Ma El Abiod.

Les fluctuations saisonnières observées dans les trois piézomètres témoignent d'une baisse du niveau piézométrique pendant les périodes de basses eaux, due à l'évaporation et à la surexploitation, suivie d'une légère remontée pendant les hautes eaux, en lien avec la recharge de la nappe. Cette diminution est principalement attribuée à la baisse des

Précipitations au cours des dernières décennies, ainsi qu'à une exploitation excessive des ressources.

Enfin, les écoulements souterrains convergent majoritairement du Nord vers le Sud. L'alimentation du système aquifère dépend essentiellement des précipitations, mais aussi des infiltrations issues des massifs calcaires situés au nord et au sud de la plaine.

II. Région de Chéria

22. Géophysique

K. Introduction :

L'étude géophysique menée dans la région de Chérai repose principalement sur les **p**rospections géoélectriques réalisées par la société TRANSAKTA-GEOMETAL en 1971 et par la CGG en 1970 (voir Figure). Elle s'appuie également sur les données gravimétriques issues des travaux de Zerdazi (1990) sur la carte 205 d'El Hammamet, qui couvre la partie nord du bassin, ainsi que sur les diagraphies de quelques forages effectuées par la Direction de l'Hydraulique de la wilaya d'Annaba (D.H.W) entre 1973 et 1977.

L'ensemble de ces investigations a permis de délimiter sur le terrain les formations géologiques susceptibles d'abriter des nappes aquifères.

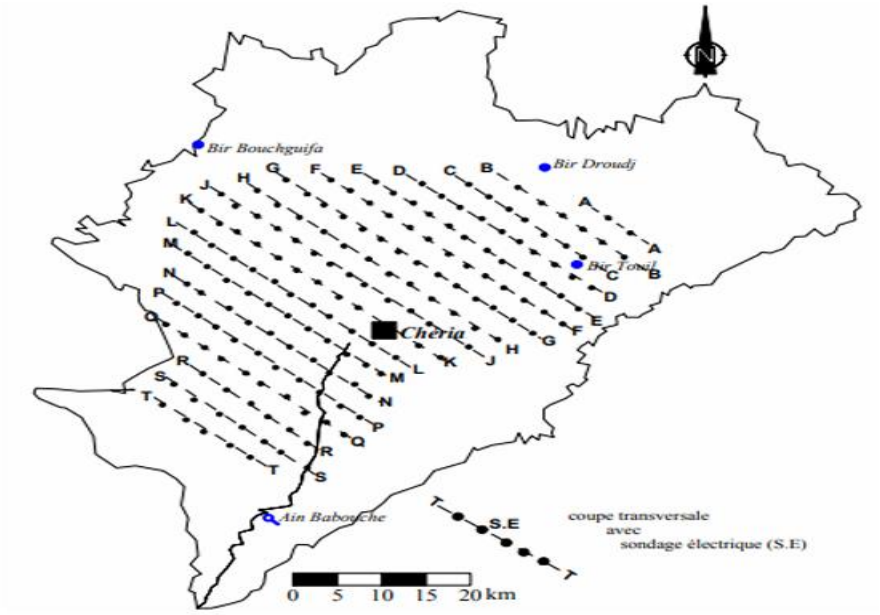


Figure 41 : Cadre de positionnement des sondages électriques CGG 1970

L. Travaux effectués :

Au total, 291 sondages électriques (SE) ont été réalisés, répartis sur 35 profils orientés NW-SE, avec des longueurs d'émission AB comprises entre 1000 m et 4000 m.

1 sondage électrique (SE) avec une ligne AB de 1000 m.

68 sondages électriques (SE) avec une ligne AB de 2000 m.

64 sondages électriques (SE) avec une ligne AB de 3000 m.

158 sondages électriques (SE) avec une ligne AB de 4000 m.

M. Résultats de la prospection électrique :

Les différents sondages électriques paramétriques et d'étalonnage effectués dans la zone d'étude ont permis d'attribuer une valeur de résistivité électrique à chacune des formations géologiques rencontrées :

Limons argileux : < 10 ohm.m

Alluvions grossières : 70-150 ohm.m

Niveaux sableux : 20-50 ohm.m

Calcaires Éocènes (calcaires aquifères) : 80-100 ohm.m

Calcaires compacts : 150-350 ohm.m

Marnes Daniennes : 5-8 ohm.m

Calcaires Maastrichtiens (calcaires aquifères) : 200-500 ohm.m

Calcaires compacts : > 1000 ohm.m

Marnes Campaniennes : 2-3 ohm.m

N. Validité des résultats :

Les sondages mécaniques réalisés à proximité de certains sondages électriques auraient normalement dû aboutir aux mêmes résultats, tant sur le plan qualitatif (nature des formations traversées) que quantitatif (épaisseur des différentes couches rencontrées). Cependant, il a été constaté que les données obtenues des forages diffèrent parfois considérablement de celles fournies par la prospection électrique.

Cette différence peut être attribuée, selon nous, aux diverses interprétations liées au faible contraste de résistivité électrique de certaines formations traversées, ce qui rend difficile la distinction claire entre :

Les niveaux de graviers et galets calcaires à silex et les niveaux de calcaires Éocènes et Maastrichtiens sous-jacents lorsqu'ils sont aquifères.

Les marnes et argiles Miocènes et les marnes Daniennes, entraînant une imprécision quant à la délimitation entre les formations Miocène et Éocène.

Les calcaires Éocènes et Maastrichtiens, qui présentent une grande ressemblance, ce qui conduit à une imprécision sur l'épaisseur de chacune de ces formations.

Cette analogie de faciès, combinée à leur faible contraste de résistivité, a conduit à une interprétation géoélectrique imprécise. Par conséquent, cela nous incite à réinterpréter certaines coupes géoélectriques en prenant en compte les résultats des sondages mécaniques (forages).

O. L'Analyse des coupes géoélectriques (Figure) :

L'analyse des coupes géoélectriques (réalisée par la CGG en 1970) permet de déterminer les épaisseurs et l'agencement des couches géologiques dans l'espace. À partir de ces coupes, les résultats suivants peuvent être tirés :

● Les calcaires du Maastrichtien
Ce sont des formations résistantes (200-500 ohm.m), bien distinctes des calcaires Éocènes. Ces calcaires présentent une structure synclinale avec des épaisseurs relativement constantes, de l'ordre de 250 ohm.m. On observe un approfondissement des calcaires Maastrichtiens, ce qui pourrait suggérer un accident géologique probable de direction NNE-SSW.

● Les marnes du Danien
Les marnes du Danien montrent des valeurs de résistivité relativement faibles (5-15 ohm.m) par rapport aux formations sus-jacentes et sous-jacentes, ce qui permet de les distinguer facilement. L'épaisseur des marnes est estimée à environ 200 m.

● Les calcaires de l'Eocène
Les calcaires Éocènes reposent directement sur un substratum conducteur. Leur épaisseur varie entre 50 et 300 m, avec des résistivités qui oscillent entre 150 et 400 ohm.m.

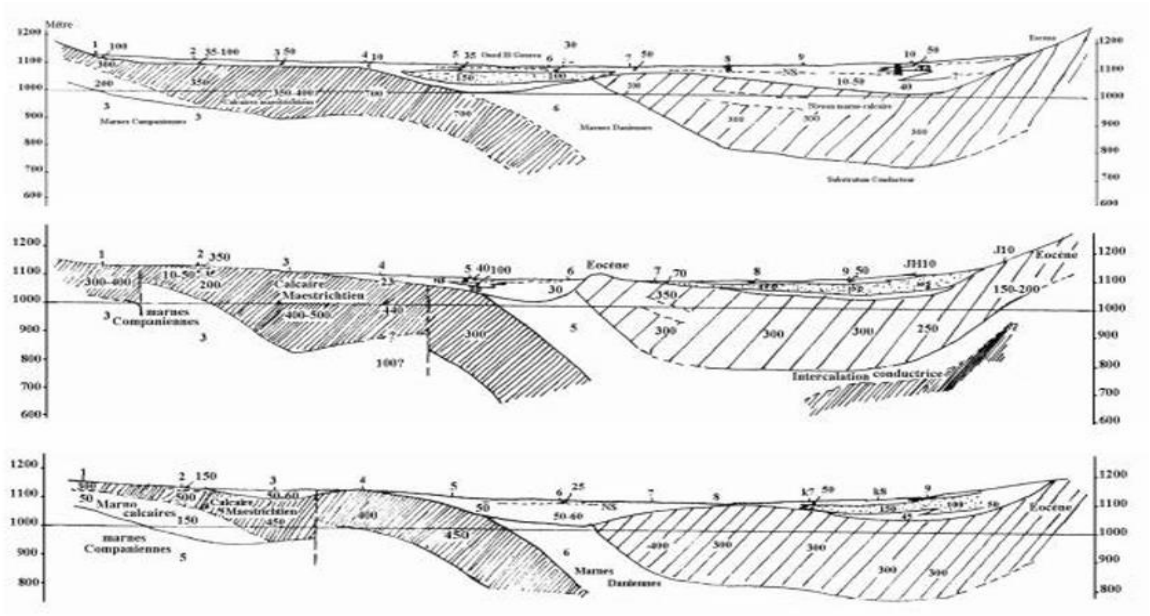


Figure 42 : Coupes géoélectriques H, J et K (CGG, 1970)

P. L'investigation gravimétrique :

Tout comme les méthodes géoélectriques, la gravimétrie peut être un outil précieux pour l'identification des structures géologiques et des formations en profondeur.

Les travaux réalisés par Zerdazi Abdelhamid (1990) ont permis la réalisation d'une carte des anomalies de Bouguer à l'échelle 1/50000. L'analyse de cette carte a révélé les points suivants :

Une anomalie négative dans le secteur Nord, correspondant au fossé de Tébessa.

Plus au sud, des anomalies positives, qui pourraient être liées à des formations denses et compactes (Dj. Gaagaa).

Enfin, une anomalie négative suivant un axe Est-Ouest, correspondant à des sédiments de comblement de faible densité (Quaternaire).

Q. Conclusion

L'étude géophysique menée dans la région de Chéria, dont un aperçu a été présenté ci-dessus, a permis de mieux cerner les caractéristiques du système aquifère local.

Le contraste entre les valeurs de résistivité mesurées a clairement mis en évidence l'alternance de niveaux conducteurs et résistants, en lien avec les formations marneuses et calcaires qui composent cet aquifère. Par ailleurs, cette étude a également permis d'identifier une structure en cuvette (synclinale) marquant l'agencement des formations géologiques de la région.

23. Hydrogéologie

R. Introduction :

La circulation des eaux souterraines présente une complexité qui varie selon la nature et la structure des systèmes aquifères. Pour appréhender cette dynamique, il est nécessaire de s'appuyer sur diverses études et travaux qui mobilisent des cartes géologiques, des coupes transversales, les colonnes stratigraphiques issues des forages réalisés dans la région, ainsi que les mesures des niveaux piézométriques. Les coupes hydrogéologiques et les cartes piézométriques constituent des outils essentiels pour l'étude hydrogéologique de la zone d'étude.

S. Description générale de la région de Chéria :

Le système aquifère de Chéria est constitué d'une superposition de trois formations principales. La première correspond aux calcaires du Maestrichtien, dont l'intérêt hydrogéologique est limité aux zones périphériques. Elle est suivie par les calcaires de l'Éocène, qui forment l'aquifère principal du plateau. Ces deux unités sont recouvertes par des formations plio-quaternaires, composées principalement de cailloutis fluviatiles, de matériaux de colmatage accumulés dans les zones basses, ainsi que d'alluvions de piémont.

T. Géométrie des aquifères :

Une prospection géoélectrique a été menée en 1971 par la société CGG sur une superficie de 790 km², au cours de laquelle 291 sondages électriques ont été réalisés. L'analyse et l'interprétation des résultats ont permis l'élaboration de coupes géoélectriques et de cartes d'équirésistivité, mettant en évidence la géométrie des différentes unités aquifères ainsi que leur répartition spatiale dans la région.

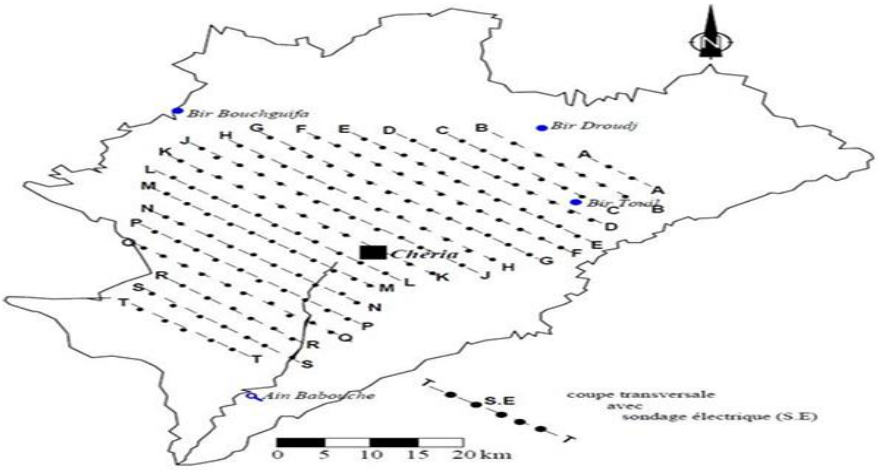


Figure 43 : Carte de position des profils géo-électriques dans le plateau de Chéria. (In Baali F. 2007)

a) Formation anté-miocène :

Dans la partie nord de la région, les coupes réalisées à Bà L. présentent une configuration relativement simple. Elles reflètent clairement la structure synclinale caractéristique des formations de l'Éocène, du Danien et du Maestrichtien. Les épaisseurs de ces formations sont globalement constantes, variant entre 200 et 250 mètres, avec des résistivités électriques comprises entre 200 et 300 ohm.m, ce qui témoigne de la continuité et de l'homogénéité relative de ces couches.

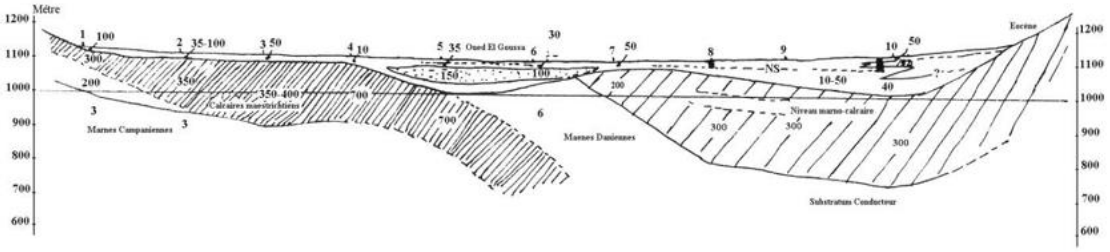


Figure 44 : Coupe géo-électrique : profil H

L'épaisseur des formations du Danien présente une variabilité notable, avec une tendance à la diminution du nord vers le sud, passant d'environ 400 m à 250 m. En revanche, les calcaires du Maestrichtien affichent une épaisseur moyenne relativement stable, estimée à environ 250 m.

Dans la partie ouest de la région, ces calcaires apparaissent érodés et se terminent en biseau vers l'ouest (profil N), où leur épaisseur peut devenir inférieure à 100 m (voir Fig. 0). Quant aux marnes daniennes, elles montrent une réduction significative de leur épaisseur, atteignant à peine 100 m, ce qui paraît très faible, surtout lorsqu'on les compare aux épaisseurs relevées plus au sud (environ 200 m sur les profils S et T).

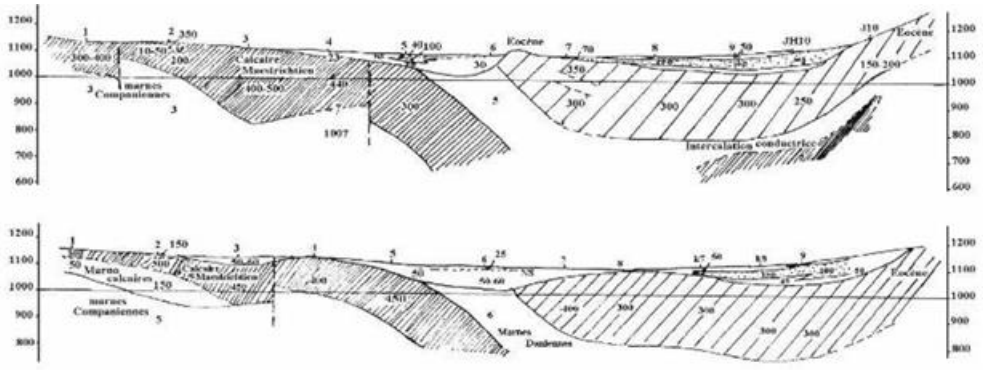


Figure 45 : Coupe géo-électrique: profil J et K.

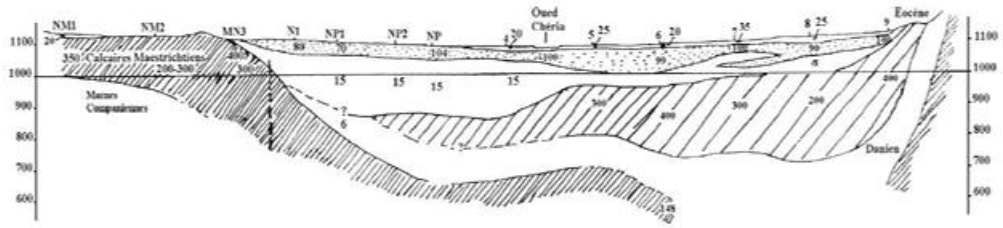


Figure 46 : Coupe géo-électrique : profil N.

b) Recouvrement Plio-Quaternaire :

Le remplissage continental dans la partie nord de la région se compose généralement de trois niveaux distincts :

Le niveau superficiel, caractérisé par une résistivité relativement faible, variant entre 20 et 40 ohm.m.

Un niveau intermédiaire, dont l'épaisseur peut atteindre 30 à 40 mètres, présente une résistivité plus élevée (70 à 100 ohm.m). Ce niveau correspond à des dépôts grossiers, constitués de galets plus ou moins arrondis. Il est particulièrement développé le long de la bordure orientale du bassin, et semble résulter de l'érosion du massif adjacent.

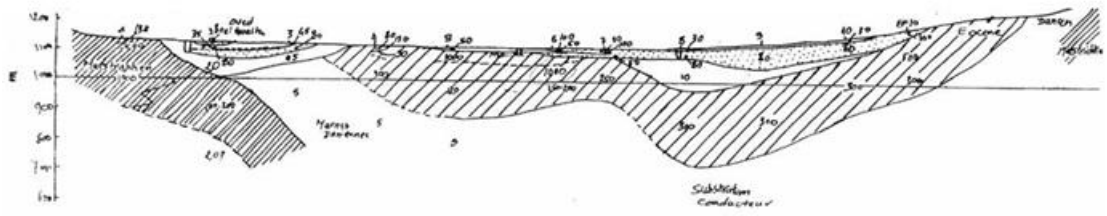


Figure 47 : Coupe géo-électrique : profil E

Le troisième niveau, moins résistant, présente une résistivité comprise entre 10 et 20 ohm.m. Il est généralement épais et constitue le principal remplissage au cœur de la structure synclinale. Dans certaines plaines, comme celles de Oued El Guelta et El Goussa à l'ouest, l'épaisseur de ce remplissage peut dépasser la centaine de mètres. En surface, on observe également un niveau grossier. Par ailleurs, au niveau du sondage électrique M5, un niveau à forte résistivité (environ 150 ohm.m) pourrait être attribué à un dépôt alluvionnaire (voir Fig. 55).

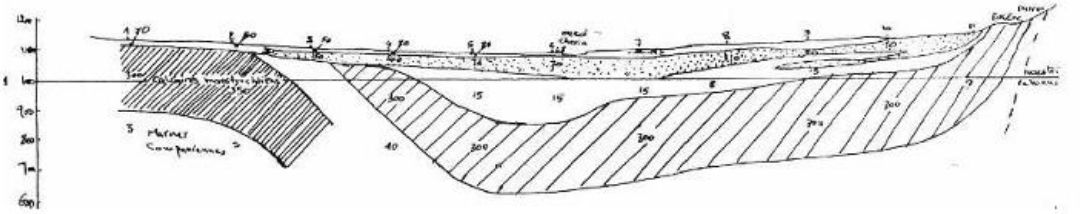


Figure 48 : Coupe géo-électrique : profil M

Dans la partie sud du bassin, le remplissage mio-pliocène prend une importance notable, se caractérisant principalement par des formations argileuses. On observe fréquemment, en profondeur, l'apparition d'un autre niveau résistant. Toutefois, son interprétation en termes de profondeur et d'épaisseur demeure complexe et incertaine.

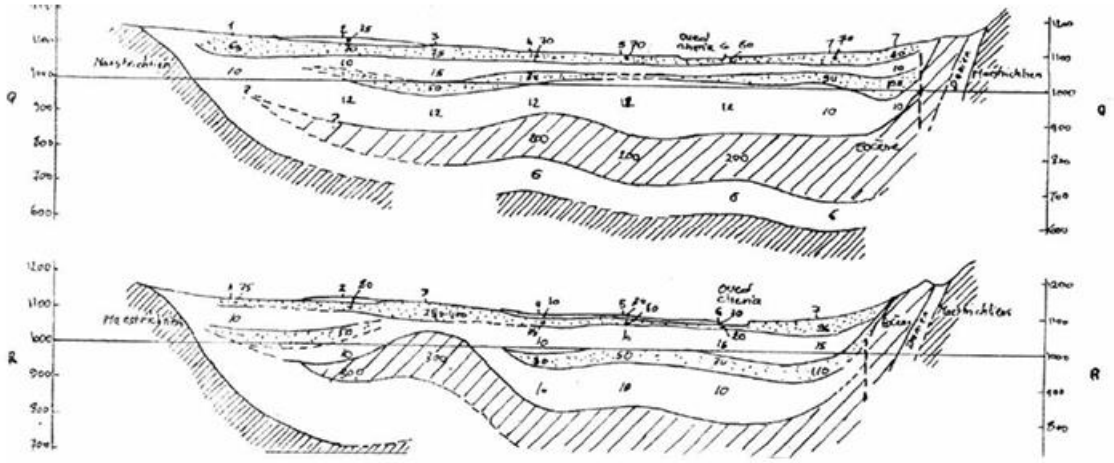


Figure 49 : Coupe géo-électrique : profil Q et R

U. L'investigation gravimétrique :

À l'instar des méthodes géoélectriques, la gravimétrie constitue un outil précieux pour l'identification des structures géologiques et des formations profondes.

Les travaux menés par Zerdazi Abdelhamid en 1990 ont abouti à l'élaboration d'une carte des anomalies de Bouguer à l'échelle 1/50 000. L'analyse de cette carte a permis de mettre en évidence plusieurs éléments importants :

Une anomalie négative dans la partie nord, correspondant au fossé de Tébessa ;

Plus au sud, des anomalies positives susceptibles de traduire la présence de formations denses et compactes (région de D. Gaâgaâ) ;

Enfin, une anomalie négative orientée Est-Ouest, interprétée comme étant liée à des sédiments de comblement de faible densité d'âge quaternaire.

V. Structure du système aquifère :

a) L'aquifère des calcaires maestrichtiens

Les différents forages ayant atteint les calcaires maestrichtiens ont mis en évidence que ces formations présentent un caractère aquifère essentiellement en périphérie du bassin, où elles sont fracturées, et parfois même karstifiées (présence de fissures et de cavités ouvertes observées dans les forages F502, F503, F2,

F521). En revanche, au centre du bassin, ces calcaires se présentent sous forme massive et peu fracturée, les rendant pratiquement imperméables (cas des forages F533, F536). Les chances de rencontrer des zones fissurées ou karstifiées augmentent à proximité des discontinuités tectoniques, notamment lorsque les calcaires sont directement recouverts par des formations quaternaires, facilitant ainsi l'action des eaux de ruissellement sur les fissures.

b) L'aquifère des calcaires éocènes :

Il s'agit de l'aquifère principal du plateau de Chéria. Il a été reconnu grâce à de nombreux forages, notamment autour de la ville de Chéria, et constitue une ressource majeure tant pour l'alimentation en eau potable que pour l'irrigation. La perméabilité y est assurée par un réseau de fissures et un karst bien développé dans les zones proches de la ville.

Les observations issues des forages ayant traversé ou atteint ces calcaires ont permis de tirer les conclusions suivantes :

Les zones fissurées se concentrent généralement dans les 100 premiers mètres de la formation éocène.

Les zones karstifiées, plus localisées, se trouvent souvent dans les 50 premiers mètres.

