

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



**Université Batna 2 – Mostefa Ben Boulaïd**  
**Institut des Sciences de la Terre et de l'Univers**  
**Département de Géologie**



**Thèse**

Présentée pour l'obtention du diplôme de

**Doctorat LMD 3<sup>ème</sup> cycle en géologie**

**Spécialité : Hydrogéologie**

Sous le Thème :

**Etude hydrogéologique de la partie orientale de la plaine de la  
M'léta. Implications sur l'évaluation de la vulnérabilité à la  
pollution et la protection des aquifères du Mio-Pliocène  
(Ouest Algérien).**

Présentée par :

**Mohammed Khelifa**

Devant le jury composé de :

M. Brinis Nafaâ	Prof.	Université de Batna	Président
M. Khedidja Abdelhamid	Prof.	Université de Batna	Rapporteur
M. Mansour Hamidi	Prof.	Université d'Oran	Co-Rapporteur
M. Athamena Ali	MCA	Université de Batna	Examineur
M. Boubaya Djamel	Prof.	Université de Tébessa	Examineur

**2024**

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

## DÉDICACES

---

A mes  
*chers parents*

A mon  
*frère et mes sœurs, notamment Ouafaa*

A toute  
*ma famille*

A tous  
*mes collègues.*

## REMERCIEMENTS

*Après avoir mené à bien ce travail, je souhaite exprimer ma reconnaissance particulière envers mon directeur de thèse, le Professeur Khedidja Abdelhamid de l'Université de Batna 2, Mustafa Ben Boulaid, pour avoir accepté de guider et de suivre en permanence mes travaux. Je tiens à le remercier sincèrement pour son accueil chaleureux, sa gentillesse et sa compassion. J'adresse également ma profonde gratitude au Professeur Mansour Hamidi pour l'aide précieuse qu'il m'a apportée tout au long de cette tâche, ainsi que pour avoir mis à ma disposition tous les moyens nécessaires.*

*Je tiens à remercier Monsieur BRINIS Nafaâ, Professeur à l'Université Batna 2 qui a accepté de présider le jury de cette thèse.*

*Un grand merci à M. ATHAMENA Ali, Professeur de l'Université Batna 2 ; M. BOUBAYA Djamel, Professeur à l'Université Tébessa, qu'ils m'ont fait l'honneur d'accepter de faire partie des membres du jury. J'adresse mes remerciements à Mme BEN ABDELLAH Amina, Directrice Générale d'Algérienne des Eaux de Relizane (ADE), et à KEBDANI Aek, Directeur de l'Agence Nationale des Ressources en Eau d'Oran (ANRH).*

*Enfin, ma gratitude ne peut être complète sans des remerciements particuliers à mes collègues du Département des Sciences de la Terre et Cosmiques de l'Université de Batna 2, ainsi qu'à mes amis, qui n'ont cessé de m'encourager et de me soutenir moralement tout au long de ce travail.*

# Table des matières

**Table des matières**

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

**Avant-propos**

**Résumé**

**Abstract**

**Résumé en Arabe**

INTRODUCTION GENERALE 01

***PARTIE I : Condition Générale de la Partie Orientale de la Plaine de la M'léta (Wilaya d'Oran)***

---

I. GEOMORPHOLOGIE	04
I. 1. Situation Géographique	04
I. 2. Morphologie de la zone d'étude	05
I. 3. Aperçu Hydrologique	06
II. CADRE GEOLOGIE.	08
II. 1. Aperçu géologique de l'Algérie	08
II. 2. Aperçu géologique du secteur d'étude	09
II. 2. 1. Lithostratigraphie de la région étudiée	09
II. 2. 1. 1. Formations Anté-Nappe et Synchro-Nappe	09
II. 2.1.1.1. Trias	09
II. 2. 1. 1. 2. Jurassique	11
II. 2. 1. 1. 3. Crétacé	11
II. 2. 1. 2. Remplissage Post-Nappe (Couverture)	11
II. 2. 1. 2. 1. Néogène	11
a. Miocène post-nappe	11
↻ Premier cycle post- nappe	12
↻ Deuxième cycle post-nappe	12
➤ Niveau détritique de base	12
➤ Formations médianes	13
➤ Formations terminales	13
➤ Tripolis et gypses	14

➤ Calcaires récifaux	14
b. Pliocène inférieur et moyen marin	15
II. 2. 1. 2. 2. Quaternaire	16
a. Pléistocène inférieur	16
b. Pléistocènes moyen et supérieur	17
c. Holocène	17
II. 3. Tectonique	19
II. 3. 1. Tectonique Infra-Crétacé	19
II. 3. 1. 1. Première partie alpine	19
II. 3. 1. 2. Deuxième partie alpine	19
II. 3. 1. 3. Distension du 1er cycle Post-Nappe (Serravalien-Tortonien Inférieur)	22
II. 3. 1. 4. Compression du 2ème cycle Post-Nappe (Tortonien Messinien)	22
II. 3. 1. 5. Compression du Pliocène et Plio- Pléistocène Inférieur	24
II. 3. 1. 6. Compression du Pléistocène moyen à l'actuel	24
II. 4. Conclusion	24
III. CADRE GEOPHYSIQUE	26
III. 1. Introduction	26
III. 2. Prospection électrique de la partie orientale de la plaine de la M'leta (C.G.G 1970)	26
III. 3. Prospection électrique de la plaine de la M'leta (EREM 1983 –1984)	26
III. 4. Prospection électrique (ENAGEO, 1986)	33
III. 5. Prospection électrique et magnétique (SOGREAH 1996)	34
III. 6. Prospection géophysique (SOGREAH 2004)	35
III. 7. Prospection géophysique (Campagne 2012)	39
III. 7. 1. Résultats	39
III. 7. 2. Coupes Géo-électriques	40
III. 7. 3. Résultats de diagraphie	41
III. 8. Conclusion	42
IV. MORPHOMETRIE ET HYDROCLIMATOLOGIE DU BASSIN VERSANT	43
IV. 1. MORPHOMETRIE	43
IV. 1. 1. Répartition altimétrique du bassin versant	43
IV. 1. 2. Caractéristique des formes	45
IV. 1. 3. Le rectangle équivalent	45
IV. 1. 4. L'indice de pente global	45

IV. 2. PARAMETRES CLIMATIQUES	45
IV. 2. 1. Pluviométrie	46
IV. 2. 1. 1. Carte pluviométrique annuelles	46
IV. 2. 1. 2. Variation de la pluviométrie annuelle	47
IV. 2. 1. 3. Les précipitations mensuelles	48
IV. 2. 1. 4. Les précipitations saisonnières	49
IV. 2. 2. Etude des Températures	49
IV. 2. 3. Régime climatique	51
IV. 2. 4. Détermination de l'aridité	52
IV. 2. 4. 1. Indice d'aridité annuel de De-Martonne (1926)	52
IV. 2. 5. Evapotranspiration	53
IV. 2. 5. 1. Evapotranspiration potentielles (ETP)	53
IV. 2. 5. 2. Evapotranspiration réelle (ETR)	54
IV. 2. 5. 2. 1. Méthode de Thornthwaite (1948)	54
IV. 2. 5. 2. 2. Méthode de Turc (1961)	54
IV. 2. 5. 2. 3. Méthode de Coutagne	54
IV. 2. 5. 2. 4. Méthode de Verdeil (1988)	54
IV. 2. 5. 2. 5. Méthode de WUNDT	55
IV. 2. 6. Interprétation des résultats	55
IV. 2. 6. 1. Déficit d'écoulement	56
IV. 2. 6. 2. L'excédent	56
IV. 2. 6. 3. Les écoulements	56
IV. 2. 6. 4. La réserve utile	56
IV. 2. 7. Bilan hydrologique (1995-2018)	56
IV. 2. 7. 1. Calcul de ruissellement	56
> Par la méthode de Tixeront-Berkaloff	56
IV. 2. 7. 2. Estimation de l'infiltration	57
IV. 2. 7. 2. 1. Méthode de Thornthwaite	57
IV. 2. 7. 2. 2. Méthode de Turc	57
IV. 2. 7. 2. 3. Méthode de Verdeil	57
IV. 2. 7. 2. 4. Méthode de Wundt	57
IV. 8. Conclusion	59
V. RESSOURCE EN EAUX SOUTERRAINES	60
V. 1. Complexe Aquifère Mio-Pliocène (Calcaires Récifaux)	60

V. 2. Aquifère du Pléistocène Inferieur	65
V. 3. Aquifère Alluvial (Pleisto-Holocène)	65
V. 4. Conclusion	66
VI. PIEZOMETRIE	67
VI. 1. Inventaire des points d'eau	67
VI. 2. Piézométrie de la partie Est de la M'léta	69
VI. 3. Alimentation et recharge de la nappe	74
VI. 4. Fluctuation de la nappe	74
VII. LES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES	77
VII. 1. La Méthode de THEIS	77
VII. 2. La Méthode de JACOB	78
VII. 3. Méthode de la remontée de THEIS – JACOB	79
VII. 4. Conclusions	80
VIII. CADRE HYDROCHIMIQUE	81
VIII. 1. Qualité des eaux	81
VIII. 2. Minéralisation des eaux souterraines	82
VIII. 2. 1. Paramètres Physiques	83
VIII. 2. 1. 1. Température de l'eau	83
VIII. 2. 1. 2. Potentiel d'Hydrogène (pH)	83
VIII. 2. 1. 3. Conductivité électrique (CE)	83
VIII. 2. 2. Paramètres Chimiques	84
VIII. 2. 2. 1. Eléments Majeurs	84
VIII. 2. 2. 1. 1. Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	84
VIII. 2. 2. 1. 2. Magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	84
VIII. 2. 2. 1. 3. Sodium ( $\text{Na}^+$ )	84
VIII. 2. 2. 1. 4. Potassium ( $\text{K}^+$ )	85
VIII. 2. 2. 1. 5. Chlorures ( $\text{Cl}^-$ )	85
VIII. 2. 2. 1. 6. Bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )	85
VIII. 2. 2. 1. 7. Sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	85
VIII. 3. Cartographie Hydrochimique	86
VIII. 3. 1. Carte des Magnésiums	86
VIII. 3. 2. Carte des Sodiums	86
VIII. 3. 3. Carte des Chlorures	89

VIII. 3. 4. Carte des Sulfates	89
VIII. 4. Rapports caractéristiques	92
VIII. 4. 1. Rapport de Magnésium-Calcium	92
VIII. 4. 2. Rapport de Sulfate- chlorure	93
VIII. 4. 3. Rapport de Sodium- Chlorure	94
VIII. 5. Classification et représentation graphique des analyses d'eau du complexe du Mio – Pliocène	94
VIII. 5. 1. Classification de Stabler	94
VIII. 5. 2. Diagramme de Shöeller Berkaloff	95
VIII. 5. 3. Diagramme de Piper	96
VIII. 6. Etude statistique en composante principale	98
VIII. 6. 1. Analyses Statistiques	98
VIII. 6. 1. 1. Matrice de corrélation	98
VIII. 6. 1. 2. Cercle de corrélation et projection individuelle	99
VIII. 6. 1. 3. Hierarchical Cluster Analysis	99
VIII. 7. Mécanismes contrôlant l'hydrochimie	100
VIII. 8. Modélisation géochimique	101
VIII. 9. Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation	103
VIII. 9. 1. Classification des eaux de l'irrigation par Méthode de Richard	103
VIII. 9. 2. Classification des eaux de l'irrigation par méthode de Wilcox	104
VIII. 10. Conclusion	105
IX. CONCLUSION DU CHAPITRE 1	106

***PARTIE II : La Vulnérabilité et la Protection de l'Aquifère du Complexe Mio – Pliocène de la Plaine de la M'léta***

---

I. CONTAMINATION DES EAUX SOUTERRAINES	107
I. 1. Définition de la pollution de l'eau	107
I. 2. Les origines des pollutions	107
I. 3. Indicateurs principaux de la pollution	108
I. 3. 1. Eléments Nutritifs	108
I. 3. 1. 1. Nitrates	108
I. 3. 1. 2. Nitrites	108
I. 3. 1. 3. Ammonium	109

I. 3. 1. 4. Phosphates	109
I. 3. 1. 5. Matières Organiques	109
I. 3. 1. 6. Matières en Suspension (MES)	109
I. 4. Nature et origine des polluants de la zone d'étude	110
I. 5. Analyse des éléments indicateurs de pollution dans le secteur d'étude	110
I. 5. 1. Eléments Nutritifs	111
I. 5. 1. 1. Nitrates (NO <sub>3</sub> )	111
I. 5. 1. 2. Nitrites (NO <sub>2</sub> )	113
I. 5. 1. 3. Ammonium (NH <sub>4</sub> )	113
I. 5. 1. 4. Phosphates (PO <sub>4</sub> )	113
I. 5. 1. 5. Matières Organiques	113
I. 5. 1. 6. Matières en Suspension	113
I. 6. Conclusion	114
II. NOTION DE LA VULNERABILITE	115
II. 1. Définition et historique du concept de vulnérabilité	115
II. 2. Méthodologie d'évaluation de la pollution	117
II. 3. Evaluation de la vulnérabilité par les méthodes DRASTIC, DRIST et SI	120
II. 3. 1. La méthode DRASTIC	120
a. Premier étape	123
b. Deuxième étape	123
c. Troisième étape	123
II. 3. 1. 1. Les paramètres du modèle DRASTIC	124
« D » Depth to water ou profondeur du plan d'eau	124
« R » Net Recharge ou recharge efficace	124
« A » Aquifer media ou milieu aquifère	125
« S » Soil media ou type de sol	126
« T » Topography ou pente du terrain	126
« I » Impact de la zone vadose (zone non saturée)	126
« C » Conductivité hydraulique de l'aquifère	127
II. 3. 2. Méthode DRIST (ou DRASTIC modifiée)	128
II. 3. 3. Méthode SI (Susceptibility Index)	129
III. ELABORATION DE LA CARTE DE VULNERABILITE DE LA PARTIE ORIENTALE DE LA PLAINE DE LA M'LETA	131

III. 1. Evaluation des paramètres DRASTIC et SI	131
(D) Profondeur	131
(R) Recharge Efficace	132
(A) Nature de l'Aquifère	133
(S) Nature du Sol	134
(T) Topographie	135
(I) Nature de la Zone Non Saturée « Zone Vadose»	136
(C) Conductivité Hydraulique	137
(OS) Occupation du sol	138
III. 2. Résultats et Discussions	139
III. 2. 1. Elaboration de la carte synthèse selon la méthode DRASTIC	139
III. 2. 1. 1. Interprétation des Résultats	139
III. 2. 2. Elaboration de la carte synthèse selon la Méthode DRIST	140
III. 2. 2. 1. Interprétation des Résultats	140
III. 2. 3. Elaboration de la carte synthèse selon la Méthode SI	144
III. 2. 3. 1. Interprétation des Résultats	144
III. 3. Conclusion	146
IV. NOTION DE LA PROTECTION DE L'AQUIFERE	148
IV. 1. Délimitation de l'Aire d'Alimentation	148
IV. 1. 1. Généralités du bassin hydrogéologique alimentant le captage	148
IV. 1. 2. Bassin hydrogéologique et portion de nappe alimentant le captage (le complexe aquifère du Mio – Pliocène)	151
IV. 2. Les Périmètres de Protection du Captage	153
IV. 2. 1. Définitions et application à l'aquifère du Mio – Pliocène	153
IV. 2. 1. 1. Périmètre de protection immédiat ou zone dite "captage"	154
IV. 2. 1. 2. Périmètre de protection rapprochée	154
IV. 2. 1. 3. Périmètre de protection éloignée	154
IV. 3. Rôles des Périmètres de Protection	156
IV. 3. 1. Périmètre de Protection Immédiat	157
IV. 3. 2. Périmètre de Protection Rapproché	157
IV. 3. 3. Périmètre de Protection Eloigné	157
RECOMMANDATIONS	159
CONCLUSION GENERALE	161

REFERENCE BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES 1

ANNEXES 2

## Liste des figures

### *PARTIE I :*

Figure. A.I.1. Carte de localisation de la zone étudiée.	04
Figure. A.I.2. Profil de l'allure morphologique générale de l'Oranie.	06
Figure. A.I.3. Réseau Hydrographique.	07
Figure. A.II.1. Carte de la géologie du Nord de l'Afrique montrant les différentes unités géologiques (In WILDI, 1983 ; DOMZIG et AL, 2006).	08
Figure. A.II.2. Carte géologique de la région d'étude.	10
Figure. A.II.3. Carte du Miocène post-nappe dans les monts des Tessalas.	12
Figure. A.II.4. Coupe géologique entre Arbal et Tamzourah.	13
Figure. A.II.5. Coupe géologique synthétique des corrélations des forages à travers la M'léta.	15
Figure. A.II.6. Coupe géologique synthétique de la M'léta.	16
Figure. A.II.7. Nomenclature des termes utilisés dans le découpage du Miocène post-nappe de l'Oranie (In Hassani M.I., 1987).	18
Figure. A.II.8. Esquisse structurale de l'Oranie centrale (B. Fenet, 1975).	21
Figure. A.II.9. Trame structurale de l'Oranie selon G.Thomas 1985.	23
Figure. A.III.1. Carte de localisation des différentes campagnes de prospections géophysiques réalisées dans la plaine de la M'léta.	27
Figure. A.III.2. Coupes géo-électrique de la partie Est de la M'léta (C.G.G 1970).	29
Figure. A.III.3. Carte de l'emplacement des profils et des sondages électriques (EREM 1984).	30
Figure. A.III.4. Coupes géo-électriques de la partie Est de la M'léta (EREM 1983).	31
Figure. A.III.5. Coupes géo-électriques de la partie Est de la M'léta (EREM 1984).	32
Figure. A.III.6. Carte du toit du complexe aquifère carbonate (EREM 1984).	33
Figure. A.III.7. Coupes géo-électriques de la partie Est de la M'léta (ENAGEO 1986).	34
Figure. A.III.8. Carte de localisation des sondages électriques (campagnes SOGREAH 1996).	35
Figure. A.III.9. Carte de localisation des sondages électriques (SOGREAH 2004).	36
Figure. A.III.10. Carte de Synthèse des résultats (SOGREAH 2004).	37
Figure. A.III.11. Coupe géologique schématique A'B'- Données géophysiques (SOGREAH 2004).	38
Figure. A.III.12. Coupe d'interprétation – étude géophysique (SOGREAH 2004).	38
Figure. A.III.13. Courbes des SEV 1 et SEV f (près du forage coca cola) (Campagne 2012).	39
Figure. A.III.14. Courbes du SEV 2 et schéma de situation des SEV (Campagne 2012).	40
Figure. A.III.15. Courbes des SEV 3 et SEV 4 (Campagne 2012).	40
Figure. A.III.16. Pseudo-section et coupe géo-électrique du 1 <sup>er</sup> profil (Campagne 2012).	40
Figure. A.III.17. Pseudo-section et coupe géo-électrique du 2 <sup>ème</sup> profil (Campagne 2012).	41

Figure. A.IV. 1. Carte du Relief de l'Ouest Algérien.	44
Figure. A.IV. 2. Courbe Hypsométrique.	44
Figure. A.IV. 3. Rectangle équivalent du bassin de la Sebkh.	45
Figure. A.IV. 4. Carte Pluviométrie de la zone d'étude.	47
Figure. A.IV. 5. Graphiques de l'évolution de la pluviométrie mensuelle.	48
Figure. A.IV. 6. Histogramme des précipitations mensuelles.	49
Figure. A.IV. 7. Carte de Températures réduite au niveau de la mer.	50
Figure. A.IV. 8. Températures mensuelles à la station d'Es Sénia (1995-2018).	50
Figure. A.IV. 9. Températures mensuelles à la station de Tafraoui.	51
Figure. A.IV. 10. Diagramme Ombro-thermique de Gaussen et Bagnoul (d'Es-Sénia 1995-2018).	52
Figure. A.IV.11. Abaque de Verdeil pour calculer l'ETR.	55
Figure. A.IV.12. Abaque de Wundt pour calculer l'ETR.	56
Figure. A.V.1. Carte des affleurements calcaires Miocène et leur zone de captage dans la plaine de la M'léta.	61
Figure. A.V.2. Coupe géologique du secteur d'Arbal.	62
Figure. A.V.3. Pression hydraulique de la nappe par rapport aux aquifères de la plaine de la M'léta.	62
Figure. A.V.4. Carte de localisation des sources de la plaine de la M'léta.	64
Figure. A.VI.1. Carte d'inventaire de points d'eau de la partie Est de la plaine de la M'léta.	68
Figure. A.VI.2. Carte piézométrique de la partie Est de la plaine de la M'léta (Avril 2021).	70
Figure. A.VI.3. Carte piézométrique de la partie Est de la plaine de la M'léta (Août 2021).	71
Figure. A.VI.4. Carte piézométrique de la partie Est de la plaine de la M'léta (Février 2022).	73
Figure. A.VI.5. Variation du niveau piézométrique dans le point N°1.	75
Figure. A.VI.6. Variation du niveau piézométrique dans le point N°2.	76
Figure. A.VII.1. Courbes interprétatives des essais de pompages d'après la méthode de THEIS.	78
Figure. A.VII.2. Courbe de descente d'après la méthode de JACOB.	79
Figure. A.VII.3. Courbe de remontée d'après la méthode THEIS – JACOB.	80
Figure. A.VIII.1. Carte d'inventaire des points d'eau prélevés dans l'aquifère Mio – Pliocène.	81
Figure. A.VIII.2. Carte du Teneurs en Magnésiums du Complexe du Mio – Pliocène.	87
Figure. A.VIII.3. Carte du Teneurs en Sodiums du Complexe du Mio – Pliocène.	88
Figure. A.VIII.4. Carte du Teneurs en Chlore du Complexe du Mio – Pliocène.	90
Figure. A.VIII.5. Carte du Teneurs en Sulfates du Complexe du Mio – Pliocène.	91
Figure. A.VIII. 6. Variation des rapports de $Mg^{2+}/Ca^{2+}$ dans les eaux analysées.	93
Figure. A.VIII.7. Variation des rapports de $SO_4^{2-}/Cl^-$ dans les eaux analysées.	93
Figure. A.VIII.8. Variation des rapports de $Na^+/Cl^-$ dans les eaux analysées.	94
Figure. A.VIII.9. Représentation des analyses chimiques sur le diagramme de Stabler.	95
Figure. A.VIII.10. Présentation d'analyses chimique sur le diagramme de Schöeller- Berkaloff.	96

Figure. A.VIII.11. Représentation des éléments chimiques dans la région du M'léta.	97
Figure. A.VIII.12. Cercles de corrélation pour les facteurs F1-F2, F1-F3.	99
Figure. A.VIII.13. Dendrogramme des variables.	100
Figure. A.VIII.14. Diagramme de Gibbs.	100
Figure. A.VIII.15. Variation de l'indice de saturation des minéraux indiqués, Indice de saturation de (a) minéraux carbonatés, (b) Minéraux évaporitiques.	102
Figure. A.VIII.16. Qualité des eaux d'irrigation S.A.R.	103
Figure. A.VIII.17. Classification de Wilcox.	104
 <b>PARTIE II :</b>	
Figure. B.I.1. Carte du Teneurs en Nitrates du Complexe du Mio – Pliocène.	112
Figure. B.I.2. Histogramme illustrant les variations des teneurs en Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) dans les points d'eau étudié.	113
Figure. B.II. 1. Schéma représente de la pollution des eaux souterraines.	116
Figure. B.II.2. Vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines.	117
Figure. B.II.3. Schéma explicatif montrant le trajet d'un polluant dans les trois compartiments géologique (sol, zone non saturée, zone saturée).	118
Figure. B.II.4. Organigramme pour l'aboutissement à une méthode d'évaluation de la vulnérabilité.	119
Figure. B.II.5. Diagramme schématique de la cartographie de la vulnérabilité selon la méthode DRASTIC (B. Turner and R. Franklin).	121
Figure. B.II.6. Profondeur de la nappe d'eau conditionnant le degré du transfert du polluant.	124
Figure. B.II.7. Recharge de la nappe.	125
Figure. B.II.8. Différent type d'aquifère.	125
Figure. B.II.9. Infiltration du contaminant par rapport à la pente.	126
Figure. B.III.1. Carte de vulnérabilité liée à la Profondeur de l'eau.	132
Figure. B.III.2. Carte de vulnérabilité liée à la Recharge de la Nappe.	133
Figure. B.III.3. Carte de vulnérabilité liée à la Nature de l'Aquifère.	134
Figure. B.III.4. Carte de vulnérabilité associé à la nature du Sol.	135
Figure. B.III.5. Carte de vulnérabilité liée à la Topographie.	136
Figure. B.III.6. Carte de vulnérabilité liée à la zone non saturée.	137
Figure. B.III.7. Carte de vulnérabilité liée à la conductivité hydraulique.	138
Figure. B.III.8. Carte de vulnérabilité liée à l'occupation du sol.	138
Figure. B.III. 9. Superposition des cartes pondérées pour l'obtention de la carte de vulnérabilité globale.	141
Figure. B.III. 10. Carte de la Vulnérabilité Intrinsèque Globale selon la méthode DRASTIC.	142

Figure. B.III.11. Carte de la Vulnérabilité Intrinsèque Globale selon la méthode DRIST.	143
Figure. B.III.12. Carte de la Vulnérabilité Spécifique Globale selon la méthode SI.	145
Figure. B.IV. 1. Portion de la nappe alimentant le captage.	149
Figure. B.IV. 2. Portion d'alimentation du Captage.	150
Figure. B.IV. 3. Schéma géologique structural (SOGREAH).	152
Figure. B.IV. 4. Carte des zones d'Alimentation.	155
Figure. B.IV. 5. Trois types de zones de protection (source : BRGM).	156
Figure. B.IV. 6. Carte du Périmètre de Protection.	158

## *Annexe 2*

**CARTE N°1** – Carte de Localisation des Puits de la Partie Orientale de la Plaine de la M'léta.

**CARTE N°2** – Carte de Localisation des Forages de la Partie Orientale de la Plaine de la M'léta.

**CARTE N°3** – Carte de Localisation des Points d'Eau (Puits et Forages) de la Région de la Plaine de la M'léta.

## Liste des tableaux

### *PARTIE I :*

Tableau. A.II.1. Forages recoupant la formation calcaire Miocène.	14
Tableau. A.II.2. Forages recoupant les formations Pliocènes.	15
Tableau. A.III.1. Résultats d'une diagraphie exécutée au forage Coca ( $\rho$ boue = 2.5 $\Omega$ .m).	42
Tableau. A.IV. 1. Répartition altimétrique.	43
Tableau. A.IV.2. Coordonnées des stations climatiques.	46
Tableau. A.IV.3. Précipitations mensuelles en mm.	48
Tableau. A.IV.4. Précipitations saisonnières.	49
Tableau. A.IV.5. Températures mensuelles en °C à la station d'Es Sénia (1995-2018).	50
Tableau. A.IV.6. Températures mensuelles en °C à la station de Tafraoui.	51
Tableau. A.IV. 7. Calcul de l'évapotranspiration potentielle à la station d'Es-Sénia (1995-2018).	53
Tableau. A.IV. 8. Comparaison entre les différentes méthodes.	56
Tbleau. A.IV. 9. Bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite, appliqué à la station météorologique de la région d'Es'Sénia (1995-2018).	57
Tableau. A.V.1. Sources de débordements.	61
Tableau. A.V.2. Sources drainantes le lambeau de Moulay Abdelkader.	63
Tableau. A.V.3. Sources drainantes le lambeau de Sidi Ghalem.	63
Tableau. A.VI.1. Récapitulatif de l'inventaire des points d'eau.	67
Tableau. A.VII.1. Valeurs de T et K d'après la méthode de THEIS.	77
Tableau. A.VII.2. Valeurs des transmissivités d'après la méthode de JACOB.	78
Tableau. A.VII.3. Valeurs de Transmissivités d'après la méthode de THEIS-JACOB (remontée).	79
Tableau. A.VIII.1. Norme OMS de potabilités des eaux (2017).	82
Tableau. A.VIII.2. Statistiques sommaires des paramètres physico-chimiques des eaux d'aquifère Mio-Pliocène (2021/2022).	82
Tableau. A.VIII. 3. Calcul des rapports caractéristiques.	92
Tableau. A.VIII.4. Matrice de corrélation pour différents points d'eau (mg/l).	98
Tableau. A.VIII.5. Évolution des indices de saturation des minéraux de la zone étudiée (2021 - 2022).	101

### *PARTIE II :*

Tableau. B.I. 1. L'analyse physico-chimique des éléments indicateurs de pollution des points d'eau prélevés (juin 2021 et février 2022).	111
Tableau. B.II.1. Classes proposées selon les cotes et les poids attribuées pour les sept paramètres DRASTIC.	122
Tableau. B.II.2. Les cotes accordées aux paramètres de la méthode DRASTIC (d'après Lallemant- Barrès, 1994).	127

Tableau. B.II.3. Classes de vulnérabilité dans la méthode DRIST.	129
Tableau. B.II.4. Les principales classes d'occupation des sols et valeurs correspondantes.	130
Tableau. B.II. 5. Poids attribués aux paramètres SI.	130
Tableau. B.II.6. Les classes d'indices SI et leurs degrés de vulnérabilité.	130
Tableau. B.III.1. Codification de la classe des profondeurs d'eau.	131
Tableau. B.III.2. Codification de la classe de la recharge.	132
Tableau. B.III.3. Codification de la classe de la nature d'aquifère.	133
Tableau. B.III.4. Codification de la classe de la nature du sol.	134
Tableau. B.III.5. Codification de la classe de la Topographie.	135
Tableau. B.III.6. Codification de la classe de la zone non saturée.	136
Tableau. B.III.7. Codification de la classe de la Conductivité hydraulique.	137
Tableau. B.III.8. Codification de la classe d'occupation du sol.	138

### *Annexe 1*

Tableaux des points d'eau inventories et des analyses physico-chimiques

## Résumé

La Plaine de M'léta, située dans la partie méridionale de la Sebkhah d'Oran, abrite trois aquifères principaux, à savoir la nappe libre (les alluvions de quaternaires), la nappe intermédiaire (les niveaux Plio-Quaternaires) et le complexe aquifère du Mio-Pliocène (calcaires/ calcaires gréseux). Le sujet de notre étude portait sur ce dernier (le complexe Mio-Pliocène), qui revêt un grand intérêt en raison de sa grande extension notamment son épaisseur et l'état de fracturation propice au stockage et à la circulation des eaux souterraines. L'importance stratégique des aquifères dans la plaine de M'léta joue un rôle crucial dans l'approvisionnement en eau potable, ainsi que dans l'approvisionnement en eau industrielle et agricole. Grâce à l'utilisation d'une approche combinant des informations hydrogéologiques et hydrochimiques, elle a permis de mettre en évidence l'hétérogénéité de la plupart des paramètres physico-chimiques ayant une influence sur l'évolution et la qualité des eaux, et ils ont également mis la lumière sur le grand rôle que jouent l'altération climatique et les interactions eau/roche dans l'acquisition de la minéralisation des eaux de la plaine de la M'léta.