Sur le plan géophysique, les niveaux fissurés se traduisent par des résistivités comprises entre 100 et 250 ohm.m. Les mesures obtenues par diagraphie électrique (courte et longue normale) indiquent des résistivités de l'ordre de 200 ohm.m pour les calcaires fissurés, et entre 400 et 600 ohm.m pour les zones non fissurées.

c) L'aquifère mio-plio-quaternaire :

Cet ensemble regroupe en réalité deux aquifères distincts :

L'aquifère des niveaux sableux du Miocène : Peu exploré, il n'a été étudié que par un nombre restreint de forages (notamment les forages n°523 et n°524). Le niveau

Situé entre 53 et 80 mètres de profondeur est attribué à des dépôts de graviers et de sables quartzeux du Miocène.

L'aquifère des alluvions quaternaires et actuelles : Selon la classification de Lambert, ces formations comprennent des cailloutis fluviatiles, des dépôts de colmatage, des sédiments de zones déprimées et des alluvions de piémont. Elles couvrent une large partie du plateau de Chéria. Dans la partie nord, ces dépôts jouent un rôle important dans l'alimentation des aquifères calcaires (maestrichtiens et éocènes) par infiltration.

Cependant, cet aquifère présente aujourd'hui un intérêt limité, en raison de la sécheresse persistante des dernières décennies, conjuguée à une surexploitation excessive des ressources en eau.

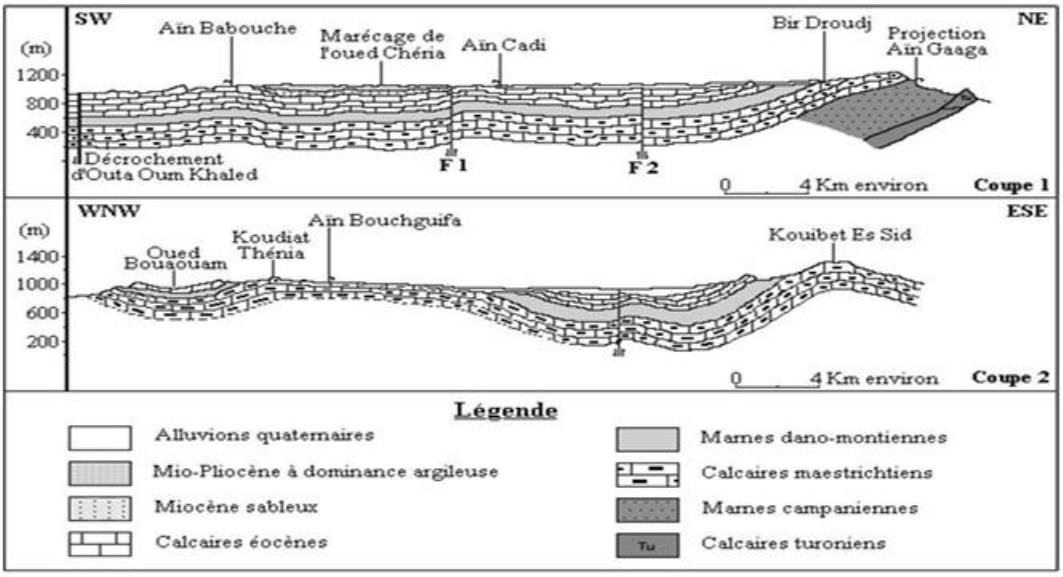


Figure 50 : Coupes géologiques du plateau de Chéria

W. **Les conditions aux limites :**

Les forages réalisés dans les calcaires maestrichtiens ont révélé que cet horizon présente un caractère aquifère en périphérie du plateau, tandis qu'il reste stérile en son centre (cas du sondage 18-9, atteint à une profondeur de 800 m).

Les calcaires éocènes sont en contact direct avec les alluvions quaternaires aquifères, lesquelles assurent fréquemment un drainage des calcaires maestrichtiens. Cette configuration traduit l'existence d'une limite perméable favorisant l'alimentation de la nappe.

En direction du sud, il est nécessaire de supposer l'existence d'une limite de fuite souterraine, notamment si l'on considère l'arrêt de l'alimentation en provenance de la zone d'Outa Oum Khaled.

Quant à la nappe du Mio-Plio-Quaternaire, elle est alimentée directement par les précipitations et par des apports latéraux provenant de l'éocène adjacent.



Figure 51 : Carte des conditions aux limites de Chéria. (In baali 2007)

X. Position et émergence des sources :

En périphérie de la région de Chéria, on observe la présence de sources karstiques émergeant au sein des calcaires éocènes. La région présente une série stratigraphique s'étendant du Trias au Quaternaire, hébergeant plusieurs aquifères alimentés

Principalement par les massifs environnants tels que le Djebel Es Senn, le massif de Troubia, Gaagaa, Ammacha, entre autres. Ces formations sont affectées par de nombreuses structures tectoniques majeures, favorisant l'apparition de nappes phréatiques accompagnées de sources comme celles de Gaagaa, Aïn Troubia, Aïn Ammacha et Aïn Cadi.

La source d'Aïn Babouche est située au sud du plateau de Chéria, précisément dans la gorge séparant le Djebel Boukemchie et le Djebel Ennamoura. Cette source résulte d'une rupture topographique causée par l'action érosive de l'oued, qui a mis à nu la nappe phréatique. Elle présente un débit moyen estimé à 1,4 l/s.

La source de Gaagaa tire son origine d'un système tectonique très fracturé, ayant induit une importante dislocation de la roche encaissante, accompagnée d'un rejet marqué dans la région d'El Hammamet. Cette configuration a permis l'émergence de la source au sein de l'aquifère maestrichtien. La surélévation du substratum imperméable marneux, d'âge maestrichtien inférieur à campanien, a favorisé le fonctionnement de cette source comme une source de débordement, c'est-à-dire une source de trop-plein. Son débit est très variable, avec une moyenne estimée à 1,3 l/s.

La source d'Ammacha est une source de faible importance, émergeant des calcaires maestrichtiens et captée dans les alluvions. Son débit est très faible, avoisinant 1,56 l/s. Son émergence est due à une tectonique très fracturée, marquée par la présence d'une faille orientée N140E.

La source d'Aïn Troubia doit son émergence à une tectonique très cassante, à l'origine d'un réseau de fractures bien développé dans la roche encaissante, facilitant ainsi l'écoulement souterrain jusqu'à la surface.

Les coordonnées et les données détaillées relatives à ces sources sont présentées dans le tableau n°34**.**

Tableau 34 : les coordonnées et les informations des sources étudiées

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

Nom de source	Le débit des sources en(l/s)		
La date	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



Figure 52 : Les hydro grammes des débits pour les sources étudiées

Sur la base de la figure précédente, illustrant l'évolution des débits des différentes sources examinées dans la région de Chéria au cours de la période étudiée, il est possible de formuler les constatations suivantes :

L'analyse des hydrogrammes met en évidence, d'un point de vue descriptif, une diminution générale des débits pour l'ensemble des sources tout au long de la période, hormis quelques pics peu significatifs enregistrés à certaines dates.

D'un point de vue interprétatif, plusieurs hypothèses peuvent être avancées :

La diminution quasi continue des débits observés pourrait s'expliquer par un manque d'alimentation de l'aquifère durant la période concernée. Les rares précipitations enregistrées pourraient justifier les faibles pics constatés sur les hydrogrammes des différentes sources. Cela traduit également le faible effet de ces pluies sur la recharge du réservoir, comme en témoigne la tendance globale à la baisse des débits.

Piézométrie :

Le niveau des eaux souterraines est mesuré à l'aide d'une sonde équipée d'un capteur sensible à la conductivité de l'eau. Lorsque la sonde atteint l'interface air-eau, un contact électrique se produit entre deux tiges métalliques, déclenchant un signal sonore et lumineux.



Figure 53 : La sonde de niveau d'eau

Y. Évolution de la piézométrie :

L'évolution de la piézométrie dans le temps consiste à mesurer à plusieurs reprises, à différents moments, le niveau d'un puits donné. L'objectif principal de cette étude est de suivre la profondeur du niveau piézométrique de la nappe aquifère. En revanche, dans l'espace, cette évolution est suivie par la mesure des niveaux dans plusieurs puits répartis à la surface de la nappe, afin de visualiser la direction générale de l'écoulement horizontal et de comparer cette évolution d'un système aquifère à un autre. En effet, les eaux souterraines constituent un vecteur de transport pour toute substance minérale ou organique. C'est à travers la direction d'écoulement que l'on peut identifier les zones vulnérables ou contaminées.

Z. Interprétation des cartes piézométriques :

a) Carte piézométrique : Septembre 2002 :

L'analyse de la carte piézométrique, dont les mesures datent du début de la période d'observation (2002), met en évidence deux zones distinctes :

La première, située au centre, se caractérise par une surexploitation marquée par une dépression au niveau de la ville et de ses alentours. Cette situation s'explique par le nombre de forages destinés à l'alimentation de la population, tels que le forage J8-9bis et le CHI.

La deuxième zone, localisée en aval du plateau, est également marquée par deux dépressions situées de part et d'autre de l'oued Chéria, où une partie de l'écoulement converge vers l'axe de l'oued. L'écoulement s'effectue de manière générale du Nord vers le Sud. Le gradient hydraulique varie entre 0,28 et 1,6.

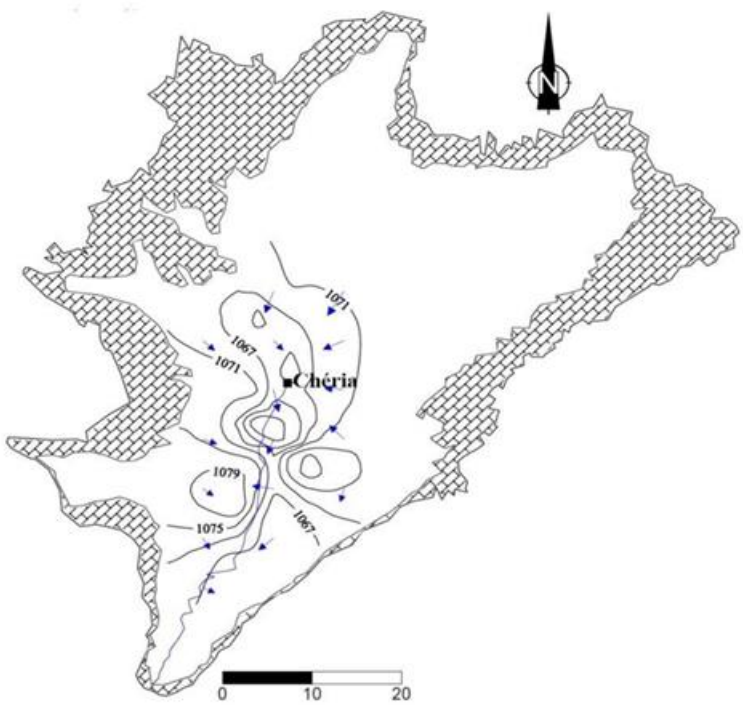


Figure 54 : Carte piézométrique de Chéria (Sep 2002) (in baali 2007).

b) Carte piézométrique : septembre 2005 (Fig. 53) :

Cette carte montre un plan d'eau caractérisé par un écoulement de direction nord-sud dans la partie nord, avec des courbes isopièzes très resserrées, indiquant une vitesse d'écoulement importante. En aval, vers le sud, les courbes sont plus espacées, ce qui traduit un écoulement plus lent. Une zone de surexploitation très marquée est observée au centre. Le resserrement des courbes est probablement lié à la réduction de la section d'écoulement.

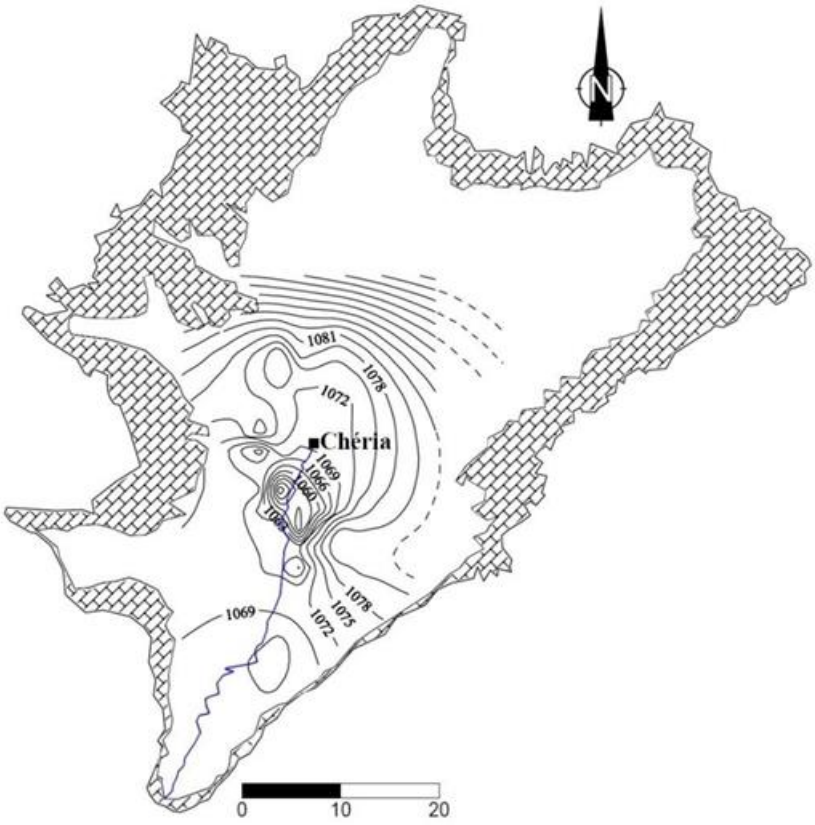


Figure 55 : Carte piézométrique de Chéria (Sep 2005) (in baali 2007).

AA. **Conclusion :**

L'étude géophysique réalisée dans la région de Chéria, dont nous avons présenté un aperçu, a permis d'identifier le système aquifère de cette zone. Le contraste des valeurs de résistivité obtenues a mis en évidence l'alternance entre niveaux conducteurs et résistants, corrélés respectivement aux formations marneuses et calcaires constituant le système aquifère. Cette étude a également permis de reconnaître la structure synclinale des formations géologiques.

D'après l'étude hydrogéologique menée, nous concluons que la région étudiée est constituée de trois systèmes aquifères voisins sur le plan géographique et topographique, mais différant entre eux sur le plan hydrogéologique. La nappe miocène, composée de matériaux sableux et gréseux, est plus importante que la première, avec une épaisseur très intéressante d'un point de vue hydrogéologique. À

Chéria, le principal réservoir est d'âge éocène, constitué de calcaires fissurés et karstifiés.

Le sens d'écoulement des eaux souterraines suit celui des cours d'eau. Les massifs montagneux entourant les différentes unités jouent un rôle essentiel dans l'alimentation des divers systèmes aquifères.

III. Région de Tébessa

Géophysique

BB. Introduction :

Une étude géophysique par prospection électrique de la plaine de Tébessa-Morsott a été réalisée en 1970 par la Compagnie Générale de Géophysique (CGG). Au cours de cette campagne, 242 sondages électriques ont été effectués avec une longueur de ligne AB de 2000 mètres, ainsi que 105 sondages supplémentaires avec une ligne AB de 6000 mètres.

Suite à cette prospection, plusieurs forages ont été entrepris, ciblant exclusivement les formations de remplissage quaternaire, qui présentent une perméabilité variable.

Cette étude avait pour objectifs principaux :

L'identification des lentilles à granulométrie grossière au sein du remplissage alluvionnaire, ainsi que la reconnaissance des zones affectées par une forte salinité des eaux ;

La détermination de la profondeur et de la nature du substratum, notamment la localisation du Trias ;

La mise en évidence des grands accidents tectoniques en bordure, associés au fossé d'effondrement.

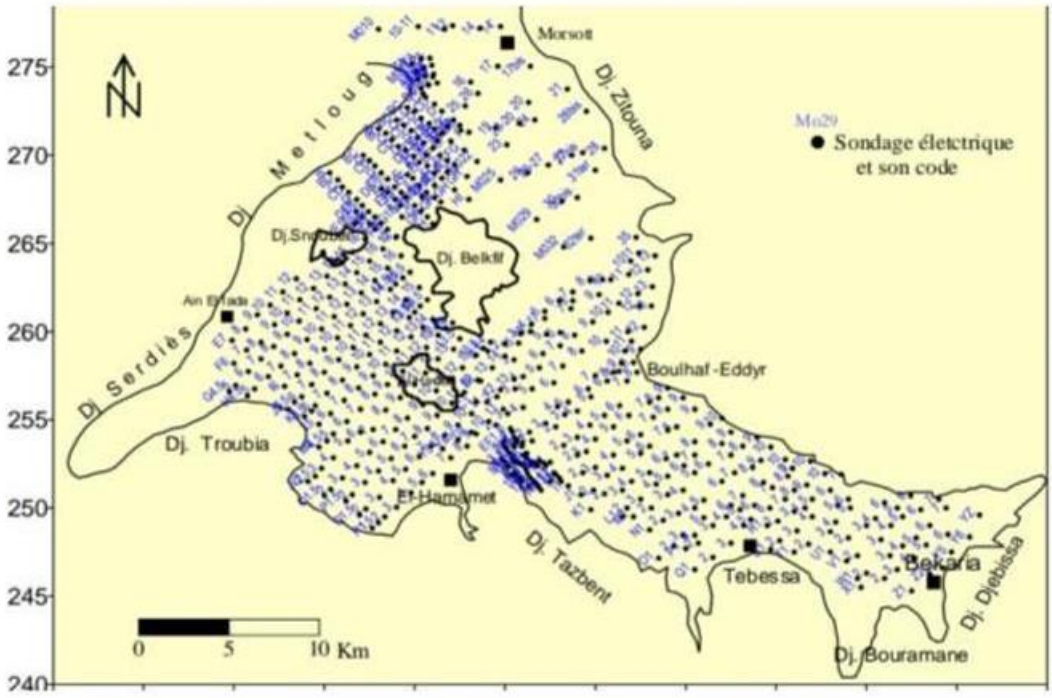


Figure 56 : Carte de situation des sondages électriques (CGG 1970)

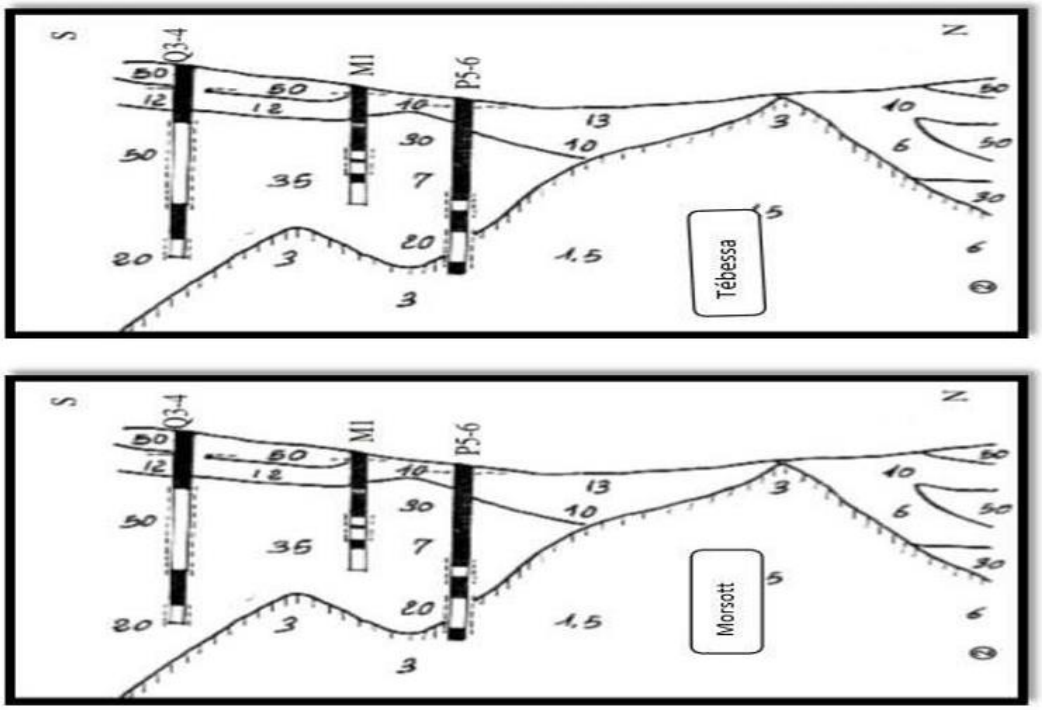


Figure 57 : Profils des coupes électriques Tébessa-Morsott

CC. Profils géoélectriques et leur interprétation :

a) Coupe transversale (SE-NE) :

La coupe géoélectrique transversale, établie selon le même tracé que le profil hydrogéologique (2-1 Bis – Békkaria – X-4 – Oglet R'baïb), orientée du sud-est vers le nord-est (SE-NE), révèle la présence de quatre horizons distincts : un horizon résistant, deux horizons à résistivité moyenne, et un horizon conducteur.

-L'horizon résistant :
Il affleure à la surface topographique et se compose d'une succession de lentilles résistantes, présentant des résistivités comprises entre 15 et 80 Ohm et une épaisseur dépassant parfois les 10 mètres. Cet horizon est traversé par les forages ZI Bis, X-4 et OG.

- L'horizon supérieur à résistivité moyenne :
Situé dans la partie centrale de la coupe, il présente une épaisseur variant entre 40 et 80 mètres, avec une résistivité allant de 10 à 30 Ohm. Il est également traversé par les trois forages mentionnés, où l'on remarque la présence d'une lentille résistante (80 Ohm) à proximité du forage 2-1 Bis, d'une épaisseur variant entre 15 et 25 mètres.

- L'horizon inférieur à résistivité moyenne :
Cet horizon est caractérisé par une épaisseur importante, variant entre 65 et 165 mètres. Il s'épaissit vers le centre de la coupe et s'amincit vers les extrémités. Sa résistivité se situe entre 15 et 25 Ohm. Il est traversé par les forages 2-1 Bis et X-4, et l'on y observe une lentille résistante (40 Ohm) au niveau du forage 2-1 Bis, d'une épaisseur allant de 10 à 65 mètres. Cet horizon pourrait contenir une nappe captive, confinée entre un substratum à la base et un horizon conducteur au toit.

Ces trois premiers horizons, présentant des résistivités comprises entre 20 et 80 Ohm, sont considérés comme favorables du point de vue hydrogéologique. Ils correspondent à des terrains constitués de graviers et de cailloutis.

- L'horizon conducteur :

Il se situe entre les formations à résistivité moyenne et élevée, et est traversé par les trois forages (U-4, ZI Bis et OG). Sa puissance varie entre 40 et 75 mètres. Il se distingue par une résistivité inférieure à 10 Ohm, traduisant la présence probable d'une formation saturée en eau salée ou d'un matériau très fin.

Le substratum :

Le substratum est constitué d'une formation imperméable, caractérisée par une faible résistivité, généralement inférieure à 10 Ohm. Il est composé essentiellement de marnes et d'argiles.

Dans la bordure sud, aux environs du forage 2-1 Bis, cette formation atteint une résistivité maximale de 7000 Ohm, indiquant une possible variation lithologique locale. En se dirigeant vers le nord, la résistivité diminue progressivement pour atteindre environ 1300 Ohm au niveau du sondage électrique T- 6.

b) Coupe transversale centrale :

La coupe géoélectrique, réalisée selon l'axe de la coupe hydrogéologique reliant les points Q3-4, M1 et P5-6, orientée du sud vers le nord, met en évidence l'affleurement du substratum à la surface du sol au niveau du sondage électrique N-8.

Cette coupe peut être divisée en trois parties distinctes :

– Partie 1 :

On y distingue deux horizons :

Le premier, faiblement résistant, s'étend sur toute la portion sud de la coupe, parallèlement à la surface topographique, avec une épaisseur variant entre 20 et 60 mètres et une résistivité comprise entre 10 et 13 Ohm. Il correspond à une formation argileuse contenant des cailloutis calcaires. Cet horizon est traversé par les forages

Q3-4, P5-6 et M1, où l'on observe la présence d'une lentille résistante (environ 50 Ohm) à proximité des forages Q3-4 et M1, d'une épaisseur d'environ 25 mètres.

Le second horizon est plus résistant.

– Partie 2 :

Elle correspond à un horizon épais, dont l'épaisseur varie entre 50 et 300 mètres. Sa résistivité, comprise entre 20 et 50 Ohm, indique la présence de graviers et de cailloutis. Cet horizon est traversé par les trois forages, et l'on y note la présence d'une lentille conductrice (7 Ohm) entre les forages M1 et P5-6, avec une épaisseur variant entre 10 et 50 mètres.