Cependant, ces aquifères sont devenus vulnérables à la pollution et à d'autres formes de dégradation de l'environnement. Dans cette optique, nous avons mené une étude sur la vulnérabilité et les risques de pollution de l'aquifère dans la plaine de M'léta, et de réaliser un inventaire basé sur la création d'une carte thématique en utilisant des méthodes d'évaluation de vulnérabilités appropriées telles que DRASTIC, DRIST et SI. Le résultat de la recherche montre que la préparation d'une carte objective évite de nombreux risques de pollution et donne des solutions possibles pour toute décision future, et que les trois méthodes expriment approximativement les mêmes zones en ce qui concerne le degré de vulnérabilité, cela indique que la zone forte vulnérable est située à la partie nord de la plaine, tandis que le reste de la plaine est caractérisé par une vulnérabilité faible et moyenne. De plus, grâce à cette carte, il est possible de mettre en place des mesures de protection appropriées, de surveiller et de contrôler l'utilisation des terres, les activités industrielles et agricoles, ainsi que les sources potentielles de pollution, afin de préserver la qualité des eaux souterraines et de minimiser les risques pour la santé humaine et l'environnement.

Mot clé : Aquifère, Hydrogéologie, Protection des eaux souterraines, Vulnérabilité intrinsèque.

## Abstract

The M'léta Plain extends in the southern part the Sebkhah of Oran and houses three main aquifers, namely the unconfined aquifer (Quaternary alluvium), the intermediate aquifer (Plio-Quaternary levels), and the Mio-Pliocene complex (limestone/sandy limestone). The focus of our study was on the latter (the Mio-Pliocene complex), which is of great interest due to its large extent both in elevation and depth, its thickness, and the favorable fracturing conditions for the storage and flow of groundwater. Furthermore, the strategic importance of the aquifers in the M'léta Plain plays a crucial role in the supply of drinking water, as well as industrial and agricultural water supply.

By utilizing an approach combining hydrogeological and hydrochemical information, it has allowed us to highlight the heterogeneity of most physico-chemical parameters influencing the evolution and quality of the water. It has also shed light on the significant role of climate alteration and water/rock interactions in the mineralization process of the M'léta Plain's water resources.

However, these aquifers have become vulnerable to pollution and other forms of environmental degradation. In this regard, we conducted a study on the vulnerability and pollution risks of the aquifer in the M'léta Plain and created an inventory based on the development of a thematic map using appropriate methods such as DRASTIC, DRIST, and SI. The research findings show that preparing an objective map avoids many pollution risks and provides possible solutions for future decision-making. The three methods approximately indicate the same areas in terms of vulnerability degree, indicating that high vulnerability is located in the northern part of the plain, while the rest of the plain is characterized by low and moderate vulnerability. These methods facilitate the implementation of appropriate protection measures, monitoring and control of land use, industrial and agricultural activities, as well as potential sources of pollution to preserve groundwater quality and minimize risks to human health and the environment.

**Keyword:** Aquifer, Hydrogeology, Protection of groundwater, Intrinsic vulnerability.

يمتد سهل مليتا في الجزء الجنوبي من سبخة وهران، وهو موطن لثلاث طبقات مياه جوفية رئيسية، وهي طبقة المياه الجوفية الحرة (الطبقة الغرينية الرباعية)، والطبقة الجوفية المتوسطة (مستويات بليو الرباعية) ومجمع طبقة المياه الجوفية الميو-البليوسين (الحجر الجيري/الحجر الجيري الرملي). ركز موضوع دراستنا على الأخير مجمع (الميو-البليوسيني)، والذي يحظى باهتمام كبير بسبب امتداده الكبير سواء في الإسقاط أو في العمق، وسمكه وحالة التكسير التي تساعد على تخزين المياه الجوفية وتداولها. وهكذا، فإن الأهمية الإستراتيجية لمستودعات المياه الجوفية في سهل مليتا تلعب دورًا حاسمًا في توفير مياه الشرب، وكذلك في توفير المياه الصناعية والزراعية. بفضل استخدام نهج يجمع بين المعلومات الهيدروجيولوجية والهيدروكيميائية، أصبح من الممكن تسليط الضوء على عدم تجانس معظم العوامل الفيزيائية والكيميائية التي لها تأثير على تطور ونوعية المياه، كما أنها سلطت الضوء على الدور الرئيسي الذي تلعبه عن طريق التغيرات المناخية والتفاعلات المائية/الصخرية في اكتساب تمعدن مياه سهل مليتا

ومع ذلك، أصبحت طبقات المياه الجوفية هذه عرضة للتلوث وغيره من أشكال التدهور البيئي. ومن هذا المنطلق، أجرينا دراسة حول قابلية التأثير ومخاطر التلوث في طبقة المياه الجوفية في سهل مليتا، وقمنا بإجراء جرد يعتمد على إنشاء خريطة موضوعية باستخدام الأساليب المناسبة مثل DRASTIC وDRIST وSI. تظهر نتيجة البحث أن إعداد خريطة موضوعية يتجنب العديد من مخاطر التلوث ويعطي الحلول الممكنة لأي قرارات مستقبلية، وأن الطرق الثلاثة تعبر تقريبًا عن نفس المجالات فيما يتعلق بدرجة الضعف، وهذا يدل على أن الضعف القوي يقع عند المستوى الشمالي من السهل، بينما تتميز بقية مناطق السهل بالضعف المنخفض والمتوسط. بالإضافة إلى ذلك، وبفضل هذه الخريطة، من الممكن وضع تدابير الحماية المناسبة ومراقبة استخدام الأراضي والأنشطة الصناعية والزراعية، فضلاً عن مصادر التلوث المحتملة، من أجل الحفاظ على جودة المياه الجوفية وتقليل المخاطر على صحة الإنسان وبيئته.

**الكلمات المفتاحية:** طبقة المياه الجوفية، الهيدروجيولوجيا، حماية المياه الجوفية، الضعف الجوهري.

## INTRODUCTION GENERALE

L'eau est la principale source de vie au-dessus de la surface de la terre, car il n'y pas d'organisme vivant sur cette planète si ce n'est que l'eau est un élément essentiel de sa composition et l'incapacité de se passer et de vivre sans elle (Hadjadj M, 2018 ; Boubkeri M, 2013). La protection des eaux souterraines est une question de plus en plus préoccupante tant au niveau de l'exploitation de la ressource qu'à celui des impacts sur la santé humaine (Castany. G, 1978; Kaouther. N, 2020). La préservation de la qualité de l'eau souterraine et de surface est d'autant plus importante du fait que cette ressource, une fois contaminée, devient inappropriée pour la consommation. La gravité de la situation est mise en évidence dans le contexte de zones dotées de ressources en eau d'importance stratégique, comme c'est le cas des aquifères de notre zone d'étude (Boualla. N, 2012 ; Hassani. M. I, 1987).

Le passage souligne l'importance stratégique des aquifères de la plaine de M'léta en tant que source cruciale pour la production d'eau potable, approvisionnant 126581 habitants (SEOR) en 2011, ainsi que de l'eau industrielle et agricole, comme indiqué par Rabahi H et Belani T en 2013. Face aux défis environnementaux croissants, à la vulnérabilité de la région et à l'importance des captages, en particulier des forages, une décision a été prise de donner une priorité élevée à la protection de cette ressource (kheliel. O et al, 2018).

L'étude annoncée a pour objectif de fournir un aperçu scientifique de l'état actuel de la nappe de la partie orientale de la Plaine de M'léta, en se concentrant à la fois sur les aspects qualitatifs et quantitatifs. Suggère que cette étude peut se baser sur des travaux antérieurs dans le domaine.

Il est souligné que la qualité des eaux souterraines peut être compromise en raison de plusieurs facteurs, notamment des rejets urbains non contrôlés, l'utilisation intensive d'engrais chimiques et de fertilisants dans l'agriculture, ainsi que l'exploitation désordonnée de la nappe (Khedidja. A, Boudoukha. A. 2018), suggérant qu'ils ont peut-être contribué à la compréhension des impacts de ces activités sur la qualité de l'eau.

Il est également noté que ces facteurs peuvent altérer le chimisme de l'eau, la rendant inappropriée pour les usages souhaités, ce qui souligne l'importance critique de l'étude pour évaluer et aborder les problèmes de qualité de l'eau dans la région.

Il est mentionné que la région d'étude a connu une expansion économique au cours des dernières années, en particulier dans le secteur agricole. Cette croissance économique est attribuée à la mise en œuvre du Programme National de Développement de l'Agriculture (PNDA) en 2000 et du Fond National pour la Régulation du Développement Agricole (FNRDA) en 2001. Ces initiatives ont eu pour effet d'augmenter la demande en eau dans la région. Cependant, cette augmentation de la demande en eau a également exposé la ressource à diverses formes de pollution provenant des

activités agricoles. Les pressions accrues sur la nappe, résultant de l'expansion agricole, soulignent les défis liés à la gestion de l'eau et à la préservation de la qualité de la ressource dans le contexte du développement économique de la région. Cette situation nécessite probablement des études approfondies et des mesures de gestion pour garantir la durabilité de l'utilisation de l'eau tout en minimisant les impacts environnementaux.

Le but à atteindre dans cette étude est la délimitation d'une zone permettant un temps d'intervention suffisant en cas de pollution, pour que le captage ne soit pas contaminé. Il est clair que le choix d'un critère de délimitation dépend des considérations techniques mais aussi des considérations socio-économiques et réglementaires.

Dans cette étude, un seul périmètre de protection immédiat et rapproché sera établi pour l'ensemble des captages (MEF, 1995 ; Paradis. D, 2000). Afin de comprendre la géologie au niveau des captages et de localiser le réseau hydrographie, nous avons exploité les données de la prospection géophysique par les méthodes des sondages électriques.

La cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines est soulignée comme une approche essentielle pour identifier les zones présentant un haut risque de contamination (Bentekhici. N et al. 2018 ; Es Saouini. H, 2015 ; Nadjla. B, 2017 ; Bentekhici. N, 2018). Cette cartographie devrait permettre d'identifier les zones à haut risque, indépendamment du type de polluant. Elle pourrait être utilisée pour orienter les plans d'occupation des sols, ou du moins, servir à cibler spécifiquement les zones où des mesures rigoureuses de protection doivent être adoptées.

Pour permettre cette approche, nous avons pratiqué trois méthodes (DRASTIC, DRIST et SI), qui sont des méthodes standardisées d'évaluation et de cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines indépendamment du type de polluant (Ramesh. J et al, 2020 ; Samir. A et al, 2019) où elles prennent la plupart des facteurs hydrogéologiques affectant et contrôlant l'écoulement des eaux souterraines.

L'application de la méthodologie développée a nécessité la mise en place d'un Système d'Information Géographique, avec le logiciel Arc GIS. Ce SIG, synthétisant une masse de données (géologiques, hydrogéologiques, géophysiques, etc.) considérable (Ncibi. K et al, 2020), constitue un véritable outil d'aide à la décision pour les gestionnaires des ressources en eau de la région orientale de la plaine de la M'léta.

L'objectif visant la protection adéquate d'un captage et sa source d'approvisionnement (Civita. M. V. 1995 ; Bates, J. K, 1996) étant directement lié à une minimisation des risques de contamination autour de ceux-ci, il a été important de déterminer la nature et l'importance de l'aquifère.

L'ouvrage de captage étant situé à l'intérieur et dans un milieu hétérogène, il a été pertinent d'attribuer une grande incertitude à l'extension de l'aire d'alimentation (Bhatt. K, 1993), de prendre en considér-

ation une zone plus vaste et d'inclure toutes les portions du territoire susceptibles d'agir comme zones de recharge ainsi que les zones jugées vulnérables (El Kayssi. Y, 2020). Toute contamination devrait normalement être décelée par des analyses chimiques de potabilité lors d'une étude exploratoire pour l'eau. Cependant, il ne faut pas oublier que l'ouvrage de captage modifie le régime d'écoulement et qu'une contamination inexistante au début du captage peut atteindre éventuellement l'ouvrage de captage (Hassani. M. I, 1987).

Afin de garantir la fourniture d'une eau potable, il est nécessaire de mettre en place une politique de protection des captages d'eau potable et des ressources en eau qu'ils captent (U.S.E.P.A, 1994). Cette protection se matérialise par l'instauration de périmètres de protection, qui sont des zones où sont prises certaines dispositions afin de prévenir ou de retarder la pollution des captages d'eau.

Cette thèse s'organise en trois grandes parties principales :

➤ La première partie concerne les Conditions Générales de la Partie Orientale de la Plaine de la M'léta (Wilaya d'Oran) Dont, nous allons essayer de mieux comprendre l'impact des paramètres climatiques et lithologiques sur la qualité de cette ressource souterraine et d'optimiser l'interprétation des analyses physico-chimiques en utilisant des moyens plus adéquats. Pour la concrétisation de ce programme de travail, un suivi saisonnier (basses et hautes eaux) piézométrique et une campagne de prélèvement pour des analyses qualité physico-chimique des eaux souterraines ont été réalisés. Plusieurs outils (géologique, hydrodynamique, chimique, statistique et informatique) ont été utilisés afin de mieux interpréter les données acquises.

➤ La deuxième partie du document aborde spécifiquement la vulnérabilité et la protection de l'aquifère du complexe Mio – Pliocène de la plaine de la M'léta. Trois méthodes de cartographie de la vulnérabilité sont appliquées, chacune étant expliquée en détail dans la bibliographie. Ces méthodes sont largement utilisées à l'échelle mondiale et en Algérie. Les trois méthodes mentionnées sont la méthode DRASTIC, la méthode DRIST, et celle de susceptibility index. Cette partie est également consacrée à la Protection de l'Aquifère du Complexe du Mio - Pliocène où on a déterminé l'aire d'alimentation et d'adopter des périmètres de protection du captage.

La thèse se termine par une conclusion générale et des recommandations.

# PARTIE I

## *Condition Générale de la Partie Orientale de la Plaine de la M'léta (Wilaya d'Oran)*

- **GEOMORPHOLOGIE**
- **GEOLOGIE**
- **GEOPHYSIQUE**
- **MORPHOMETRIE ET HYDROCLIMATOLOGIE**
- **RESSOURCE EN EAUX SOUTERRAINES**
- **PIEZOMETRIE**
- **HYDRODYNAMIQUE DES AQUIFERES**
- **HYDROCHIMIE**

## I. GEOMORPHOLOGIE

### I. 1. Situation Géographique

La plaine de la M'léta est incarnée à l'extrémité Ouest de la zone de sédimentation s'étendant dans une direction SW – NE, avec une longueur de 300 km et une largeur de 100 km, qui est le bassin Néogène et Quaternaire du bas Chélif.

La zone s'étend sur toute la bordure méridionale de la grande Sebka d'Oran avec une longueur de 54 km et une largeur varie entre 9 et 17 km. Avec une altitude d'une centaine de mètres se restant constante. La plaine de la M'léta est localisée entre la Sebka d'Oran et les Monts des Tessala.

Sur le plan administratif, elle fait partie à la fois de la Wilaya d'Oran (dans sa majeure partie), et de la Wilaya de Sidi Bel Abbas et d'Ain Témouchent. L'ensemble du bassin versant est situé sur les cartes topographiques au 1/50 000ème de Lourmel (N°180), d'Arbal (N°181), d'Oued Imbert (N°210), d'Ain Témouchent (N°209), de Bou Djebaa et de Sig.

Sur le plan géographique, la région d'étude est confinée par

- Au Nord, par la bordure de la Sebka ;
- Au Sud, elle est délimitée par le massif du Tessala;
- À l'Est, elle est bornée par la plaine de Tafraoui-Oued Tlélat.;
- À l'Ouest, les limites sont définies par la ligne de basses collines dans la région de l'Oued el Malah.

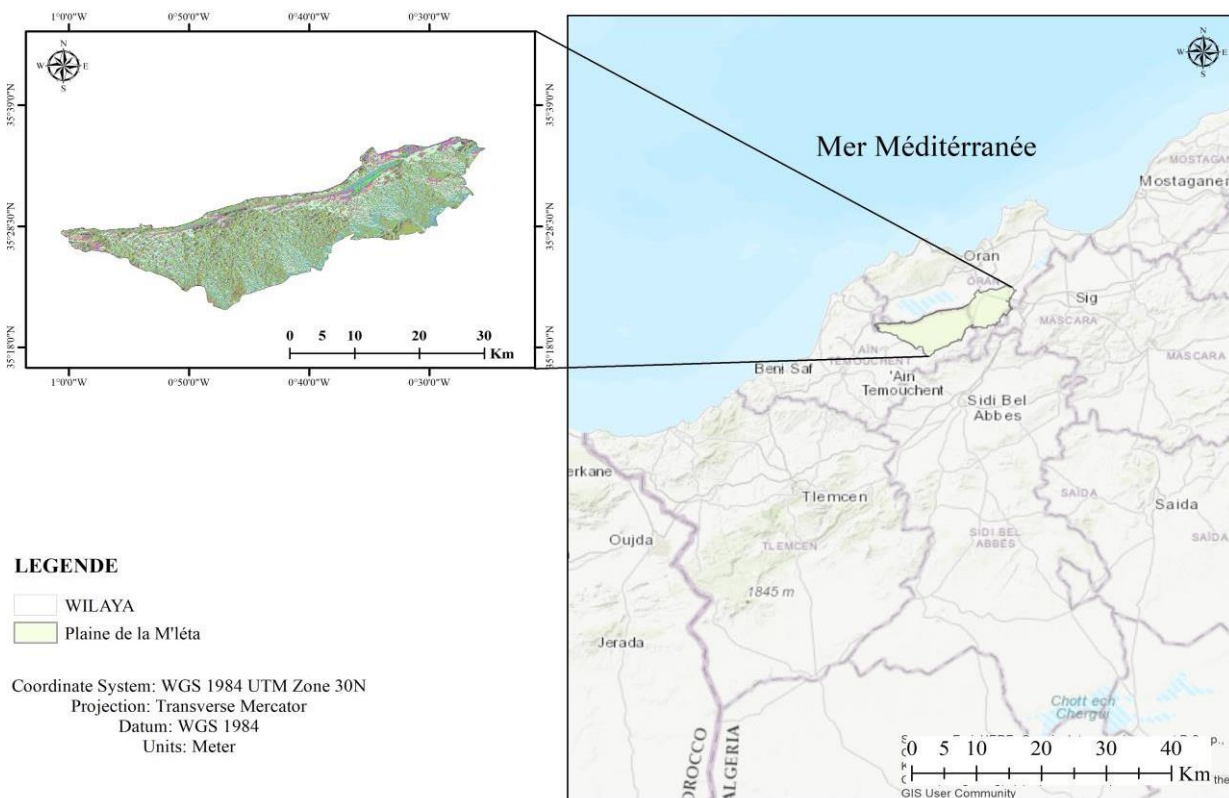


Figure. A. I. 1. Carte de la localisation de la zone étudiée.

## I. 2. Morphologie de la zone d'étude

Du point de vue géomorphologique, l'Oranie détermine du Nord vers le Sud, trois sillons différents séparés par des massifs montagneux (figure. A.I.2).

- Sillon septentrional représenté par la plaine des Andalouses ;
- Sillon médian (la Grande Sebka...etc.) prolongeant vers l'Ouest le sillon du bassin du Cheliff ;
- Sillon méridional situé au sud des Monts de Tessala (plaine de Sidi Bel Abbés). D'une superficie de 520 Km<sup>2</sup> et une altitude comprise entre 95 et 215 m.

La plaine de la M'léta s'incarne dans le sillon médian, qui est orienté WSW-ENE selon la direction Tellienne. L'originalité de cette plaine est l'extrême planéité de ses terrains (formés essentiellement de limons gris), dont la pente est généralement inférieure à 1%, La plaine de la M'léta se caractérise par des altitudes basses qui vont de 82 m à l'extrême Ouest à 100 m vers la partie Est.

Les Monts de Tessala agissent comme une limite sud de la plaine, formant un massif complexe qui s'étend sur une cinquantaine de kilomètres. Ces montagnes atteignent leur point culminant à 1061 mètres d'altitude et surplombent la plaine de la M'léta de 700 à 800 mètres.

La description des massifs littoraux d'Oran, également connus sous le nom de Murdjadjo, montre qu'ils constituent une limite nord du sillon, offrant des reliefs moins étendus mais bien définis au niveau de la morphologie. Ces massifs culminent à 581 mètres à Msabih. Les caractéristiques distinctives de ces massifs incluent un profil dissymétrique, un étagement en gradins, des ruptures de pente, des aplanissements, et une hydrologie particulière. Le versant sud des massifs littoraux d'Oran est fortement entaillé par une série d'oueds qui coulent de la direction Nord vers le Sud, descendant en pente douce vers la dépression de la Grande Sebka. En revanche, le versant nord est formé de hautes falaises, créant une topographie contrastée entre les deux versants.

La description géographique indique qu'au centre se trouve la dépression de la Sebka d'Oran, qui s'étend sur 40 km de longueur et 25 km de largeur. Cette dépression est identifiée comme le prolongement de la plaine du Chélif vers l'Ouest.

Les deux entités géologiques, la dépression de la Sebka d'Oran et la plaine du Chélif, sont séparées par une zone de hauteurs orientées du nord-est au Sud-Ouest.

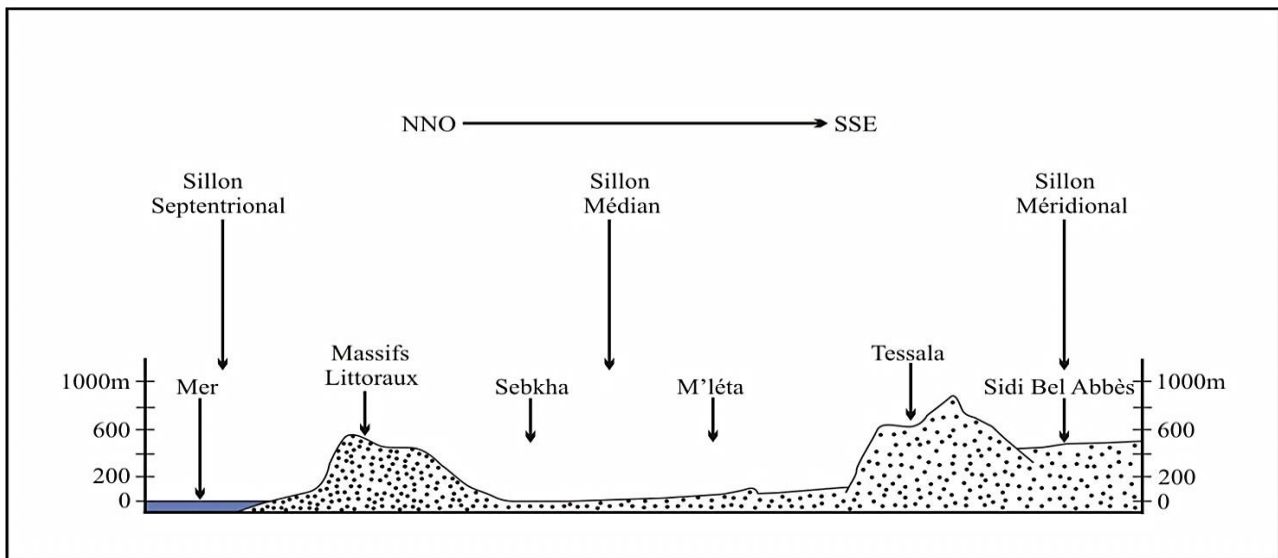


Figure. A. I. 2. Profil de l'allure morphologique générale de l'Oranie.

### I. 3. Aperçu Hydrologique

La Sebkhah d'Oran précédemment défini par le sillon médian, il est considéré par les hydrologues comme un bassin de type endoréique, la plaine de la M'léta est également comprise comme faisant partie de ce bassin versant endoréique.

Du fait du climat asséchant et tectonique récent, il a un effet significatif, clairement et perceptible sur la désorganisation des réseaux hydrographique de la région.

Les cours d'eau du bassin présentent un écoulement intermittent et très instable. Cependant tous les écoulements (superficiels et souterrains) convergent vers la Sebkhah (figure. A.I.3).

La superficie du sous bassin de la M'léta est estimée à 918 km<sup>2</sup>.

Le réseau hydrographique est mauvaise priorité avec la propagation de cours d'eau de 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> ordre, cela précise qu'il s'agit d'une surface néo-tectoniquement active pendant le soulèvement. La nature lithologique marneuse, qui contribue à une augmentation de densité de drainage. À cause de ce dernier ainsi que la fréquence élevée des confluences favorisent d'autant mieux des crues rapides et puissantes.

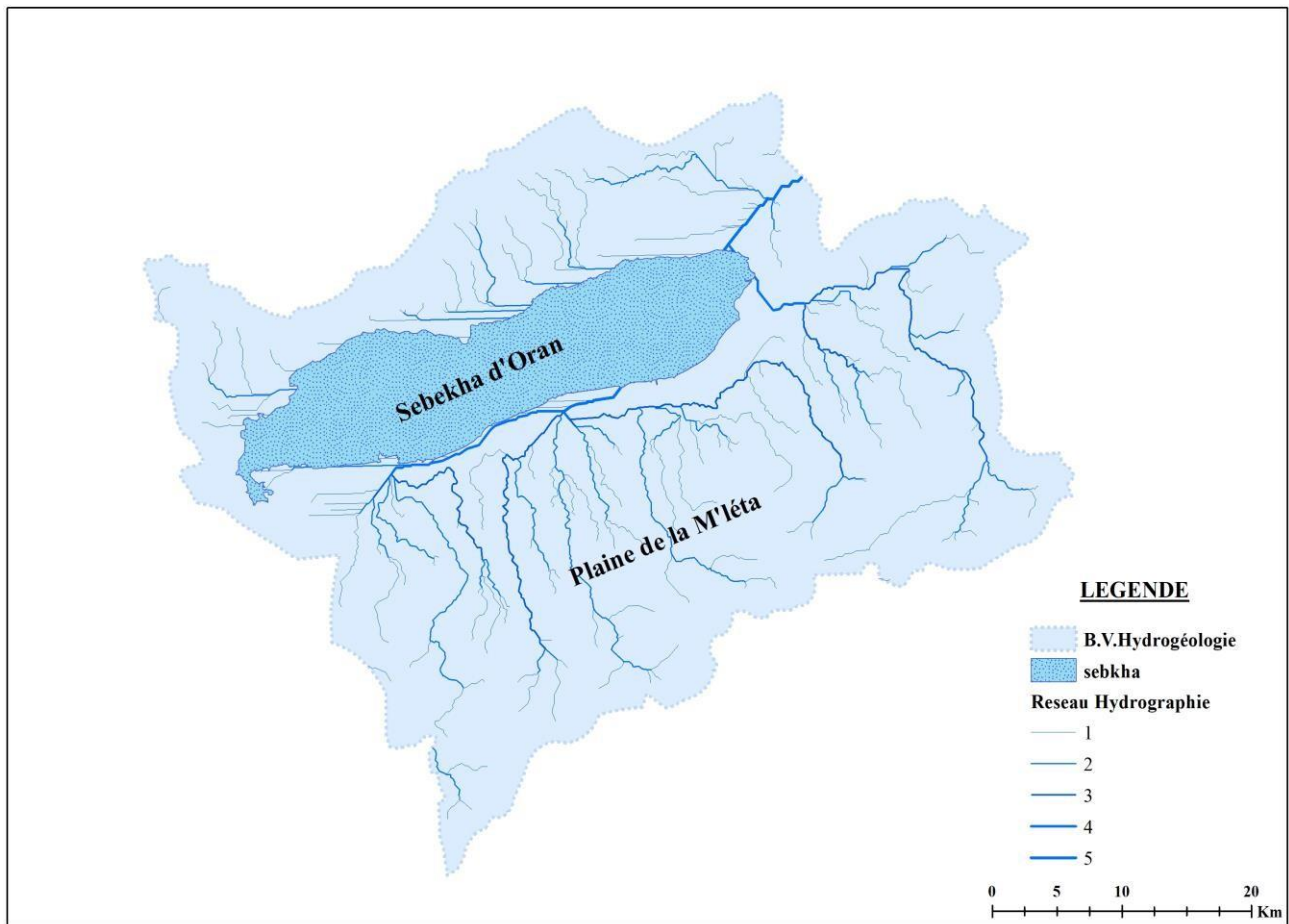


Figure. A. I. 3. Réseau Hydrographique

Les plus importants oueds sont d'Est en Ouest, les oueds de Taфраoui, Tangrouth, Ghassoul, El Haimour, Besbes, Fekrine. Plusieurs de ces oueds se rassemblent à Kef El Ogab qui se déverse dans la Sebkhah, tandis que les autres s'étalent sur leur cône de déjection où ils finissent par s'infiltrer.

L'analyse des études morphométriques et hydrologiques élaborées a fait ressortir l'aspect prédominant de l'infiltration. Dans les Tessalass, on est en présence d'une zone active positive à recouvrement marneux d'où un écoulement très important. Dans la plaine de la M'leta, zone négative peu déclive, les eaux provenant des reliefs subissent une infiltration importante en nappes superficielles où s'épandent en surface d'eau libre dans la Sebkhah.

## II. CADRE GEOLOGIE

### II. 1. APERÇU GEOLOGIQUE DE L'ALGERIE

La zone d'étude, géographiquement liée au littoral Oranais, est connectée à des bassins sédimentaires dont l'histoire géologique est intégrée dans le cadre global de la géodynamique liée à la tectonique des plaques. Cette histoire géologique a conduit à la formation de deux domaines distincts :

- Au Nord l'Algérie alpine.
- Au Sud la plate-forme saharienne.

Les études géologiques ont préparé la caractérisation la chaîne des Maghrébides, avec l'identification de trois grandes zones (Wildi, 1983) (figure. A.II.1) :

- Les zones internes :

les zones internes sont décrites comme chevauchant à leur tour les nappes de flysch et sont composées de deux ensembles antérieurs au Miocène : (a) les massifs hercyniens et (b) les écaillés de terrains sédimentaires d'âge allant du Trias à l'Eocène.

- Les nappes de flysch :

Ces nappes chevauchent les séries de nappes telliennes.

- Les zones externes de la chaîne (zones telliennes) :

Ces zones sont caractérisées par la présence de séries du Crétacé et du paléogène à dominance marneuse, en plusieurs endroits décollées de leur substratum Jurassique. Ces séries découpées et empilées les unes sur les autres caractérisent les nappes telliennes.

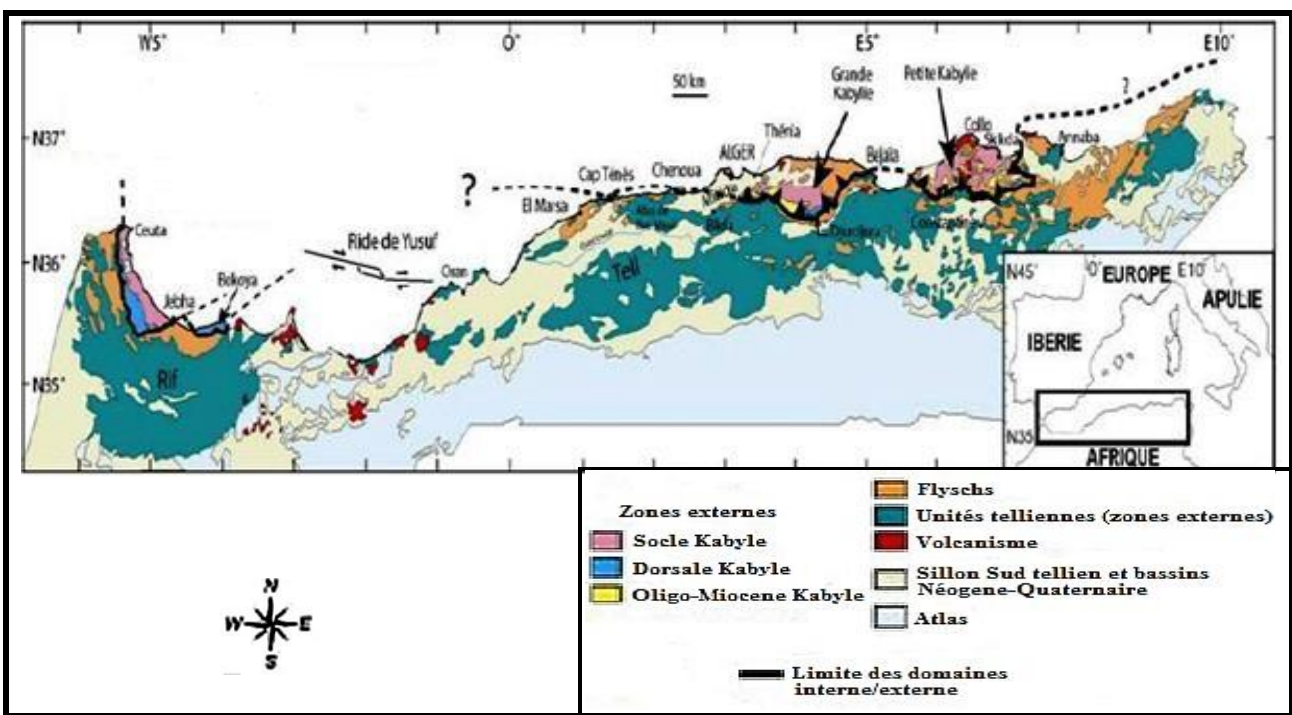


Figure. A. II. 1. Carte géologique du Nord de l'Afrique montrant les différentes unités géologique (In Wildi, 1983 ; Domzig et Al, 2006).

## II. 2. APERÇU GÉOLOGIQUE DU SECTEUR D'ÉTUDE

La plaine de la M'léta est une plate-forme dépressionnaire orientée Est-Ouest (Gourinard. Y, 1952), constituée de dépôts terrigènes provenant de l'érosion des montagnes bordières du Tessala et des dépôts éoliens. Elle occupé par la grande sebkha, prolongement Ouest du vaste synclinal du Chélif.

Morphologiquement la région de l'Oranie présente trois (03) sillons bien distincts :

- Sillon septentrional, représenté par la plaine des Andalouses.
- Sillon méridional, situé au Sud des Monts du Tessala, constituant les plaines de Sidi Bel Abbés et de Mascara.
- Sillon médian constituant le prolongement Ouest du vaste synclinal du Chélif.

Le périmètre de l'étude se trouve ainsi dans ce dernier sillon qui s'insère entre deux ensembles montagneux qui l'encadre selon la direction tellienne Ouest Sud-Ouest - Est Nord Est. Il s'agit du Murdjadjo au Nord et le Tessala au Sud.

### II. 2. 1. Lithostratigraphie de la région étudiée

La zone d'étude a été définie sur la base de la description géologique suivante :

- Les travaux des différents auteurs ayant traités cette région.
- Les informations données par les forages réalisés dans la région.
- L'analyse des cartes géologiques éditées par l'Office Nationale de Géologie, au 1/50 000<sup>ème</sup> et par différents auteurs à différentes échelles (figure. A.II.2).

#### II. 2. 1. 1. Formations Anté-Nappe et Synchro-Nappe

Dans ce contexte, le substratum dans les Tessala est décrit comme correspondant à l'allochtone tellien, ainsi qu'au Miocène anté à syncho-nappe. Ils sont à prédominance marno-schisteuse. Les différentes unités d'origine septentrionale semblent avoir enregistré des processus et événements géologiques allant du Trias à l'Oligo -Miocène.

##### II. 2.1.1.1. Trias

Les formations triasiques dans les monts de Tessala sont particulièrement intéressantes selon leur affleurement très marqué en structure diapirique. En effet, il se caractérise par la présence d'importantes masses de gypse, ce gypse est lié à l'argile et les éléments remaniés en blocs alloènes. Il n'occupe jamais de position stratigraphique normale du fait qu'il perce à travers les formations géologiques. Le diapir d'Arbal en est l'exemple dans la région où les couches évaporitiques présentant un aspect intrusif. Son existence suggère des mouvements tectoniques pendant le Sénonien supérieur.

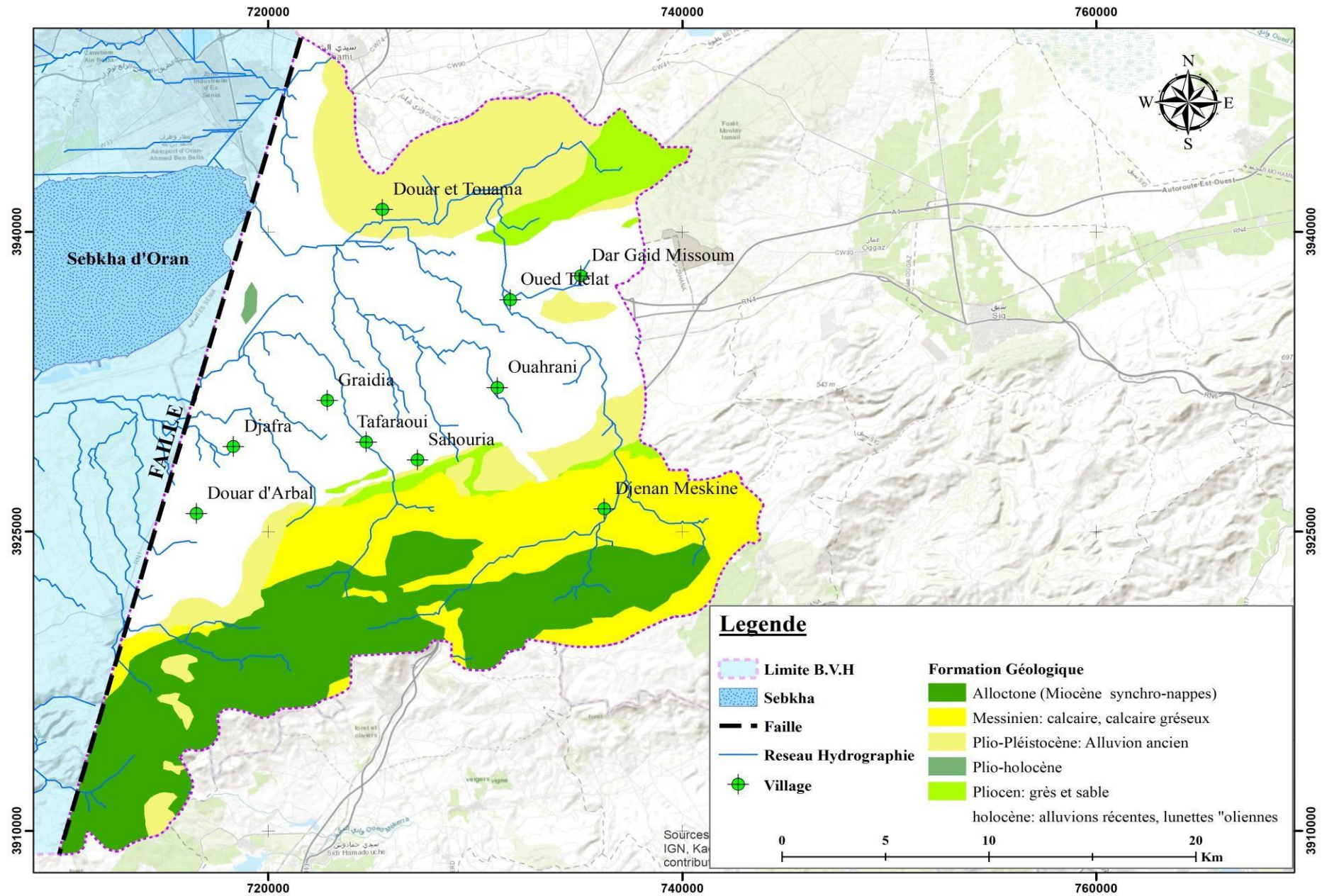


Figure. A. II. 2. Carte géologique de la région d'étude.

### II. 2. 1. 1. 2. Jurassique

Les dépôts jurassiques apparaissent autour du sommet du pic de Tafraoui, se présentent sous forme de lambeaux. Ces lambeaux sont principalement composés de calcaires liasiques en dalles. L'épaisseur de ces dépôts est d'environ 400 mètres.

### II. 2. 1. 1. 3. Crétacé

Les dépôts crétacés dans les monts de Tessala s'étendent sur une grande superficie. L'épaisseur de cette formation peut atteindre jusqu'à 850 mètres, et les unités autochtones Miocènes reposent sur des substratums du Crétacé.

Elle se manifeste par les formations marno-schisteuses allant du début (Néocomien) à la fin (Sénonien) de cette époque géologique.

### II. 2. 1. 2. Remplissage Post-Nappe (couverture)

#### II. 2. 1. 2. 1. Néogène

##### a. Miocène Post-Nappe

Ce nouveau cycle sédimentaire représente une transgression qui succède la période de régression à la fin du Miocène inférieur. Au cours de cette transgression, les Monts Tessala sont progressivement affectés par des dépôts littoraux avec une grande variété de faciès. De plus, il est noté que ces dépôts ont souvent une épaisseur réduite. Autre que les sédiments qui s'accumulent de fortes épaisseurs dans la zone subsidente de la Sebkhah.

Il est mentionné que l'étude du Miocène post-nappe a suscité l'intérêt de plusieurs auteurs, et la figure 3.3 présente une compilation de leurs travaux.

(A. Perrodon, 1957) a identifié cinq formations constituant la succession classique du bassin du Chelif :

↙ Gypse	}	* Formations terminales
↙ Tripoli		
↙ Calcaire à lithothamniées		
↙ Marnes bleues.		* Formations médianes
↙ Grès marins.		* Formations de base

(Y. Gourinard., 1957) a défini le Miocène supérieur comme suit :

- ↙ Un faciès pélagique marneux.
- ↙ Un faciès détritique ou saumâtre.
- ↙ Un faciès représenté par des marnes à tripoli, des calcaires crayeux puis des calcaires à lithothamniées.

Ce remplissage est constitué par :

### ↳ Premier cycle post- nappe

Ces formations se traduisent par des dépôts continentaux composé par des niveaux alternant des conglomérats à de schistes, de grès et de marnes entrecoupées parfois de diaclases injectées de gypse qui peuvent atteindre une épaisseur de 250 mètres et représentent une séquence d'affleurements s'étend de l'Oued El Malah jusqu'au Sud de la région d'Oued Tlélat, reposent toujours sur l'allochtone B. Fenet (1975), ces dépôts émergent Dans le versant Nord du Tessala (figure. A.II.3).

L'absence de données provenant de forages réalisés dans la région de la plaine de M'léta rend difficile la détermination de la présence ou de l'absence des formations décrites sous cette zone. La connaissance géologique de cette région dépend souvent de la profondeur atteinte par les forages, et si ces forages n'ont pas pénétré suffisamment en profondeur, certaines formations peuvent rester inconnues.

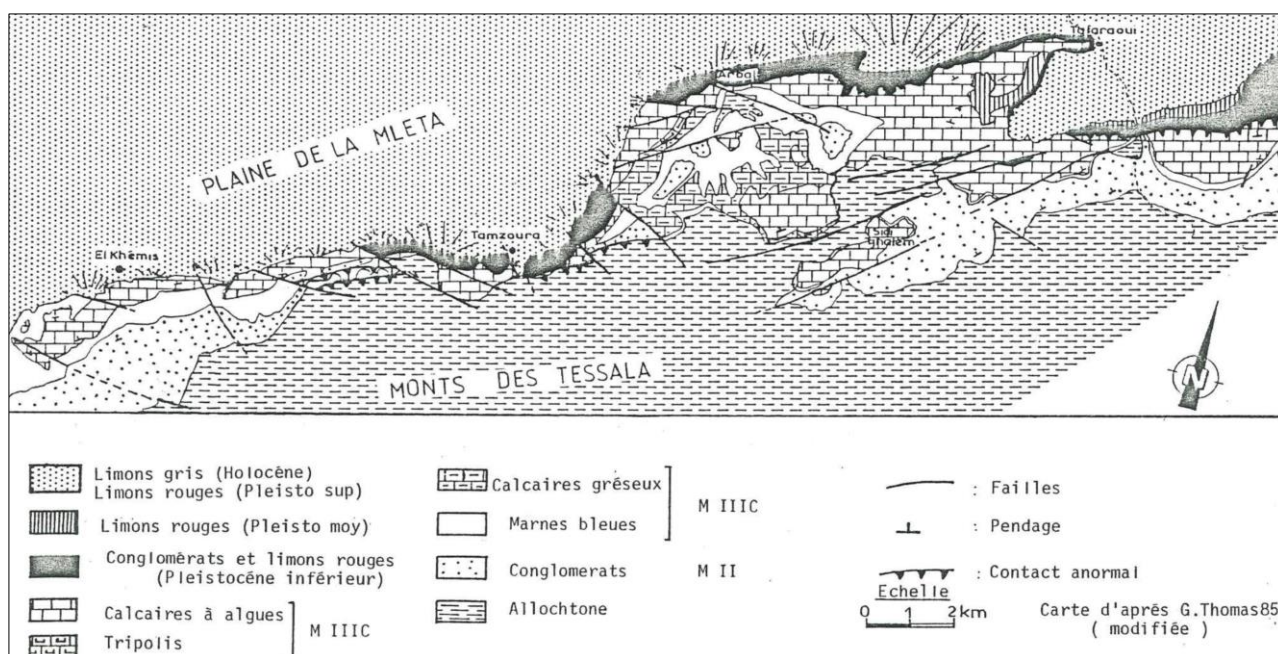


Figure. A. II. 3. Carte du miocène post-nappe dans les monts des Tessalas (in Hassani. M.I, 1987).

### ↳ Deuxième cycle post-nappe

Au niveau de la zone d'étude, la transgression du Miocène supérieur débute par une importante série sédimentaire grés-sableux dans le bassin Chélif, cette série se compose des couches suivantes :

#### ➤ Niveau détritique de base

Dans les Monts Tessala, on voit ce niveau spécifique constitué de grès marins, qui n'affleure qu'en certaines zones hautes. Ces niveaux gréseux deviennent lenticulaires, c'est-à-dire qu'ils prennent une forme allongée et moins épaisse. On constate également une transition latérale de ces grès vers des marnes bleues.

Entre Tamzourah et la plaine de Tameira, (conformément à la figure A. II.4), ce faciès spécifique est considérablement réduit.

Quant au deuxième cycle, la transgression se produit sur les terrains secondaires, Au nord, la transgression se manifeste par des conglomérats composés d'éléments de quartzites et de schistes. Au sud, en revanche, se développe un véritable niveau transgressif formé par de grès sableux, parfois à ciment calcaire.

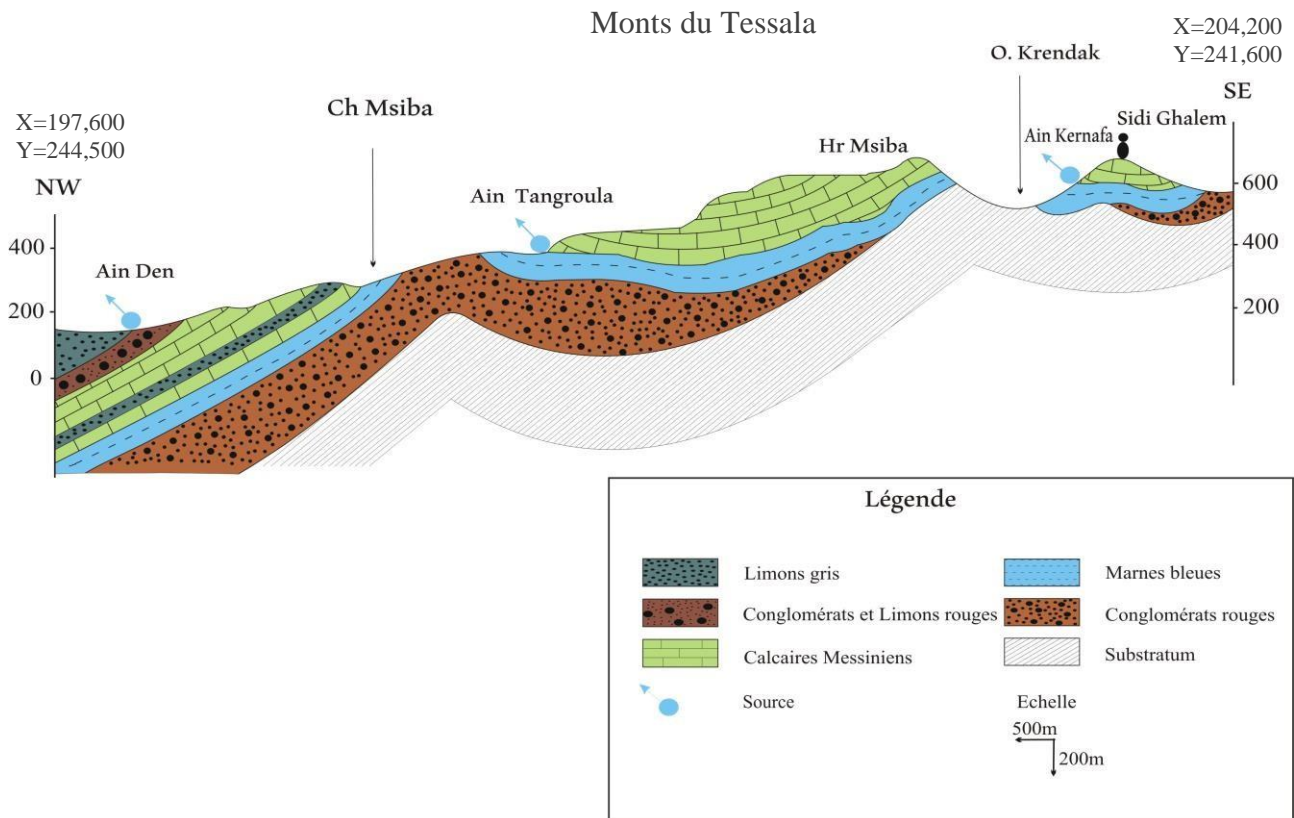


Figure. A. II. 4. Coupe géologique entre Arbal et Tamzourah.

### ➤ Formations médianes

Dans le versant Nord du Tessala, les formations sont principalement constituées de marnes bleues. Les observations des différentes coupes révèlent un envahissement progressif de la partie inférieure des marnes par des dépôts calcaro-sableux, qui se produit de manière parallèle à leur envahissement puis à leur remplacement total en se déplaçant d'Est en Ouest. Ces formations médianes présentent une diminution significative d'épaisseur dans les monts du Tessala.

### ➤ Formations terminales

A la fin de la transgression du Miocène supérieur, on trouve les dépôts de tripolis et de gypses dans le bassin du Chélif. Ces principales formations que l'on peut rencontrer sous forme de couches stratigraphiques superposées, ascendantes comme suit :

### ➤ Tripolis et gypses

Bien que la présence des tripolis soit moins abondante dans les Tessala, cependant, certains lits de Tripolis se trouvent entrecoupés de marnes blanches et se trouvent généralement entre Arbal et Tamzourah et ils sont intercalés dans les calcaires massifs récifaux. Cependant, en dehors de cette zone et vers l'ouest, on observe un changement complet des marnes à tripoli et l'aspect des calcaires récifaux. Il est intéressant de noter que de nombreux forages traversent ces tripolis, et qu'à mesure qu'on se rapproche du centre du bassin, leur épaisseur augmente.

### ➤ Calcaires récifaux

Cette couche est un passage latéral qui est limité au fond par une série de marnes allant du blanc au vert, intercalées avec des dépôts de tripoli. En profondeur, ces calcaires présentent une couleur gris clair et peuvent avoir une texture bioclastique, oolithique, voire parfois micritique, gréseux et massifs. Ces calcaires affleurent au flanc Nord des Tessala. Les calcaires mentionnés sont cimentés par de la calcite cristalline et ils présentent une forte fissuration. Ces fissures sont parfois remplies de sables quartzueux et parfois de matériaux terrigènes.

Dans les forages de Tafraoui, S4A, S5A et SE7A, la partie supérieure de la formation a été entrecoupée par des calcaires fortement cimentées.

Vers la région de Tafraoui (voir figure A. II.5), neuf forages ont traversé ces calcaires. Parmi eux, seuls les forages Ban Lartigue 1, S4A, M'leta 2 et SE7A les ont traversés intégralement, avec des profondeurs respectives de 71 m, 134 m, 90 m et 134 m (voir tableau A.II.1).

Tableau. A. II. 1. Forages recoupant la formation calcaire Miocène :

Nom de l'ouvrage	Ban Lartigue1 (*)	Tafraoui	S3A	S2A	S4A (*)	S5A	S6A	M'leta 2 (*)	SE7A (*)
Cote sous le toit de la formation (m)	334	50	190	236	186	186	262	299	186
Cote du mur de la formation (m)	403	120	289	348	320	273	298	389	320
Puissance traversée (m)	71	70	67	112	134	87	36	90	134

(\*) Forages ayant recoupés la formation entièrement.

En fait, il a atteint une épaisseur de 134 m (S4A et SE7A) ce qui dénote une réduction de son épaisseur et ce en allant du Sud vers le Nord. Il y a un compartimentage marqué de la zone où se trouvent les forages SE7A et S5A, malgré la distance relativement courte entre ces deux forages qui est inférieure à un demi-kilomètre. En effet, la cote du toit de la formation passe de 186 m à 262 m, ce qui signifie qu'il y a un rejet vertical de 86 m.

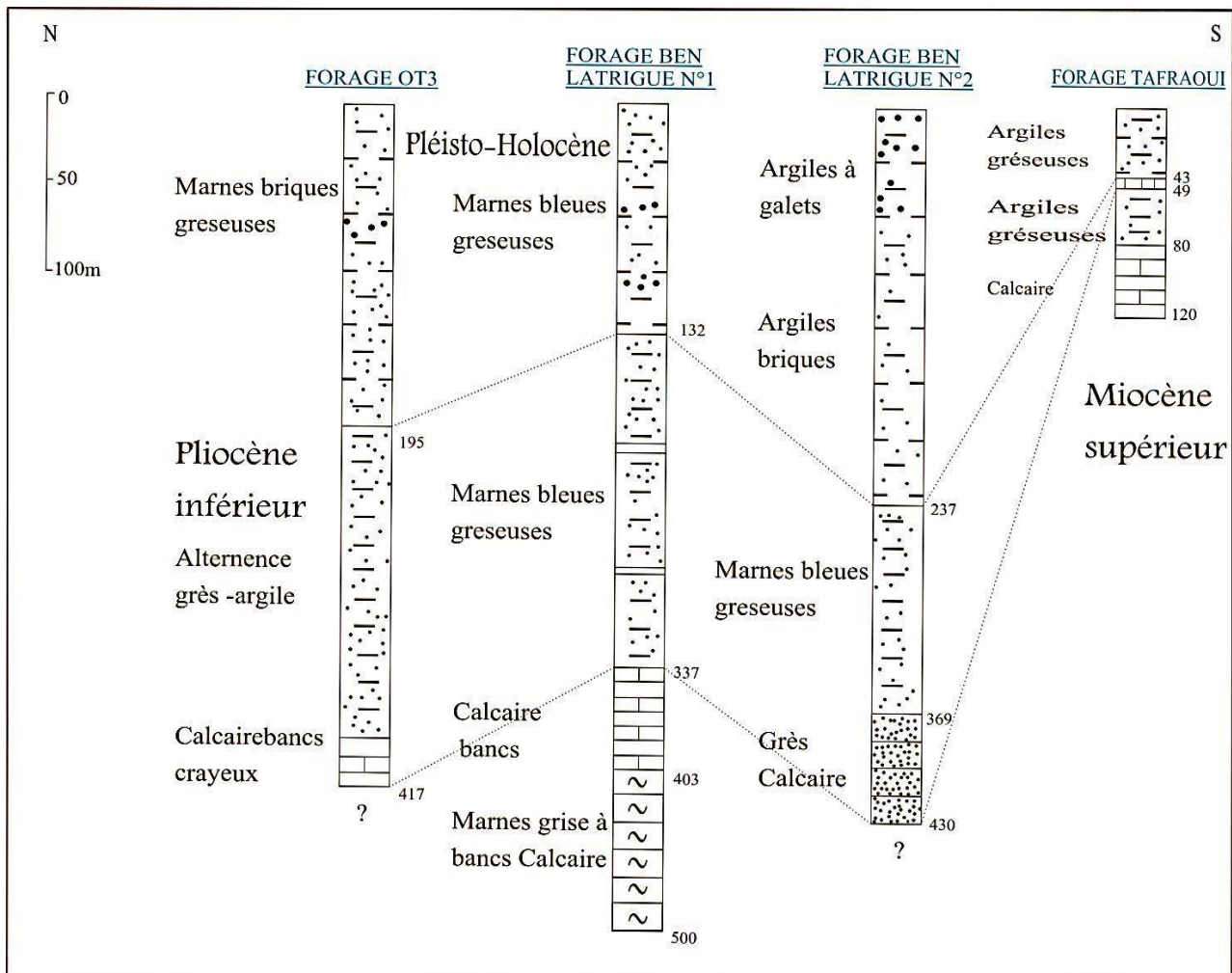


Figure. A. II. 5. Coupe géologique synthétique des corrélations des forages Nord Sud à travers la plaine de la M'léta.