– Partie 3 :

Elle est constituée essentiellement d'un seul horizon conducteur, à résistivité inférieure à 10 Ohm, et d'une épaisseur allant de 10 à 175 mètres. À l'intérieur de cet horizon, on observe trois lentilles résistantes dont la résistivité varie entre 30 et 50 Ohm, avec une épaisseur approximative de 10 à 50 mètres.

- **Le substratum**

Quant à lui est formé de marnes et d'argiles, présentant une résistivité généralement inférieure à 10 Ohm.

La variation transversale de la résistivité le long de cette coupe est notable :

Elle est très élevée en bordure sud, atteignant une valeur maximale de 12 000 Ohm au niveau du sondage Q3.

Elle est extrêmement faible au centre de la plaine, avec une valeur proche de 0 Ohm.

Enfin, elle devient modérément importante à la bordure nord, avec une résistivité atteignant 6 275 Ohm.

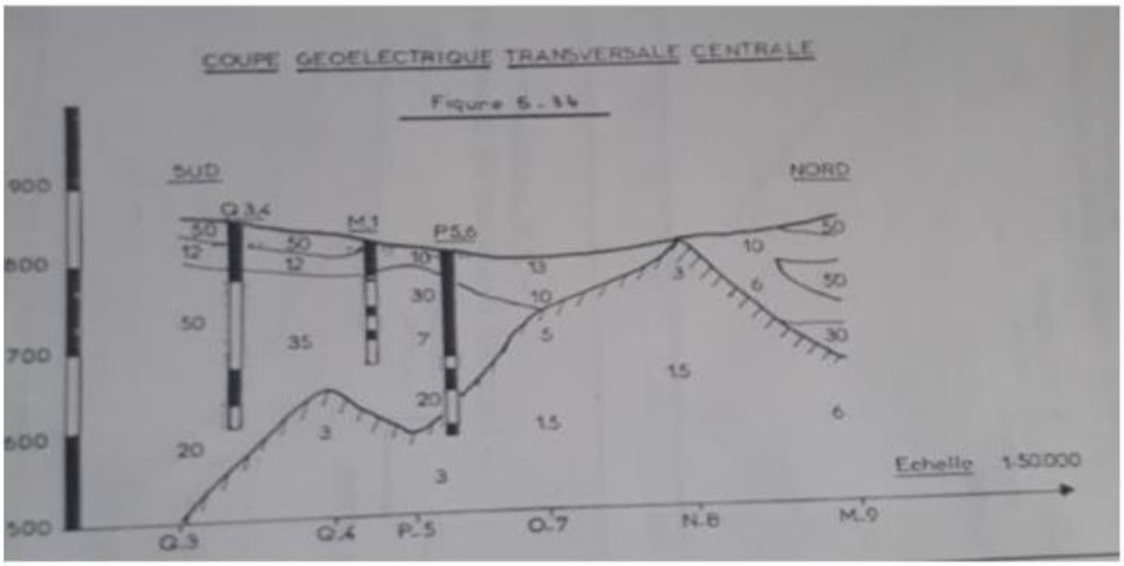


Figure 58 : coupe géo électrique transversale centrale

c) Coupe transversale ouest (SW–NW) :

La coupe géoélectrique transversale, établie selon le profil hydrogéologique reliant les points FG-1, AC-1 et AC-2, orientée du sud-ouest vers le nord-ouest (SW–NW), révèle la présence de trois horizons : un horizon résistant, un horizon moyennement résistant, et un horizon conducteur.

– L'horizon résistant :
Il se présente sous forme d'une lentille très résistante, localisée à la bordure nord-ouest de la coupe, interceptée par le forage AC-2. Sa résistivité varie entre 100 et 200 Ohm, pour une épaisseur comprise entre 25 et 125 mètres. À l'intérieur de cette lentille, on observe la présence d'une seconde lentille conductrice, caractérisée par une résistivité de 80 Ohm et une épaisseur allant de 10 à 40 mètres.

– L'horizon moyennement résistant :
Il s'étend tout au long de la coupe transversale, traversé par les trois forages FG-1, AC-1 et AC-2. Cet horizon présente une épaisseur comprise entre 40 et 225 mètres, avec une résistivité variant de 10 à 50 Ohm. Il contient trois lentilles de résistivité et d'épaisseur variables : deux lentilles résistantes, dont les

résistivités sont comprises entre 50 et 70 Ohm pour des épaisseurs allant de 10 à 160 mètres ; la troisième lentille correspond à un horizon conducteur.

– L'horizon conducteur :
Comme mentionné précédemment, il s'agit d'une lentille insérée dans l'horizon moyennement résistant. Sa résistivité est très faible (inférieure à 10

Ohm), et son épaisseur varie de 10 à 150 mètres. Cette formation imperméable est composée principalement de marnes et d'argiles. Elle est traversée uniquement par le forage AC-1, au niveau duquel on note également la présence d'une seconde lentille moyennement résistante, d'une résistivité de 20 Ohm et d'une épaisseur d'environ 50 mètres.

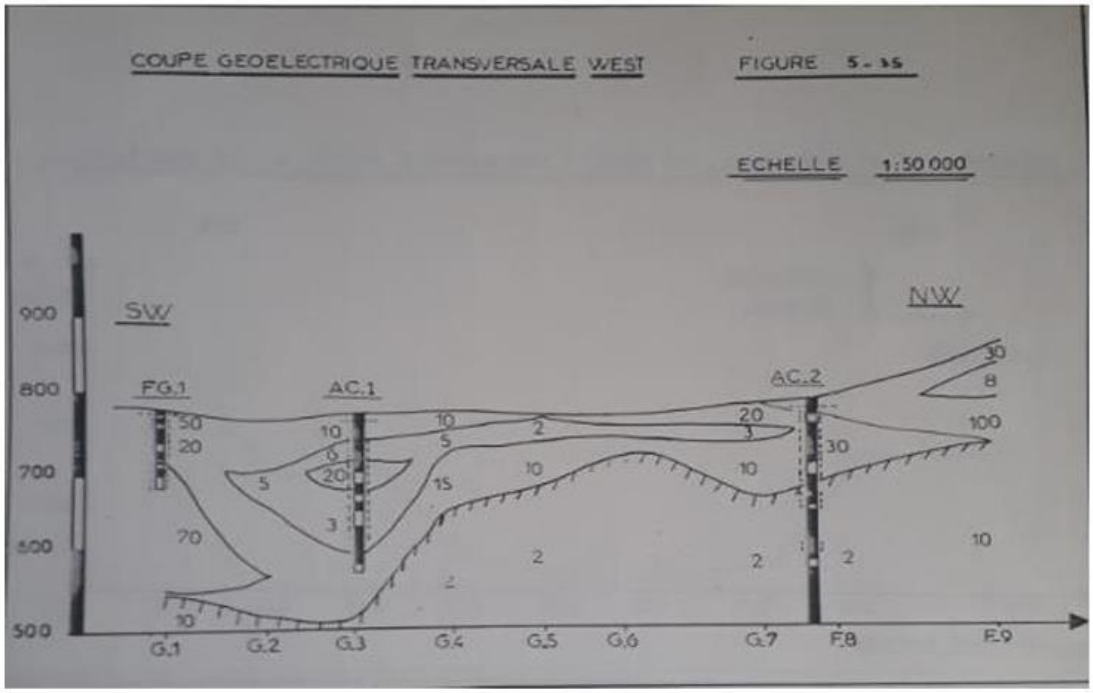


Figure 59 : :coupe géo électrique transversale WEST

Le substratum :
Le substratum est constitué de marnes et d'argiles, présentant une résistivité inférieure à 10 Ohm.

La coupe transversale ouest, correspondant au profil géoélectrique (G), montre une configuration similaire à celle de la coupe transversale centrale. On y observe une résistivité maximale de 11 000 Ohm au niveau du sondage électrique G-1, et une valeur minimale de 400 Ohm au niveau du sondage G-6.

DD. **Les fossés d'effondrement de Tébessa – Morsott et Hammamet :**

Ces fossés caractérisent la partie orientale de l'Atlas saharien. Ils sont orientés selon deux directions principales : NW–SE et E–W, orientations perpendiculaires à l'axe général de plissement.

Ils s'étendent sur plusieurs kilomètres et sont délimités par de grandes failles, principalement des failles normales. Cette configuration structurale est le résultat

D'une phase tectonique post-miocène intense (Dubourdieu, 1956 ; David, 1956 ; Castany, 1951 ; Kazi-Tani, 1986), qui est également à l'origine de la formation des bassins subsidents (Kowalski et Hmimed, 2000).

Ces fossés sont comblés par d'épaisses formations sédimentaires d'âge Plio-Quaternaire, pouvant atteindre jusqu'à 170 mètres d'épaisseur dans le fossé de Tébessa–Morsott (Dubourdieu et Durozoy, 1950) (voir figures et).

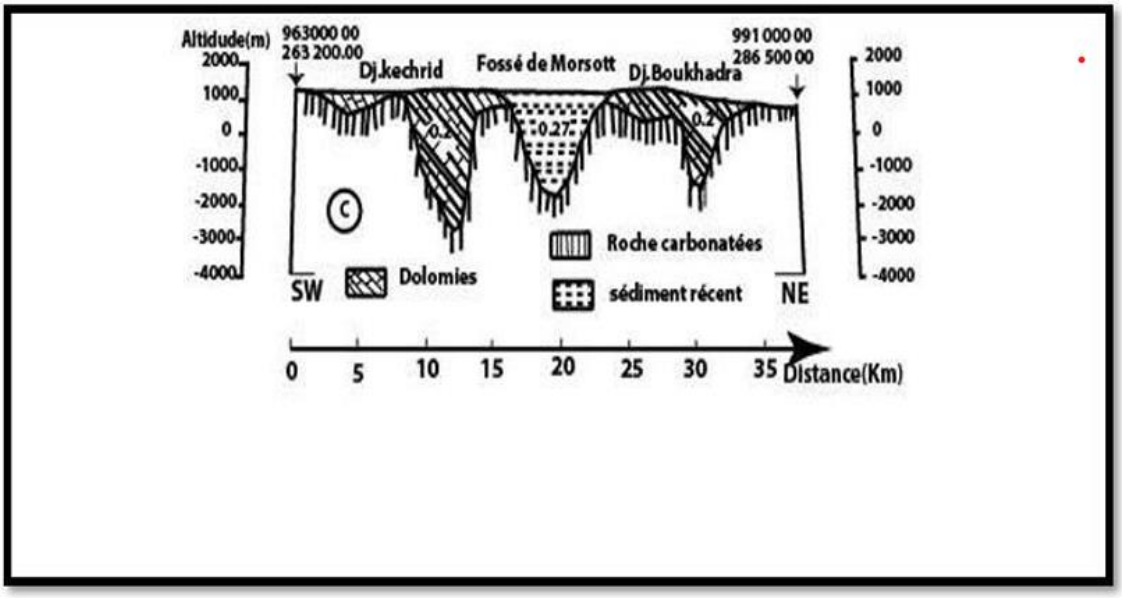


Figure 60 : Coupe géo-électrique présentée le fossé d'effondrement de Morsott

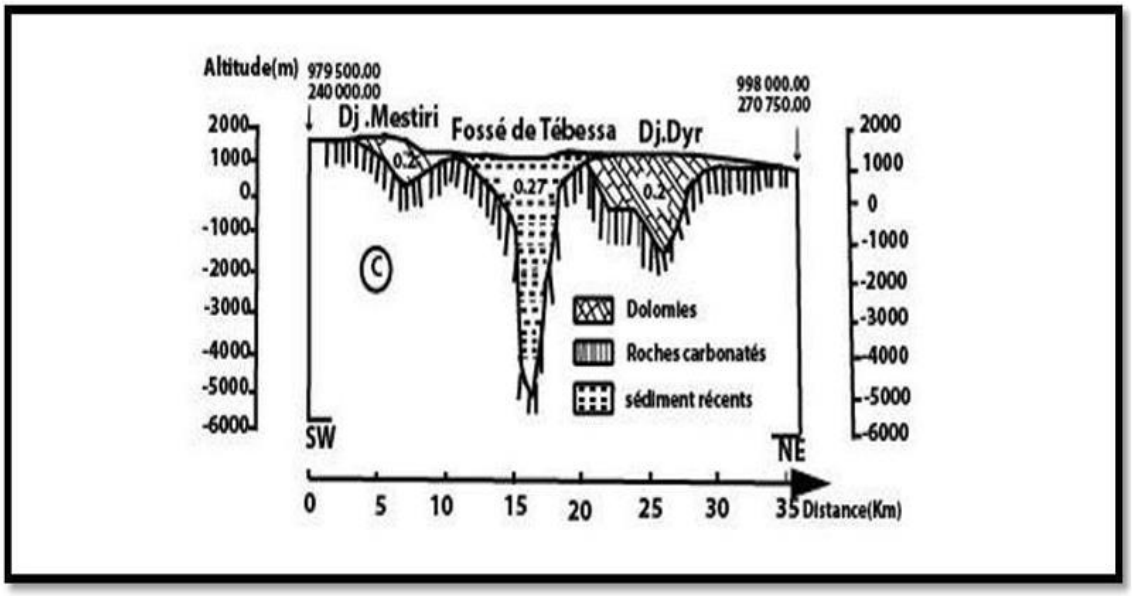


Figure 61 : Coupe géo-électrique présentée le fossé d'effondrement de Morsott.

EE. **Épaisseur du remplissage :**

L'évolution et la répartition spatiale du remplissage de la nappe, tant en longueur qu'en profondeur, ont été mises en évidence grâce à l'étude géophysique par prospection électrique réalisée en 1970 par la Compagnie Générale de Géophysique (C.G.G) et approfondie en 1978 par Stroj Export Brague.

Afin de mieux appréhender les dimensions et la morphologie de la plaine d'effondrement de Tébessa–Morsott, les données géophysiques ont été croisées avec les logs stratigraphiques issus des forages.

Le remplissage est constitué, à sa base, d'un horizon argileux très conducteur, notamment dans les zones de fossés d'effondrement. La partie supérieure est formée par des dépôts quaternaires sableux ou sablo-argileux, tandis que les bordures sont marquées par la présence d'éboulis anciens et de cônes de déjection.

L'analyse de la carte d'épaisseur du remplissage entre Tébessa et Morsott révèle des valeurs très importantes, variant entre 150 et 450 mètres. Les épaisseurs les plus marquées se trouvent au pied du Djebel Tazbent, du Djebel Zitouna, ainsi que dans la plaine à hauteur de Morsott. Il est important de souligner que ces zones de forte épaisseur coïncident généralement avec les bordures et l'intérieur des fossés d'effondrement de Tébessa, Bekkaria et Morsott, où l'on enregistre également des résistivités élevées.

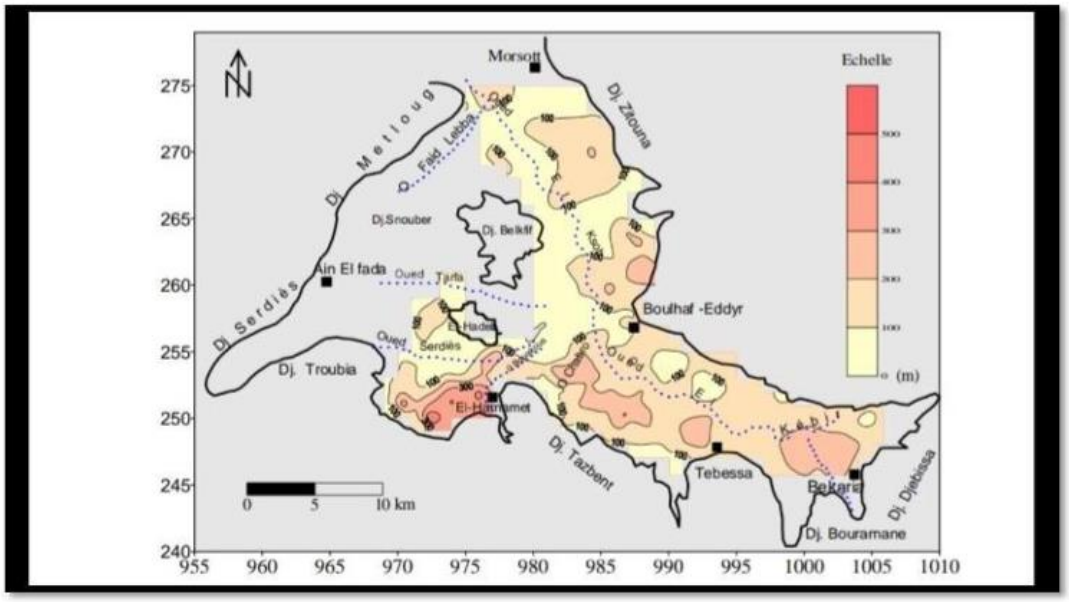


Figure 62 : Carte d'épaisseur du remplissage alluvionnaire.

FF. **Description lithologique :**

Le fossé est comblé par une alternance de sédiments détritiques d'âge mio-pliocène à quaternaire, s'étendant sur plusieurs centaines de mètres. Cette alternance résulte des différentes phases d'érosion et de sédimentation qui ont façonné la plaine au fil du temps.

Les forages profonds ont révélé que les séries Mio-Plio-quaternaires sont constituées d'une succession de couches perméables et aquifères (notamment des sables, graviers, cailloutis calcaires, argiles et limons) séparées par des niveaux plus ou moins imperméables.

Sur l'ensemble de la plaine, ces dépôts détritiques forment un ensemble continu, avec une variation latérale des faciès depuis les bordures vers le centre, traduisant un classement granulométrique latéral. Cette organisation est confirmée par les variations latérales des résistivités apparentes, accentuées par une conductivité croissante des eaux souterraines.

Au centre de la plaine, on retrouve des alluvions récentes composées d'argiles mélangées à des graviers fins, principalement le long de l'axe principal. En revanche, les bordures sont constituées d'alluvions plus anciennes, principalement formées de dépôts de cailloutis calcaires.

GG. Échelle des résistivités :

Plusieurs sondages réalisés au niveau des forages et des affleurements ont permis d'estimer les valeurs de résistivité des formations. Cependant, en raison de l'hétérogénéité des couches géologiques, ces valeurs ne représentent souvent

Qu'une moyenne, car il est difficile d'attribuer une seule valeur précise de résistivité à une formation donnée.

Tableau 36 : échelle des résistivités des formations géologiques

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 (Cénomanien)	5-25
	Calcaire-dolomie (Aptien)	150-200

HH. Profils géoélectriques à la plaine de Tébessa :

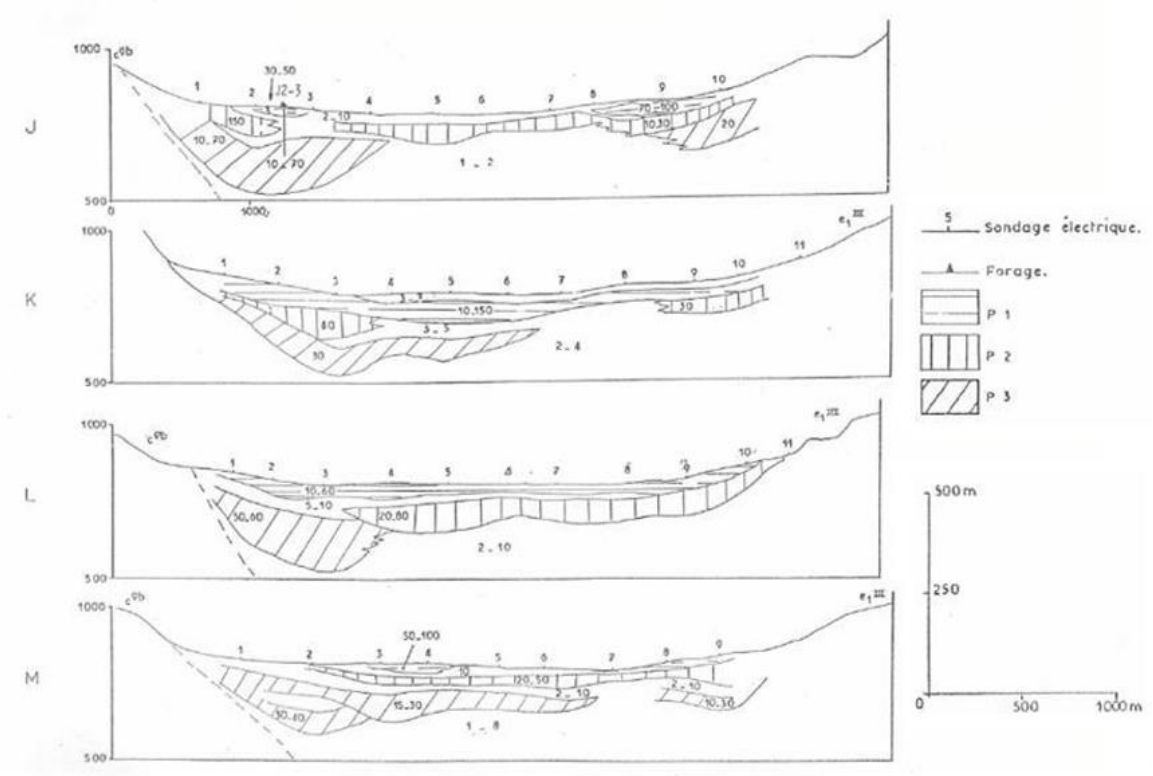


Figure 63 : Coupes géoélectriques à travers la plaine de Tébessa selon les profils (J, K, L et M) (in Djabri L. 1987).

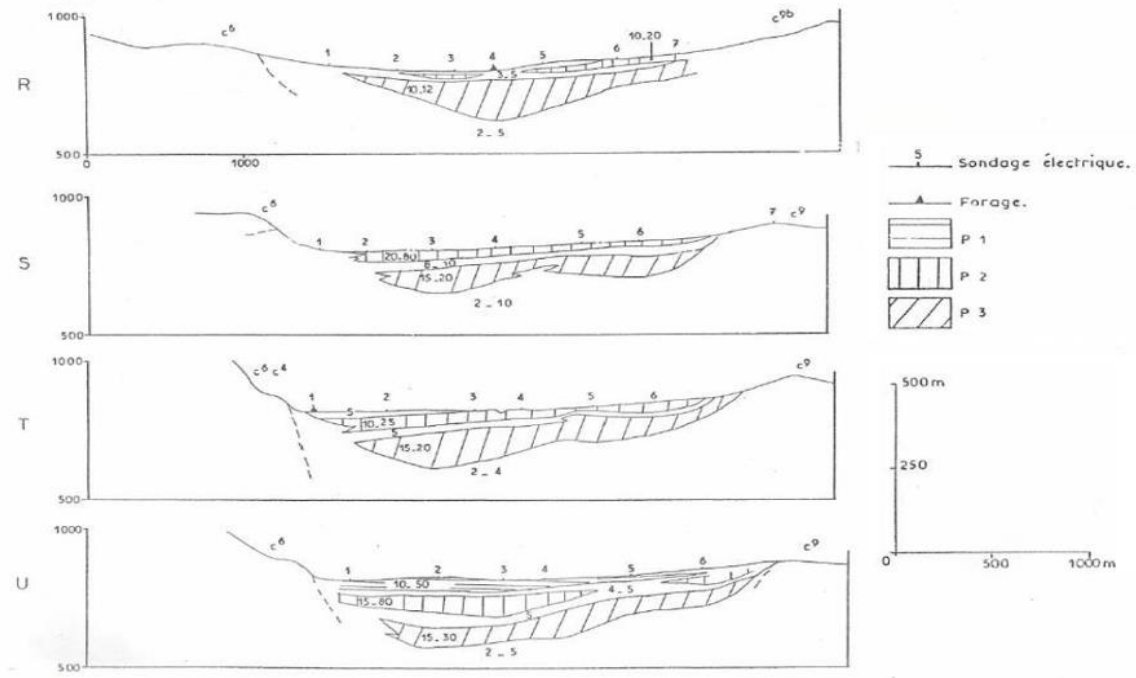


Figure 64 : Coupes géoélectriques à travers la plaine de Tébessa selon les profils (R, S, T et U) (inDjabri L. 1987)

II. Conclusion :

Les résultats obtenus montrent que les faibles valeurs de résistivité, autour de 10 Ohm·m, correspondent aux formations argileuses rencontrées. En revanche, les graviers sont associés à des résistivités supérieures à 100 Ohm·m. La corrélation entre les données géophysiques et les observations géologiques confirme une bonne concordance des résultats.

La méthode de prospection électrique a permis d'identifier deux types principaux de faciès :

Un remplissage sédimentaire dominé par des argiles, sables et marnes, localisé principalement au centre de la plaine,

Et des niveaux de calcaires fissurés présents en bordure.

Par ailleurs, la méthode gravimétrique a mis en évidence de manière fiable les contours du bassin, soulignant son étendue considérable. Elle correspond au fossé d'effondrement de Tébessa-Morsott**.**

Hydrogeologer

JJ. Introduction :

L'hydrogéologie représente un outil fondamental pour mieux comprendre les caractéristiques d'un aquifère. En s'appuyant sur les cartes et coupes géologiques, ainsi que sur les colonnes stratigraphiques issues des forages réalisés dans la région — incluant leur profondeur, altitude, et les mesures des niveaux piézométriques — des coupes hydrogéologiques et des cartes piézométriques ont été établies. Ces éléments permettent d'analyser le mécanisme de circulation des eaux souterraines au sein des différents systèmes aquifères, de déterminer le sens d'écoulement des eaux, et de mieux cerner les interactions entre les différents aquifères.

Par « bassin d'effondrement de Tébessa - Morsott », on désigne ici la zone s'étendant de Bekkaria, au sud-est, jusqu'à Morsott, au nord-ouest.

KK. Description générale :

Le système aquifère de la plaine de Tébessa est principalement constitué d'un manteau alluvial d'âge quaternaire, formé de cailloutis calcaires, dont l'épaisseur varie entre 10 et 400 mètres. À cela s'ajoutent les formations calcaires du Turonien, du Campanien et du Maastrichtien, qui forment les reliefs en bordure nord-est et sud de la plaine, et qui constituent également d'importants réservoirs aquifères.

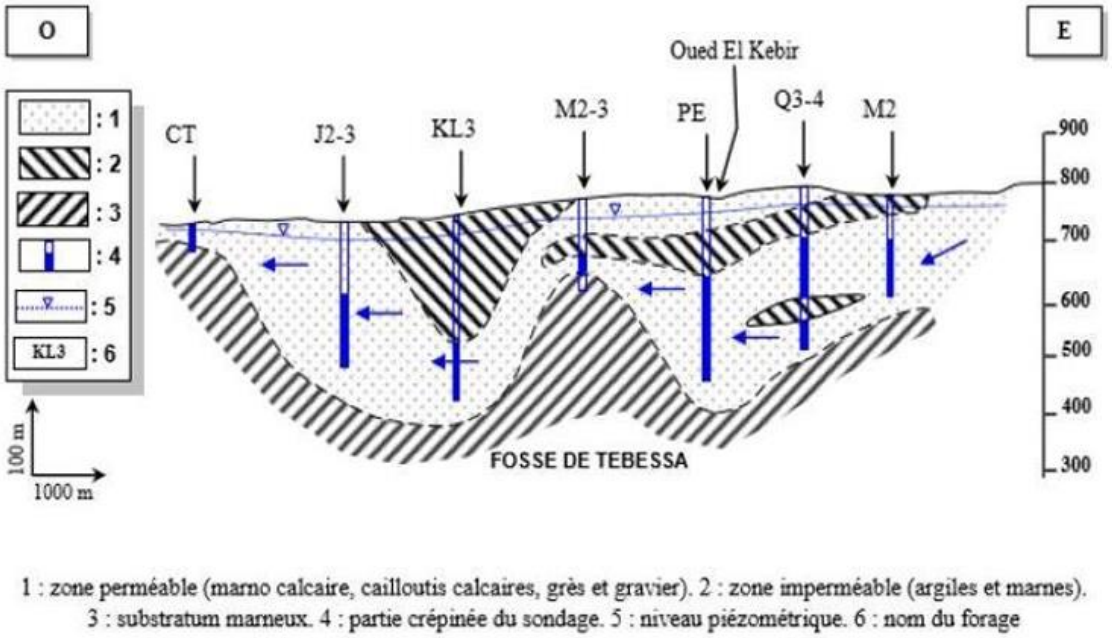


Figure 65 : Coupe hydrogéologique à travers la plaine de la Merdja

LL.**Conditions aux limites :**

La figure présente une synthèse des travaux antérieurs, illustrant les conditions aux limites qui caractérisent le système aquifère de la zone étudiée. L'écoulement des eaux souterraines suit globalement la direction de l'Oued El-Kebir, qui joue le rôle d'axe de drainage de la nappe superficielle selon un axe Sud-Est / Nord-Ouest.

L'aquifère présente des limites à flux entrant à l'Est, au Nord et au Sud-Est. Une limite à flux sortant est localisée à l'Ouest. Au Sud, on observe également une limite à flux entrant, qui constitue la zone de recharge la plus significative pour la nappe. En effet, dans cette partie, l'aquifère est en contact direct avec les formations carbonatées, lesquelles appartiennent à un autre système aquifère voisin et contribuent activement à l'alimentation de la nappe.

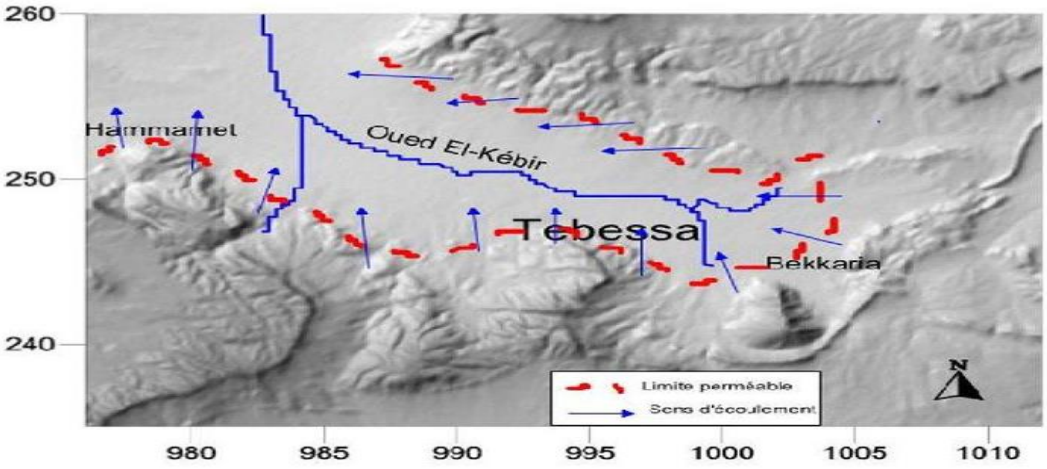


Figure 66 : Carte des conditions aux limites de la zone d'étude (Hamili I2020).

MM. La piézométrie :

La piézométrie consiste à mesurer la profondeur de la surface de la nappe d'eau souterraine. Cette mesure est généralement effectuée à l'aide d'une sonde électrique. Lorsque la sonde atteint l'interface air/eau, un contact électrique s'établit entre deux tiges métalliques, ce qui déclenche un signal sonore et lumineux, indiquant ainsi le niveau piézométrique.

a) Inventaire des points d'eau :

L'inventaire a été réalisé à partir des relevés effectués sur 36 puits domestiques (figure 66), lors d'une campagne menée au mois de mars 2020. Les points d'eau utilisés pour l'élaboration des cartes piézométriques sont répartis selon la carte d'inventaire. Ces puits ont été creusés selon les moyens disponibles, sans protection particulière contre les infiltrations d'eaux de surface, ce qui peut influencer la qualité des mesures effectuées.

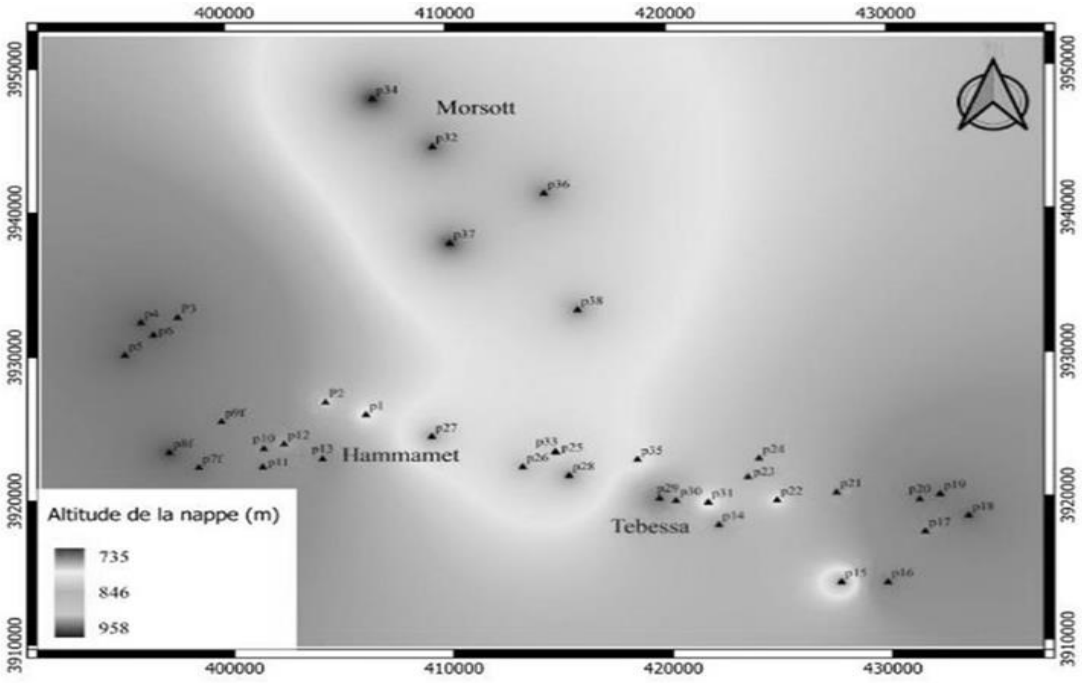


Figure 67 : la carte d`inventaire des puits sur la plaine (Tebessa-Morsot)

b) Établissement d'une carte piézométrique :

L'analyse de la carte piézométrique (Figure 67) révèle une surface irrégulière. La forme des courbes piézométriques indique un écoulement général des eaux souterraines orienté du sud-est vers le nord-ouest.

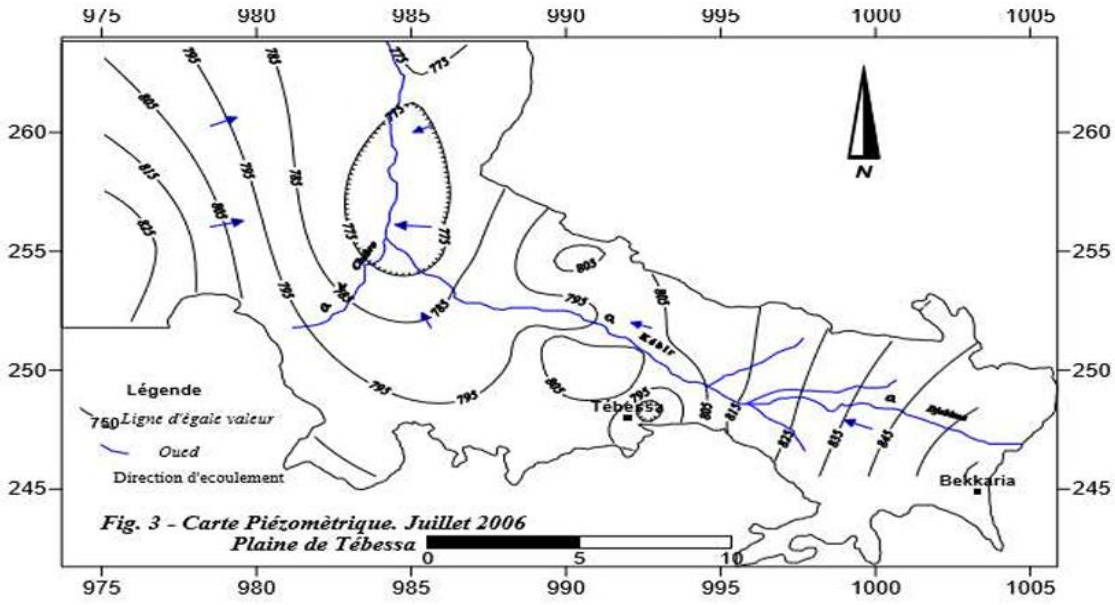


Figure 68 : Carte piézométrique la nappe de Tébessa (Juillet 2009) L. Djabri et al. / Larhyss Journal, 22 (2015).

c) . Interprétation de la carte piézométrique :

La mesure des niveaux piézométriques de 37 puits répartis dans la plaine de Tébessa montre que la majorité de ces puits sont des ouvrages imparfaits, implantés de manière irrégulière sur l'ensemble de la plaine. Ils sont principalement utilisés pour l'irrigation et les besoins domestiques. La profondeur de la nappe varie entre 1,6 m et 49,73 m.

L'analyse de la carte piézométrique (figure) met en évidence un écoulement général des eaux souterraines allant du Sud-Sud-Est en direction d'Aïn Chabro, puis vers le Nord, en direction de Morsott, ce qui confirme le sens d'écoulement reconnu dans la région. On observe un écoulement rapide au Sud-Sud-Est, avec un gradient hydraulique estimé à 0,03. Dans la zone Sud-Est, l'écoulement se dirige également vers le Nord, ce qui pourrait s'expliquer par une alimentation latérale provenant des calcaires du Maastrichtien de Hammamet, avec un gradient hydraulique moins marqué.

NN. Évolution des niveaux piézométriques dans le temps et l'espace :

Afin de mieux visualiser les variations des niveaux de la nappe souterraine dans la plaine, tant dans le temps que dans l'espace, des courbes d'évolution ont été tracées à partir des données piézométriques recueillies entre 2007 et 2020.

Ces courbes ont été établies en suivant un repère bien défini (x-y) sur les cartes piézométriques, selon un profil allant du Sud-Sud-Est vers le Nord-Nord-Ouest.

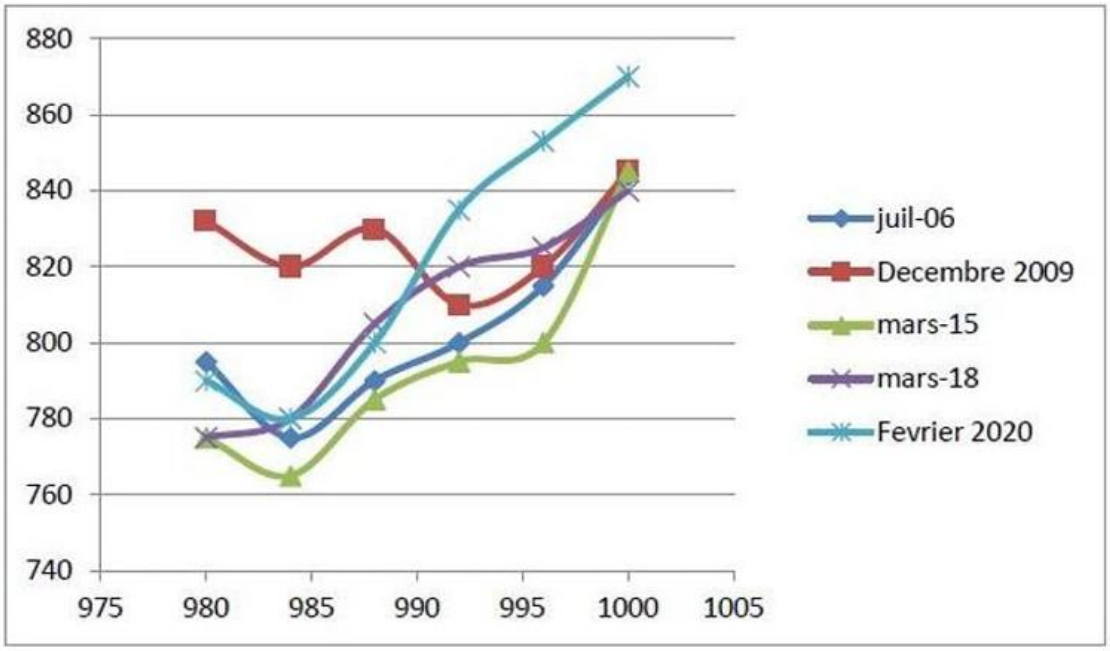


Figure 69 : la courbe d`évolution à l`échelle piézométrique spatiale et temporelle.

Le manque de recharge durant les périodes 2006-2015 et 2018-2020 a entraîné d'importantes fluctuations de la courbe d'évolution dans la direction nord-ouest. La nappe superficielle a été la plus affectée, allant jusqu'à l'épuisement dans certaines zones. Cette situation peut s'expliquer par une surexploitation des ressources ainsi que par des températures élevées.

En 2009, le niveau piézométrique a atteint une valeur significative de 830 m, ce qui traduit une année excédentaire. Le fait le plus marquant de cette situation est l'apparition d'un dôme piézométrique au niveau de l'Oued El Kebir. Cette élévation de la surface piézométrique résulte d'une recharge directe et importante de la nappe par les eaux de l'oued, via les puits domestiques situés à proximité.

En direction du Sud-Est, on observe que le niveau de la nappe profonde est resté relativement stable à 840 m durant les années 2007, 2009, 2015 et 2018. Cette stabilité s'explique par une alimentation directe continue à partir des formations situées en bordure. En février 2020, l'évolution de l'état piézométrique de la nappe profonde a montré une amélioration notable, en lien avec une recharge effective par les précipitations.

OO. Estimation des réserves :

Les réserves désignent le volume d'eau gravifique ou libérable stocké dans un horizon aquifère. On distingue généralement trois types de réserves : les réserves régulatrices, les réserves géologiques et les réserves potentielles.

Leur estimation repose sur la connaissance précise des structures hydrogéologiques ainsi que sur la détermination de la porosité efficace ou du coefficient d'emmagasinement de l'aquifère.

L'utilisation des courbes de tarissement permet une évaluation rapide des réserves.

Réserves régulatrices :
Elles correspondent au volume d'eau gravifique contenu dans l'aquifère, entre les niveaux piézométriques maximal et minimal. L'amplitude entre ces deux niveaux définit l'épaisseur utile notée Dh.

a) Calcul des réserves potentielles :

Les réserves potentielles représentent l'ensemble du volume d'eau gravifique stocké dans l'horizon aquifère, depuis le substratum jusqu'au niveau de la surface piézométrique maximale. Elles correspondent donc à la somme des réserves régulatrices et des réserves géologiques (voir figure 69).

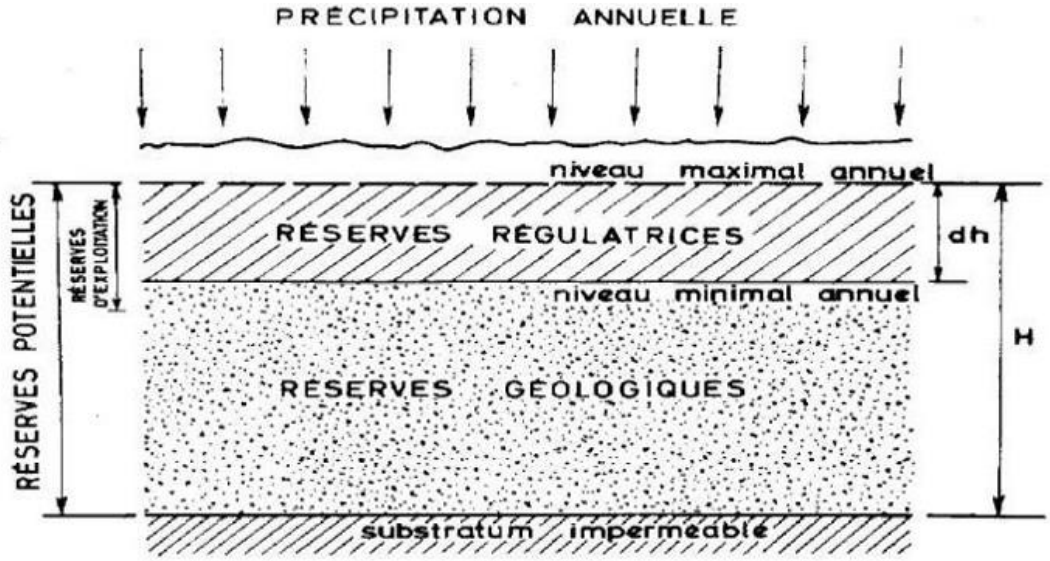


Figure 70 : Détermination des réserves en nappe libre sur l'année hydrologique. Dh, amplitude de la fluctuation de la surface piézométrique au cours de 1'année hydrologique

b) Détermination de la structure hydrogéologique :

Cette étape consiste à estimer le volume de l'aquifère compris entre deux surfaces : la piézométrique maximale et la piézométrique minimale. Les mesures de niveaux réalisées dans les puits, les forages et les piézomètres — qui constituent l'un des objectifs principaux de l'inventaire des ressources en eau — permettent l'élaboration de cartes à courbes isopièzes représentant chaque surface libre.

L'analyse de ces cartes permet également de produire des cartes isopachiques, illustrant l'épaisseur de la nappe. Toutefois, le calcul du volume devient complexe en raison des déformations non uniformes de la surface piézométrique, entraînant des variations à la fois de superficie et de l'amplitude des fluctuations (Dh).

Dans le cas d'une nappe régulière, comme celles des plaines alluviales, il est possible d'utiliser une surface moyenne et une amplitude moyenne Dh. En revanche, pour les cas plus complexes, la surface piézométrique doit être calculée par planimétrie sur les cartes à courbes isopièzes, en utilisant les mêmes méthodes que celles appliquées dans les études topographiques.

L'amplitude moyenne Dh est également déterminée à partir des cartes isopièzes et des profils piézométriques.

c) Détermination de la porosité efficace :

La porosité efficace, notée *me*, correspond au rapport entre le volume d'eau gravitaire et le volume total (eau + solides). Dans le cas des nappes libres, sa valeur est généralement proche de celle du coefficient d'emmagasinement(5).
Elle peut être déterminée en laboratoire à partir d'échantillons, ou directement sur le terrain. Cependant, comme l'objectif est d'obtenir une valeur moyenne représentative de tout l'horizon aquifère, les mesures de terrain sont souvent préférées, car elles offrent des résultats plus globaux et exploitables.

Sur le terrain, cette porosité est principalement estimée à travers des essais de pompage, en analysant les débits.

d) Calcul de la réserve :

La puissance de l'horizon aquifère est estimée à partir de l'amplitude moyenne (*Dh*) des fluctuations de la surface piézométrique observées durant l'année hydrologique considérée.

Le volume unitaire de la réserve, noté *DR*, peut alors être calculé en tenant compte de la porosité efficace moyenne (*me*) selon la formule suivante :

- **DR = Dh /me**
- Où :
- **DR** : le volume unitaire de la réserve
- **Dh** : l9amplitude (hauteur) moyenne
- **me** : porosité efficace moyenne

♦ Calcul de la profondeur moyenne du substratum :
La profondeur minimale du substratum est estimée à environ 30 m, selon les résultats des sondages géoélectriques K-H et W-7, situés respectivement au niveau de la bordure nord-centre de la partie nord-est de la plaine.

La profondeur maximale atteint environ 320 m, relevée au niveau du sondage géoélectrique P3-4, situé près de la bordure sud-centre de la plaine.

La profondeur moyenne du substratum est donc calculée comme suit :
30+320 =→ 350 350/2 = 175m

♦ Calcul de la profondeur moyenne de la piézométrie :
La profondeur minimale de la nappe est d'environ 1,2 m, mesurée au niveau du puits n° P28.
La profondeur maximale est de l'ordre de 69,7 m, enregistrée au niveau du puits n° P8F.

La profondeur piézométrique moyenne est donc :
1.2+69.7= 70.9→ 70.9/2 = 35.45 m

Par curvimètre et par planimétrie on a déterminé :

- Le périmètre (P) du sous bassin : P = 123Km.

- La surface (S) : S = 288Km².

- La surface (S) : S = 288 00

- **Le coefficient d'emmagasinement :**

Le coefficient d'emmagasinement se définit comme le rapport entre le volume d'eau libéré (ou emmagasiné) par unité de volume d'un aquifère, suite à une variation de charge hydraulique (baisse de pression), indépendamment de toute notion de temps.

Ce paramètre permet d'évaluer plus précisément le volume d'eau exploitable par un forage, et il est généralement déterminé à partir d'essais de pompage.

Dans un aquifère libre, tel que celui de la plaine de Tébessa – objet de la présente étude – l'eau est libérée principalement sous l'effet des forces gravitationnelles (drainage). Dans ce cas, le coefficient d'emmagasinement est, en pratique, équivalent à la porosité efficace et son interprétation ne dépend pas du facteur temps.

Les valeurs habituelles de ce coefficient varient de 1 % pour certains limons fins à 30–40 % pour des formations alluviales grossières.

Les études antérieures menées dans la région ont permis d'estimer 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 calcule des réserves : pour les valeurs minimales

PP. **Carte de la variation du paramètre de transmissivité :**

La carte de transmissivité met en évidence une zone préférentielle située dans le secteur d'Aïn Chabro, où les valeurs atteignent jusqu'à **5×10^{-2} m³/s**. Cette zone regroupe les forages d'exploitation les plus productifs, avec des débits élevés.