### b. Pliocène inférieur et moyen marin

Le Pliocène inférieur et moyen, appelé également "Pliocène marin ancien", est désigné comme le troisième cycle post-nappe, au Nord-Est de la plaine précisément sur les anticlinaux des Djebels Djira et Debbi, on observe l'affleurement de ce cycle. Dans la zone d'étude, six forages ont intersecté cette formation (tableau A. II.2). Son épaisseur est inconnue car aucun des forages réalisés ne l'a traversée entièrement. Le forage Ban Lartigue 2 a traversé cette formation sur une épaisseur de 193 mètres avant d'être arrêté.

Tableau. A. II. 2. Forages recoupant les formations Pliocènes

N° Forage	Ban Lartigue 1	Ban Lartigue 2	OT2	Tafraoui	S5A	S6A
Profondeur du forage (m)	334	430	400	49	180	262
Épaisseur traversée (m)	127	193	181	6	39	82

La couche marneuse commence souvent à des niveaux détritiques gréseux, sableux, voire conglomératiques. Même après le début de la formation des marnes, ces dernières, considérées comme intercalations entre les grès et les sables restent imbriquées tout au long de la série. Quant au forage Ban Lartigue 2, les marnes atteignent une épaisseur de 132 mètres et présentent une couleur grise ou bleutée. Les grès marins de l'Astien dans la région Nord-Ouest atteignent une épaisseur de 80 mètres.

A une profondeur de 6 mètres de forage à Tafraoui, nous avons trouvé du calcaire récifal blanc remontant à une couche du Pliocène marin. En ce qui concerne les forages S5A et S6A, ils traversent respectivement une formation de marnes bariolées, de couleur brun clair à bleu verdâtre, fortement gypseuse, d'une épaisseur de 39 mètres et 82 mètres. La position stratigraphique de cette couche est entre les calcaires du Miocène et les marnes. (Voir figure A. II.6).

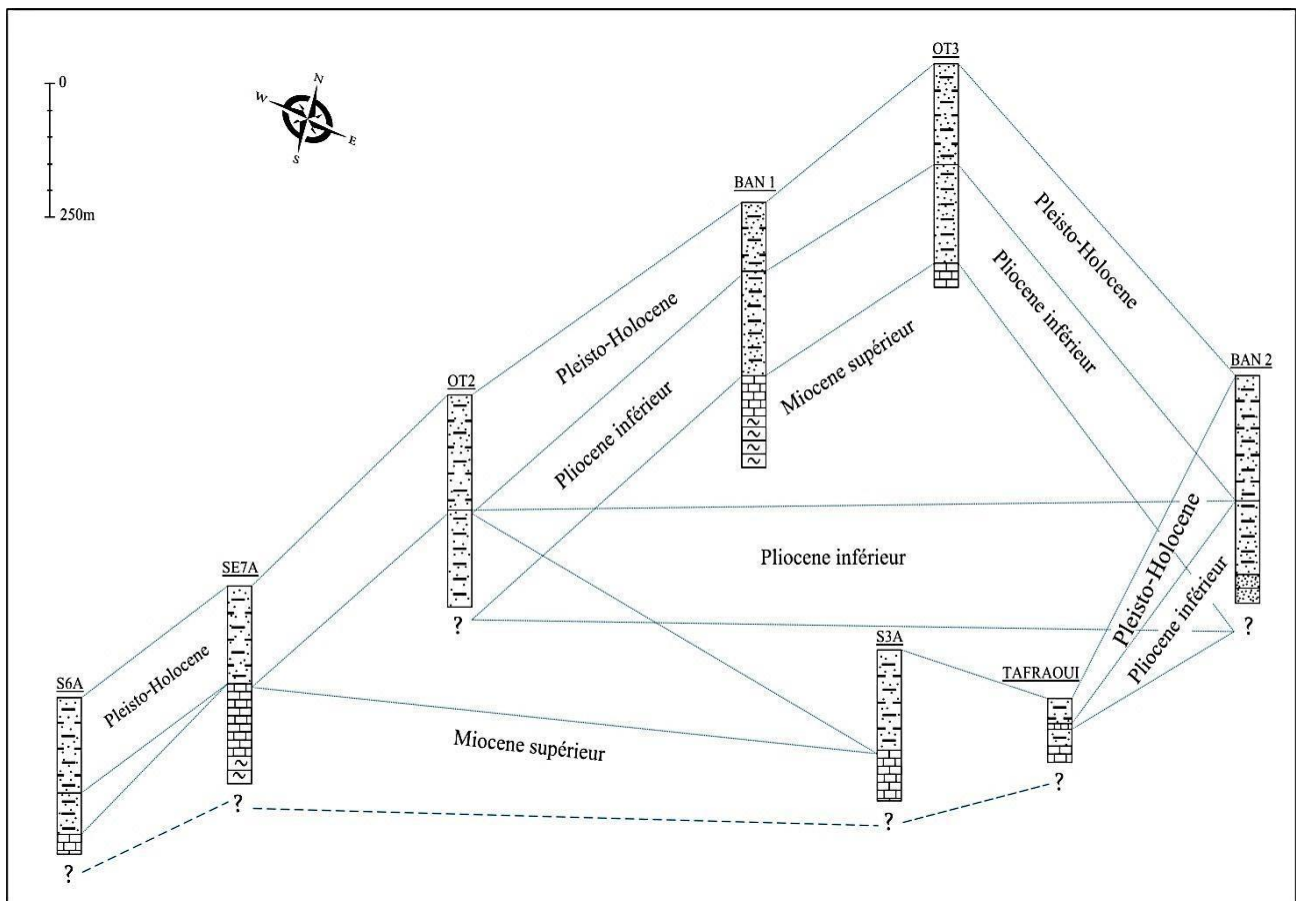


Figure. A. II. 6. Coupe géologique synthétique de la M'léta.

## II. 2. 1. 2. 2. Quaternaire

### a. Pléistocène inférieur

Il est représenté par d'assises continentales azoïques et sont décrites comme étant composées de limon rouge, parfois conglomératique dans la M'léta et à El-Djezira, Ces strates sont revêtues d'une croûte indurée présentant un faciès calcaire.

**b. Pléistocènes moyens et supérieur**

Pour des Pléistocènes moyen et supérieur, cette formation est très restreinte dans la M'léta. Elle apparaît de manière timide uniquement aux environs de H Bou H'adjar pour le Pléistocène moyen, et à courte distance de Tamzourah et d'Ain Larbaa pour le Pléistocène supérieur.

Le Pléistocène supérieur débute sur le littoral avec des transgressions néotyrrhéniennes, tandis que vers l'intérieur, il se caractérise par la formation de terrasses fluviales postérieures aux terrasses encroûtées du Pléistocène moyen.

**c. Holocène**

Ces formations correspondent à un monticule de couches argilo-sableuses ou limoneuses, où La plupart de la surface de la M'léta est enveloppée par ces dépôts salés et gypseuses (alluvions récentes) adoptant la forme de terrasses attachées aux cinq cônes de déjections avec des Des composants grossiers encore en transit aujourd'hui dans les lits des oueds (El Haïmeur, Sebbah, Rassoul, Tamzourah et Tafraoui). L'épaisseur de ces dépôts atteint les 40 mètres.

Dans la direction méridionale et sud-orientale de la Sebkha (dans les reliefs d'El Hamoul), on trouve le développement des dunes éoliennes formées de composants argilo-sableux ou argileux. Ces dunes résultent de l'érosion par déflation des sols salins de la Sebkha, provoquée principalement par les vents venant de l'Ouest et du Nord-Ouest, qui restent prédominants dans la zone. Les parties inondables de la Sebkha sont recouvertes par des alluvions actuelles salées et gypsifères.



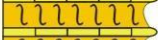
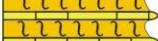


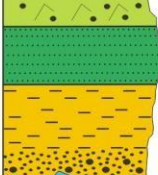





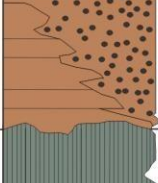
A. Peroondon, 1957		J Delfaud et Al, 1975	B. Fenet, 1975			G. Thomas, 1985			Log Synthétique		
VI recent = thyrennien	Couche à Stromoes		Pléistocène moyen et supérieur			Holocène	Lunettes argileuse, Sables éoliens limons gris			Limons gris	
VI inter-médiaire						Pleistocène supérieur	Q	IV	Formation de Oued Oggaz		Tarrasses limoneuses rouges, dalles
	Pleistocène moyen	III	Formation du Rocher								
		I	Formation de Remani								
Villafranchien	Formation rouges	Mégasequence II	Calabrien Villafranchien	4 eme cycle IV	Formation dunaires et Formation rouges continentales	Pleistocène inférieur	P II	B	Formation de la Makarra		Limons et Conglomérats rouges
Calabrien	Grès et Lumachelles				Lumachelles + dalle calcaires	Calabrien		A	Formation Mettmoura golfe d'Arzew		Grès lumachelliques et Sables dunaires
Pliocène continent	Conglo-limoneux				Formation détritiques	Plaisancien					
Pliocène marin	Astien: grès marin Plaisancien: marnes				3 eme cycle III	Formation marneuses	Tabianien	P I A, B	Formation du bas-Chelif		Grès Marnes bleues Conglomérats et Sable
Miocène Supérieur (Vindobonniien)	Formation terminales	Mégasequence II	Messinien	2 eme cycle postnappe II	Calcaire messinien	Messinien	2 eme cycle III	D	Formation Evaporitique		Evaporites
	Formation médianes				Messinien marneux	Tortonien II		C	Formation du Murdjadjo		Calcaire
	Formation de base				Grès de base			B	Formation de Marnes bleues médianes		Tripolis
Miocène inférieur	Continental: Conglomérats Marin: Marnes grises	Mégasequence I	Tortonien	1er cycle I	Formation rouges continentales de Tafraoui	Tortonien I	1er cycle II		Formation de Bouhnafia Tafraoui		Marnes bleues
					Série de Marsa Le Kebir et O Hamadi	Serravalien					
					Langhien					Formation de Debbi	
Miocène inférieur	Mégasequence I	Miocène anté ou synchronappe	Miocène anté ou synchronappe M I								Marnes Pélagiques Schistes et Marno-Schistes

Figure. A. II. 7. Nomenclature des termes utilisés dans le découpage du Miocène post-nappe de l'Oranie. (In HASSANI M.I., 1987).

## II. 3. TECTONIQUE

De nombreux travaux sont réalisés sur la région et selon ces auteurs (F. Doumergue, 1912 ; G. Gourinard, 1958 ; A. Perrodon, 1957 ; B. Fenet, 1975 ; G. Thomas, 1985 ; etc.) ils contribuent à distinguer les dispositions structurelles existantes.

Notre région d'étude a été affectée par des périodes instables qui ont façonné l'aspect du paysage actuel. On peut identifier sept grandes périodes de l'histoire tectonique, depuis le début des dépôts des formations Secondaires.

Des schistes et des sédiments à caractère pélitique sont dominants au Crétacé inférieur, postérieurement à l'accumulation des formations carbonatées du Lias (figure A.II.8).

La région a subi :

### II. 3. 1. TECTONIQUE INFRA-CRETACE

Elle correspond à une compression observée dans l'ensemble du domaine tellien, avec les plis s'orientent NE-SW. Ce mouvement a conduit à l'émergence d'une unité paléogéographique s'étirant d'Est en Ouest, des monts d'Arzew jusqu'à Beni-Saf. Cette phase a été circonscrite par (B. Fenet, 1975), à certains secteurs du Barrémien supérieur et de l'Aptien.

Après le dépôt de formations essentiellement marneuses ou Sénonien et Paléocène, intervient :

#### II. 3. 1. 1. Première partie Alpine

Cette étape à composante tangentielle pourrait être la cause d'une partie des phénomènes que certains associent à la tectonique Miocène (B. Fenet et Al, 1969), en particulier cette phase serait responsable, pour J.P. Bouillon (1975), d'une partie de l'épi métamorphisme des massifs littoraux à schistosité qui serait d'âge Lutétien.

L'exondation jusqu'au Miocène inférieur de la plus grande partie du bassin Oranais est une des conséquences de cette phase lutétienne.

#### II. 3. 1. 2. Deuxième partie Alpine

Cette étape compressive induit une tectonique profonde et dynamique qui provoque un nouvel épi-métamorphisme.

Cette étape est associée à des failles inverses, dont l'accentuation entraînera l'écaillage et un important chevauchement vers le Sud de l'allochtone issu des zones internes.

Suite à l'érosion, la deuxième phase se manifeste et implique uniquement des contraintes horizontales, se distinguant par une schistosité de fracture avec un plan axial subvertical.

Dans le même temps au Tessala s'ébauche le bassin Sud-tellien, grâce à des déformations à grand rayon de courbure avec dépôt d'un Miocène synchro – nappe.

Après la compression alpine, survient au cours du Néogène la transgression post-nappe, se distinguant par une importante épaisseur des dépôts.

Pendant cette période, l'ensemble du bassin du Chelif subit l'impact d'une tectonique majeure qui succède à la formation des nappes.

Cette tectonique façonne les caractéristiques principales de la structure actuelle. Elle se manifeste selon trois orientations principales (figure. A.II.9) :

↳ Direction N 10-30 E : Son fonctionnement a été révélé dans les massifs côtiers au cours du Miocène (Fenet 1975).

Elle correspond à de larges décrochements transverses avec un mouvement senestre (Thomas, 1985).

Le bassin de la Sebkha est bordé à l'Ouest et à l'Est par le linéament de djebel Lindles – Djebel Remayla, marquant la limite occidentale des bassins synchro-nappes, et par le linéament Ain Franine - Arbal - Tamzourah, entraînant une importante inflexion des structures sur le versant Nord du Tessala.

↳ Direction N 50° – N 70° E : C'est la plus saillante, car elle définit l'étirement des bassins et leur obliquité par rapport aux reliefs telliens issus de l'orogénèse alpine.

Cette orientation correspond à celle de la Sebkha et du faisceau Tessala - Oued Ali. Elle se manifeste par des plis et des failles inverses associés.

↳ Direction N 90° et N 140° E : Elle se caractérise par des failles à décrochement dextre associées à des structures plissées.

Les failles N° 140° E : au tracé relativement court, introduisent un décalage dextre des structures dont l'installation s'est déroulée en plusieurs phases.

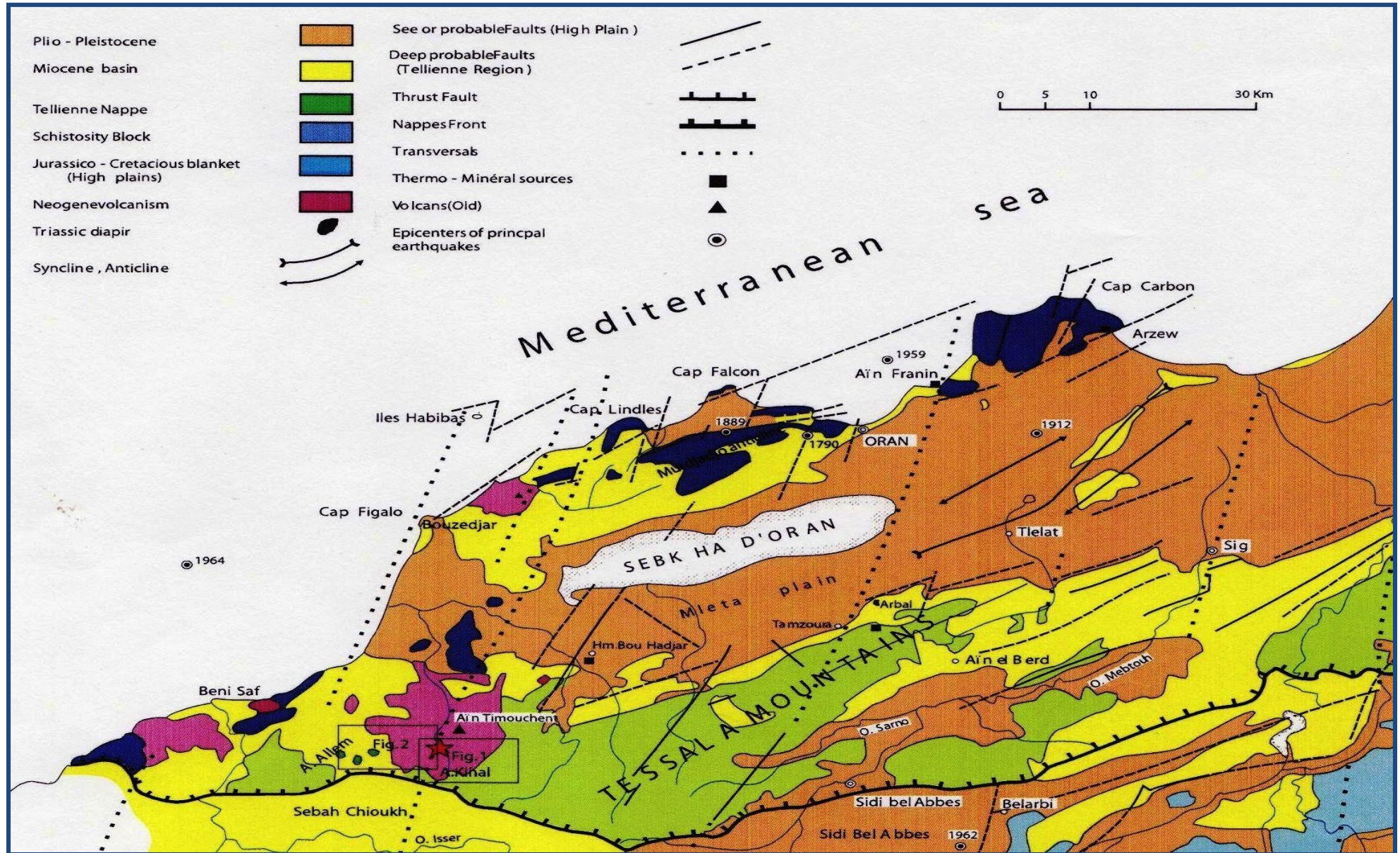


Figure. A. II. 8. Esquisse structurale de l'Oranie centrale (B. Fenet, 1975).

### **II. 3. 1. 3. Distension du 1<sup>er</sup> cycle Post-Nappe (Serravalien-Tortonien Inferieur)**

Cette période, clairement définie dans les massifs côtiers, est à l'origine de la formation d'une structure en horsts et grabens (G. Gourinard, 1952) distingue trois directions principales d'accidents N 60° E et N 80°E et les failles normales bien exprimés sur des miroirs orientés N 20°E.

Les failles normales sont bien exprimées sur des miroirs orientés N 20°E. Les accidents N 60° et N 80° E possèdent un jeu décrochant sénestre. Dans les Tessalas, les directions N 60°E et N 20°E contrôlent la sédimentation du premier cycle post-nappe.

### **II. 3. 1. 4. Compression du 2<sup>eme</sup> cycle Post-Nappe (Tortonien Messinien)**

Elle est associée à l'épisode d'épirogenèse Messinienne tel que décrit par (Fenet. B, 1975). Le bassin subit une tectonique synchro-sédimentaire compressive (Thomas. G, 1985), les plis orientés au moyen NE-SW sont liés à des failles inverses N 50°E et des failles E-W à déplacement dextre, contemporains du dépôt.

La transversale Aïn Franin – Arbal joue le rôle d'une frontière séparant deux compartiments aux comportements tectono - sédimentaires différents.

Effectivement, les sédiments du Messinien sont plus abondants dans la partie orientale que dans la partie occidentale. L'accident aurait joué lui en haut fond du fait du bombement Dj Bou Hanech-Taфраoui, où on a une réduction du facies des marnes bleues parfois même lacune (Fenet. B, 1975).

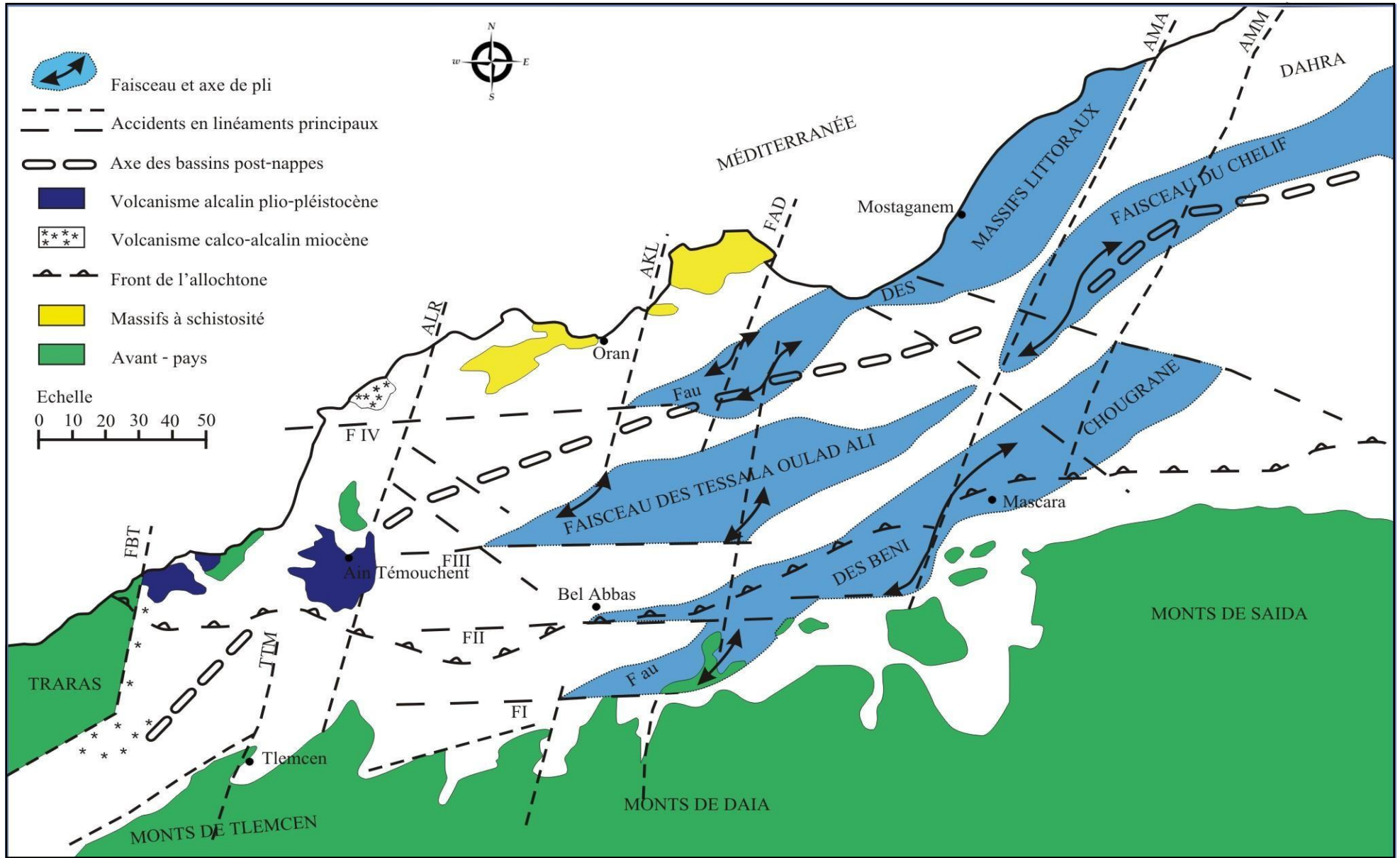


Figure. A. II. 9. Trame structurale de l'Oranie selon G.Thomas 1985.

### II. 3. 1. 5. Compression du Pliocène et Plio- Pléistocène inférieur

Elle entraîne la naissance de plis de grand rayon de courbure qui recoupent les fosses mio-pliocènes et induisent la réactivation de flexures et failles plus ou moins complexes, orientées en moyenne N 50°E. Cette compression a permis la structuration en faisceau plus au moins complexe du Tessala.

On distingue les échelons suivants :

Après une vigoureuse déformation compressive, les plis deviennent déca-kilométriques associés à des failles inverses N50° E, le tout est impacté par des décrochements N 120° E à N 140° E.

La torsion des plis suggère le jeu en décrochement dextre N90° E. Cet épisode spectaculaire est à l'origine des reliefs actuels, en particulier du faisceau du Tessala.

Thomas. G (1985) précise que les études microtectoniques des massifs littoraux et Tessala indiquent que ces deux phases sont liées à un champ de contrainte d'une valeur régionale N 140° E.

### II. 3. 1. 6. Compression du Pléistocène moyen à l'actuel

Les mouvements de cette étape perdent en intensité avec la stabilisation de la direction de contrainte de la phase précédente, les mouvements synsédimentaires qui se manifestent provoquent le jeu de décrochement dextre associé à des déformations plicatives. Cette tectonique transgressive persiste à l'heure actuelle.

Il en découle de l'ensemble de ces événements tectoniques un alignement global des reliefs (axes des plis et des chevauchements) dans la direction N 60°E. Ces reliefs sont croisés par des accidents de direction N 20°E et N 80°E (Thomas. G, 1985).

## II. 4. CONCLUSION

Dans une perspective régionale, l'analyse géologique de la zone d'étude a identifié une structure constituée de deux ensembles majeurs clairement délimités :

Un substratum ante à synchro-nappe, composé au Nord par les massifs schistosés autochtones à para-autochtones (Murdjadjo) et au Sud par un exemple complexe d'unités allochtones ou nappes (Tessala), ces deux ensembles sont séparés par un bassin comblé d'une sédimentation post-nappe importante.

Le remplissage Néogène plus profond (Murdjadjo et Tessala) est caractérisé par des dépôts littoraux aux caractéristiques très diverses et d'épaisseur souvent limitée. Par contre, au centre du bassin de fortes épaisseurs de sédiments s'accumulent. Les calcaires récifaux « Messéniens » qui forment un excellent réservoir hydrologique sont bien développés dans le Murdjadjo et dans les Tessala. Par contre, ils diminuent rapidement d'épaisseur en devenant de plus en plus marneux en aval de leurs affleurements.

Les formations du Pléisto-Holocène correspondent à un empilement de couches sablo-argileuses ou limoneuses subhorizontales se raccordant sur les bords par des sédiments devenant progressivement plus grossiers aux cônes de déjections ; atterrissement et alluvions provenant du démantèlement des zones d'altitude.

Le Nord (Tell Septentrional) est marqué par la présence de formations paléozoïques et mésozoïques (calcaires et schistes) formant les massifs littoraux

Le centre, les vastes dépressions remplies de formations surtout détritiques, constituent les plaines de la M'léta et Habra. Ces dépressions rejoignent vers l'Est, la plaine du Chélib.

Le Sud (Tell méridional) est constitué par une série de massifs qui forment les monts du Tessala, et les monts de Ouled Ali et Beni Chougrane. Ces massifs montagneux, constitués en majorité d'épaisses séries carbonatées du Paléozoïque.

### III. CADRE GEOPHYSIQUE

#### III. 1. INTRODUCTION

L'objectif de l'étude géophysique réalisée dans la région est principalement de préciser les formations géologiques existantes sous la Sebkhah et la plaine, ainsi que d'évaluer les réserves d'eau souterraines exploitables.

La plupart des méthodes utilisées sont des sondages électriques verticaux, leur agencement (failles, décrochements, etc.) d'une part, mais surtout, l'étude des conditions géologico-structurales du réservoir Mio-Pliocène de la M'léta (figure. A.III.1).

#### III. 2. PROSPECTION ELECTRIQUE DE LA PARTIE EST DE LA M'LETA (C.G.G 1970)

C.G.G a réalisé quatre profils orientés Ouest – Est (A-B-C-D) de 8 à 10 km de long dans la zone d'Oued Tlélat. La superficie prospectée est d'environ 60Km<sup>2</sup> ; la distance entre ces profils est de 2 km et la longueur de la ligne d'émission AB variable en fonction de l'objectif à atteindre soit 2000 < AB < 8000m. Il a été réalisé 20 sondages électriques (S.E) au total : dans l'objectif de discriminer lithologiquement et de mettre en lumière les secteurs propices à l'installation de structures de captage. Les deux coupes situées au Sud ont été étalonnées par deux sondages : Ban Lartigue N°1 (X=206,870 – Y=254,550) et Ban Lartigue N°2 (X=207,070 – Y=252,300). Ces coupes ont montré une structure remontant vers l'Est qui est cohérente avec les captages des forages actuellement disponibles.

L'interprétation des diagrammes de sondages électriques sur les coupes Ouest – Est a permis de faire ressortir :

- Un approfondissement du toit du Pliocène marin de l'Est vers l'Ouest, visible sur les profils C et D au niveau des sondages C3 et D4 (figure. A.III.1).
- La continuité de ces terrains sur tous les profils des sondages électriques.
- La présence de fortes épaisseurs de gypse compact fortement résistant sur tous les profils mais avec augmentation de celle-ci au niveau du SE A3 et B4 où l'on obtient des formes caractéristiques de bassins de sédimentation ayant ressenti de phénomène de subsidence (figure. A.III.2).

#### III. 3. PROSPECTION ELECTRIQUE DE LA PLAINE DE LA M'LETA (EREM 1983 –1984)

Cette étude a concerné la partie orientale de la plaine de la M'léta correspondant au Sud-Ouest de notre zone d'étude et avait pour but l'estimation des réserves d'eaux souterraines exploitables.

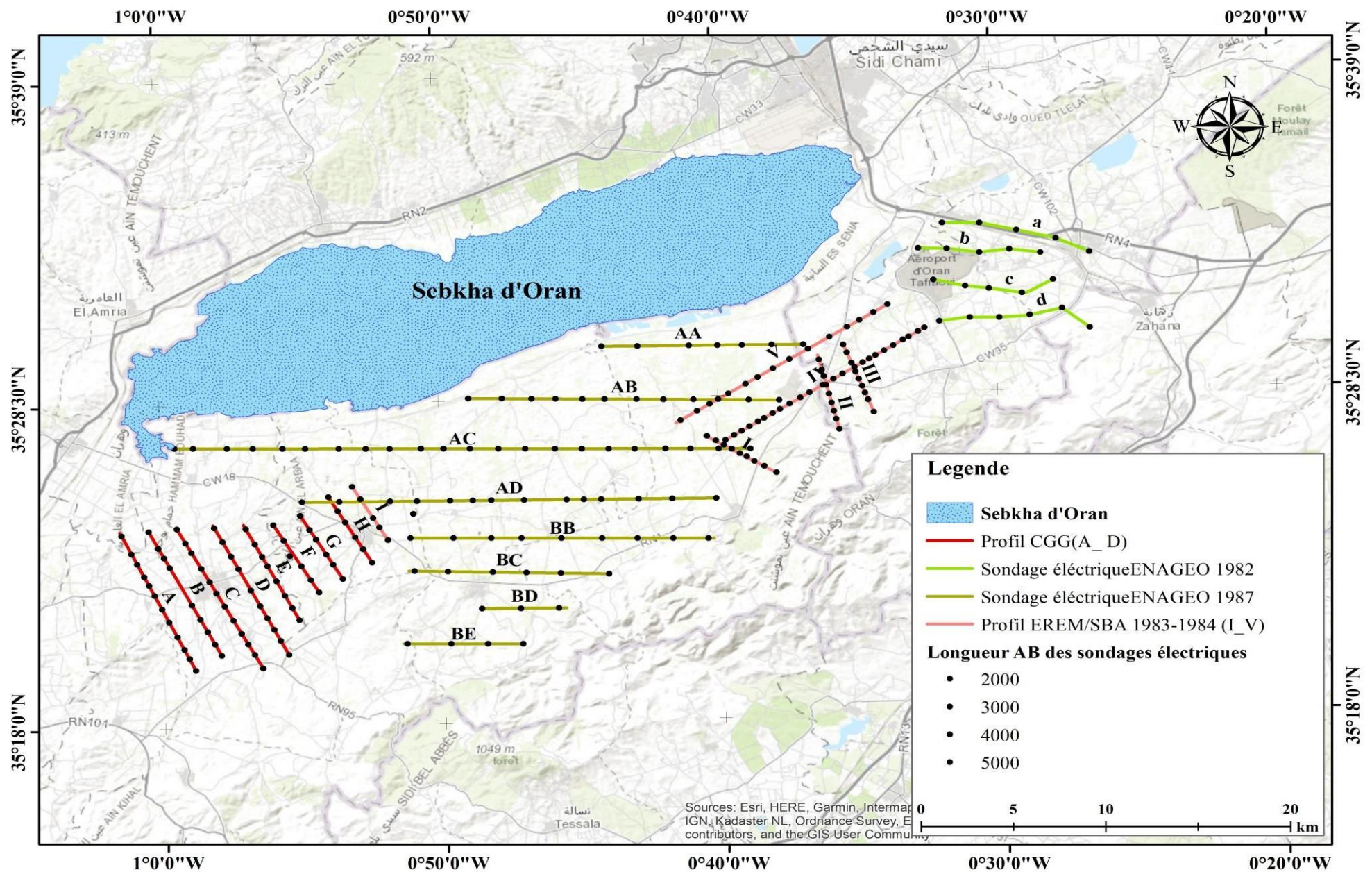


Figure. A. III.1. Carte de localisation des différentes campagnes de prospections géophysiques réalisées dans la plaine de la M'léta.

Le niveau superficiel s'étendant sur une épaisseur totale de 100 à 300 mètres, exhibe des valeurs de résistivité ( $\rho$ ) inférieures à 10  $\Omega$ .m avec des intercalations de lentilles conglomératiques de 30  $\Omega$ .m. Dans les coupes C et D (figure. A.III.2), le niveau conglomératique devient plus important avec une épaisseur de 30 à 80 mètres et  $\rho$  vraie d'environ 30 à 70  $\Omega$ .m.

Ce niveau caractérise les alluvions Plio-Quaternaires qui correspond à des agiles et marnes parfois sableuses et les poudingues. La diminution de la valeur de  $\rho$  pourrait être causée par la forte salinité des sols en surface et par la concentration élevée en minéraux dans les eaux de la nappe superficielle.

Le 2<sup>ème</sup> niveau se définit par une résistivité oscillante entre 30 et 50  $\Omega$ .m, avec une épaisseur entre 50 et 100 m pour les profils (A et B) (voir figure. A.III.2), et une épaisseur plus conséquente de 70 à 200 m pour les profils (C-D) (figure. A.III.2).

Ce terrain correspond aux grés du Pliocène marin (C.G.G, 1970). Le toit du gisement sur les profils (A et B) est compris entre 100 et 175 m. Sur les profils (C-D) cette formation s'approfondit de l'Est vers l'ouest entre 175 et 325 m avec une augmentation d'épaisseur. Au niveau des SE D4-D5 et C1-C2, on note la présence de passées de calcaires résistants à 60  $\Omega$ .m avec une épaisseur de 50 à 100 m. Pour la troisième couche, elle est moins résistante 5 à 10  $\Omega$ .m avec une épaisseur de 50 à 200 m sur le profil (B) ; puis elle diminue pour devenir 50 à 80 m sur les profils (A-C-D). Ce terrain est constitué principalement de marnes grises du Miocène supérieur.

Le dernier terrain dans cette succession présente de fortes épaisseurs de gypses compacts supérieurs de 100 à 300 m pour les profils (A-B), puis ils diminuent de 50 à 150 m pour les profils (C-D). L'épaisseur totale des gypses ne peut pas être atteinte par la longueur AB = 2000 m ; ces derniers sont fortement résistants de 500 à 1000  $\Omega$ .m. La profondeur du toit des gypses est comprise entre 200 et 300m et 250 - 550 m (figure. A.III.2), où l'on obtient des formes caractéristiques de bassin de sédimentation ayant ressenti des phénomènes de subsidence.

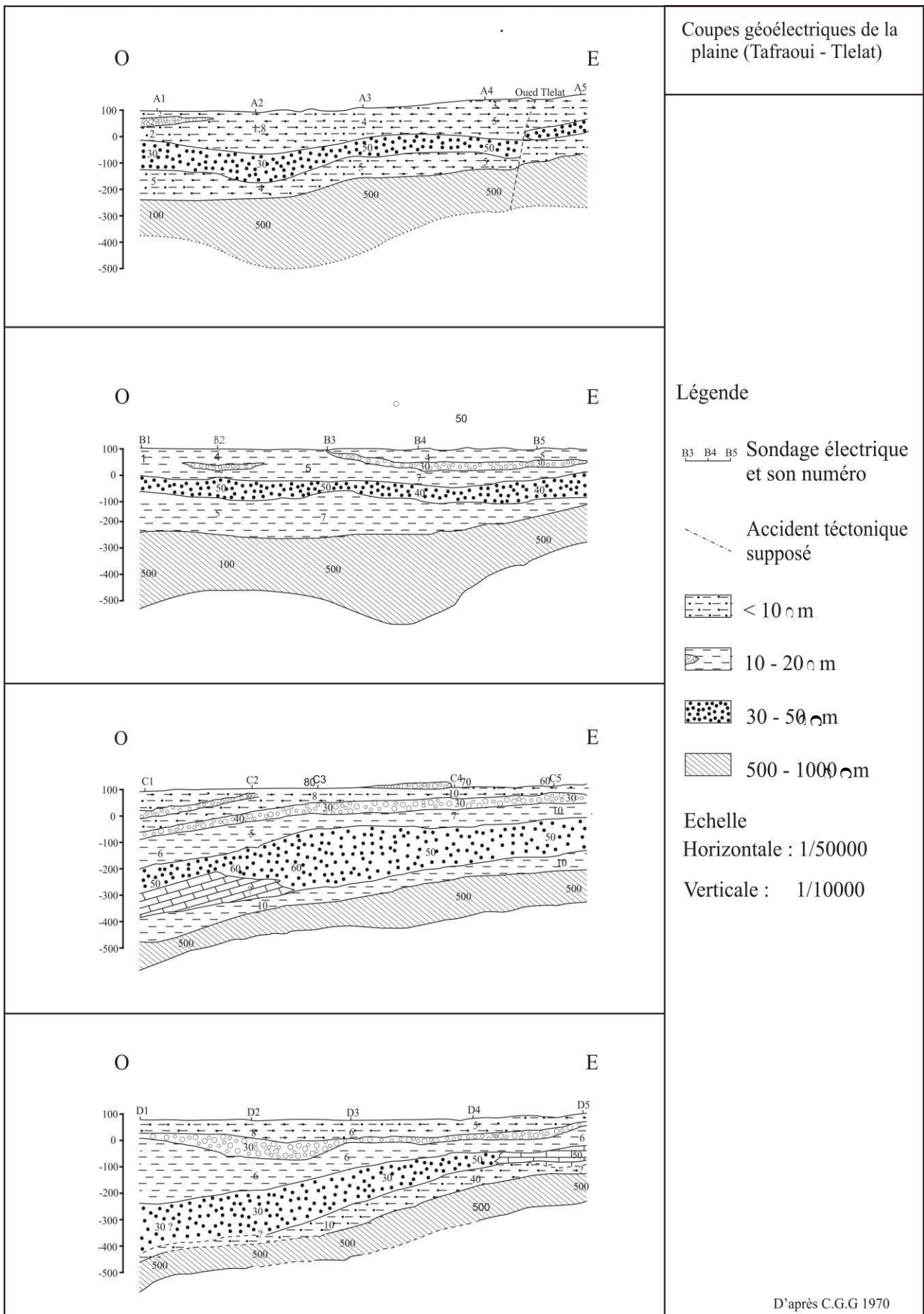


Figure. A. III. 2. Coupes géo-électrique de la partie Est de la M'léta (C.G.G 1970).

En 1983, une première étape a vu la réalisation de trois profils sub-meridionaux (I), (II), (III), chacun d'une longueur de 4 km, dans l'objectif de caractériser lithologiquement la coupe géo-électrique et de repérer les secteurs favorables à l'implantation des captages. Au total, 25 sondages électriques (S.E) ont été effectués, avec un intervalle d'observation de 500 m et une ligne d'émission AB de 2000 m.

Dans une deuxième phase fut réalisée en 1984, elle a été exécutée sur deux profils (IV, V), (figure. A.III.3). Cela a permis de repérer les principaux accidents tectoniques dans la région d'Arbal. Au total, 37 sondages électriques (S.E) ont été effectués.

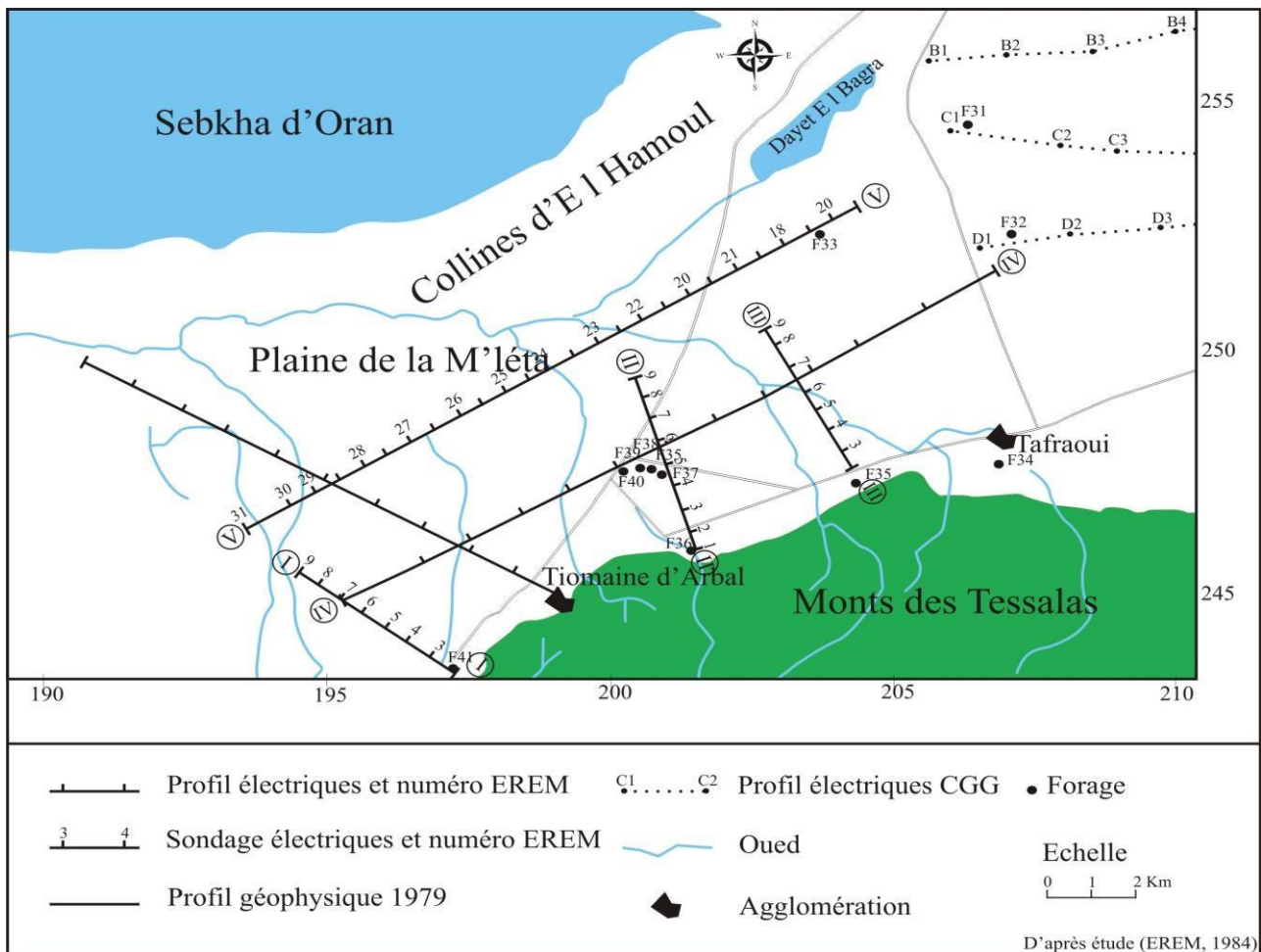


Figure. A. III. 3. Carte de l'emplacement des profils et des sondages électriques (EREM. 1984)

Dans les coupes géo-électriques on différencie les niveaux suivants de haut en bas (figure. A.III.4-A.III.5) :

**a.** Un premier horizon, ayant une épaisseur totale de 5 à 10 m, se distinguant par des valeurs de résistivité oscillant entre 0,5 et 25  $\Omega.m$ , atteignant parfois jusqu'à 58  $\Omega.m$ . Ce niveau englobe des argiles, de grès, des marnes et dans certains intervalles à des sables et galets, avec une résistivité variante entre 17 – 50  $\Omega.m$ .

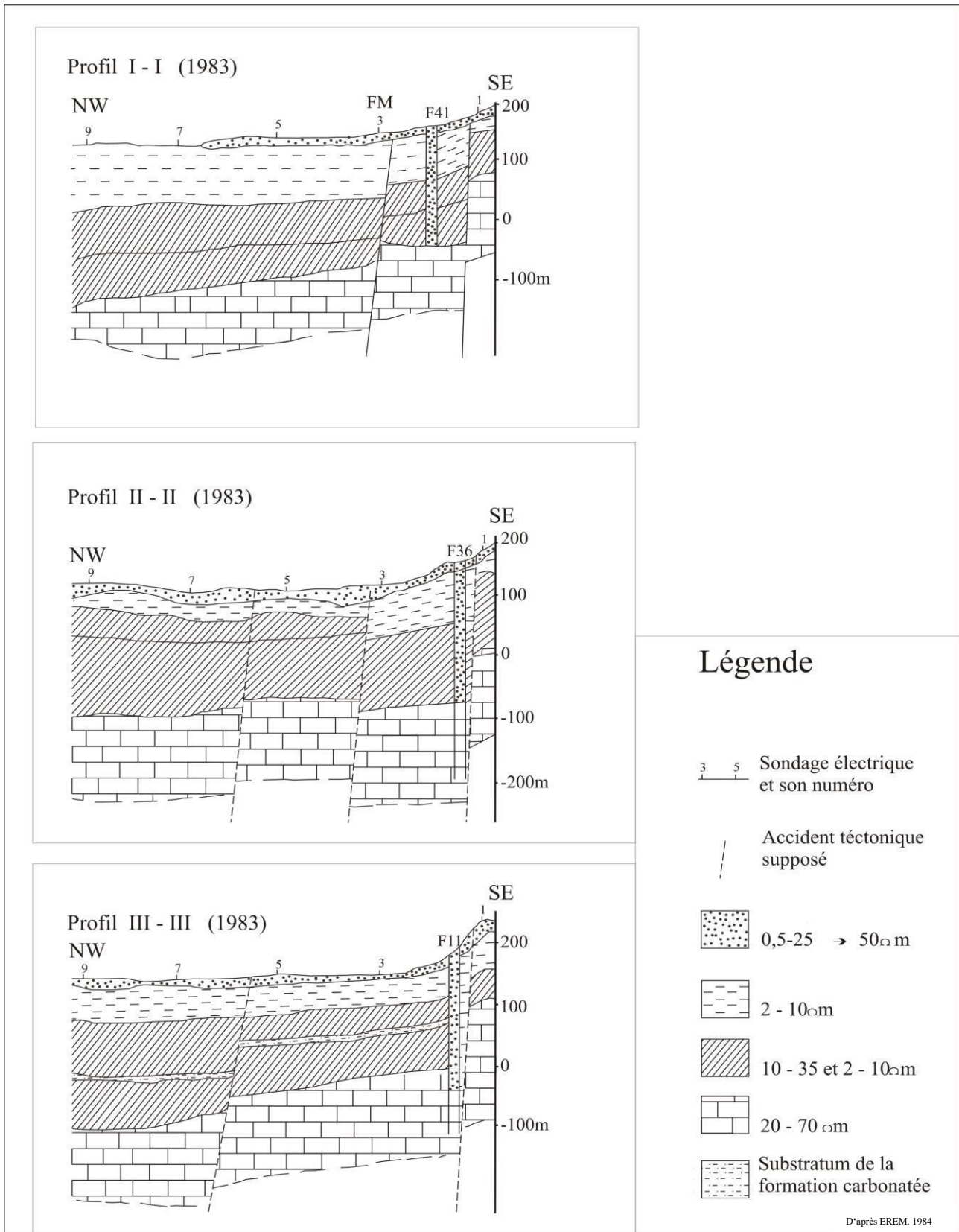


Figure. A. III. 4. Coupes géo-électriques de la partie Est de la M'léta (EREM. 1983).

**b.** La strate subséquente se distingue par une résistivité allant de 2 à 10 Ω.m, avec une épaisseur située entre 8 et 75 mètres.

c. Dans le troisième niveau on constate la présence de deux niveaux géo-électriques l'un des résistivités variées de 10 à 35  $\Omega.m$ , caractérisé des marnes avec des grès. Le second niveau est défini par une résistivité comprise entre 2 et 10  $\Omega.m$  caractérisant des formations de marnes.

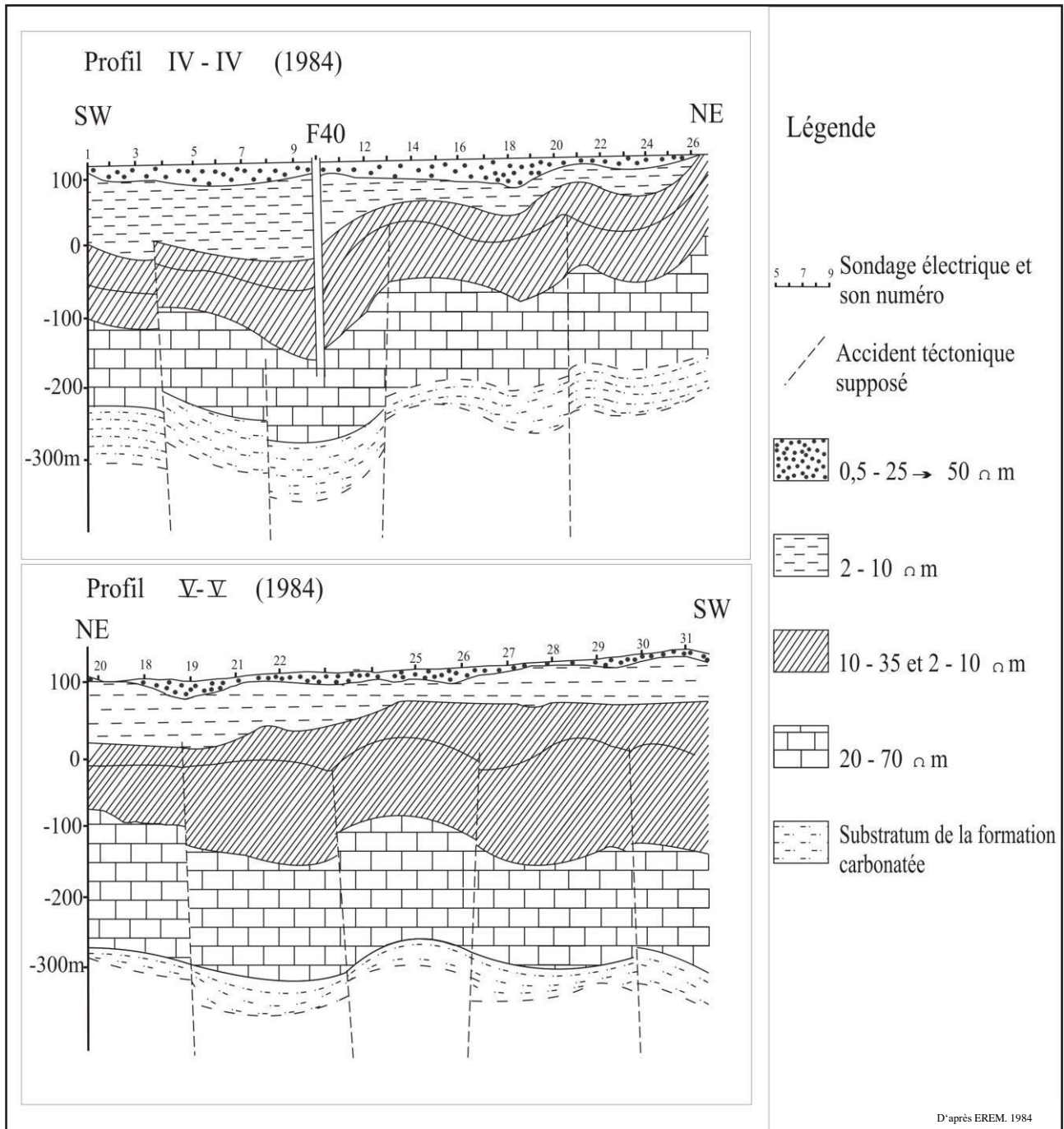


Figure. A. III. 5. Coupes géo-électriques de la partie Est de la M'leta (EREM. 1984).

d. Au sein des coupes géo-électriques, la formation carbonatée se manifeste comme une couche repère de haute résistivité, située entre 20 et 70  $\Omega.m$ . La résistivité augmente le long de la courbe des sondages électriques (SE) en fonction de la profondeur, facilitant ainsi la délimitation du toit de la formation à travers l'ensemble du territoire étudié.

La partie supérieure de cette formation se situe à des profondeurs allant de 162 m à 265 m. la profondeur augmente du Sud Est vers l'Ouest (figure.A.III.6).

La carte en isobathes du toit de la formation carbonatée (figure.A.III.6), montre une structure compartimentée en blocs et cadrée à ses extrémités par des grands accidents, l'un situé dans la zone périphérique des Tessala, où l'amplitude peut varier de 20 à 110 m, et l'autre le long d'un axe allant de Chabet es Sad à Dayet el Bagrat.

Les incidents secondaires sont généralement orientés dans une direction subméridienne, et leur orientation coïncide dans la plupart des cas avec le réseau hydrographique actuel.

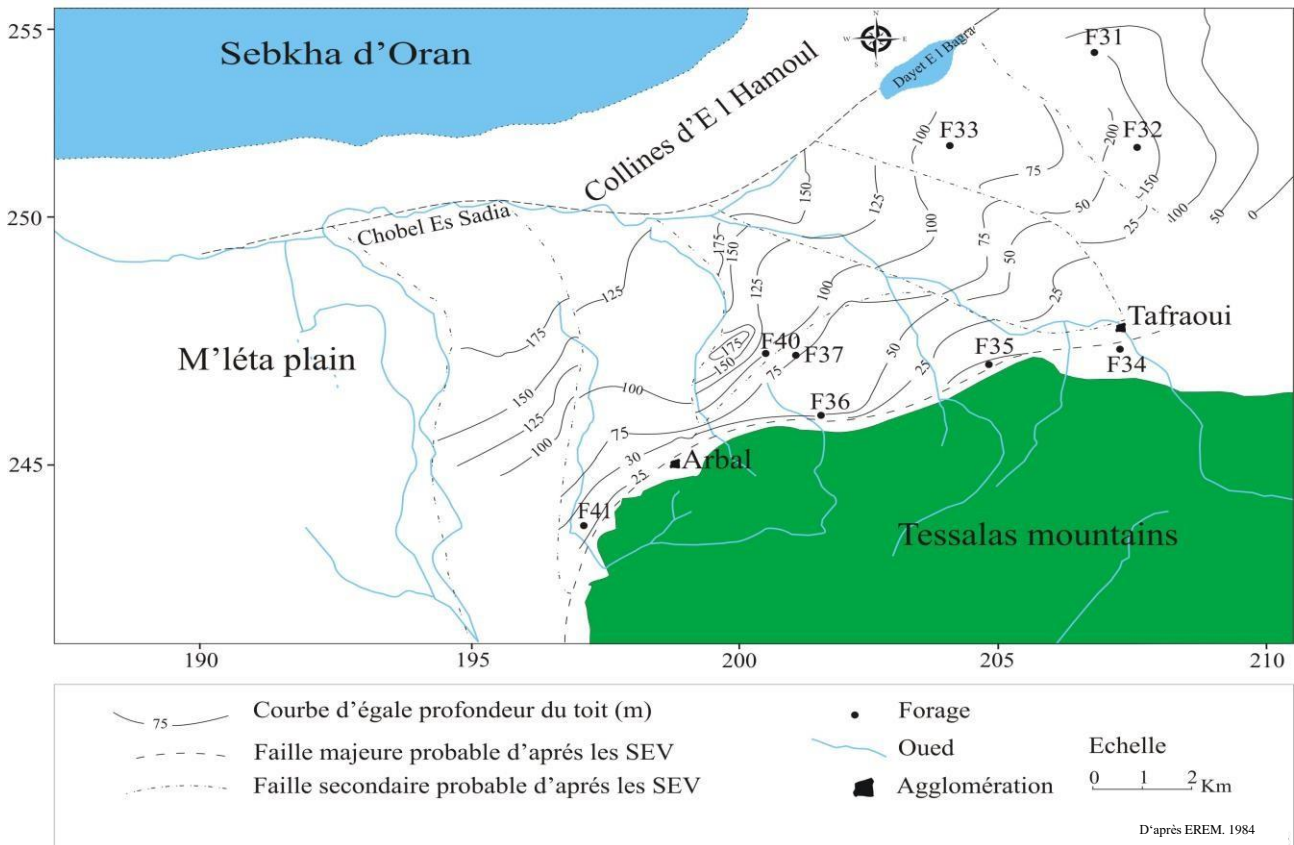


Figure. A. III. 6. Carte du toit du complexe aquifère carbonatée (EREM. 1984).

### III. 4. PROSPECTION ELECTRIQUE (ENAGEO, 1986)

Cette campagne comporte 78 sondages électriques SE de longueur de ligne AB 2000 à 6000 m réparties sur 8 profils longitudinaux orientés Est-Ouest. Sur une superficie de 304 km<sup>2</sup>. Des sondages électriques étalonnage sur des ouvrages ont été réalisés. Dans notre région d'étude, le forage Oued Tlélat a été pris comme sondage étalon dont l'examen des diagrammes permet de donner les résultats suivants :

- Les grès Pliocène présentent une résistance transversale de 12000  $\Omega$ .m pour une épaisseur de 120 m.

- La présence de gypse compacts du Miocène dont la résistivité réelle est proche de  $1000 \Omega.m$  donne au diagramme un aspect en queue une cloche très prononcée.

Le toit de la formation calcaréo-gréseuse repose sur une profondeur allant de 162 à 265 m (figure. A.III.7).

La totalité de l'épaisseur de cette couche n'a pu être estimée que sur le prolongement Est de la plaine avec une ligne d'émission AB = 6000 m. Toutefois cette longueur d'émission n'a pas permis d'atteindre le toit de cette formation sur toute l'étendue de la plaine, probablement du fait de l'amplitude des rejets le long des failles principales ou à un passage latéral brusque des grès calcaires à des formations beaucoup plus argileuses moins perméables de l'Est vers l'Ouest.