On observe une bonne concordance entre la carte des transmissivités et celle des résistances transversales, soulignant une zone transmissive significative au niveau d'Aïn Chabro et d'El Hammamet. Ces secteurs, caractérisés par un remplissage alluvial grossier, présentent un fort potentiel hydrogéologique.

En revanche, les régions de Bekkaria ainsi que la zone intermédiaire entre Tébessa et Aïn Chabro présentent des valeurs de transmissivité allant de faibles à moyennes.

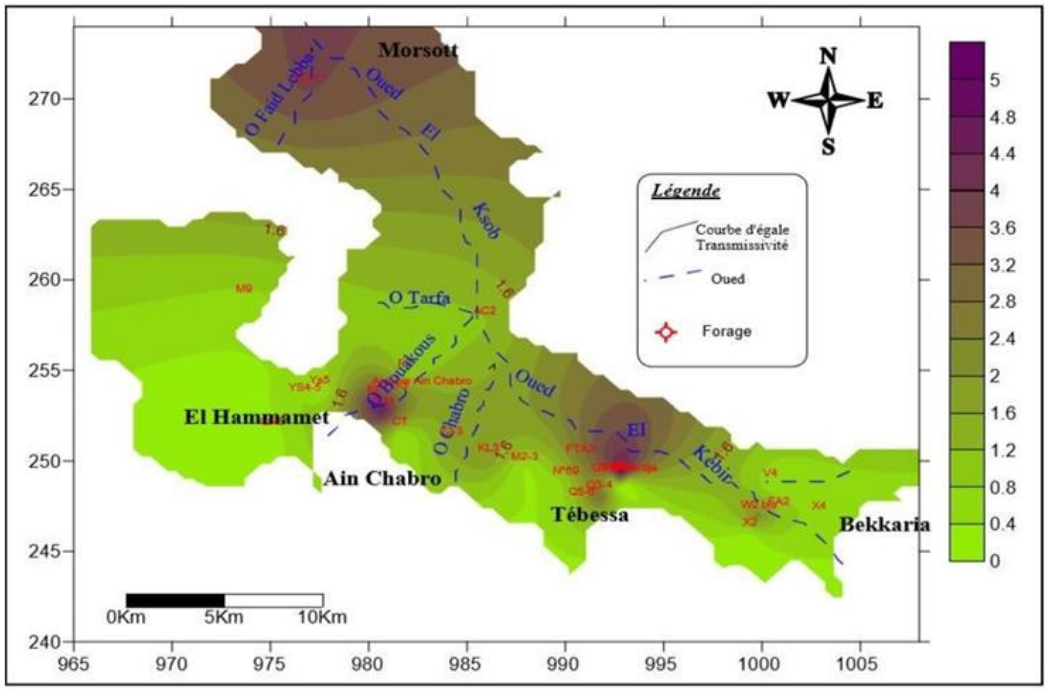


Figure 71 : Valeurs des transmissivitésT(m2/s) et perméabilités K(m/s) moyennes - Méthode de (Theis , Jacb, Chow).

Tableau 37 : les résultats des essais de pompage de la station d'étude (hydraulique de Tébessa)

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 (m3/s)	30	30	15.64	5	30	30	20	30

QQ. **Conclusion :**

L'analyse hydrogéologique de la région étudiée a révélé que l'écoulement des eaux souterraines se fait généralement du sud-est vers le nord-ouest et le nord.

Le drainage de la nappe superficielle est assuré principalement par l'oued El Kebir et ses affluents. L'alimentation en eau souterraine provient essentiellement des bordures calcaires situées au sud et au nord de la région, contribuant activement à ce drainage.

Par ailleurs, les valeurs des paramètres hydrodynamiques, tels que la transmissivité et la perméabilité, sont relativement élevées dans les zones de Tébessa et d'Aïn Chabro, ce qui témoigne d'un bon potentiel d'exploitation.

CHAPITRE IV :

Hydrochimique

I. La région d'EL Malabiod

RR. INTRODUCTION :

L'étude de la chimie des eaux souterraines permet de déterminer leurs faciès chimiques, d'évaluer leur qualité pour la consommation humaine ainsi que leur aptitude à l'irrigation. Elle constitue également un outil essentiel pour suivre les variations spatiales des paramètres chimiques et en comprendre l'origine**.**

La composition chimique des eaux souterraines dépend principalement de la nature lithologique des formations géologiques traversées, du mode de circulation de l'eau et du temps de séjour dans le milieu souterrain. Ces interactions influencent les concentrations des éléments majeurs tels que le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), le sodium (Na^{+}), le potassium (K^{+}), le chlorure (Cl^{-}), le sulfate (SO_4^{2-}) et le bicarbonate (HCO_3^{-}).

Les concentrations de ces éléments sont également modulées par divers facteurs, notamment les conditions climatiques, les activités anthropiques, ainsi que les échanges entre les aquifères et les eaux de surface.

Ce chapitre est consacré à l'étude du chimisme des eaux souterraines, dans le but d'analyser le comportement des éléments chimiques, d'en identifier l'origine, et de suivre leur évolution, afin de mieux comprendre le fonctionnement hydraulique du système aquifère.

Tableau 38 : Caractères chimiques des eaux de sources de la région EL MALABIOD (ANRH)

Forage	Date de prélèvement	Paramètres chimiques							
		Cations (mg/l)				Anions (mg/l)			
		Ca^{+2}	Mg^{+2}	K^{+}	Na^{+}	Cl^{-}	HCO_3^{-}	SO_4^{-2}	NO_3^{-}
M2	1974	120	29	03	80	105	136	284	128
M4	1977	108	29	06	60	115	177	160	96
M5	1997	142	23	04	76	65	250	262	60
M7	1980	48	92	07	26	140	201	96	08
M8	1982	118	28	08	76	80	250	224	40
M9	1983	102	37	5	72	140	244	132	39
M13	1988	68	24	02	70	100	153	154	22
M14	1988	130	16	01	38	65	220	180	30
M18	2016	49.35	6.97	5.34	19.33	45.69	89.96	51.23	08.23

SS. Vérification de la balance ionique :

Afin de valider la fiabilité des analyses chimiques, il est essentiel que la balance ionique soit équilibrée, en tolérant une marge d'erreur acceptable de 5 %. Un déséquilibre dans

Cette balance peut résulter soit d'erreurs analytiques, soit d'une minéralisation atypique de l'eau.

La balance ionique repose sur le principe fondamental de l'électroneutralité, selon lequel la somme des concentrations des cations majeurs doit être équivalente à celle des anions majeurs. Toute divergence significative entre ces deux sommes peut indiquer un problème dans les données ou révéler la présence d'ions non analysés ou de réactions géochimiques spécifiques :

Cl- + SO42- + NO3-+ HCO3- = Ca2+ + Mg2+ + Na++ K+ (en meq/l)

L'erreur est donnée par la formule suivante : (∑ anions - ∑ cations) / (∑ cations + ∑ anions) * 100

La limite pour une analyse exploitable est fixée à un écart maximal de 10%

- - 1% < BI < 1% : Fiabilité des résultats d'analyses excellente.
- - 5% < BI < 5% : Fiabilité des résultats d'analyses acceptable.
- BI < -10% ou BI > 10% : Mauvaise fiabilité des résultats d'analyses.

TT.**Matériels et moyens d'analyse :**

Les analyses réalisées portent principalement sur les éléments chimiques majeurs. Différentes méthodes analytiques ont été employées selon la nature des éléments à doser.

Le dosage colorimétrique a été utilisé pour la détermination des nitrates (NO_3^-) et de l'ammonium (NH_4^+), tandis que la méthode néphélométrique, après précipitation par le chlorure de baryum, a servi à l'analyse des sulfates (SO_4^{2-}). La spectrophotométrie d'absorption atomique a permis la quantification des éléments suivants : sodium (Na^+), potassium (K^+), calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}), silice (SiO_2), chlorures (Cl^-), strontium (Sr^+), zinc (Zn) et plomb (Pb).

Par ailleurs, les paramètres physiques de l'eau tels que la température, le pH et la conductivité électrique ont été mesurés in situ à l'aide d'une sonde multiparamètres de type WTW.

UU. **Les Paramètres mesurés in situ :**

Les paramètres mesurés in situ correspondent à l'ensemble des variables physico-chimiques susceptibles de fluctuer entre le site d'échantillonnage et le laboratoire. Ces paramètres incluent notamment :

- **La température**, mesurée à l'aide de la sonde thermique intégrée au conductimètre ;
- **La conductivité électrique**, déterminée à l'aide d'un conductimètre portatif ;
- **Le pH**, mesuré au moyen d'un pH-mètre portatif adapté aux conditions de terrain
- L'oxygène dissous, évalué à l'aide d'un oxymètre de terrain.

VV. **Les paramètres mesurent au laboratoire :**

En plus des paramètres physiques mesurés sur terrain, l'analyse au laboratoire a porté sur les ions majeurs :

- Anions: Cl-, HCO3-, SO4-.

- Cations: Ca2+, Mg2+, Na+, K+. Li, Ba.

Trois méthodes d'analyses ont été utilisées pour déterminer les concentrations des différents éléments chimiques. Le dosage de la teneur des bicarbonates, des chlorures par titrimétrie. Les Cations ont été

dosés soit par absorption atomique à flamme (Perkin Elmer, 1100B) soit par titrage potentiométrique (RODIER1996 et SACHENBERG S. et al. 1992).

WW. Evaluation de la qualite des eaux souterraines :

a) Description des paramètres physico-chimiques :

Température de l'eau :

La température de l'eau est un paramètre influencé principalement par le climat local et la profondeur des nappes. Elle joue un rôle essentiel dans la différenciation entre les eaux de surface et les eaux souterraines, et intervient également dans la régulation de la solubilité des sels et des gaz dissous.

Dans le cadre de cette étude, les températures mesurées sur l'ensemble des forages analysés varient entre 21,0 °C et 21,8 °C. Ces valeurs demeurent inférieures à la limite fixée par les normes algériennes relatives à la qualité des eaux souterraines, qui est de 25 °C. Ainsi, l'ensemble des échantillons respecte la norme en vigueur pour ce paramètre.

b) Potentiel d'hydrogène (pH) :

Le pH est un paramètre physico-chimique fondamental qui permet d'évaluer le caractère acide ou basique de l'eau. Il constitue un indicateur essentiel de la qualité de l'eau, notamment en ce qui concerne sa potabilité.

Les mesures effectuées sur l'ensemble des puits étudiés révèlent que les valeurs de pH se situent dans l'intervalle conforme aux normes de potabilité. Durant la période de hautes eaux, le pH varie entre 7,0 et 7,7, tandis qu'en période de basses eaux, il oscille entre 7,1 et 7,8. Cette légère variation saisonnière indique une stabilité relative du pH, avec des valeurs globalement proches de la neutralité et conformes aux seuils réglementaires.

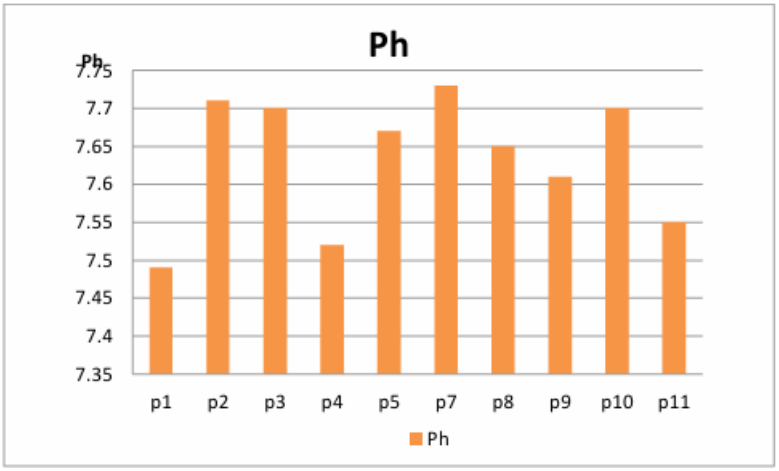


Figure 72 : Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique est définie comme la capacité d'une eau (ou d'un matériau) à permettre le passage d'un courant électrique. Elle constitue un indicateur indirect de la minéralisation de l'eau, dans la mesure où elle est directement proportionnelle à la concentration en sels dissous.

Les valeurs de conductivité sont généralement rapportées à une température de référence proche de 20 °C, afin d'assurer la comparabilité des résultats. Elles sont exprimées en microsiemens par centimeter (µS/cm).

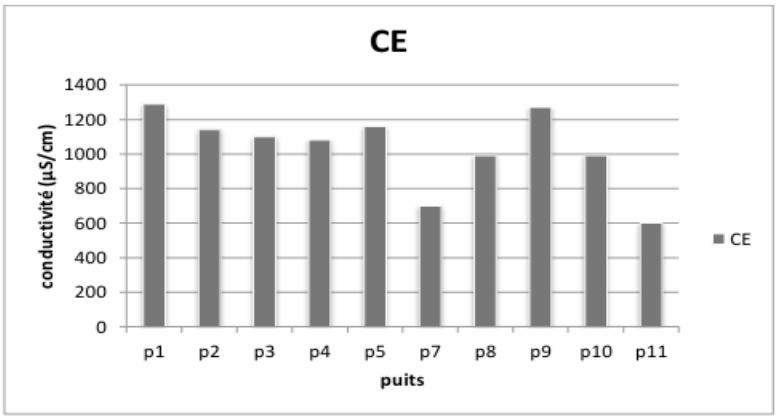


Figure 73 : Variation de la conductivité des puits étudiés en (µS/cm)

Les valeurs de conductivité mesurées dans les 11 puits étudiés varient entre 61,8 µS/cm et 99,2 µS/cm. Ces valeurs sont largement inférieures à la limite fixée par la norme algérienne de potabilité, établie à 2800 µS/cm.

Ces faibles valeurs traduisent un **très faible degré de minéralisation**, ce qui reflète une eau peu chargée en sels dissous. D'après l'analyse graphique, il est possible de conclure que **la qualité de ces eaux est excellente** du point de vue de la conductivité électrique.

Tableau 39 : Classification des eaux de boisson en fonction de la conductivité. (Journal officiel de la république algérienne)

Conductivité (µS/cm)	Degré de Minéralisation	Qualité de l'eau
C<100	Très faible	Excellente
100<C<200	Faible	Excellente
200<C<400	Peu accentue	Excellente
400<C<600	Moyenne	Bonne
600<C<1000	Importante	Utilisable
C>1000	Excessive	Utilisable

XX. Paramètres et facies chimiques :

Les différentes méthodes d'analyse auxquelles a été fait recours, étaient utilisées dans une fin de déceler beaucoup plus les éléments chimiques majeurs dont :

- NO2-, NO3-, SO4-. Comme anions

- Ca2+, Mg2+, Na+, K+ comme cations

Et ce, pour déterminer les caractéristiques physico-chimiques des eaux du bassin d'El MALABIOD.

YY. DETERMINATION DES FACIES HYDROCHIMIQUES :

a) Représentation graphique et identification des faciès :

Afin de mieux identifier les faciès chimiques et d'évaluer la qualité des eaux souterraines ainsi que son évolution spatio-temporelle, la représentation graphique des résultats d'analyse constitue un outil essentiel.

Dans ce cadre, nous avons adopté cette approche en choisissant des diagrammes classiques de représentation, notamment **les diagrammes de Schoeller-Berkaloff** et **de Piper**, qui permettent de mieux caractériser les propriétés hydrochimiques des eaux étudiées et de visualiser les tendances dominantes en matière de composition ionique.

a Diagramme de Schoeller-Berkallof :

Le diagramme de Schoeller, repris et modifié par Berkaloff, constitue un outil graphique d'interprétation hydrochimique basé sur une échelle logarithmique.

Sur l'axe des abscisses, les concentrations des principaux ions sont représentées en **mg/L**, dans l'ordre suivant de gauche à droite : **Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, Cl^{-}, SO_4^{2-}, HCO_3^{-}**. Les valeurs correspondantes à chaque ion sont reportées sous forme de points, puis reliées par une **ligne brisée**, permettant ainsi une **visualisation rapide et comparative** des caractéristiques chimiques de plusieurs échantillons d'eau.

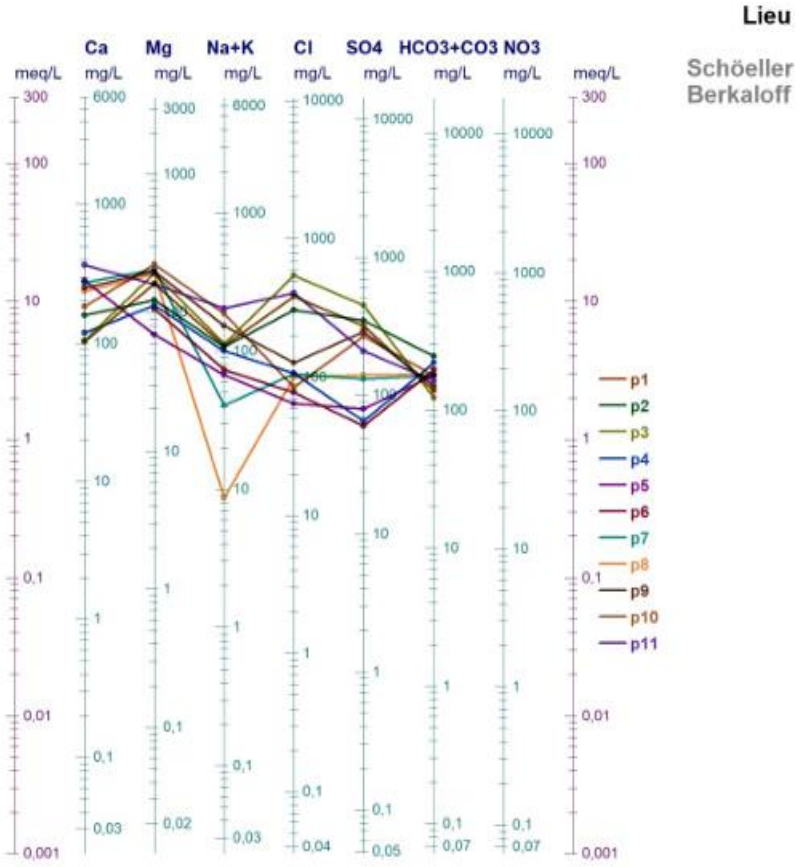


Figure 74 : Diagramme de Schoeller Berkalof. Période, (2021)

Le diagramme de l'année 2021 met en évidence un faciès chimique dominant de type sulfaté calcique, attribuable principalement à la **dissolution du gypse** présent dans les alluvions, ou résultant du **lessivage des formations marneuses ou triasiques** situées en bordure, notamment au niveau du **Djebel Dalaâ**.

En second lieu, on observe un **faciès bicarbonaté calcique**, lié à la circulation des eaux au sein des **formations calcaires périphériques**. Enfin, un **troisième faciès, de type chloruré calcique**, est également identifié.

Les **concentrations élevées en chlorures et en sulfates** relevées dans certains échantillons témoignent d'un **état de pollution probable**, en lien avec les **activités anthropiques**, en particulier dans la **zone sud de la plaine**.

b) Classification chimique des eaux selon diagramme de piper :

Le diagramme de Piper se compose de deux triangles distincts représentant, respectivement, la répartition des cations et celle des anions, ainsi que d'un losange central qui synthétise la distribution globale des ions majeurs.

Les **concentrations ioniques** de chaque échantillon sont projetées dans les triangles, puis transférées dans le losange afin d'illustrer le **faciès chimique global**. Les **nuages de points** qui se concentrent dans certaines zones du diagramme traduisent des **compositions ioniques similaires** entre les différents échantillons, permettant ainsi de regrouper les eaux selon leurs caractéristiques chimiques.

Dans cette étude, l'analyse des résultats hydrochimiques projetés sur le diagramme de Piper, pour les différentes périodes d'observation, permet de mieux cerner le **faciès chimique des eaux souterraines de la région**, d'en **suivre l'évolution temporelle**, et de **comprendre les mécanismes d'acquisition de ces faciès**, qu'ils soient d'origine géologique ou anthropique.

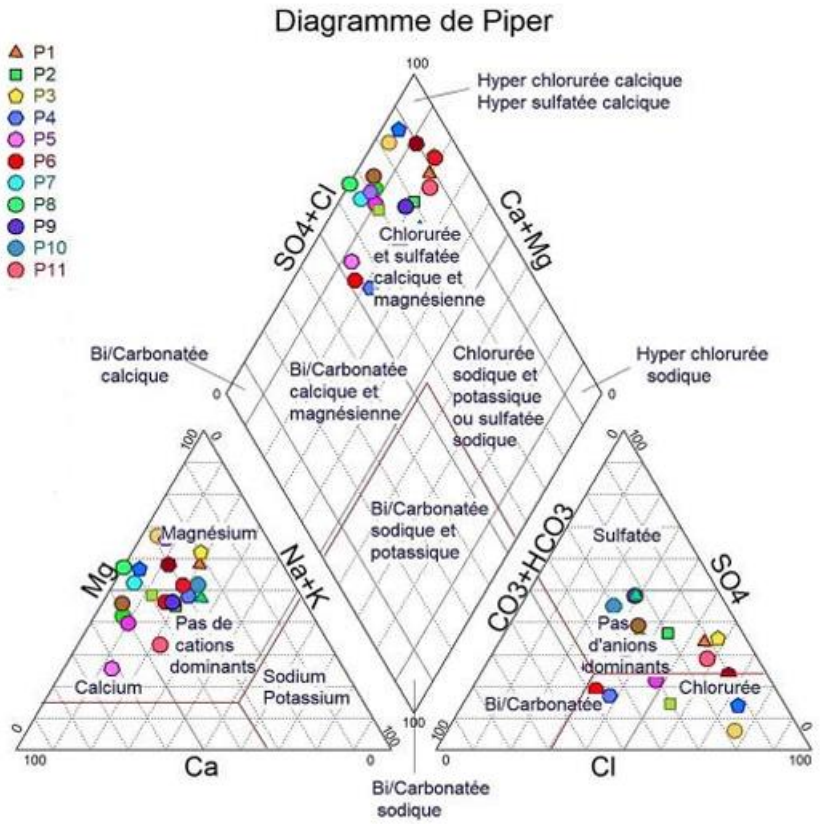


Figure 75 : Diagramme de Piper. (2021)

Les diagrammes globaux confirment les faciès hydrochimiques identifiés dans la région :

- **Le faciès chloruré calcique** est principalement issu des **formations alluvionnaires et gypsifères**, par **échange de bases** entre le sodium et le calcium. Les ions **Cl^-** et **Ca^{2+}** entraînent ainsi une **minéralisation accrue** des eaux. Le **faciès sulfaté calcique et magnésien** se manifeste quant à lui **au sud et à l'est**, en lien avec la mise en solution du **gypse** provenant des formations **triasiques**.
- Le **faciès sulfaté calcique**, largement répandu **à l'ouest, au nord-est et au sud** de la nappe, est associé à la dissolution des **argiles gypsifères triasiques** et des **formations évaporitiques**. En revanche, les **formations carbonatées du Crétacé**, situées en bordure de la nappe, sont responsables de l'apparition du **faciès bicarbonaté calcique**. Le **faciès chloruré calcique** observé par ailleurs trouve son origine dans les **marnes gypsifères emschériennes**, qui constituent le substratum de la région.

- Il convient de souligner que les eaux issues des **puits captant la nappe miocène** présentent une **relative stabilité des teneurs en éléments chimiques**, avec une **dominance ponctuelle du faciès bicarbonaté calcique**. Cette homogénéité chimique témoigne d'un apport significatif en eau provenant du **lessivage des formations calcaires périphériques**, ce qui confirme **l'origine géologique de l'alimentation de l'aquifère**.
- Enfin, on observe une **évolution notable des teneurs en chlorures** par rapport à la période précédente, notamment au **sud de la plaine**, dans la région de **El Ma El Abiod**, où des concentrations supérieures à la norme ont été relevées (**264 mg/L**). Cette augmentation est vraisemblablement due à des **phénomènes de lessivage et d'évaporation accrus**. En comparaison, les **teneurs les plus faibles en chlorures** sont enregistrées au **nord de la plaine**, avec des valeurs de l'ordre de **79 mg/L**.