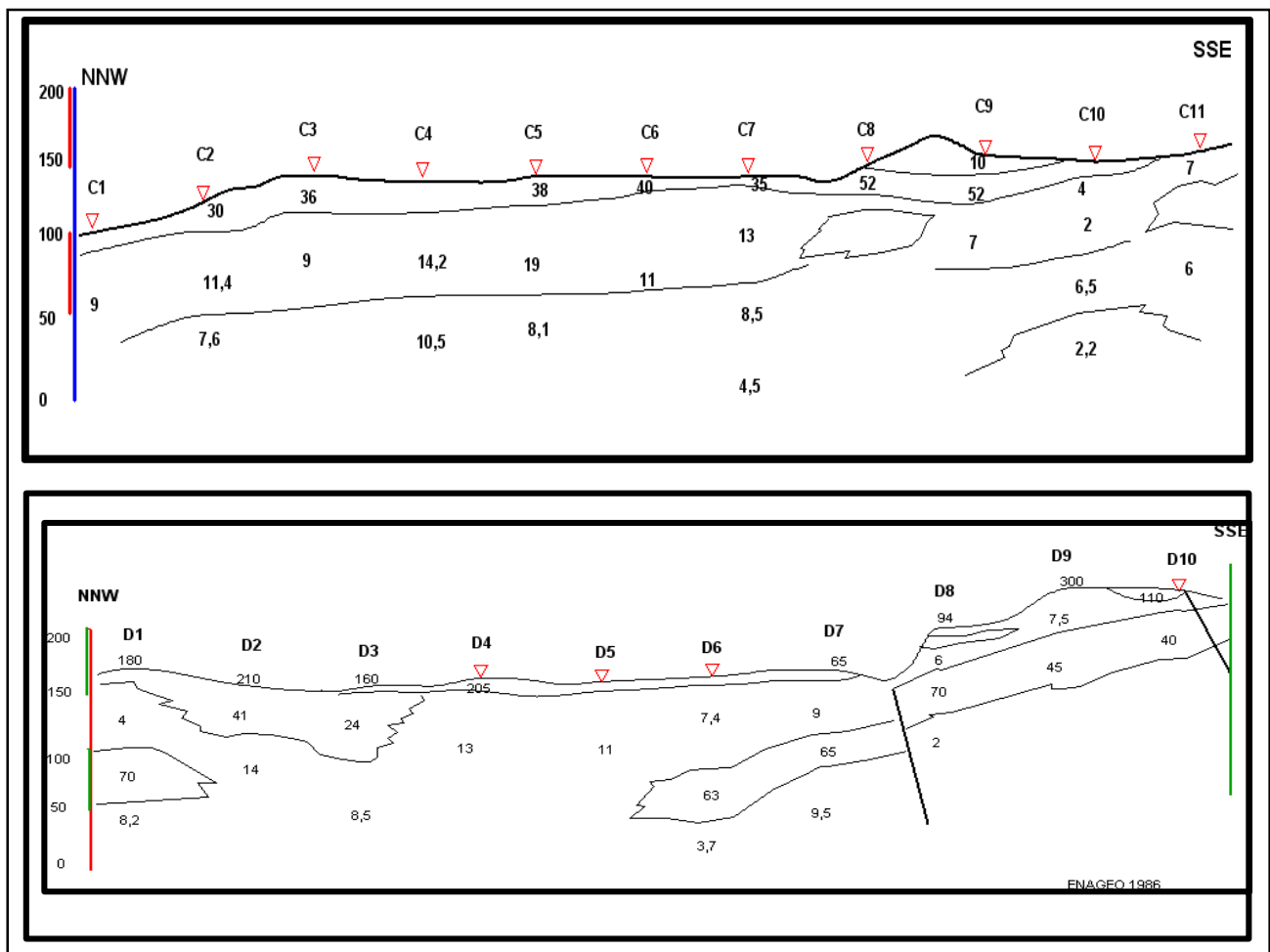


Figure. A. III. 7. Coupes géo-électriques de la partie Est de la M'léta (ENAGEO 1986).

### III. 5. PROSPECTION ELECTRIQUE ET MAGNETIQUE (SOGREAH 1996)

Cette étude n'ayant pas été mise à notre disposition, il nous a été impossible de la consulter. Toutefois les différents documents qui ont eu à analyser, cette prospection géophysique ont fait ressortir que l'ensemble des mesures est de mauvaise qualité et donc inexploitable. L'interprétation

est réalisée à l'aide d'un logiciel automatique qui ne tient coted'aucune réalité géologique (figure. A.III.8).

Dans un document consulté au niveau de la DHW d'Oran, il est cité que : les différentes cartes de résistivités dressées au terme de la prospection géophysique pour le secteur Est de la M'léta., réalisée en 2002 selon le bureau SERGH, fait ressortir que les formations du Pliocène marin sont peu profondes au Nord par rapport au Sud et que de fortes épaisseurs de grès argileux sont localisées au Nord de la zone d'étude.

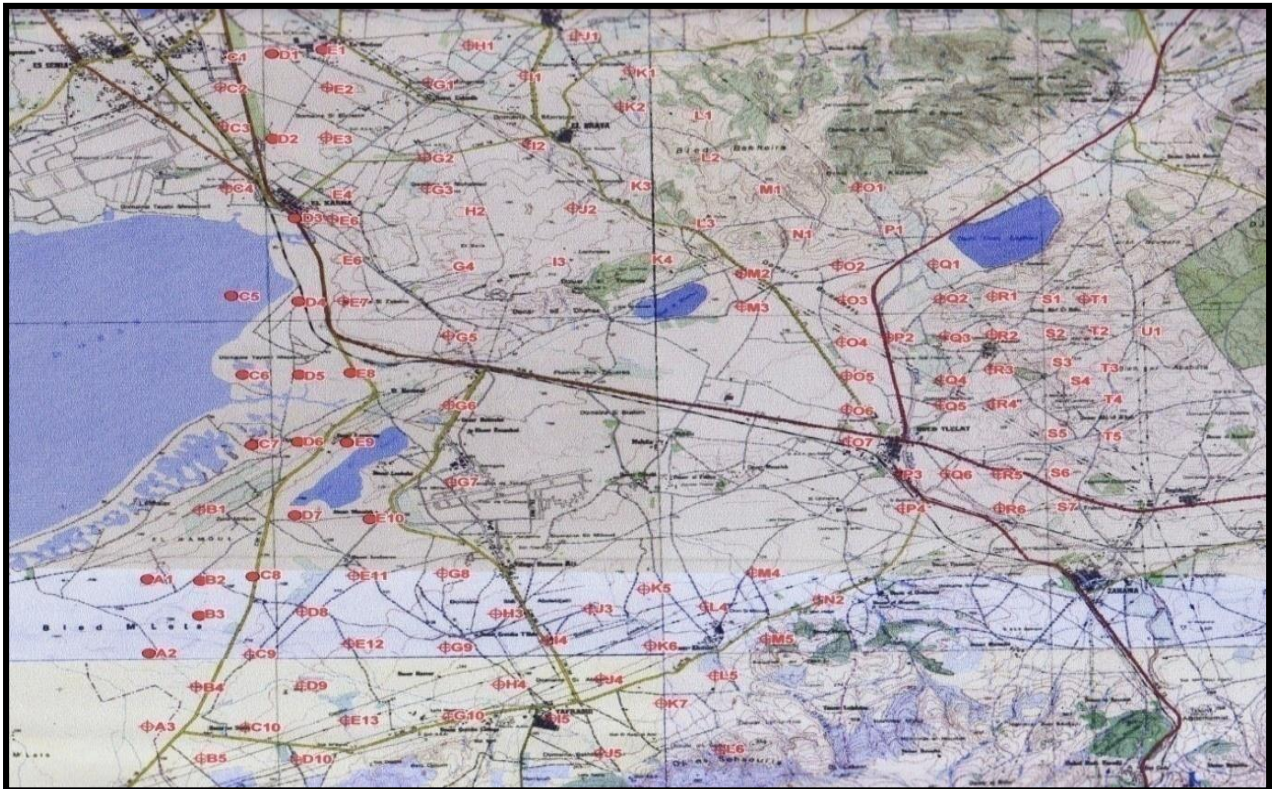


Figure. A. III. 8. Carte de localisation des sondages électriques (campagnes SOGREAH 1996).

### III. 6. PROSPECTION GEOPHYSIQUE (SOGREAH 2004)

Dans le contexte de l'étude visant à l'aménagement intégré de la grande Sebkh d'Oran unecampagne géophysique a été réalisée sur la base de sondages électromagnétiques de grande profondeur. Elle englobe 74 sondages électromagnétiques et 6 coupes géophysiques ont été réalisés (figure.A.III. 9). Seule la méthode électromagnétique, grandes profondeurs est adaptée pour réaliser des investigations fiables et adaptées au contexte géologique et dans les gammes de profondeurs requises. La méthode électromagnétique possède l'avantage d'utiliser un émetteur et un récepteur interne qui permettent de maîtriser totalement l'émission des fréquences nécessaires à ce type d'investigation.

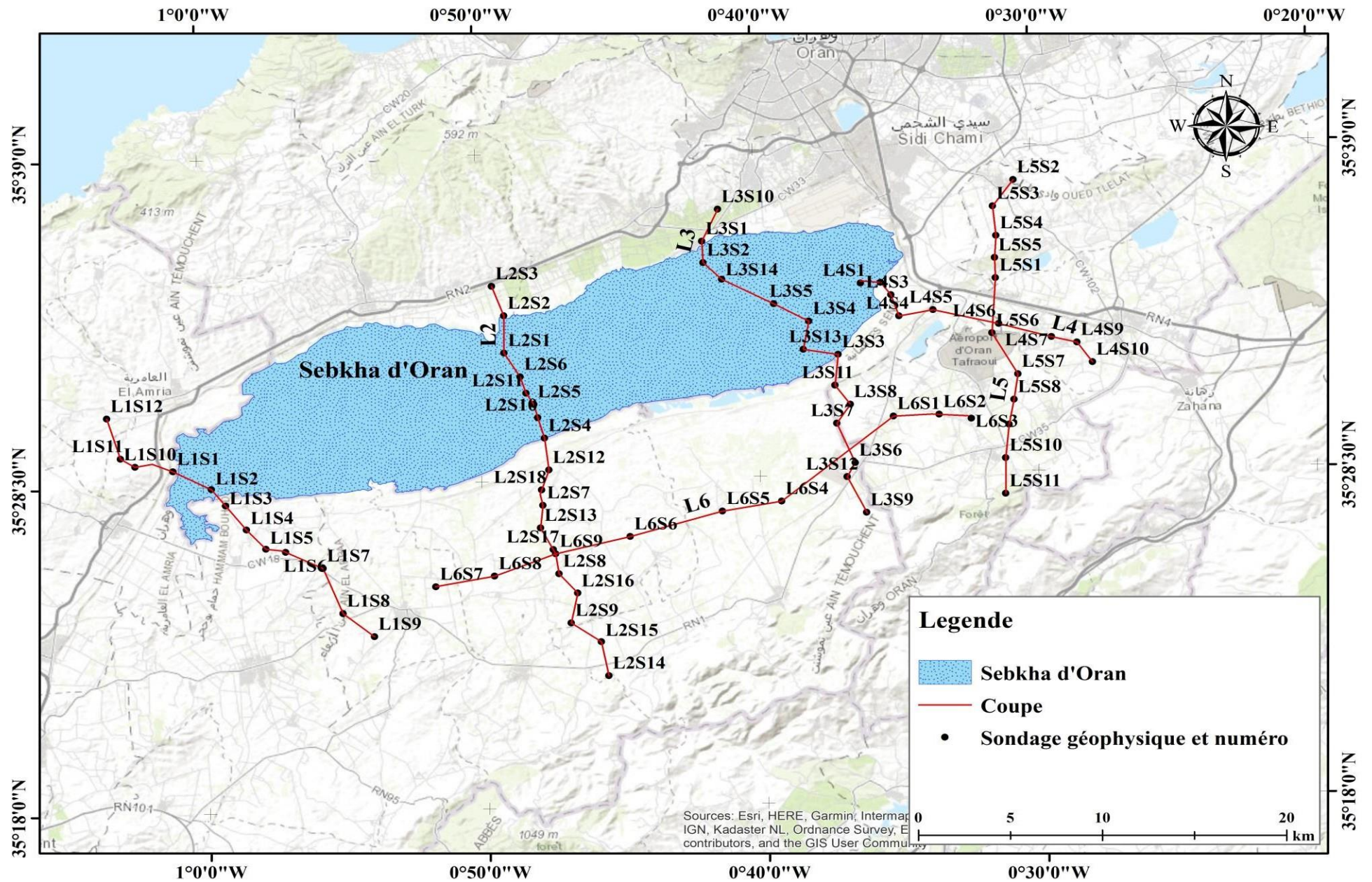


Figure. A. III. 9. Carte de localisation des sondages électriques (SOGREAH 2004).

Géologiquement, cette campagne permet de mettre en évidence (figure.A.III.10) :

- Un anticlinal localisé au Sud immédiat de la Sebkhah, probablement composé de marnes bleues du Miocène inférieur. Cette structure est affleurant à l'Est de la Sebkhah.
- Un effondrement au centre de la Sebkhah de direction WSW/ENE.
- Un second fossé d'effondrement au Sud de la plaine.

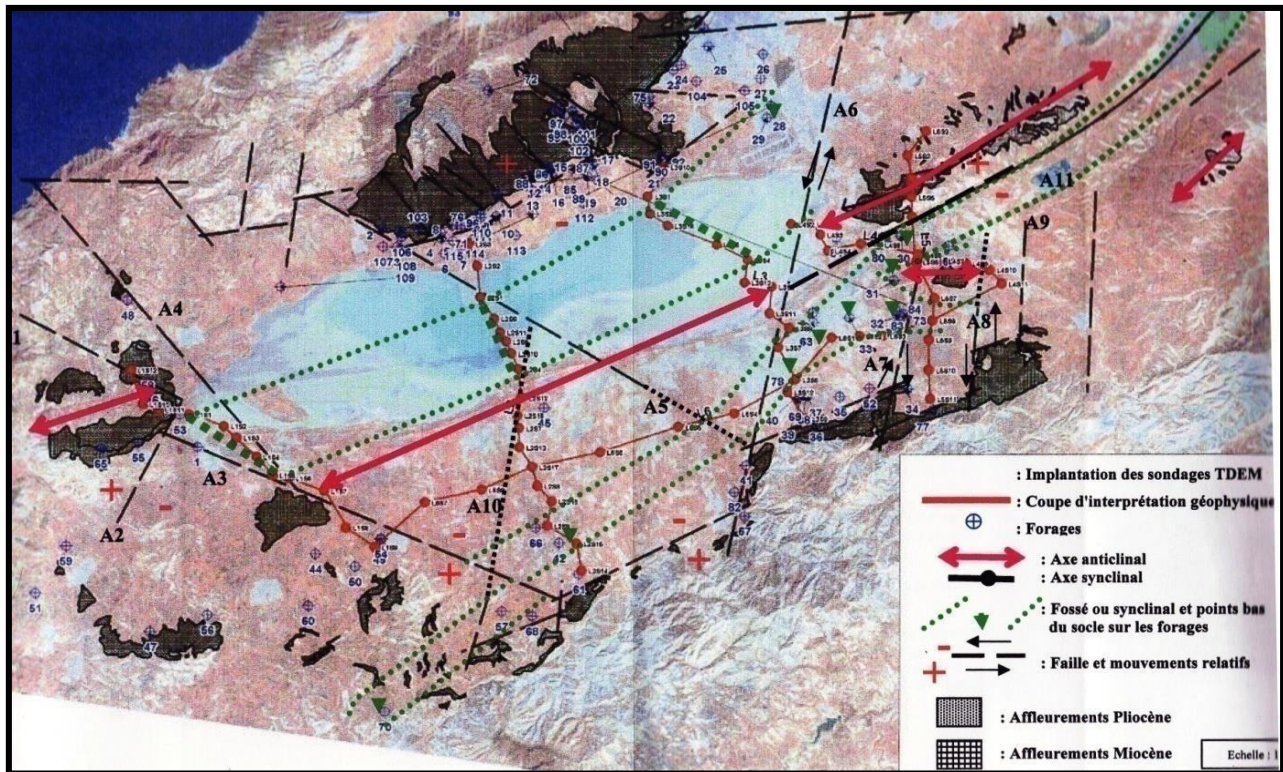


Figure. A. III. 10. Carte de Synthèse des résultats (SOGREAH 2004).

L'interprétation de ces résultats a amené aux conclusions suivantes :

- Contrairement aux hypothèses parfois émises, il n'existe pas une vaste structure synclinale sous de la M'léta et la Sebkhah. Au sein du grand effondrement délimité par les reliefs des monts des Tessalass et du Murdjadjjo, on peut individualiser deux fossés d'effondrements de moindre extension situés sous la Sebkhah et en bordure sud Les terres de laM'léta (figure. A.III.11).

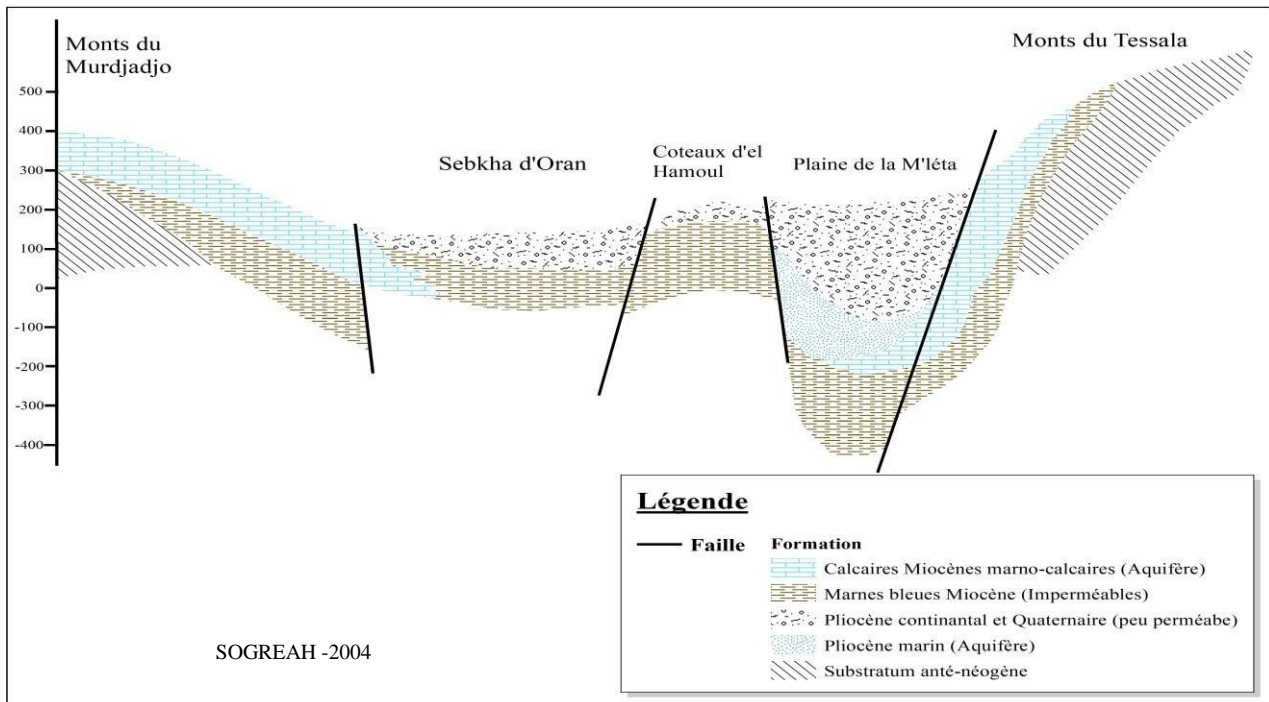


Figure. A. III. 11. Coupe géologique schématique A'B'- Données géophysiques (SOGREAH 2004).

Les faciès les plus résistants se situent plutôt à l'Est et se biseautent vers l'Ouest. Ils se sont déposés surtout au sein du fossé d'effondrement et sur ses bordures proches, ainsi que dans la structure synclinale individualisée en bordure Est de la Sebkhha.

Sous la plaine ces terrains sont moins épais et moins résistants vers l'Ouest. Le Pliocène semble ainsi se biseauter progressivement. Il est surtout présent et résistant au sein des deux structures anticlinales et sur leurs bordures directes (figure.A.III.12).

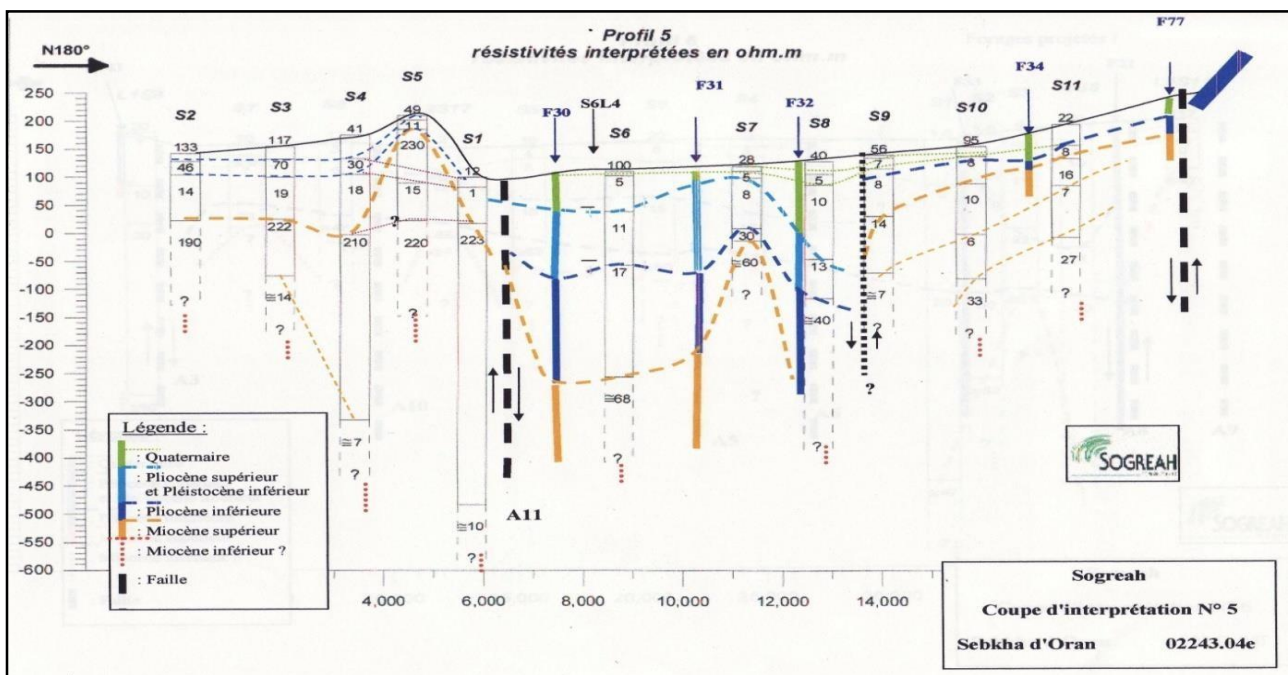


Figure. A. III. 12. Coupe d'interprétation – étude géophysique (SOGREAH 2004).

### III. 7. PROSPECTION GÉOPHYSIQUE (CAMPAGNE 2012)

Des mesures par Sondages électriques (SEV) ont été exécutées afin de préciser la structure du réservoir aquifère près du périmètre du site SBOA. Elles viennent en complément des études géophysiques précédentes qui ont décrit l'allure de ce réservoir dans la région alentour de la plaine d'Oued Tlélat. Les cinq (5) sondages espacés de 250m environ, d'élongation maximale AB = 2000m, ont été exécutés sur deux profils, autour du site (figure. A.III.13).

#### III. 7. 1. Résultats

Les courbes obtenues offrent une allure identique et uniforme (figure. A.III. « 13-14-15 ») débutant par des résistivités apparentes très peu élevées, en général inférieures à 10  $\Omega$ .m correspondant aux terrains argileux de surface qui cependant possèdent une certaine épaisseur. Ces terrains sont relayés par des couches de graviers, grès argileux, marnes sableuses qui présentent des résistivités vraies relativement faibles comprises entre 7 et 45  $\Omega$ .m.

Plus profondément, les résistivités augmentent, comme illustré par la remontée régulière de toutes les courbes de SEV. C'est le domaine des calcaires qui représentent l'aquifère du Miocène supérieur, dont les résistivités dépassent 130  $\Omega$ .m.

En outre, les formations sus-jacentes de résistivités inférieures de l'ordre de 25 à 45 $\Omega$ .m et qui correspondent aux graviers sableux, grès représentent la partie supérieure de ce complexe aquifère Mio-Pliocène.

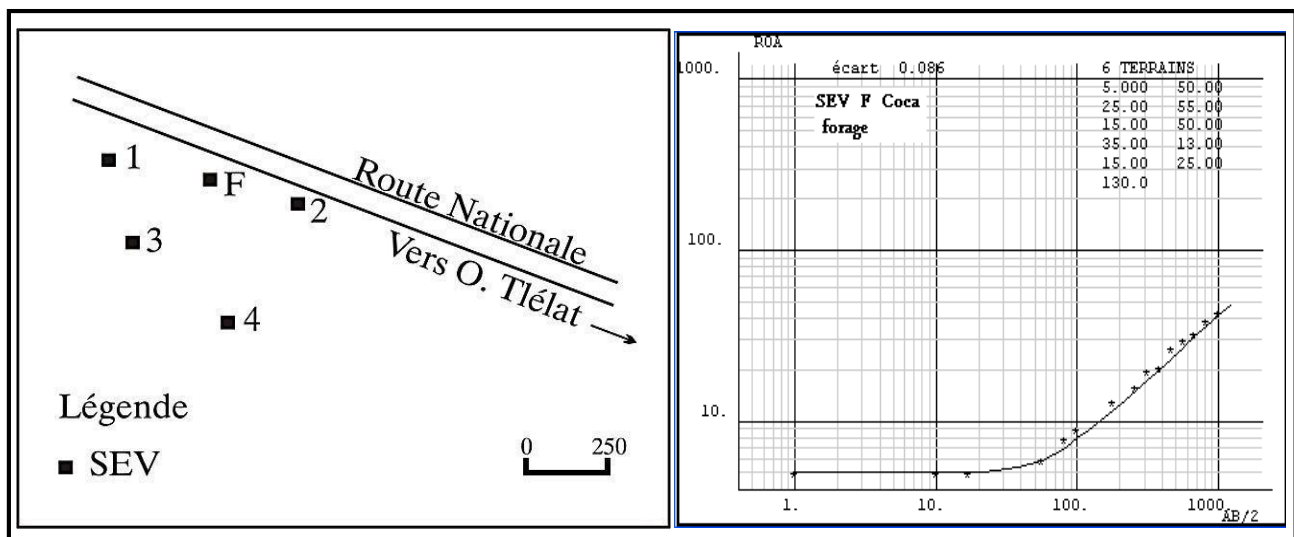


Figure. A. III. 13. Courbes des SEV 1 et SEV f (près du forage coca cola) (Campagne 2012).

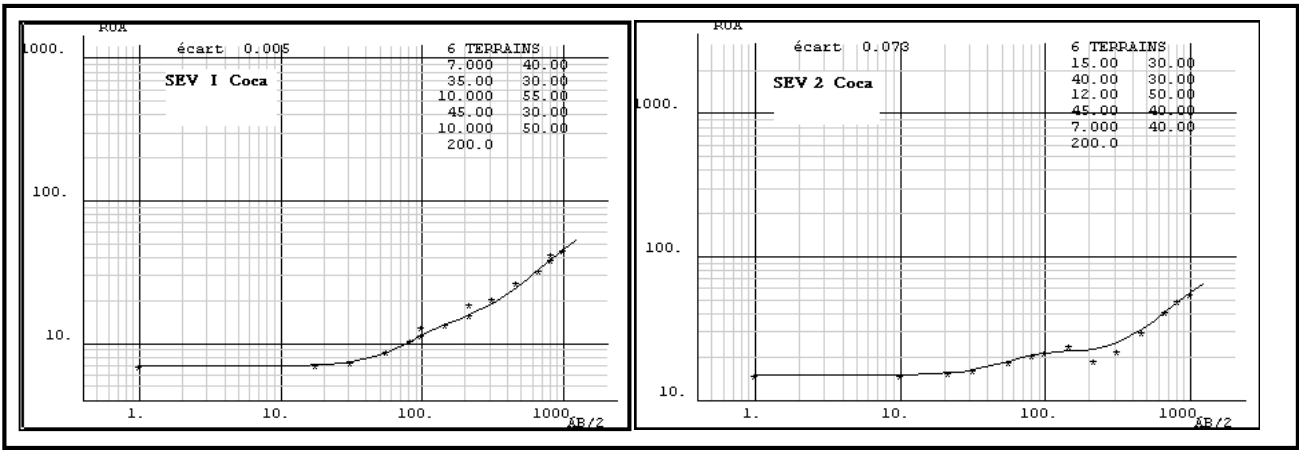


Figure. A. III. 14. Courbes du SEV 2 et schéma de situation des SEV (Campagne 2012).

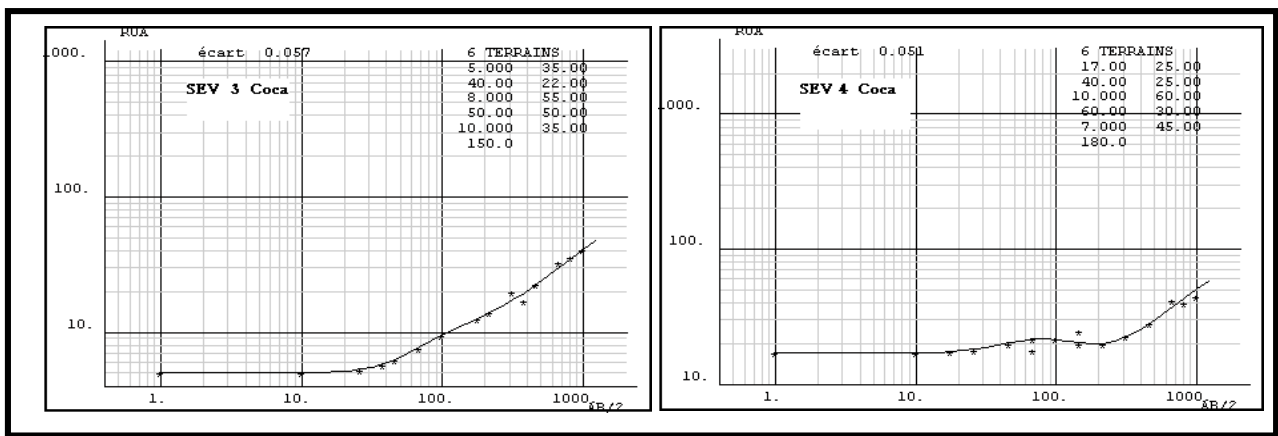


Figure. A. III. 15. Courbes des SEV 3 et SEV 4 (Campagne 2012).

III. 7. 2. Coupes Géo-Électriques

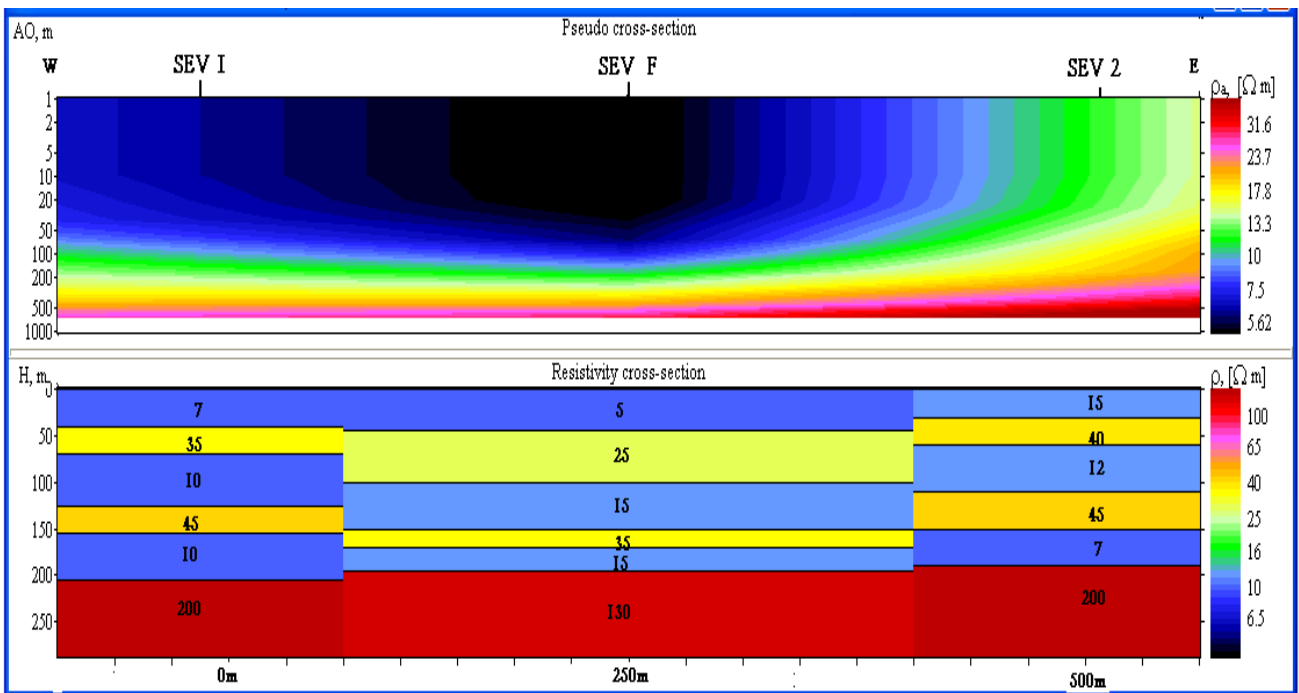


Figure. A. III. 16. Pseudo-section et coupe géo-électrique du 1<sup>er</sup> profil (Campagne 2012).

Les coupes géo-électriques (figure.A.III. «16-17») montrent parfaitement cette succession des terrains reposant sur la formation calcaire à des profondeurs oscillant entre 185m et 205m dans ce secteur. On peut d'ailleurs noter un infléchissement de ces formations résistantes vers l'ouest, et vers le nord, ce qui confirme les résultats généraux sur l'allure des calcairestelle que donnée par les études antérieures.

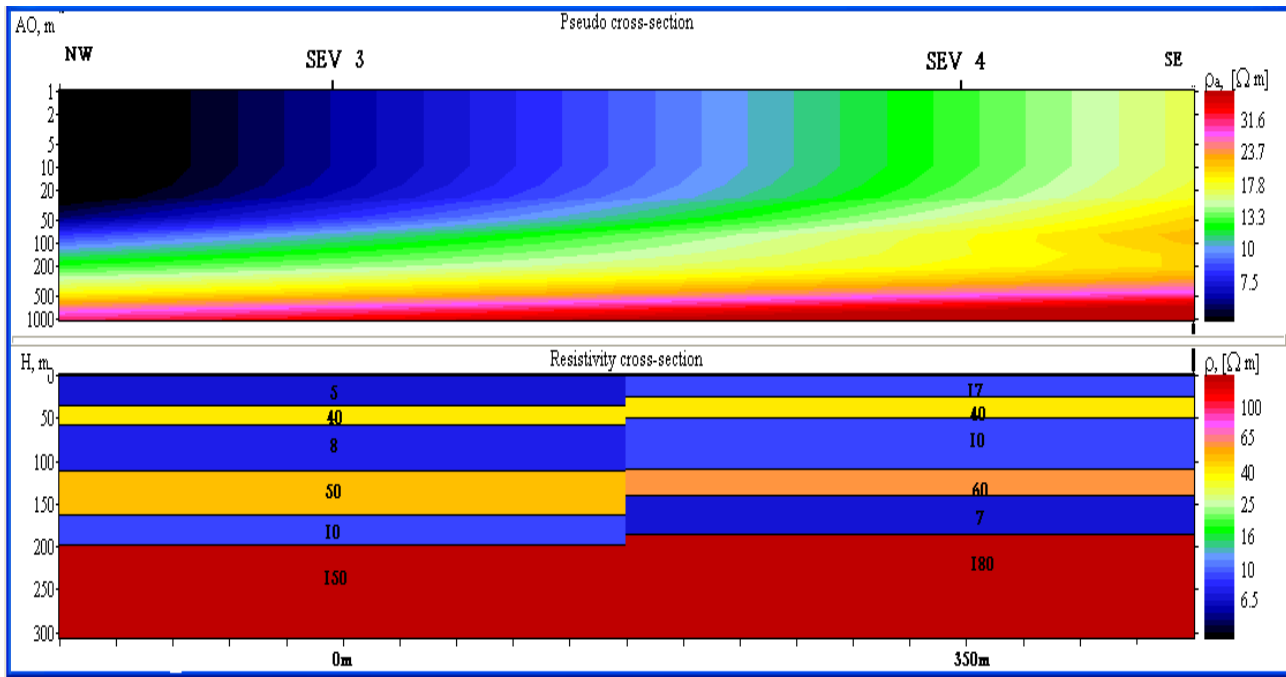


Figure. A. III. 17. Pseudo-section et coupe géo-électrique du 2<sup>ème</sup> profil (Campagne 2012).

Une observation importante sur ces coupes, concerne l'épaisseur élevée atteignant 40m de la couche superficielle à prédominance argileuse. Ceci peut constituer un écran efficace et rendre moins vulnérable aux pollutions la nappe aquifère.

### III. 7. 3. Résultats de diagraphie

Les valeurs de résistivités et la succession des formations est comparable à celles interprétées par les SEV, avec les basses résistivités se rapportant aux passées argileuses ou intercalations marneuses (tableau.A.III. 1). A partir de 178m de profondeur, les valeurs de 50  $\Omega$ .m indiquent la prédominance de calcaires avec une eau minéralisée entre 1.2 et 3 g/l, d'après les indications de la courbe de P.S. A la profondeur de 204m, au niveau de la couche calcaire, l'enregistrement des résistivités petite et grande normale indique la même valeur de 110-130 $\Omega$ .m: ceci implique une absence de la zone lavée par la boue, causée par une pression hydrostatique exercée par la couche aquifère à cette profondeur (faible invasion).

Tableau. A. III. 1. Résultats d'une diagraphie exécutée au forage Coca ( $\rho$  boue = 2.5  $\Omega$ .m)

Profondeurs	Résistivité Rho ( $\Omega$ .m)	Potentiel Spontané PS	Lithologie
0 – 56 m (entre 4-19 m)	10 à 15 (inf. à 5)	Formation à prédominance argileuse	
56 – 62 m	20	-7 mV	Graviers
62 - 73 m	40 à 50	-7 mV	Graviers plus sableux
73 - 101 m	25 à 30	-3 à – 10 mV	Grès argileux
101 – 117 m	20	Idem	Alternances grès, graviers
117 – 123 m	inf. à 20	Idem	Grès tendres
123 – 150 m	15	Idem	Marnes sableuses
150 - 170 m	15	Idem	Marnes et intercale. Calcaires
170 - 178 m	25		Calcaires à intercale. Marneuses
178 - 183 m	50	5 – 10 mV	Calcaires
183 - 204 m	15		Marno-calcaires
204 - 218 m	130		Calcaires
218 - 224 m	15		Marnes à gypses

### III. 8. CONCLUSION

La synthèse des données de géophysique a permis d'établir pour la formation calcaréo-gréseuse du Moi-Pliocène la résistivité des niveaux géo-électriques se situe d'environ 20 à 60  $\Omega$ .m, en se fondant sur la variation des types de courbes de SEV, de la résistivité et de la puissance.

On a élucidé un ensemble de failles tectoniques en surface, puis cette dernière a été divisée en failles majeures et secondaires. Les accidents majeurs se notant sur la partie bordière des Tessala et sur la dépression de la M'léta.

Les incidents mineurs sont généralement orientés dans une direction sub-méridionale, coïncidant dans la plupart des cas avec le réseau hydrographique actuel. Il est important de noter une immersion graduelle vers le nord de la couche calcaréo-gréseuse, d'une profondeur de l'ordre de 20 à 120 mètres.

## IV. MORPHOMETRIE ET HYDROCLIMATOLOGIE DU BASSIN VERSANT

### IV. 1. MORPHOMETRIE

La plaine de la M'léta est intégrée dans BV des côtiers Oranais et sous BV Sebkha d'Oran (04-04) 2192 Km<sup>2</sup>. Dans ce bassin, le sillon médian, de même que les deux massifs montagneux qui l'entourent sont orientés WSW - ENE selon la direction tellienne.

Les monts des Tassalas, qui forment un massif au Sud, avec une structure complexe s'étendant sur environ cinquante kilomètres. L'altitude moyenne de cette région est d'environ 800 mètres.

Au Nord, les massifs littoraux d'Oran présentent des reliefs relativement plus modestes, mais leur morphologie est bien marquée. Ils atteignent leur point culminant à 581 mètres à Msabih.

Le versant Sud -Est est fortement entaillé par une série d'Oueds ; alors que le versant Nord tourné vers la mer est formé de hautes falaises.

Au milieu de la Sebkha, la plaine correspond au prolongement vers l'Ouest de la plaine du Cheliff, dont elle est séparée par une zone de rides orientée NE – SW (figure.A.IV. 1).

Cette dépression s'étend sur 40 Km de long et 25 Km de large. Elle est frangée au Nord par les glacis des massifs littoraux et au Sud par les cônes alluviaux des oueds des Tassala.

La surface totale planimétrée du bassin versant orographique est de 1785 Km<sup>2</sup>. Le périmètre correspondant est de 210 Km. La sebkha couvre une superficie de 310 km<sup>2</sup>, représentant ainsi 16,7 % de la surface totale. Elle forme une plaine parfaite. Son altitude varie de 81 m au Sud de Misserghin à 82 m dans la région d'El-Amria.

#### IV. 1. 1. Répartition altimétrique du bassin versant

L'étude de répartition des surfaces en fonction des altitudes ; entre le Murdjadjo au Nord et la chaîne des Tassalas au Sud (tableau.A.IV.1).

Tableau. A. IV. 1. Répartition altimétrique.

Tranche d'altitude (m)	Superficie en Km <sup>2</sup>	Surface partielle	Surface cumulées en %
> 800	19	1.06	100
600 – 800	56	3.13	36,28
400 – 600	204	11.42	15,61
200 – 400	369	20.69	4,19
< 200	1137	63.69	1,06

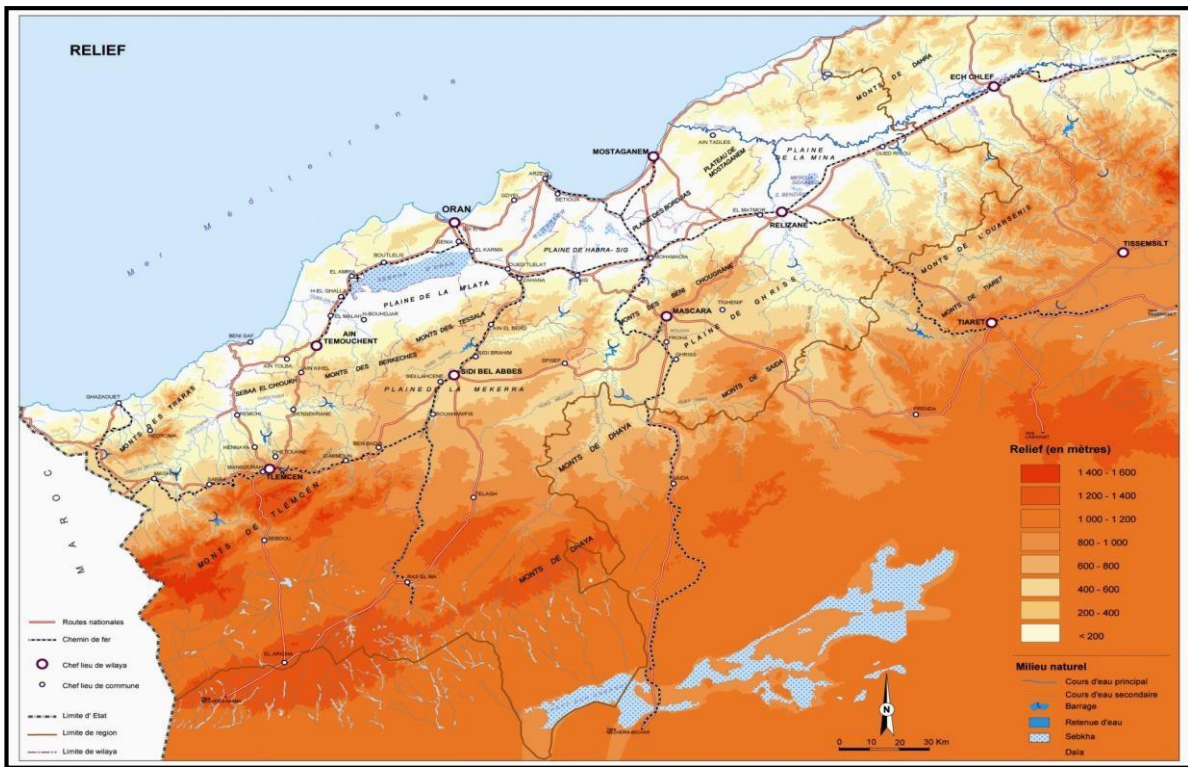


Figure. A. IV. 1. Carte du relief de l'Ouest Algérien.

La courbe hypsométrique (figure.A.IV.2) indique de forts pourcentages correspondants aux bas- ses altitudes.

On constate que presque 64 % de la surface du bassin est comprise dans la tranche d'altitude variant entre 800 et 200 m, correspond aux surfaces occupées par la sebkha.

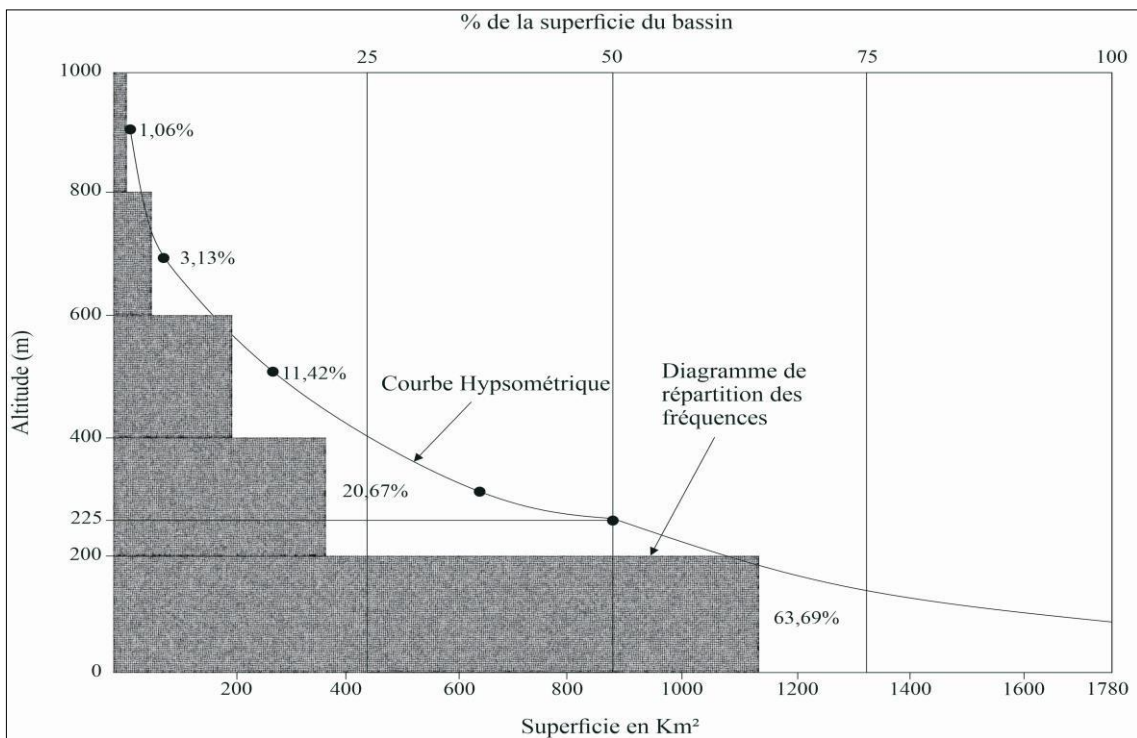


Figure. A. IV. 2. Courbe Hypsométrique

#### IV. 1. 2. Caractéristique des formes

La forme des bassins versants peut être traduite par l'indice de compacité de Gravelius ( $K_c$ ). Cet indice s'établit en comparant le périmètre du bassin à celui d'un cercle qui aurait la même superficie. Dans notre cas  $K_c = 1,39$  ; la valeur élevée du " $K_c$ " traduit l'allongement du bassin versant.

#### IV. 1. 3. Le rectangle équivalent

L'objectif est de calculer la longueur et la largeur d'un rectangle qui aurait les mêmes caractéristiques de forme ainsi que les mêmes conditions d'écoulements que ceux du bassin versant considéré (figure.A.IV.3).

$$L = K_c \cdot A / 1.12 [1 + 1 - (1.12 / K_c)^2] \text{ et } l = P / 2 - L$$

L : Longueur du bassin

P : Périmètre du bassin

l : Largeur du bassin

A : Aire du bassin

K : Coefficient de compacité de Gravelius

1.12 : coefficient sans unité.

Dans notre cas la longueur du bassin serait de 83,5 Km et la largeur du bassin de 21,5 Km.

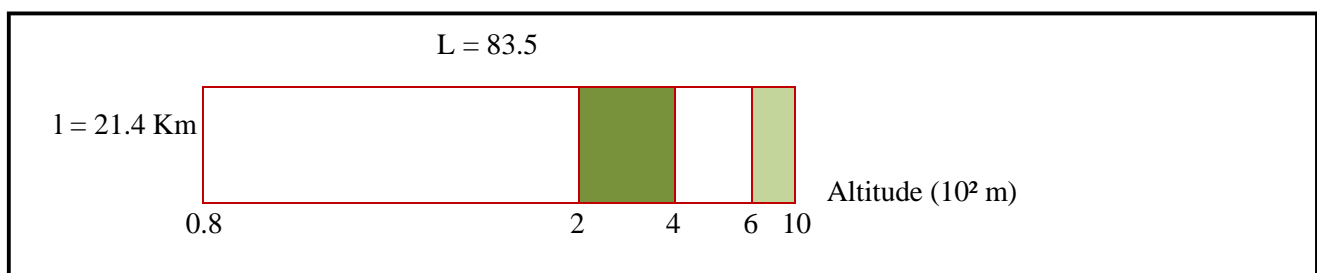


Figure. A. IV. 3. Rectangle équivalent du bassin de la Sebkhia.

#### IV. 1. 4. L'indice de pente global

La pente joue un rôle capital dans l'aptitude au ruissellement ; son appréhension peut être faite à l'aide de l'indice de pente global  $I_g$ .

C'est le rapport de la différence des altitudes de fréquence 5 % et 95 % à la longueur L du rectangle équivalent du bassin.

$$I_g = 0.0066 \text{ soit } 6,6 \text{ m/Km.}$$

Cette valeur de l'indice de pente reflète un relief modéré du bassin versant.

#### IV. 2. PARAMETRES CLIMATIQUES

Dans un pays comme l'Algérie caractérisé par le contraste entre le climat méditerranéen au Nord et le climat désertique au Sud, la région d'Oran appartient au climat méditerranéen, malgré sa proximité de la mer, son climat se caractérise par un caractère semi-aride, chaud l'été et doux l'hiver, la période sèche qui se prolonge sur trois ou cinq mois dans l'année, en particulier les hivers sont généralement doux sur le littoral à l'opposé du caractère continental à l'intérieur de la plaine où les hivers sont relativement froids.

La quantification des apports en eau sous forme de précipitations est très importante dans cette région à vocation agricole où l'exploitation de cette précieuse denrée est mise à rude épreuve par les nombreux puits et forages creusés dans la région.

L'analyse des données climatiques nous permet d'examiner les éléments climatiques de cette zone et de nous informer sur :

- ↳ La catégorie de climat,
- ↳ Le régime hydroclimatique du bassin versant,
- ↳ Le bilan hydrique.

Ces éléments sont, soit mesurés sur le terrain (précipitations, températures), soit évalués par des formules empiriques (ETP, ETR, R, I).

#### IV. 2. 1. Pluviométrie

Pour notre région, Les principales caractéristiques climatiques des 4 stations pluviométriques situées à l'intérieur de la plaine. Elles permettent de faire ressortir les caractères généraux des précipitations, leurs nuances spatiales et leurs irrégularités temporelles.

Tableau. A. IV. 2. Coordonnées des stations climatiques :

N°/ Carte	Nom de la station	Coordonnées embere			Source
		X	Y	Z (m)	
1	Oran ANRH	198,7	272,6	80	ANRH
2	Es Senia	200,8	266,1	90	ONM
3	Oued Tlelat BGE	219,8	245,7	145	ANRH
4	Tamzourah	195,4	239,9	170	ONM

##### IV. 2. 1. 1. Carte pluviométrique annuelle

La carte pluviométrique annuelle, élaborée par l'ANRH en 1993 pour la période 1922-1989 (figure. A.IV.4), montre une variation de la pluviométrie allant de 300 à 450 mm sur la plaine.

La pluviosité diminue d'Ouest en Est. Ceci s'explique par le fait que la partie ouest bénéficie d'une exposition plus favorable aux vents d'ouest et de nord-ouest, porteurs d'humidité.

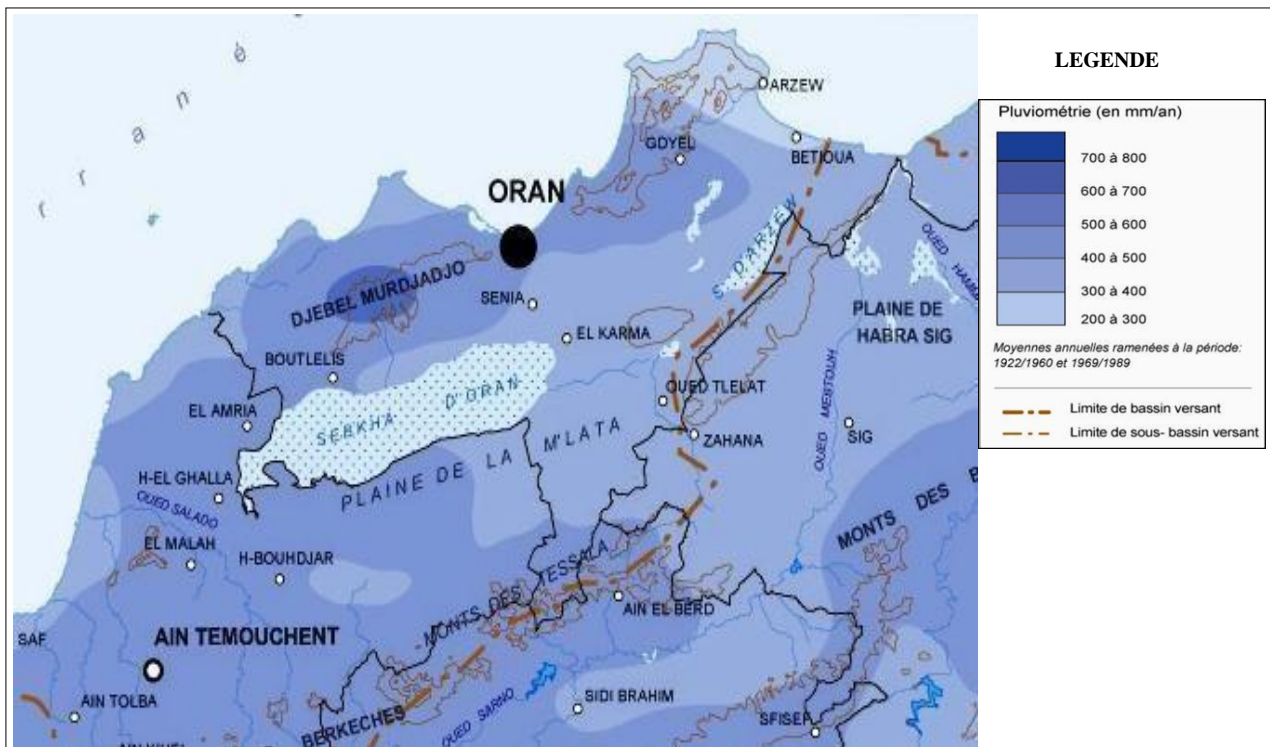


Figure. A. IV. 4. Carte pluviométrique de la zone d'étude.

#### IV. 2. 1. 2. Variation de la pluviométrie annuelle

L'évolution de la pluviométrie annuelle est visualisée sur la figure.A.IV.5 pour les 4 stations concernées.

Le caractère en dents de scie des profils obtenus, met en évidence la grande variabilité des apports annuels.

Ainsi à la station d'Es Senia, on a enregistré une pluviosité allant de 212 à 478 mm, alors qu'à la station de Tamzourah, elle a été de 163 à 569 mm.

Il n'est pas possible de parler de l'existence de cycles déterminés, la pluviosité au cours des années étant irrégulières, parfois en augmentation et d'autres fois en diminution.

La plus faible pluviosité a été enregistrée au cours de l'année 2010 (212mm), la plus grande valeur a été atteinte en 2012 (478mm), à la station d'Es Senia.