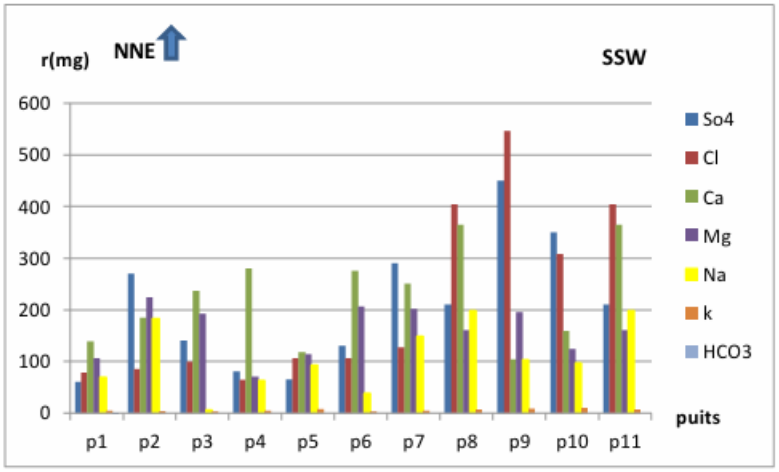


Figure 76 : Répartition spatiale des éléments chimiques

Les plus fortes concentrations des chlorures et calcium sont localisées au Sud (p8,p9.,p10,p11)de l'ordre de Cl - =546.2mg/l, Ca2+ =280.5 par contre au nord (p4,p5 ;p6,p7,p8) les concentrations n'excédant pas Cl-= 150 mg/l , Ca+2 =280 mg /l.

La répartition spatiale des éléments chimiques montre que le chimisme est fortement influencé par la lithologie de la nappe, suite à la dissolution des formations carbonatées et des formations évaporitiques.

ZZ. Conclusion :

L'étude et l'interprétation des données hydrochimiques des eaux souterraines et de surface dans la région d'**El Ma El Abiod** ont permis de tirer les conclusions suivantes :

Les eaux du bassin présentent des **caractéristiques physico-chimiques relativement variables**, avec :

- une **température** comprise entre **21 et 21,8 °C**,
- un **pH** variant de **7,8 à 8,4**,
- une **conductivité électrique** oscillant entre **61,8 et 85,54 µS/cm**.

Les **concentrations les plus élevées** en éléments dissous ont été observées **au sud du bassin**, atteignant jusqu'à **275 mg/L**, tandis qu'au **nord**, les teneurs restent faibles, ne dépassant pas **100 mg/L**. La carte de

la répartition du calcium (2020) montre également des **valeurs élevées au sud**, contrastant avec des valeurs **plus faibles au nord**, où les eaux, encore peu minéralisées, sont issues principalement de la **dissolution des formations carbonatées périphériques**. Cette évolution suit clairement **le sens d'écoulement des eaux souterraines**.

Il a été constaté que les **fortes concentrations coïncidentes avec la période des basses eaux**, suggérant une influence marquée du **phénomène d'évaporation** sur la minéralisation. La **répartition spatiale des éléments chimiques** met en évidence l'influence significative de la **lithologie de la nappe**, notamment la **dissolution des formations évaporitiques et carbonatées**.

Les **faciès dominants** identifiés sont de type **chloruré calcique**, avec par endroits une tendance **sulfatée calcique à magnésienne**. Dans l'ensemble, **la qualité des eaux est jugée bonne à admissible**, aussi bien pour **la consommation humaine** que pour **l'irrigation**, bien qu'un **suivi régulier de la salinité** soit recommandé.

L'analyse temporelle de la qualité des eaux met en lumière **l'impact des précipitations et de l'évaporation sur la minéralisation**, avec une évolution chimique qui suit le **sens d'écoulement général de la nappe**, comme en témoigne la **carte piézométrique**.

Enfin, une attention particulière doit être portée sur deux points de prélèvement :

- **Koriz**,
- **Rhorira**,
  qui présentent **des signes notables de pollution multiforme** et doivent faire l'objet d'un **suivi renforcé** pour éviter une dégradation plus large de la qualité des eaux souterraines du bassin.

II. La région de chéria

A. Introduction :

L'étude hydrochimique constitue un volet fondamental de l'analyse des systèmes aquifères, en complément aux investigations hydrogéologiques classiques. Elle permet d'évaluer la qualité des eaux souterraines, de déterminer leur origine, et de suivre leur évolution physico-chimique au cours du temps. Dans la région de Chéria, caractérisée par la présence de formations calcaires du Maestrichtien et de l'Éocène, ainsi que d'un aquifère Mio-Plio-Quaternaire en déclin, l'analyse chimique des eaux offre une lecture précieuse des interactions entre l'eau et le milieu réservoir. Cette étude vise à caractériser les faciès chimiques, identifier les éventuelles sources de pollution, et évaluer la potabilité ainsi que l'aptitude des eaux à l'irrigation.

B. . L'hydrochimie des aquifères :

L'analyse de la composition chimique des eaux souterraines constitue un outil fondamental en hydrogéologie. Elle représente une méthode de prospection simple mais efficace, venant en complément aux cartes piézométriques, et permettant d'établir des comparaisons entre différentes eaux. Elle contribue également à la compréhension des mécanismes d'alimentation, de drainage et d'écoulement au sein d'un aquifère ou d'une structure hydrogéologique donnée (Castany, 1968).

L'eau souterraine contient naturellement des substances minérales dissoutes, issues de l'interaction entre l'eau et le substrat géologique, ce que Castany (1982) appelle le « bruit de fond géochimique ». Cette composition résulte de plusieurs processus, tels que la dissolution, la précipitation ou les échanges ioniques entre l'eau et le milieu réservoir.

L'objectif de l'hydrochimie est de fournir des éléments permettant de reconstituer le cheminement géochimique suivi par l'eau, et d'expliquer l'origine de sa composition actuelle.

Les phénomènes hydrogéologiques et hydrochimiques étant intimement liés, le choix de la méthode d'étude dépend de la nature des données disponibles (qualité, quantité, répartition spatio-temporelle) ainsi que du type de problématique à traiter.

Dans ce cadre, cette section sera consacrée à la caractérisation hydrochimique des eaux souterraines karstiques, avec une attention particulière portée à l'identification de l'origine d'éventuelles pollutions. **.**

C. Les faciès chimiques :

Afin de mieux identifier les faciès chimiques des eaux souterraines de la région étudiée, une représentation graphique a été réalisée à l'aide du diagramme triangulaire de Piper (Fig. 50. a, b, c, d), en se basant sur les résultats analytiques issus des campagnes de septembre 2002, avril 2003, février et septembre 2005.

Cette représentation met en évidence une nette prédominance des faciès chloruré magnésien et chloruré calcique. Ces derniers dominent largement, au point de masquer le faciès bicarbonaté, malgré la présence notable de formations carbonatées dans la région, telles que les calcaires du Maastrichtien et de l'Éocène.

D. Représentation graphique sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff :

La représentation graphique sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff permet de classer les eaux souterraines de la région en fonction des concentrations des principaux éléments chimiques analysés. Cette méthode fournit des informations précieuses sur la qualité chimique des eaux.

En projetant ces données sur le diagramme de potabilité des eaux proposé par le B.R.G.M (1993), il est possible d'évaluer le degré de potabilité des eaux souterraines. Les résultats obtenus indiquent que les eaux de la région appartiennent à la classe de potabilité permanente, mais présentent une qualité chimique allant de médiocre à mauvaise (Fig. 62. a, b, c, d).

Les diagrammes présentés ci-après illustrent les résultats analytiques obtenus lors de chaque campagne de terrain.

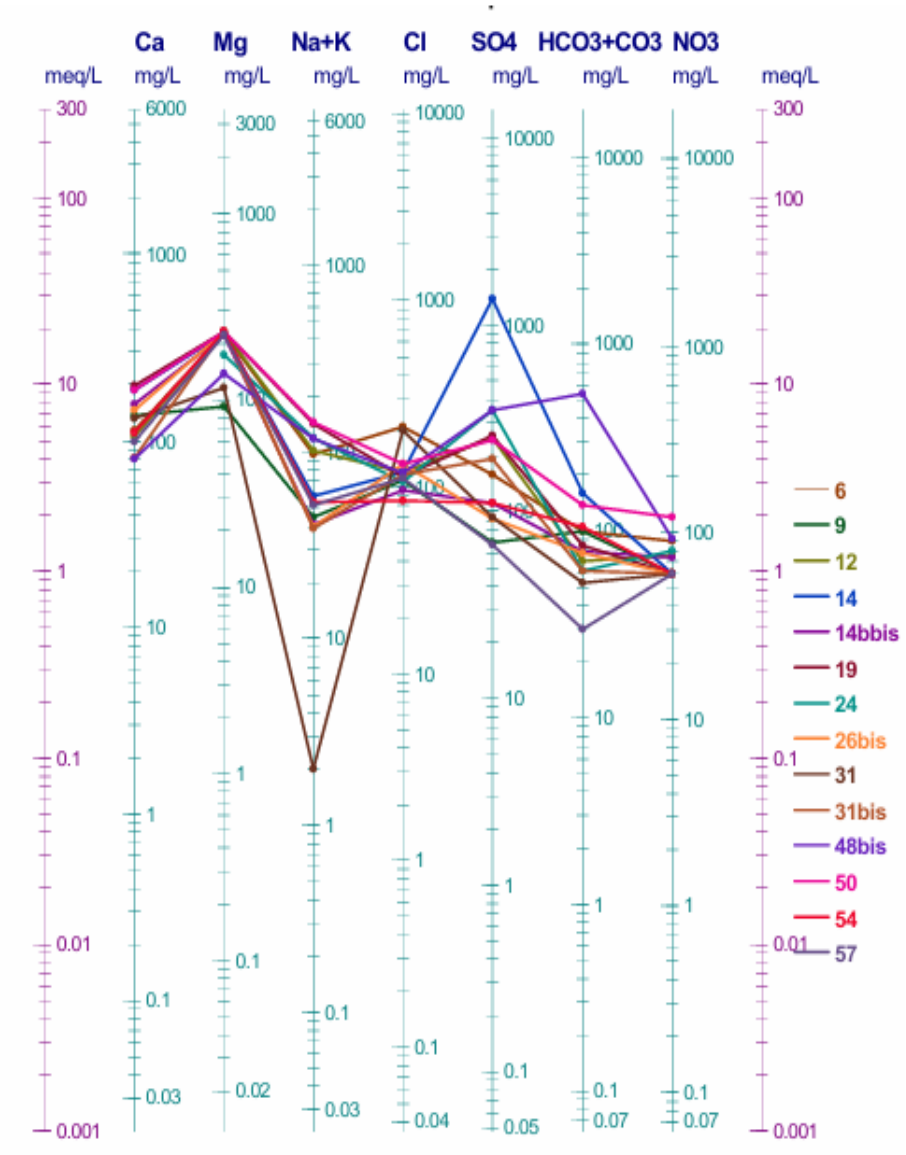


Figure 77 : Diagramme de Schoeller Berkalof. Période, septembre 2002

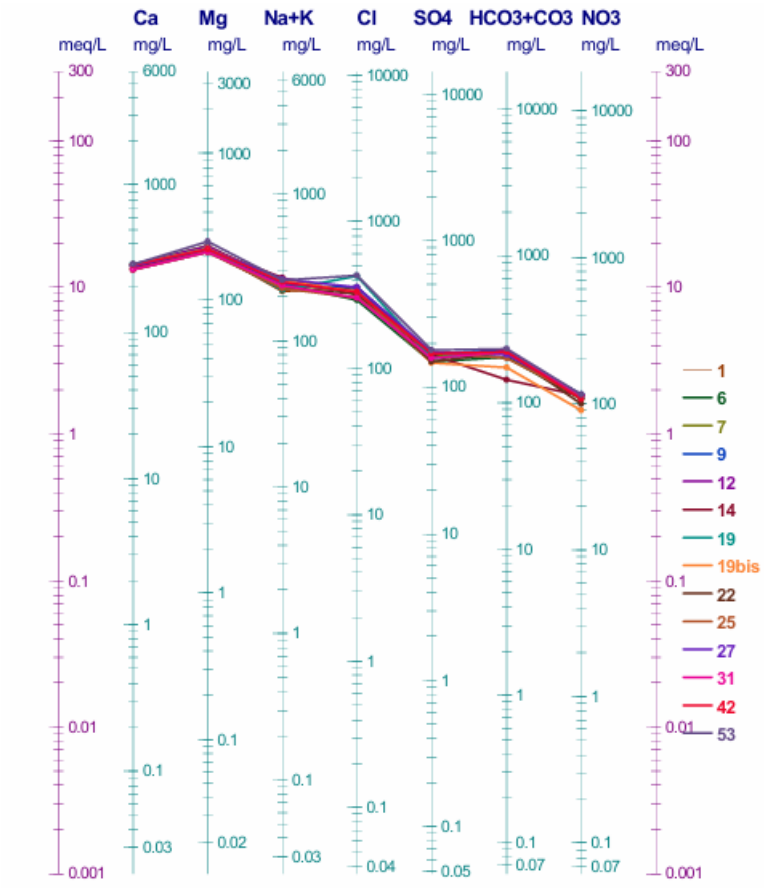


Figure 78 : Diagramme de Schoeller Berkalof. Période, septembre 2003

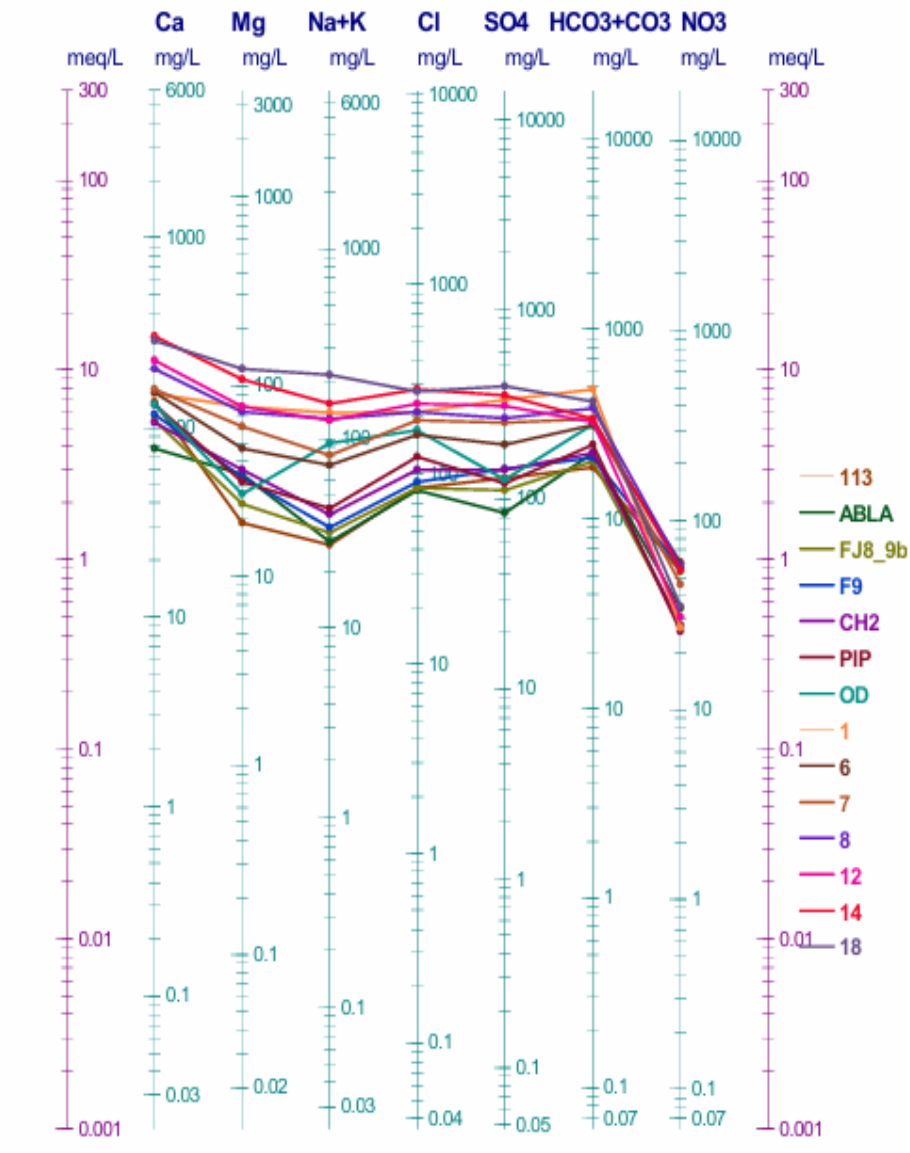


Figure 79 : Diagramme de Schoeller Berkalof. Période, Février 2005

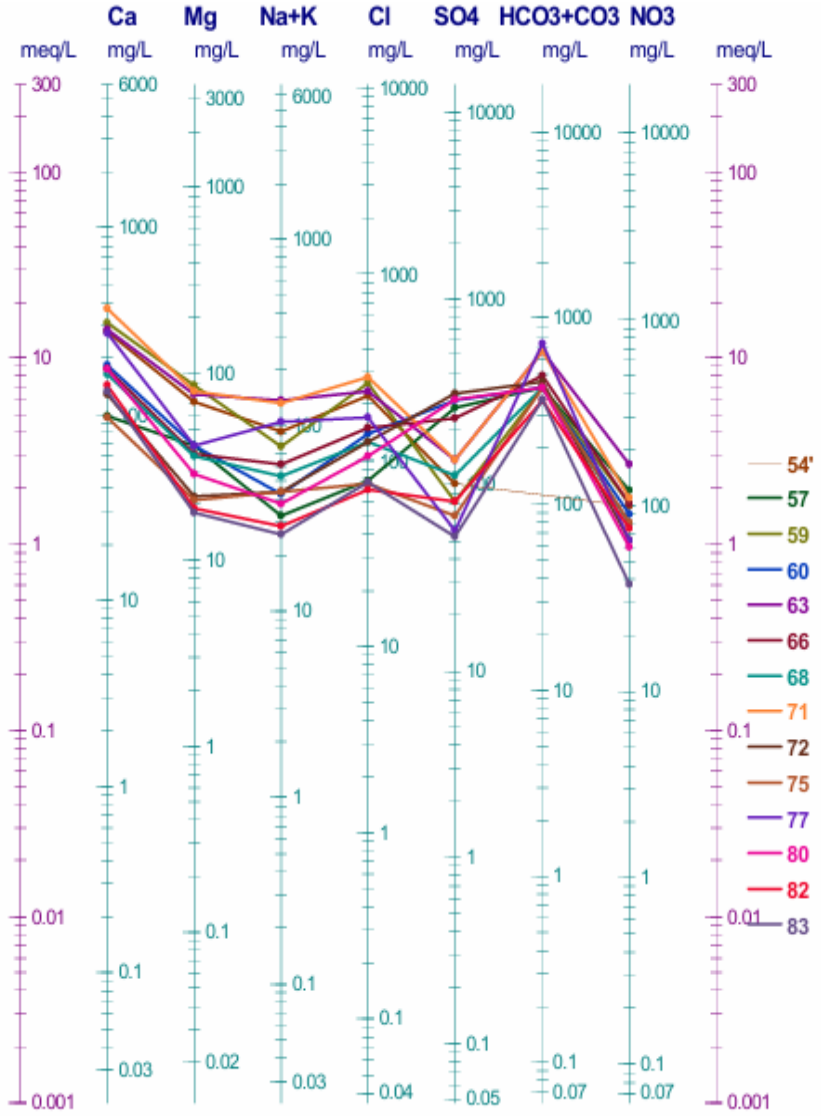


Figure 80 : Diagramme de Schoeller Berkalof. Période, Septembre 2005

E. Résultats de l'étude hydrochimique

Le plateau de Chéria est formé principalement de trois systèmes aquifères. Le premier, constitué par les calcaires du Maestrichtien, présente une perméabilité notable au niveau des bordures mais reste stérile au centre. Le second, le plus important pour la région et sa périphérie, est représenté par les calcaires de l'Éocène, dont l'épaisseur varie de quelques dizaines à une centaine de mètres. Le troisième aquifère, d'âge Mio-Plio-Quaternaire, a perdu tout intérêt hydraulique en raison de la sécheresse sévère qui a affecté la région au cours des dernières décennies.

Les cartes piézométriques établies à différentes périodes ont révélé un écoulement général des eaux souterraines orienté du Nord vers le Sud, avec un gradient hydraulique variable selon les périodes. Plusieurs dépressions piézométriques ont également été observées, pouvant être attribuées à un

surpompage ou à l'interférence entre différents horizons aquifères, souvent difficilement identifiables sur le terrain.

Le calcul des paramètres hydrodynamiques, notamment la transmissivité (T), effectué selon la méthode du BRGM (1993), a donné des résultats significativement différents de ceux obtenus par les méthodes de Theis et Jacob.

L'étude hydrochimique a permis de dégager plusieurs constats majeurs :

Une salinité élevée, particulièrement marquée dans la partie aval (sud) du bassin, traduite par des valeurs excessives de conductivité électrique.

Des concentrations élevées de la majorité des éléments chimiques analysés, notamment dans la zone sud de la région.

Une prédominance des faciès chimiques chlorurés magnésiens ou calciques.

Une qualité des eaux classée comme médiocre à mauvaise selon le diagramme de potabilité du BRGM.

En ce qui concerne l'usage de ces eaux pour l'irrigation, elles peuvent être considérées comme :

Acceptables pour les cultures tolérantes aux sels, à condition que les sols soient bien drainés et que l'évolution de la salinité soit régulièrement contrôlée ;

Ou fortement minéralisées, convenant uniquement à certaines espèces très tolérantes au sel, sur des sols bien drainés et régulièrement lessivés.

F. Conclusion :

L'analyse hydrochimique des eaux souterraines de la région de Chéria a révélé plusieurs aspects essentiels pour la gestion de la ressource. Les eaux présentent une minéralisation élevée, avec une dominance des faciès chlorurés magnésiens et calciques. La qualité est

Globalement médiocre à mauvaise selon les normes du diagramme de potabilité du BRGM, particulièrement dans la zone sud, marquée par une forte salinité. Ces résultats témoignent d'une altération chimique significative liée aux interactions prolongées entre l'eau et les formations géologiques traversées. Bien que certaines eaux puissent être utilisées pour l'irrigation, cela reste limité à des cultures tolérantes aux sels, dans des conditions strictes de gestion des sols. Cette étude souligne l'importance de surveiller régulièrement l'évolution chimique des eaux souterraines pour préserver leur usage durable.

III. Région de Tébessa

A. Introduction :

Dans le cadre de l'évaluation de la qualité chimique des eaux souterraines, l'étude hydrochimique représente un outil fondamental permettant de comprendre les processus géochimiques intervenant dans la composition des eaux et leur évolution spatiale et temporelle. La présente étude, réalisée sur cinq sources situées dans la région d'étude, a pour objectif d'identifier les faciès chimiques dominants, de déterminer les origines potentielles des éléments dissous, et d'évaluer la potabilité chimique de ces eaux en fonction des saisons et de l'environnement géologique local.

B. Représentation graphique et détermination des faciès chimiques :

Afin d'avoir une vision plus claire et une meilleure identification des faciès chimiques ainsi que de la qualité des eaux (souterraines et de surface) et de leur évolution, la représentation graphique des résultats d'analyses s'avère être un outil indispensable.

Dans cette optique, nous avons adopté cette approche dans notre étude en ayant recours à différents types de diagrammes, tels que ceux de Piper, Schoeller-Berkaloff, Stiff ainsi que les diagrammes de potabilité, afin de mieux caractériser et comprendre les spécificités des eaux analysées.

Interprétation des résultats à l'aide du diagramme de Piper

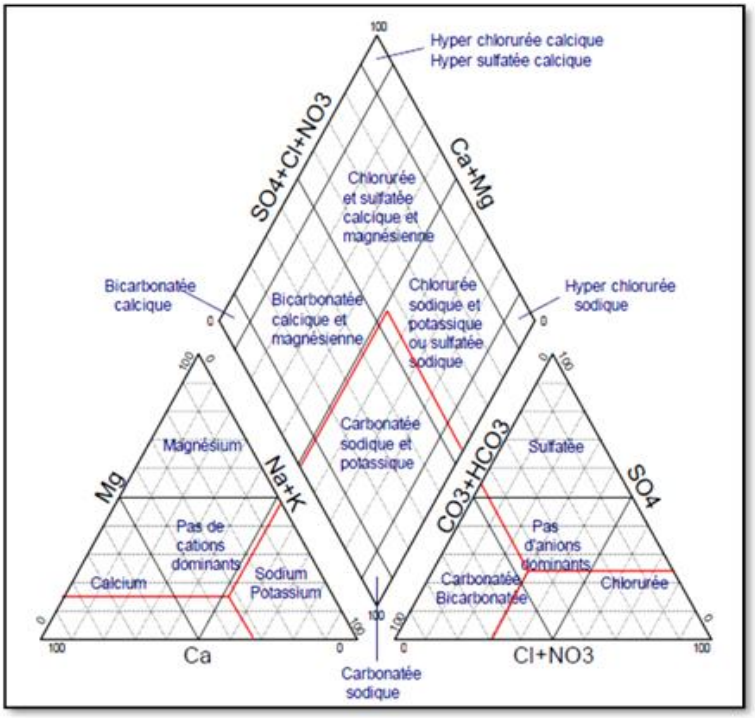
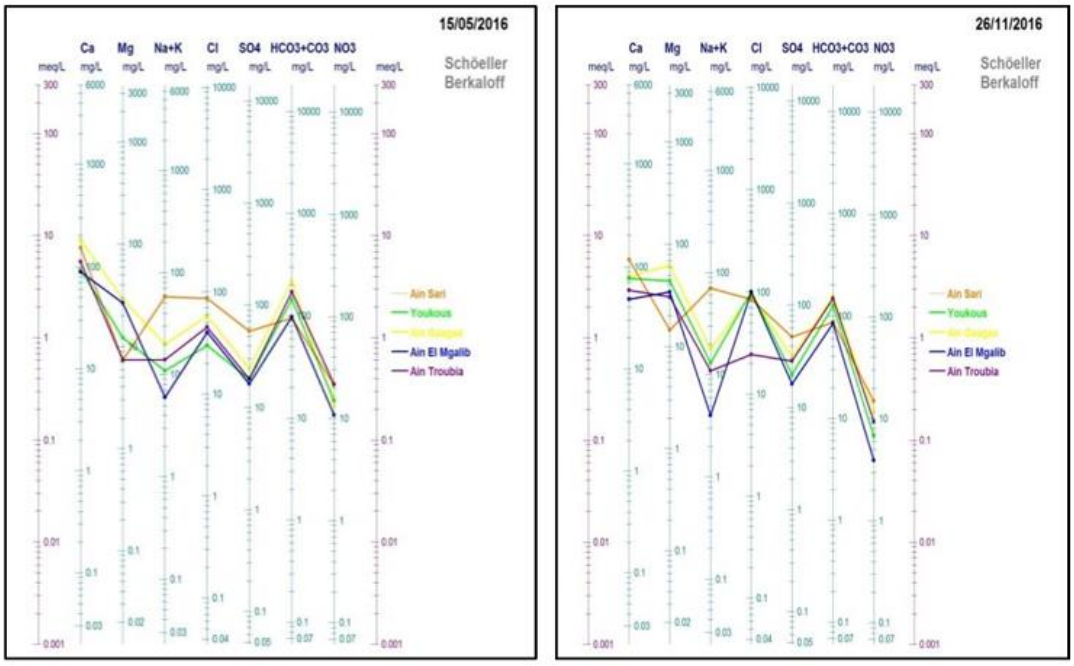


Figure 81 : Diagramme de Piper. Présentation générale

Le diagramme de Piper (Fig. 68) permet de représenter simultanément plusieurs échantillons d'eau. Il se compose de deux triangles, l'un dédié aux cations et l'autre aux anions, ainsi que d'un losange central qui synthétise le faciès hydrochimique global.

Les regroupements de points au sein d'un même pôle traduisent, pour les différents échantillons, la prédominance de certaines combinaisons cationiques et anioniques.

Ce diagramme est particulièrement utile pour étudier l'évolution des faciès chimiques des eaux en fonction de la minéralisation croissante, ou encore pour comparer différents groupes d'échantillons entre eux, en mettant en évidence les types dominants de cations et d'anions



C. **Interprétation des résultats à l'aide du diagramme de Schoeller-Berkaloff :**

Ce type de représentation, développé par Schoeller et repris par Berkaloff, consiste à porter sur un papier semi-logarithmique les concentrations en équivalents des principaux cations et anions sur l'axe des ordonnées, tandis que les éléments chimiques sont disposés à intervalles réguliers sur l'axe des abscisses, et ce pour chaque point de prélèvement.

Le diagramme établi pour la période d'étude (Fig. 81) met en évidence un faciès dominant bicarbonaté calcique, traduisant une minéralisation principalement liée aux ions HCO_3^- et Ca^{2+}. On note également, de manière secondaire, la présence d'un faciès chloruré calcique.

Ainsi, l'ensemble des cinq sources analysées présente un faciès chimique similaire.

Les caractéristiques chimiques observées des eaux souterraines locales résultent essentiellement des interactions entre ces eaux et les roches encaissantes environnantes, comme l'ont souligné Rouabhia et al. (2009).

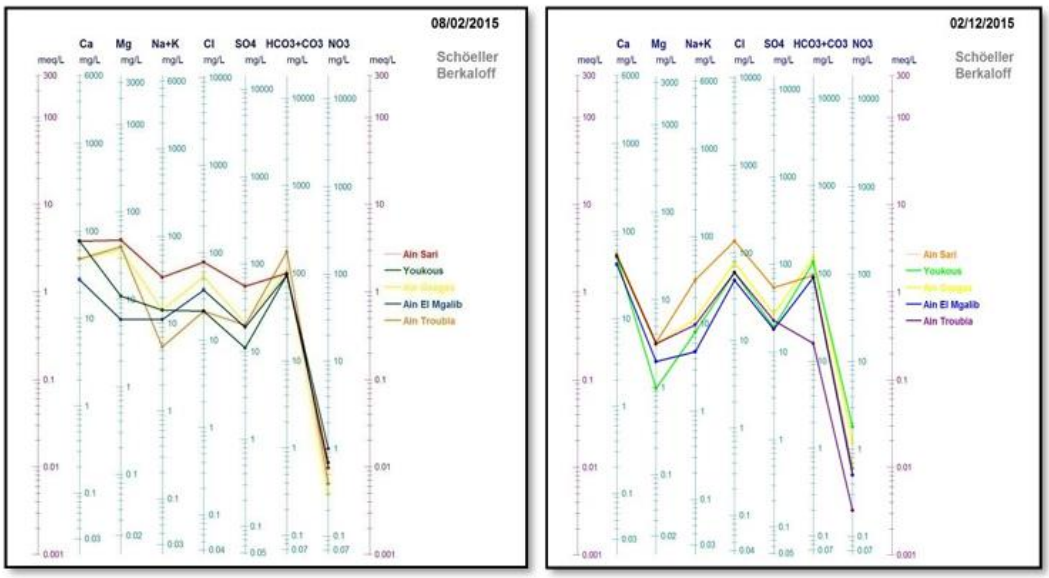


Figure 82 : Diagramme de Scholler –Berkallof pour les Cinq sources (2015 2016)

D. Résultat de l'étude hydrochimique

L'étude hydrochimique menée sur les cinq sources a permis de mettre en évidence la présence de plusieurs éléments chimiques dont les concentrations varient en fonction de divers facteurs, notamment les conditions saisonnières (saison humide ou sèche). À partir des résultats obtenus, les conclusions suivantes peuvent être dégagées :

Le faciès chimique dominant dans la zone d'étude, selon les formules ioniques calculées pour chaque point d'eau, est de type bicarbonaté calcique ou magnésien, témoignant d'eaux issues majoritairement de formations calcaires, ce qui caractérise l'ensemble des sources analysées. Cependant, la source d'Aïn Sari présente un faciès différent, de type chloruré et sulfaté calcique ou magnésien, dû au lessivage des formations marneuses.

La faible minéralisation des eaux leur confère une bonne qualité chimique pour la consommation humaine.

Les corrélations faibles à très bonnes observées entre certains éléments chimiques indiquent des origines géochimiques différentes.

Enfin, les calculs des indices de saturation des minéraux montrent que les carbonates présents dans les échantillons d'eau sont proches d'un état de dissolution continue.

E. **Conclusion :**

L'analyse hydrochimique effectuée sur les cinq sources a révélé une prédominance du faciès bicarbonaté calcique ou magnésien, en lien avec les formations calcaires traversées. Toutefois, la source d'Aïn Sari présente un faciès distinct, de type chloruré et sulfaté, associé à un lessivage des marnes. La faible minéralisation des eaux confère une bonne qualité chimique pour la consommation. Les corrélations variables entre les éléments indiquent des origines géochimiques différentes, tandis que les indices de saturation suggèrent que les carbonates sont en état de dissolution continue. Ces résultats permettent de mieux comprendre les mécanismes contrôlant la qualité des eaux souterraines dans la zone étudiée.

CHPITRE V : ETUDE EXPERIMENTALE DU PARAMETRE RSE AQUIFERE DE TEBESSA, EL MALABIOD ET CHERIA

I. Introduction

L'eau souterraine constitue une ressource vitale, particulièrement dans les régions semi-arides comme la wilaya de Tébessa, où les ressources en eau de surface sont limitées. La compréhension des mécanismes de recharge des nappes phréatiques est donc essentielle pour assurer une gestion durable de cette ressource.

Dans ce contexte, la présente étude intitulée *« Étude expérimentale de l'infiltration sur les zones de recharge des systèmes aquifères de Tébessa, El Malabiod et Chéria »* vise à évaluer la capacité d'infiltration des sols dans trois zones susceptibles de jouer un rôle important dans l'alimentation des nappes : Tébessa, El Ma El Abiod (El Malabiod) et Chéria.

Pour ce faire, des échantillons de sol ont été prélevés dans chacune de ces zones et soumis à des essais d'infiltration au laboratoire à l'aide du dispositif Aquadimo. Ce dispositif permet de simuler, dans des conditions contrôlées, le comportement de l'eau lors de son passage à travers les différents types de sols.

Les résultats obtenus permettront d'identifier les zones présentant une meilleure capacité d'infiltration, et donc un potentiel plus élevé de recharge, contribuant ainsi à orienter les stratégies locales de gestion des ressources en eau souterraine.

F. Méthodologie expérimentale de l'étude de l'infiltration

Dans le cadre de notre étude intitulée « Etude expérimentale de l'infiltration sur les zones de recharge des Systèmes Aquifères de Tébessa, El Malabiod et Chéria », une expérience au laboratoire a été réalisée afin d'évaluer la capacité d'infiltration de trois types de sols prélevés dans les zones de recharge potentielles des systèmes aquifères de la wilaya de Tébessa.

a) Matériaux et échantillons

Les matériaux et équipements suivants ont été utilisés dans la réalisation de l'expérience :

Échantillons de sol :

Un échantillon prélevé dans la région de **Tébessa**

Un échantillon prélevé dans la région d'El **Ma El Abiod – El Malabiod**

Un échantillon prélevé dans la région de **Chéria**

Appareils et outils utilisés :

Dispositif Aquadimo : utilisé pour simuler l'infiltration de l'eau dans le sol en conditions contrôlées. Il contient trois tubes verticaux perforés sous forme de mailles , permettant de laisser passer l'eau à l'intérieur des tubes pour permettre de mesurer les variations du niveau d'eau.

b) Procédure expérimentale

Pour chaque échantillon de sol, une quantité de 3 litres d'eau a été introduite progressivement dans le dispositif. Avant l'ouverture du robinet de vidange, le niveau initial de l'eau dans les trois tubes a été

mesuré. Ensuite, après ouverture du robinet, des mesures du niveau d'eau ont été prises toutes les cinq minutes pendant une durée de 45 minutes.

Cette procédure a été répétée séparément pour les trois échantillons, tout en veillant à conserver les mêmes conditions expérimentales.

Les données collectées lors de cette expérience (niveaux d'eau mesurés dans le temps) ont permis de tracer les courbes d'infiltration pour chaque type de sol et d'estimer la capacité d'infiltration relative de chaque zone.

G. **Les coordonnées géographiques et Lamberts des points de prélèvement :**

Pour la région d'El Malabiod- Carte topographique d'El Malabiod - Feuille N◦235-Echelle : 1/50.000

N 35°17' 52" E 008°12'43"

X= 1001,200 Km ; Y= 235,550 Km ; Z=1090 m

Pour la région de Chéria- Carte topographique de Chéria - Feuille N◦234-Echelle : 1/50.000

N 35°19'05" E 007° 45'12"

X= 959,350 Km ; Y= 235,450 Km ; Z=1115 m

Pour la région de Tébessa- Carte topographique de Tébessa - Feuille N◦206-Echelle : 1/50.000

Feuille N◦

N 35°25'52' E 8°04'35''

X= 988 ,340 km ; Y= 249,560 km ; Z= 930 m

H. Résultats expérimentaux de l'infiltration dans les trois zones d'étude

a) Région d'El Malabiod :

Tableau 40 : récapitulatif des valeurs obtenues au cours de l'expérience

Temps (min)	Puits 01	Puits 02	Puits 03
0	12	12	12
5	14	14,2	14,6
10	15,7	16	16,5
15	17	17	17
20	17,5	17,6	17,5
25	17,5	17,5	17,5
30	17,5	17,5	17,5
35	17,5	17,7	17,7
40	18	18	18
45	18	18	18

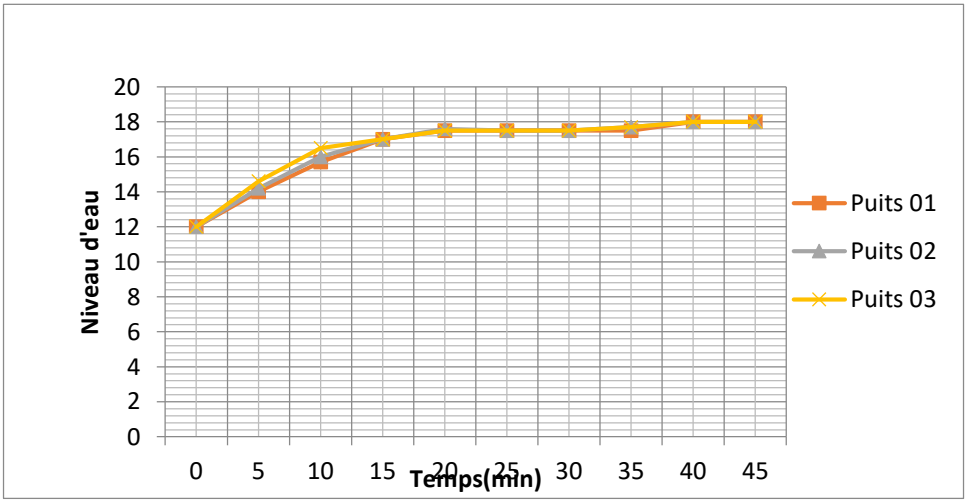


Figure 83 : Graphe de variation des niveaux d'eau en fonction du temps

Le graphique illustre l'évolution du niveau d'eau dans la région d'El Malabiod durant la période de l'expérience en fonction du temps. Au temps initial (t = 0 minute), le niveau d'eau était de 12 cm.

Au fil du temps, le niveau d'eau augmente progressivement pour atteindre 16,2 cm à 20 minutes. Ensuite, on observe une légère diminution du niveau entre 20 et 45 minutes, atteignant environ 18 cm à la fin de l'essai.

Ces variations reflètent la dynamique de l'infiltration et la perméabilité du milieu dans la région d'El Malabiod.

Analyse : Le sol présente une perméabilité plus élevée (limons et sable faiblement argileux

La similitude des valeurs entre les puits suggère une homogénéité géologique

b) Région de Tébessa

Tableau 41 : récapitulatif des valeurs obtenues au cours de l'expérience

Temps (min)	Puits 01	Puits 02	Puits 03
0	11	13	12
5	15,5	15	16
10	15,8	16	16,3
15	16,5	16,2	17
20	17	17	17,2
25	17,5	17,3	16,8
30	17,5	17,6	17,5
35	17,6	18	18
40	17,8	18,1	18
45	18	18,2	18

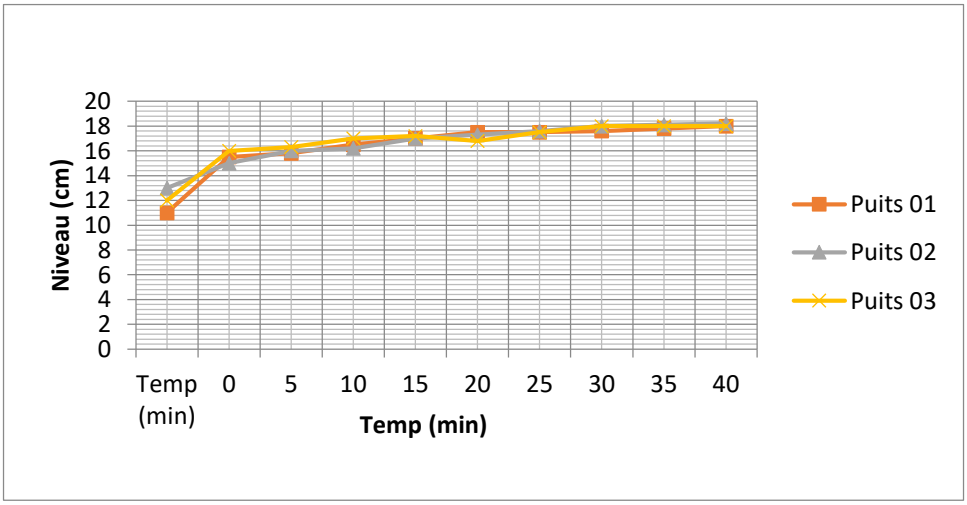


Figure 84 : Graphe de variation des niveaux d'eau en fonction du temps Région de Tébessa.

Le graphique illustre l'évolution du niveau d'eau dans la région de Tebessa durant la période de l'expérience en fonction du temps. Au temps initial (t = 0 minute), le niveau d'eau était de 11 cm.

Au fil du temps, le niveau d'eau augmente progressivement pour atteindre 16,5 cm à 20 minutes. Ensuite, on observe une légère diminution du niveau entre la 20e et la 45e minute, atteignant environ 18 cm à la fin de l'essai.

Ces variations reflètent la dynamique de l'infiltration et la perméabilité du milieu dans la région de Tebessa

- Analyse : L'augmentation est modérée et progressive, indiquant un sol peu perméable, argileux ou limono-argileux. La texture fine du sol limite l'infiltration rapide de l'eau.

Le milieu testé représente un sol hétérogène.

c) Région de Chéria

Tableau 42 récapitulatif des valeurs obtenues au cours de l'expérience

Temp (min)	Puits 01	Puits 02	Puits 03
0	10	11	9,5
5	14	14,5	14
10	16	15,7	16
15	17	17,3	17
20	17,5	17,7	17,3
25	17,8	18	17,6
30	18	18	17,9
35	18	18	18
40	18	18	18
45	18	18	18

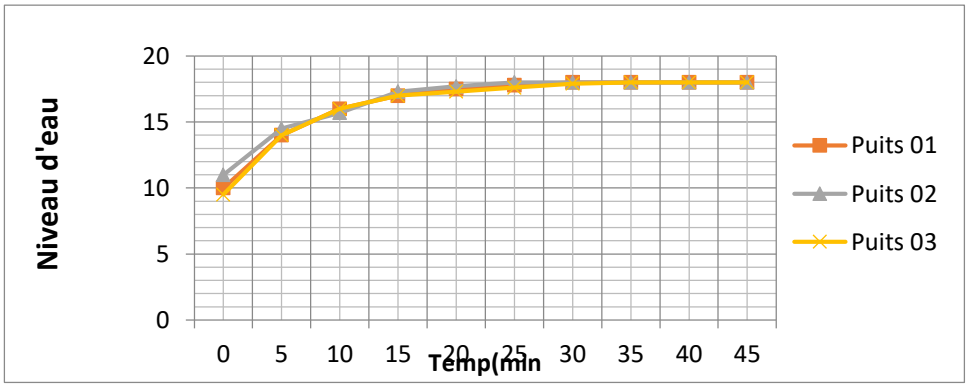


Figure 85 : Graphe de variation des niveaux d'eau en fonction du temps

Le graphique illustre l'évolution du niveau d'eau dans la région de Cheria durant la période de l'expérience en fonction du temps. Au temps initial (t = 0 minute), le niveau d'eau était de 13 cm.

Au fil du temps, le niveau d'eau augmente progressivement pour atteindre 17 cm à 20 minutes. Ensuite, on observe une légère diminution du niveau entre 20 et 45 minutes, atteignant environ 18 cm à la fin de la période.

Ces variations reflètent la dynamique de l'infiltration et la perméabilité du milieu dans la région de Cheria

- Analyse : Le sol est hautement perméable, représentant des graviers et cailloutis calcaire avec argile .L'eau s'infiltre très rapidement, ce qui indique une grande capacité de recharge de la nappe.

Le milieu testé représente un sol hétérogène car les taux d'infiltration ne sont pas identiques

I. Application de la formule de Philip pour le calcul de l'infiltration :

La formule de Philip, souvent utilisée pour estimer l'infiltration d'eau dans le sol, est particulièrement utile en hydrologie et en gestion des ressources en eau. Elle peut être exprimée de la manière suivant :

$$I(t)=K.t^{n}$$

OU :

- I(t) est l'infiltration cumulée à un temps t

-K est un coefficient qui dépend des caractéristiques du sol et des conditions d'humidité

-t est le temps écoulé de puis le début de l'application d'eau,

-n est un exposant qui varie généralement entre 0 et 1.

a) Région d'El Malabiod :

Tableau 43: Taux d'infiltration région d'EL Malabiod (model de Fhilip)

PUITS	Infiltration
puits 01	0,42
puits 02	0,42
puits 03	0,42

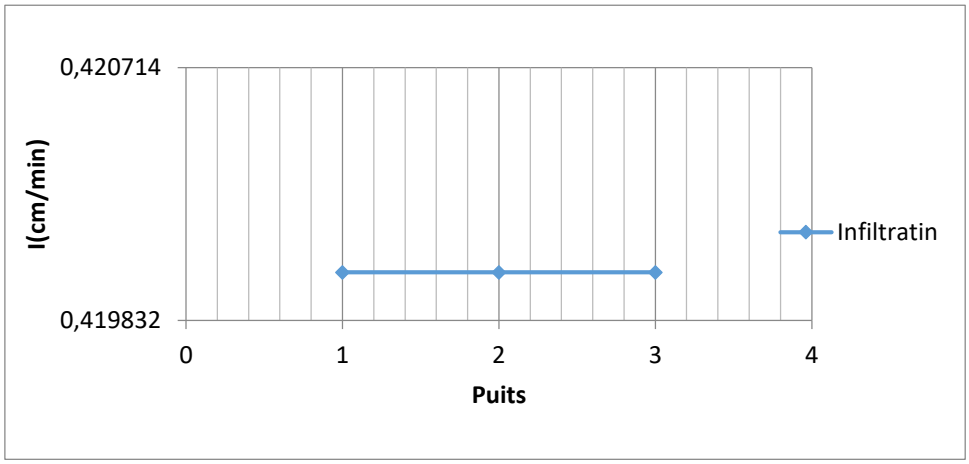


Figure 86 : Variation du taux d'infiltration dans Région d'El Malabiod

- Tous les points d'observation (puits) présentent**exactement la même valeur d'infiltration (0,42 cm/min)**.
- Cette uniformité peut indiquer :
    - Une homogénéité du sol dans la région .

      des condition expérimentale élevée o d'essai particulièrement constantes.

b) . Région de Chéria :

Tableau 44: Taux d'infiltration région de Cheria (model de Fhilip)

PUITS	Infiltration
puits 01	0,53
puits 02	0,46
puits 03	0,56

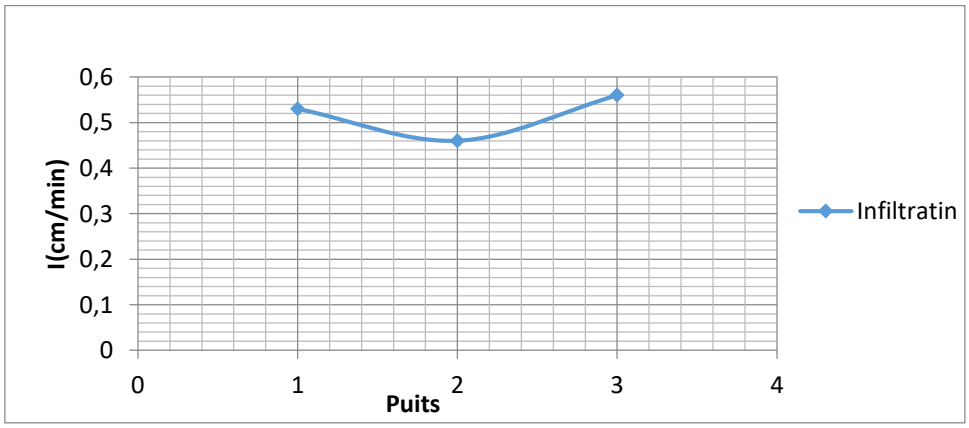


Figure 87 : Variation du taux d'infiltration dans la région de Chéria.

Les valeurs varient de **0,46 cm/min (puits 02)** à **0,56 cm/min (puits 03)**,

- Cette zone se distingue par une capacité d'infiltration globalement plus élevée, ce qui peut s'expliquer par un sol plus fracturé, favorable à la recharge des nappes.

c) Région de Tébessa:

Tableau 45: Taux d'infiltration région de Tebessa (model de Fhilip)

PUITS	Infiltratin
puits 01	0,53
puits 02	0,34
puits 03	0,42

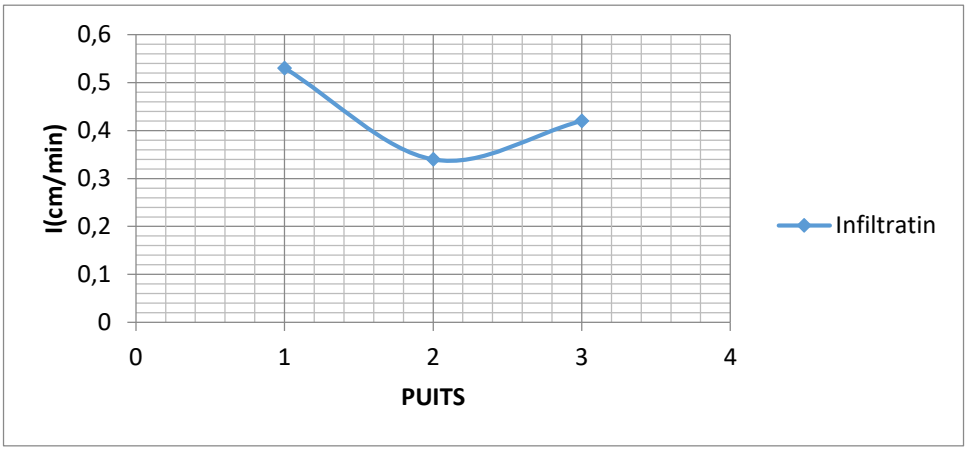


Figure 88 : Variation du taux d'infiltration dans la région de Tébessa.

Les valeurs varient de 0,34 cm/min (puits 02) à 0,53 cm/min (puits 01),

- Cette variabilité entre les puits indique une hétérogénéité locale du sol, bien qu'ils soient situés dans la même région. Cela peut être lié à des différences dans la texture ou la structure du sol à petite échelle.
- La valeur élevée du puits 01 suggère un sol plus perméable, tandis que le puits 02 montre un comportement plus imperméable.

d) L'infiltration moyenne:

Tableau 46: Taux d'infiltration moyenne (model de Fhilip)

Région	I moyenne
Tébessa	0,43
El malabiod	0,42
Chéria	0,51

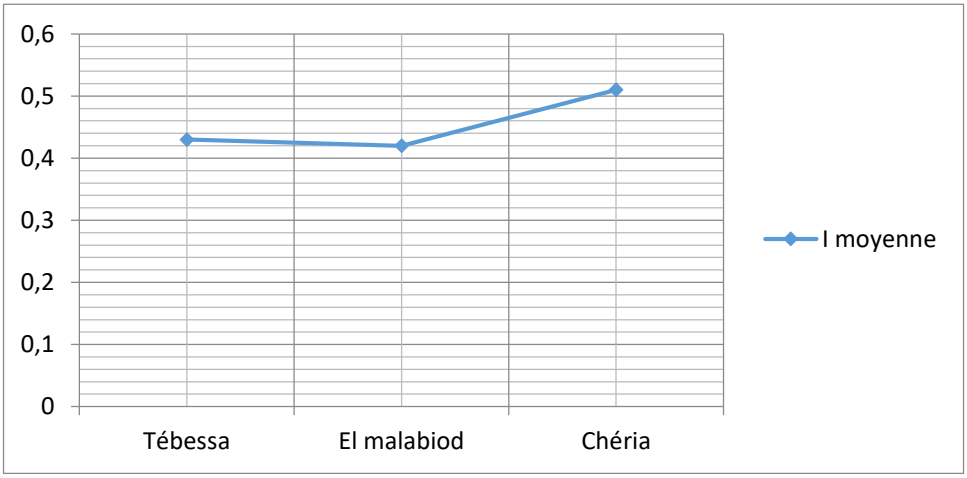


Figure 89 : variation du taux d'infiltration moyenne dans les trois régionTébessa, El Malabiod, Chéria (formule de Philipe)

- L'analyse des taux moyens d'infiltration met en évidence des différences significatives entre les trois régions étudiées. La région de Chéria présente la capacité d'infiltration la plus élevée avec une moyenne de 0,51 cm/min, ce qui témoigne d'un sol particulièrement perméable, probablement de nature gravier ou présentant une structure fissurée facilitant l'infiltration de l'eau.
- En revanche, la région d'El Malabiod enregistre la plus faible moyenne et un taux d'infiltration monotone , soit 0,42 cm/min, ce qui peut s'expliquer par la présence d'un sol où la matrice argileuse est près que prédominante , moins

Perméable ou possiblement saturé en eau. Cetteperméabilité modérée pourrait limiter la recharge naturelle des nappes phréatiques.

- Quant à la région de Tébessa, elle présente une valeur intermédiaire (0,43 cm/min) traduisant des conditions d'infiltration moyennes, avec une certaine hétérogénéité locale qui reflète la variabilité de la texture ou de la structure du sol de la zone.

1. **Application de la Méthode de Kostiakov pour le calcul de l'infiltration**

La methode de Kostiakov est une approche utilisée pour estimer le taux d'infiltration du sol.Elle repose sur l'idée que l'infiltration peut être décrite par une fonction qui dépend du temps.

$I=k.t^{a}$

Ou:

- I = profondeur d'eau infiltrée (en cm)
- t = temps (en minutes)
- K et a sont des paramètres à déterminer.

a) Région d'El Malabiod:

Tableau 47: Taux d'infiltration région d'EL Malabiod (model de KostiaKov)

PUITS	Infiltration (cm/mn)
Puits 01	1,27
Puits 02	1,27
Puits 03	1,27

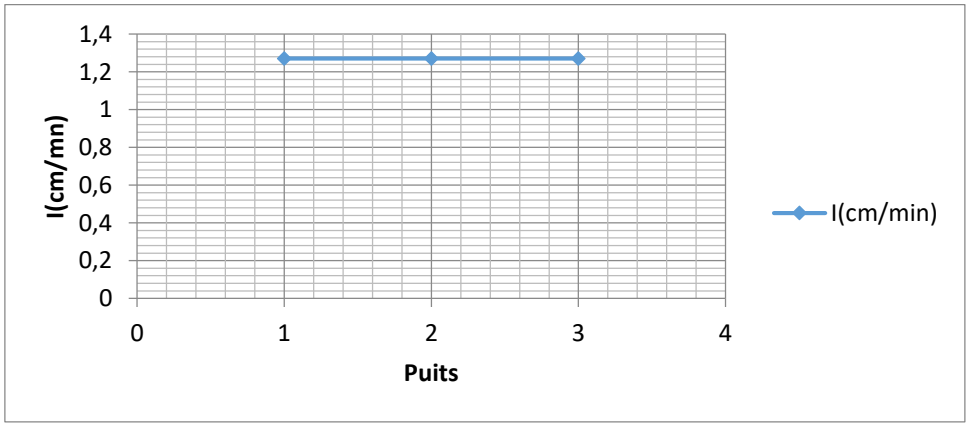


Figure 90 : Variation du taux d'infiltration dans la région d'El Malabiod. (formule de kostiakov).

Les trois puits présentent un taux d'infiltration identique de 1.27 cm/mn. Ce résultat témoigne d'une homogénéité importante du milieu étudié, ce qui peut être interprété comme une uniformité dans les propriétés physiques du sol (perméabilité, porosité, etc.).

b) Région de Chéria:

Tableau 48: Taux d'infiltration région d'EL Malabiod Cheria (model de KostiaKov)

PUITS	I(cm/min)
Puits 01	1,66
Puits 02	1,47
Puits 03	1,75

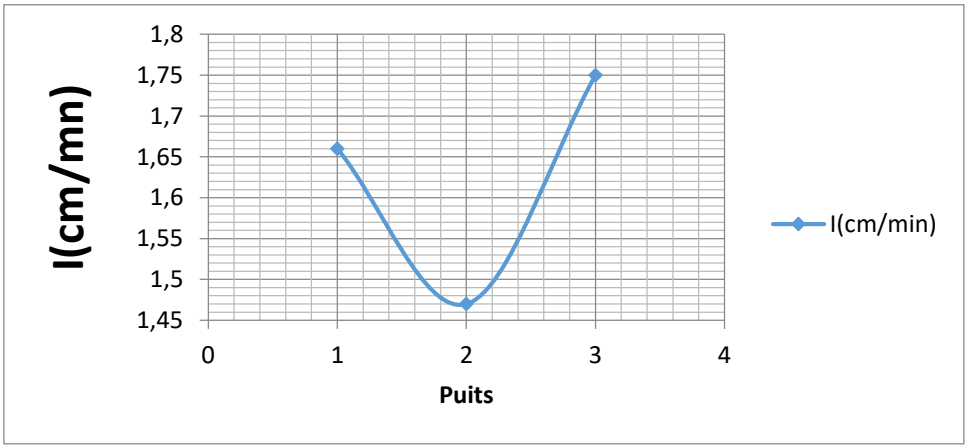


Figure 91 : Variation du taux d'infiltration dans la région de Chéria. (Formule de kostiakov).

Les taux d'infiltration sont nettement plus élevés, allant de 1.47 cm/mn à 1.75 cm/mn, avec une moyenne de 1.62 cm/mn. Ce résultat indique que cette zone possède une forte capacité d'infiltration, ce qui peut être attribué à une structure du sol plus perméable, à la présence de fissures, ou à une composition granulométrique favorable à l'écoulement vertical de l'eau.

c) Région de Tébessa :

Tableau 49 : Taux d'infiltration calculés région de Tébessa (model de KostiaKov)

PUITS	Infiltration(cm/mn)
Puits 01	1,47
Puits 02	1,07
Puits 03	1,27

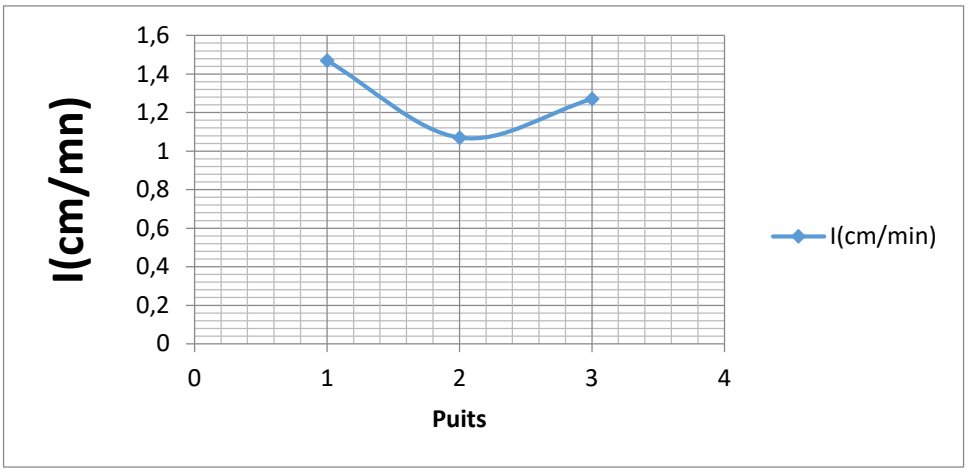


Figure 92 : Variation du taux d'infiltration dans la région de Tébessa. (Formule de kostiakov).

Les taux d'infiltration varient entre 1.07 cm/mn et 1.47 cm/mn, avec une moyenne de 1.27 cm/mn. Cette variation modérée entre les puits suggère une certaine hétérogénéité du milieu, probablement liée à des différences locales dans la texture ou la compaction du sol.

d) Calcule Infiltration moyenne:

Tableau 50: Taux d'infiltration moyenne calculés (modal KostiaKov)

Région	I Moyenne (cm/mn)
Tébessa	1,27
El Malabiod	1,27
Chéria	1,62

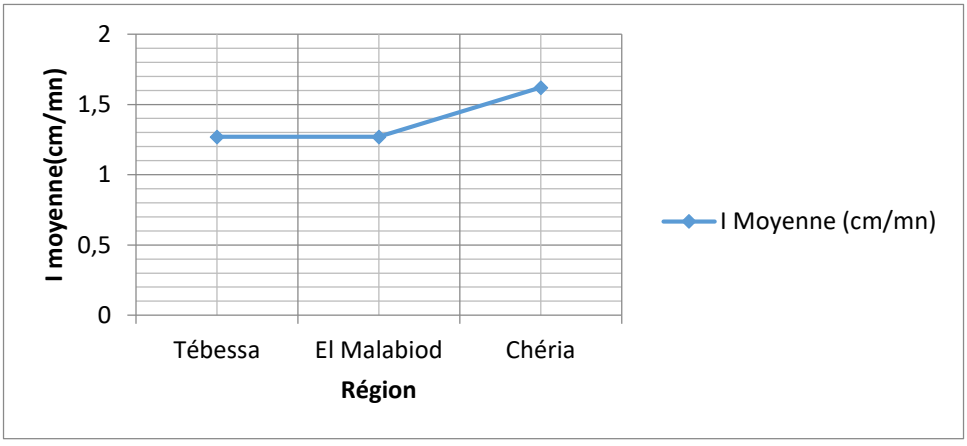


Figure 93 : variation du taux d'infiltration moyenne dans les trois régions Tébessa, El Malabiod, Chéria (formule de Kostiakov).

Interpretation de la courbe :

La courbe reste stable entre Tébessa et El Malabiod avec une valeur constante de 1.27 cm/in, formant un segment horizontal. Cela confirme l'homogénéité entre ces deux zones du point de vue de l'infiltration, ce qui peut indiquer des caractéristiques similaires du sol ou de la roche mère.

On observe ensuite une élévation nette de la courbe vers Chéria, atteignant 1.62 cm/mn. Cette montée traduit une augmentation significative de la capacité d'infiltration dans cette région.

2. **Comparaison entre les résultats de l'expérience d'infiltration et ceux du bilan hydrique.**

Les tableaux récapitulatifs suivants présentent les résultats obtenus d'après les essais expérimentaux réalisés au niveau du laboratoire .Les échantillons sont ceux prélèves dans les régions d'étude (El Malabiod Tébessa Chéria). L'application des modèles de Kostiakov et philippe nous ont permis de déterminer des taux relatif à chacune des régions

D'âpres les bilans hydriques des calculs du taux d'infiltration ont permis d'obtenir des résultats pour chacune des régions d'étude.

Tableaux : taux d'infiltration Région d'El Malbiod

Tableau 51 : taux d'infiltration Région d'El Malabiod

Zone	Infiltration (Kostiakov, cm/min)	Infiltration (Philippe, cm/min)	Bilan Hydrique (mm/an)
El Ma El Abiod	1.27	0.42	49.97

Tableau 52 : taux d'infiltration Région de Tébessa

Zone	Infiltration (Kostiakov, cm/min)	Infiltration (Philippe, cm/min)	Bilan Hydrique (mm/an)
Tébessa	1.27	0.43	78.85

Tableau 53 : taux d'infiltration Région de Chéria

Zone	Infiltration (Kostiakov, cm/min)	Infiltration (Philippe, cm/min)	Bilan Hydrique (mm/an)
Chéria	1.62	0.51	5.76

On comparant les résultats obtenus durant l'expérience avec ceux des bilans hydriques on not les remarques suivants :

- des écarts entre les valeurs calculées (modèle Kostiakov , Philippe et bilan hydrique)

- rapprochement entre modèle Philippe et bilan hydrique à l'échelle horaire.

- le modèle Kostiakov présente des valeurs considérées comme excessives.

3. **Conclusion :**

La présente étude expérimentale visait à évaluer les capacités d'infiltration dans trois zones de recharge potentielles des systèmes aquifères de la wilaya de Tébessa : Tébessa, El Malabiod et Chéria. À travers des essais réalisés en laboratoire à l'aide du dispositif Aquadimo et l'application des modèles empiriques de Philip et Kostiakov, nous avons pu quantifier les taux d'infiltration et comparer les comportements hydrodynamiques des sols étudiés.

Les résultats obtenus ont mis en évidence des différences notables entre les trois régions. La région de Chéria a montré la plus forte capacité d'infiltration, traduisant un sol particulièrement perméable, probablement de nature graveleuse et/ou fissurée. En revanche, El Malabiod a présenté des taux faibles, suggérant un sol plus dominé en Argile, moins perméable. La région de Tébessa occupe une position intermédiaire, caractérisée par une hétérogénéité locale du sol.

Ces résultats soulignent l'importance de la caractérisation locale des sols pour la gestion durable des ressources en eau souterraine. En identifiant les zones à fort potentiel de recharge, cette étude fournit une base scientifique utile pour orienter les politiques d'aménagement et de préservation des nappes phréatiques dans les régions semi-arides comme Tébessa.

Il serait pertinent, dans des travaux futurs, de compléter cette approche par des campagnes de terrain plus larges, des études hydrogéophysiques, ainsi que par la modélisation numérique des écoulements souterrains, afin d'affiner la compréhension des mécanismes de recharge et d'en améliorer la gestion.

Conclusion Générale

À l'issue de cette étude, plusieurs conclusions majeures peuvent être dégagées concernant les mécanismes d'infiltration dans les zones de recharge des systèmes aquifères de Tébessa, El Ma El Abiod et Chéria. Les investigations expérimentales réalisées ont mis en évidence une hétérogénéité

marquée des capacités d'infiltration, directement liée à la nature lithologique des formations superficielles, à la structure géologique sous-jacente, ainsi qu'aux conditions climatiques et topographiques spécifiques à chaque site.

La zone de Chéria, avec ses sols plus perméables et sa topographie relativement favorable, a montré une infiltration plus rapide et plus efficace, traduisant une meilleure aptitude à la recharge naturelle. En revanche, la région de Tébessa, caractérisée par des sols plus argileux et compacts, présente une capacité d'infiltration plus limitée, ce qui pourrait freiner la recharge des nappes superficielles et accentuer leur vulnérabilité en période de sécheresse. La région d'El Ma El Abiod occupe une position intermédiaire, où la recharge reste possible, mais fortement conditionnée par l'intensité des précipitations et les variations saisonnières.

Les résultats obtenus sont en concordance avec les données du bilan hydrique calculé pour chaque zone, confirmant ainsi la validité de l'approche méthodologique adoptée. Par ailleurs, cette étude a démontré l'intérêt de combiner des mesures expérimentales simples, réalisées sur le terrain, avec des analyses climatiques et hydrologiques plus globales, afin d'obtenir une vision intégrée des processus d'alimentation des nappes.

D'un point de vue opérationnel, ces résultats peuvent servir de support à la planification de politiques de gestion intégrée des ressources en eau, notamment dans les régions à stress hydrique élevé. Ils permettent également d'identifier les zones prioritaires pour les actions de protection et de recharge artificielle, dans le cadre d'une stratégie d'adaptation au changement climatique et à la pression anthropique croissante.

Enfin, cette étude ouvre des perspectives de recherche prometteuses, notamment en ce qui concerne l'utilisation de la modélisation numérique pour simuler les scénarios futurs de recharge, ou encore l'élargissement de l'échantillonnage à d'autres types de sols et de formations géologiques. L'approche expérimentale développée ici pourrait être appliquée à d'autres régions du pays confrontées aux mêmes défis, contribuant ainsi à une meilleure compréhension et valorisation des ressources hydrogéologiques nationales.

BIBLIOGRAPHIE :

Agence National des Ressources hydrauliques (ANRH) Constantine , Tébessa

ALILAOUAR A. (1986), Ressource en eau d9une région semi-aride d9Algérie. Plaine d9El 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 d9El MALBIOD. Mémoire d9Ingénieur. 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 l9Hydrogéologie. 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 l9étude hydrogéologique de la plaine **D'EL MALABIOD**. (Tébessa) Mémoire d9ingéniorat (Université de Constantine) 61p.

DJEBARI Hacene, 2011. Ressources et essais de gestion intégrée des eaux du bassin d9EL MALABIOD W de TEBESSA, Thèse de magister, Université BADJI MOKHTAR ANNABA

DUROZOY G. 1949, Captage d9El 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 hydrogeologique de la nappe aquifére 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 d9EL 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 137 gisement de sidi marouf (petite Kabylie, Jijel) et de Boukhadra (monts du mellegue, 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 hydrochimies et isotopique- cas du bassin transfrontalier (Tébessa-Kasserine/AlgérieTunisie). Présentée en vue de l9obtention du diplôme de Doctorat. Université larbi Tébessa.

Hemaili I 2020 actualisations des données hydrogéologiques et hydrochimiques du bassin versant TébessaMorsott, université larbitébessi- Tébess

ROUABHIA Abdelkader, et al, 2004. Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocène de la plaine d9El 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'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 Boumérdes10p **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 l9étude hydrogéologique de la plaine '9El MAELABIOD. (Tébessa) Mémoire d9ingéniorat (Université de Constantine) 169 p

Thornthwaite C. W. and Mather, J.R; (1955), the water balance. Climatology 8(1), 104 p

Verdeil P. (1988) : Abaque pour calcul du déficit d9écoulement (Régions semi-arides).

YASMINA Bouroubi .projet, Réseaux de surveillance des ressources en eaux du Nord-est Algérien. **https://www.researchgate.net/publication/329864244**

ARAMBOURG, C. (1952) : Les vertébrés fossiles des gisements de phosphates (Maroc-Algérie-Tunisie). Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc, 92: 1–372, 62 fig., 44 pl.

BAKALOWICZ., (1979) : Contribution de la géochimie des eaux à la connaissance de l'aquifère karstique et de la karstification. Thèse Doctorat Es.Sciences.

Castany. G, (1968) : Prospection et exploitation des eaux souterraines. Édition Dunod, Paris 711p.

CGG (compagne générale de géophysique 1970) : Prospection géophysique sur le plateau de Chéria. Rapport interne R.A.D.P. Paris VII 26p.

Chaffai H, Baali F, Djabri L, Rouabhia Aek (2003) : Facteurs influençant le chimisme des 7CLAUDE. A., (1905): petit Larousse 1906 illustré de 1889.

Colley GC (1963): The detection of caves by gravity measurements. values especially for the Durozoy, G., (1952) : Hydrogéologie du massif calcaire crétacé des monts de Constantine étude préliminaire. Ed Publ .Soc .Géol. Carte Géol. Algérie. eaux dans une zone semi-aride: Cas des aquifères d'El Ma El Abiod, Tébessa, Hammamet et Chéria.

ICOWAP-Sep 2003. Colloque Oasis, Eau et population, Biskra Algérie, pp 339–344 Geophys Prospect XI : 1–9.

GOUAIDIA. L., (2008) : Influence de la lithologie des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi-aride, cas de la nappe de maskiana nord-est algérien université badji mokhtar-Annaba, 79 p.

HÖLTING B., (1996) : Hydrogéologie, Stuttgart (Enke Verglag) 5è Ed.441p, 1 14fig, 46 tab.

. **Jacob C.E., (1946) -** On the flow of water in an elastic artisian aquifer.Am.geoph.union. Trans .72p. 73 BIBLIOGRAPHIE 13. KHEMOUDJ. K., (2009) : Dynamique des systèmes et stratégie d'aménagement et gestion de la ressource en eau en zone semi-aride : cas de la région d'El Eulma. Wilaya de Sétif 90p.

. **SCHOELLER H. (1962)** : Les eaux souterraines. Masson, Paris, 642p

ila J.M (1980) : La chaine alpine d'Algérie oriental et des confins algéro tunisiens .Thèse Sc.Univ .paris VI, 3Vol,663 , 199fig ,40Pl , 7Pl.h.t .

ZERDAZI, A., (1990) : Etude gravimétrique du Mole d'Aire de l'Atlas Sahraoui septentrional oriental (Nord-Est de l'Algérie), Thèse de doctorat Sciences. Univ de l'Ausane. Suisse. 213 p.

-**Esquisse géologique de Nond-Est** de l'ALGERIE éch: 1/50000, d'aprés M.M.P Delnais et RLAFITTE

-**Etude géophysique de Telidjène**, Boudjellel, Oum-Ali, d'après CG.G, 1976 (DHWT)
-**Etude hydrogéologique** préliminaire dans le bassin versant d'Ain-Télidjene mémoire de fin d'étude de DEUA, 55p.

-**Etude hydrogélogique** préliminaire de la région de Darmoun mémoire de fin d'étude ce DEUA, 94p Abdaoui, N Promotion 97-98

Fehdi-C, Senouci, H Promotion 92.

Hachichi S, Kamel.H, Soualeh H.

Alenda M Rabehi.O ; Khoudja. N

-Approche à l'étude des pompages d'essais en milieux fissurés et karstiques aquifères mémoire de fin d'étude d'ingénieur, 98p

-Etude hydrogéologique dans le bassin versant de Chéria mémoire de fin d'étude de DEUA, 89p.

- Reconnaissance hydrogeologique par réinterprétation des données géoélectriques de la partie amont de la plaine d'Ain Zerga. Mémoire de fin d'étude de D.EU.A-Hydrogeologie : 96-97.122p.

-Inventaire des exploitations de Granulats de la wilaya de Tebessa caracteristiques géologiques et géotechniques. Option geologie de l'ingénieur 1992; 180p.