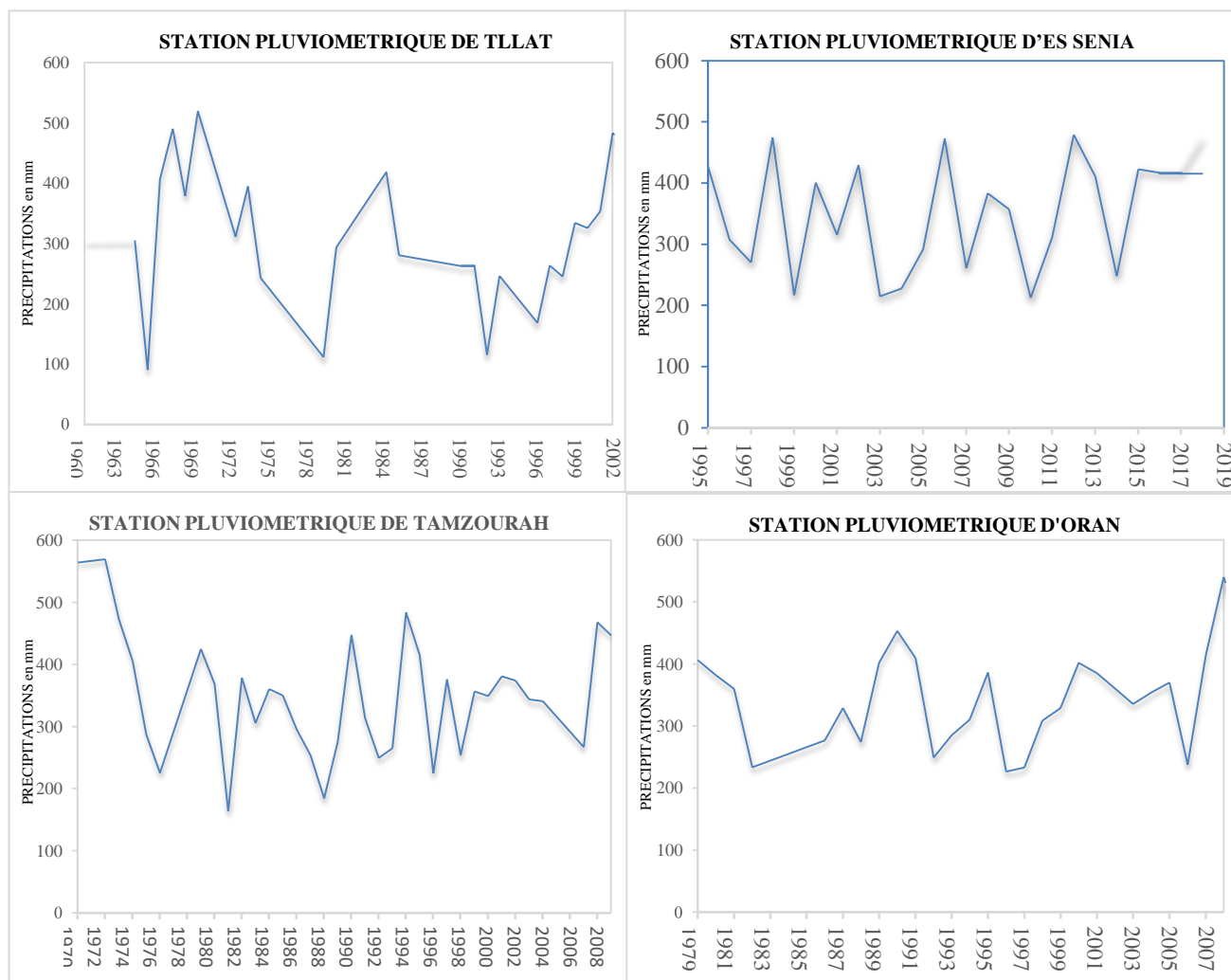


Figure. A. IV. 5. Graphiques de l'évolution de la pluviométrie mensuelle.

**IV. 2. 1. 3. Les précipitations mensuelles**

Dans le tableau A.IV.3 sont portées les précipitations mensuelles enregistrées à travers nos quatre stations pluviométriques de la M'léta.

Tableau. A. IV. 3. Précipitations mensuelles en mm

STATIONS	JAN.	FEV.	MAR.	AVR.	MAI	JUIN	JUIL.	AOÛT	SEPT.	OCT.	NOV.	DÉC.
ES SENIA	39,16	36,45	35,84	33,98	23,8	4,41	1,2	2,14	14,53	46,67	66,25	46,97
TAMZOURAH	49,3	43,7	45,2	34,9	29,5	3,8	0,8	2,1	16,6	31,5	48,2	44,2
TLELAT Bge	29	29,8	24,7	27,4	20,6	1,9	0,1	1,6	8,4	19,1	50,1	36,1
ORAN ANRH	52	43,9	41,2	31	20	2,8	2,6	2,2	18,4	25,8	64,6	41,8

Aux quatre stations les mois de Novembre, Décembre et Janvier ont été les plus pluvieux, le mois de Juillet étant le plus sec (figure. A.IV.6).

La moyenne pluviométrique la plus importante a été enregistrée à la station d'Es Sénia, avec une valeur supérieure à 66,25 mm durant le mois de Novembre.

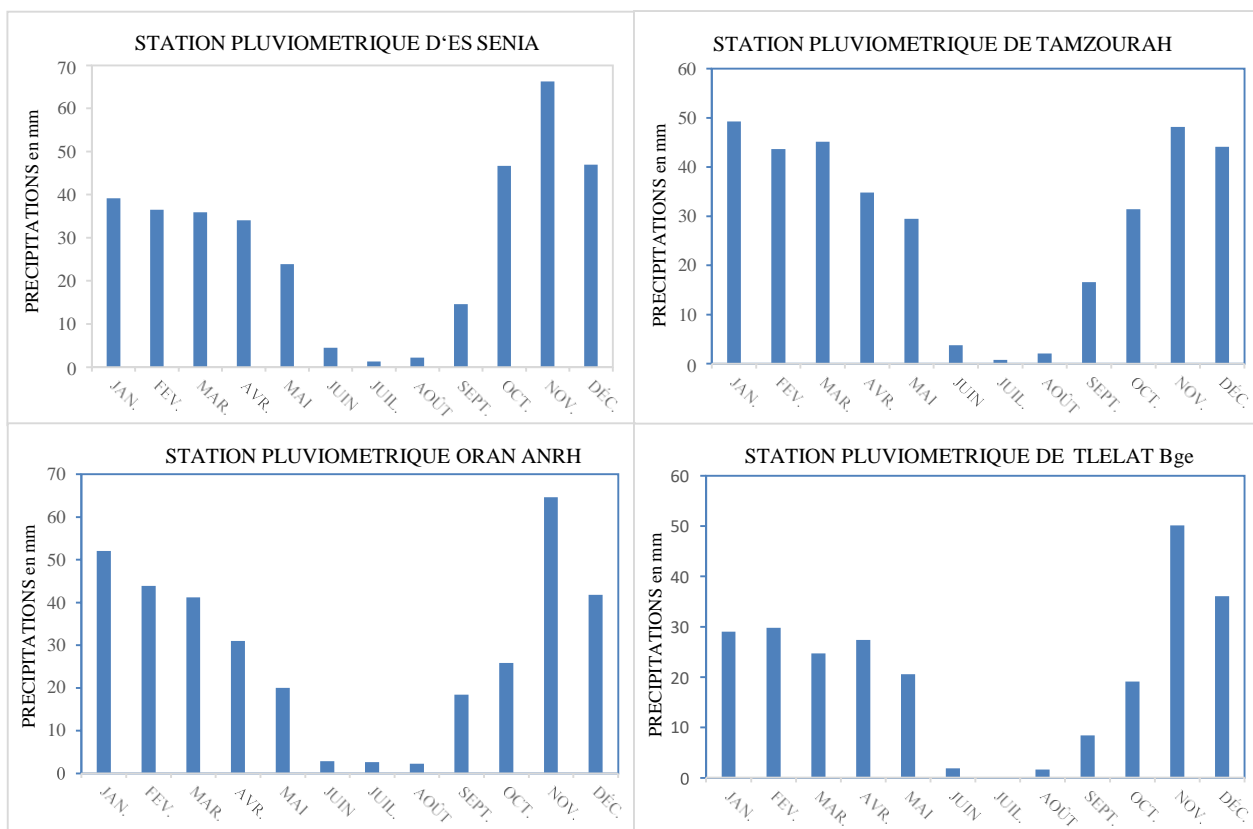


Figure. A. IV. 6. Histogramme des précipitations mensuelles.

**IV. 2. 1. 4. Les précipitations saisonnières**

Les pluies d’Hiver sont toujours les plus importantes avec des pourcentages avoisinant les 40%. Pendant la saison estivale les pluies sont beaucoup moins abondantes avec des pourcentages atteignant les 2 %. Pour les saisons d’Automne et de printemps la variabilité est plus grande. L’indice saisonnier, de type H-P-A-E est identique aux quatre stations (tableau. A.IV.4)

Tableau. A. IV. 4. Précipitations saisonnières

Station	Indice Saisonnier
Es Senia	H-P-A-E
Tamzourah	H-P-A-E
TLELAT Bge.	H-P-A-E
ORAN ANRH	H-P-A-E

**IV. 2. 2. ETUDE DES TEMPERATURES**

La carte des températures réduite au niveau de la mer (figure. A.IV.7) montre une homogénéité des températures sur toute la plaine.

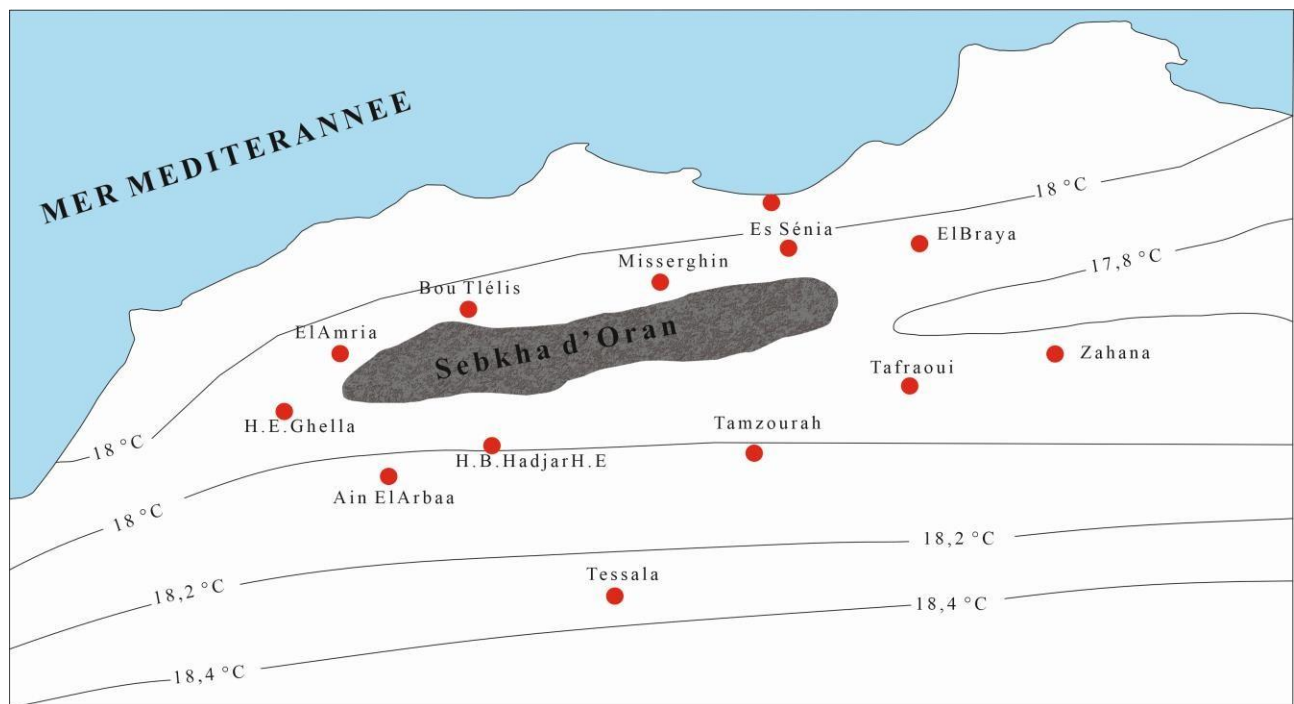


Figure. A. IV. 7. Carte des Températures réduite au niveau de la mer.

A travers les deux stations météorologiques des régions d'Es Sénia et Tafraoui (Tableaux A.IV.5, A.IV.6), nous avons pu obtenir des données qui montrent que janvier est le mois le plus froid, tandis qu'août est le mois le plus chaud.

Tableau. A. IV. 5. Températures mensuelles en °C à la station d'Es-Sénia (1995-2018).

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
T <sup>0</sup> min	5,43	6,23	8,65	10,29	13,74	17,74	20,52	20,73	18,07	14,3	9,79	6,69
T <sup>0</sup> max	16,91	17,96	19,2	21,92	24,7	28,19	31,14	31,31	28,11	25,75	21	17,75
T <sup>0</sup> moy	11,17	12,09	13,92	16,1	19,22	22,96	25,83	26,02	23,09	20,02	15,39	12,22

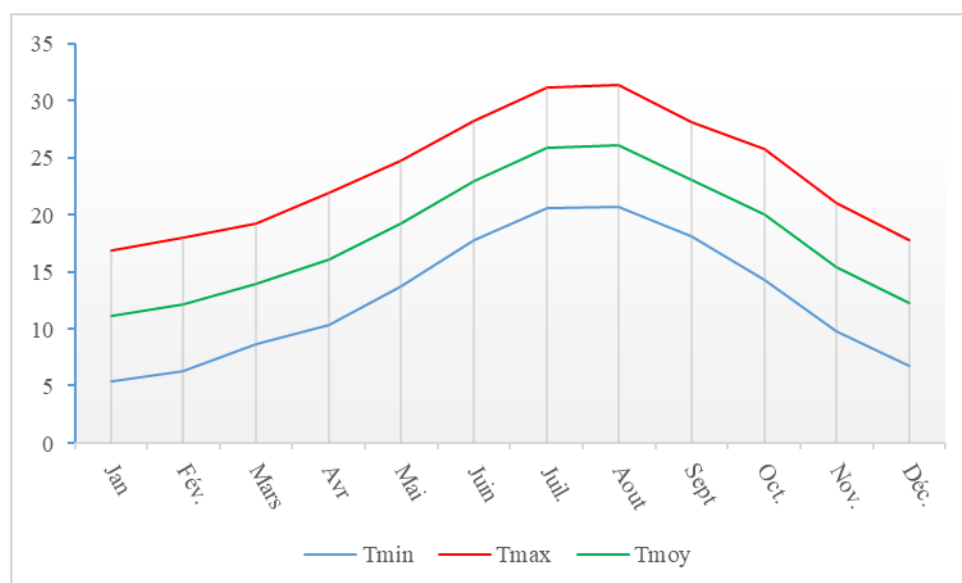


Figure. A. IV. 8. Températures mensuelles à la station d'Es-Sénia (1995-2018).

Les variations mensuelles des températures (minimales, maximales et moyennes) représentées dans la figure.A.IV.8, pour la station météorologique de la région d'Es Sénia indiquent que la ligne de tendance de température représentant le minimum ne montre pas de valeurs négatives, les températures sont comprises entre 5,43°C (Janvier) et 20,73°C (Août).

La courbe des maximas est comprise quant à elle entre 16,91°C (mois de Janvier) et 31,31°C (mois de Août).

Tableau. A. IV. 6. Températures mensuelles en °C à la station de Tafraoui.

MOIS	JAN.	FEV.	MAR.	AVR.	MAI	JUIN	JUIL.	AOÛT	SEPT.	OCT.	NOV.	DÉC.
T (°C)	11,7	11,7	13,5	15,6	19,8	22,8	26,4	26,9	23,3	19,6	15,4	12,4

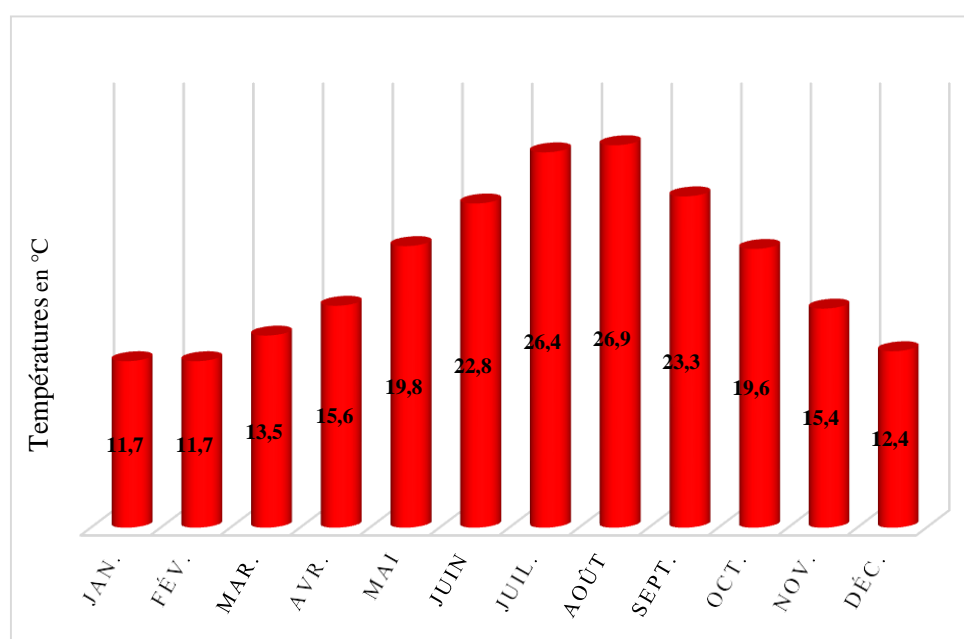


Figure. A. IV. 9. Températures mensuelles à la station de Tafraoui.

A la station de Tafraoui, durant la période 1952 – 1994 (tableau.A.IV.6), le maximum des températures a été atteint au mois d'Août avec 26,9°C, le minimum au mois de Janvier avec 11,7°C (figure.A.IV.9).

#### IV. 2. 3. Régime climatique diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls

Afin de pouvoir estimer les besoins d'eau de la zone étudiée, nous avons utilisé le diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls, il s'agit d'une combinaison de deux paramètres climatiques principaux : la température et la précipitation (figure.A.IV.10).

L'analyse du diagramme Ombro-thermique de Gaussen et Bagnouls montre que la station d'Es Sénia présente une période sèche qui s'étale sur 6 mois et 15 jours (début d'Avril jusqu'à la moitié d'Octobre). Il présente une période humide qui s'étend sur 5 mois et 15 jours (début de Janvier jusqu'à début d'Avril et la moitié d'Octobre jusqu'à la fin de Décembre).

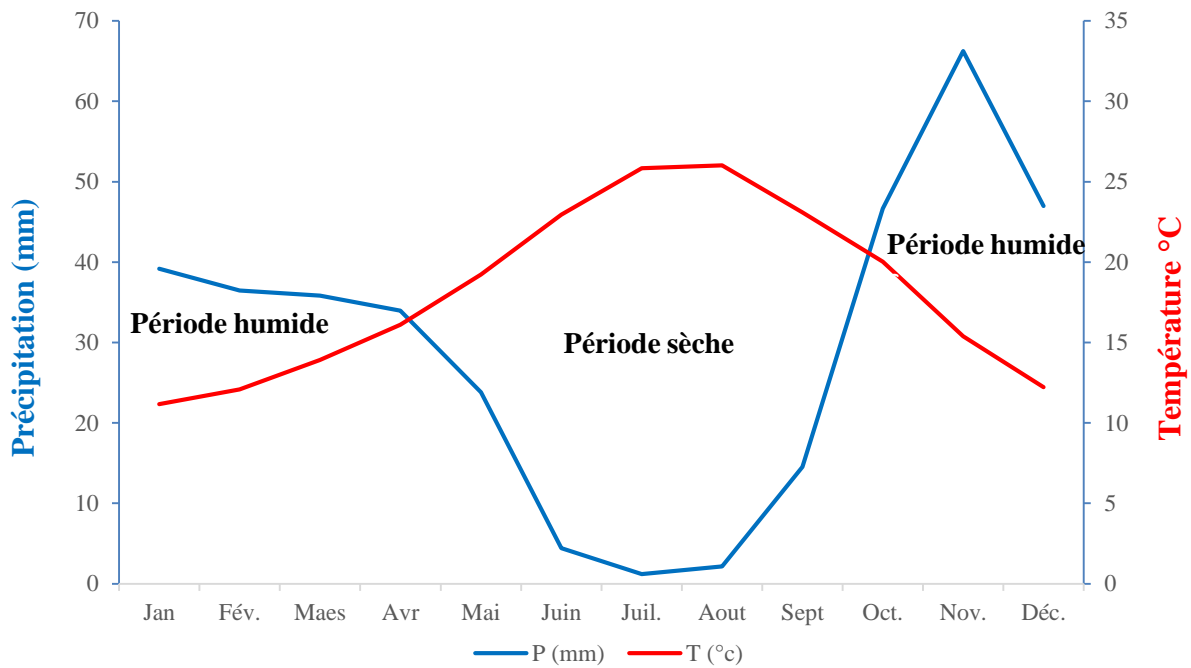


Figure. A. IV. 10. Diagramme Ombro-thermique de Gaussen et Bagnoul (d'Es-Sénia 1995-2018).

L'analyse de ce graphe montre que la courbe des précipitations passe en-dessous de celle des températures durant la période comprise entre le mois d'Avril à mi-Octobre, cette phase correspond à **une période déficitaire ou sèche**. Pour la **période humide**, elle est comprise entre mi-octobre Jusqu'à fin Mars, elle correspond à la période pendant laquelle la courbe des précipitations passe en-dessus de celle des températures.

#### IV. 2. 4. Détermination de l'aridité

##### IV. 2. 4. 1. Indice d'aridité annuel de De-Martonne (1926) :

La formule de De-Martonne, qui exprime l'indice d'aridité « I » en fonction de précipitation et de la température s'énonce comme suit :  $I = P / T + 10$

**I** : indice d'aridité annuel.

**P** : précipitation moyenne annuelle en (mm)

**T** : température moyenne annuelle en ( $^{\circ}$ C)

Pour :  $20 < I < 30$  : climat tempéré.

$10 < I < 20$  : climat semi-aride.

$7,5 < I < 10$  : climat steppique

$5 < I < 7,5$  : climat désertique.

$I < 5$  : climat hyperaride.

Avec :  $P = 351,4 \text{ mm}$ .  $T = 18,17^{\circ}\text{C}$

On a :  $I = 12,47$ .

Pour la station météorologique de la région d'Es Sénia pendant la période (1995-2018). L'indice d'aridité annuel « I » est compris entre 10 et 20, dénotant un climat semi-aride.

#### IV. 2. 5. Evapotranspiration

L'évapotranspiration est la quantité d'eau produite, d'une part, par les plantes et, d'autre part, par l'évaporation directe à partir du sol. L'évapotranspiration dépend essentiellement des précipitations, de la température, du vent, de l'humidité, de la texture du sol, de la végétation et du relief.

##### IV. 2. 5. 1. Evapotranspiration potentielles (ETP) :

La formule de calcul de l'évapotranspiration potentielle selon la méthode de C.W Thornthwaite s'écrit de la manière suivante

$$ETP_{nc} = 16 (10 T / I)^a$$

$$ETP_c = (ETP_{nc}) \times K$$

Avec:  $I = \sum_{i=1}^{12} i$  ;  $i = (t/5)^{1,514}$  ;  $a = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 771 \cdot 10^{-7} \cdot I^2 + 1792 \cdot 10^{-5} \cdot I + 0,49239$

**I** : indice thermique annuelle.

**i** : indice thermique mensuel.

**T** : température moyenne mensuelle.

**a** : exposant (égale à 1,90 pour la station d'Es- Sénia).

**k** : facteur de correction, tenant compte du nombre de jours, il est lu sur des tables qui donnent sa valeur en fonction de la latitude et de mois considéré.

**ETP<sub>nc</sub>** : Evapotranspiration potentielle non corrigée (mm).

**ETP<sub>c</sub>** : Evapotranspiration potentielle corrigée (mm).

Tableau. A. IV. 7. Calcul de l'évapotranspiration potentielle à la station d'Es-Sénia (1995-2018).

Indices / Mois	T <sup>0</sup> c	I	ETP <sub>nc</sub> (brute en mm)	K	ETP <sub>c</sub> (mm)
Sept	23,09	10,14	101,12	1,03	104,15
Oct.	20,02	8,17	77,28	0,97	74,96
Nov.	15,39	5,48	35,25	0,86	30,32
Déc.	12,22	3,87	30,24	0,85	25,70
Janv.	11,17	3,38	25,6	0,87	22,27
Fév.	12,09	3,81	29,44	0,85	25,02
Mars	13,92	4,71	38,56	1,03	39,72
Avril	16,1	5,87	50,88	1,09	55,46
Mai	19,22	7,68	71,52	1,21	86,54
Juin	22,96	10,05	100,48	1,21	121,58
Juillet	25,83	12,01	125,76	1,23	154,68
Aout	26,02	12,15	127,36	1,16	147,74
Année	18,17	87,31	813,49	/	888,14

La valeur obtenue de l'évapotranspiration potentielle annuelle est de l'ordre de 888,14 mm pour un indice thermique annuel de 87,31.

**IV. 2. 5. 2. Evapotranspiration réelle (ETR) :****IV. 2. 5. 2. 1. Méthode de Thornthwaite (1948) :**

Deux cas sont à distinguer :

- si  $p > ETP$  :  $ETR = ETP$ ,
- si  $p < ETP$  : et dans la présence des réserves,  $ETR = ETP$ , lorsque ses réserves sont insuffisantes, donc nous avons un déficit et  $ETP = P$ . (voir tableau. A.IV.9).

Nous avons une évapotranspiration réelle :  $ETR = 295,88$  mm.

**IV. 2. 5. 2. 2. Méthode de Turc (1961) :**

$$ETR = \frac{P}{\left(\frac{0,9 + P^2}{L^2}\right)^{1/2}} \quad \text{Avec :}$$

**ETR** : l'évapotranspiration réelle en (mm)

**P** : hauteur annuelle des précipitations en (mm).

**T** : température moyenne annuelle en °C

**L** :  $300 + 25 T + 0,05 T^3$  , **L = 1054,19**

Avec une température de 18,2°C et une hauteur annuelle de précipitation de 351,4 mm, l'application de cette formule donne une valeur de l'ETR égale à 349,46 mm/ an.

**IV. 2. 5. 2. 3. Méthode de Coutagne :**

$$ETR = De = P - \lambda P^2$$

Avec

$$\lambda = 1 / (0,8 + 0,14T)$$

**De** : le déficit d'écoulement en m/an. (De= 0,3114)

**P** : précipitation moyenne annuelle en mètre (P= 0.3514m).

**T** : température moyenne annuelle en °C (T=18,17°C).

Cette formule n'est valable que pour les valeurs de (P) comprise entre :  $1/8\lambda$  et  $1/2\lambda$

Avec :  $\lambda = 0,3$ ,  $1/8\lambda = 0,42$ ,  $1/2\lambda = 1,67$

Donc, la formule de Coutagne n'est pas applicable car la valeur de P n'est pas comprise entre  $1/8\lambda$  et  $1/2\lambda$

**IV. 2. 5. 2. 4. Méthode de Verdeil (1988) :**

Dans cette méthode, on représente la valeur des précipitations sur les ordonnées logarithmiques du papier fonctionnel de Verdeil, ensuite on relie ce point avec la droite, la valeur de l'ETR est lue directement en projetant ce 2ème point sur les abscisses logarithmiques.

Pour notre cas et à partir de l'abaque (figure. A.IV.11),  $ETR_{\text{Verdeil}} = 339$  mm.

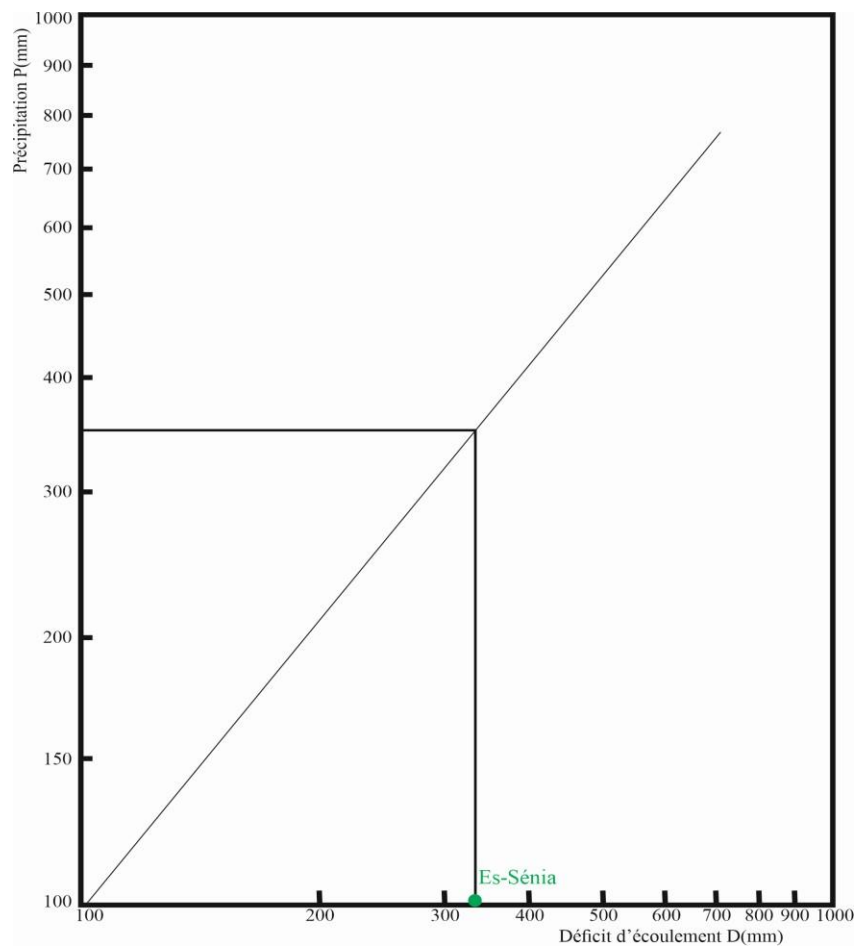


Figure. A. IV. 11. Abaque de Verdeil pour calculer l'ETR.

#### IV. 2. 5. 2. 5. Méthode de WUNDT :

L'abaque de WUNDT nous permet de calculer graphiquement l'évapotranspiration réelle en fonction de la température moyenne annuelle et la pluviosité annuelle. La valeur obtenue à la station d'Es-Sénia est de 340 mm.

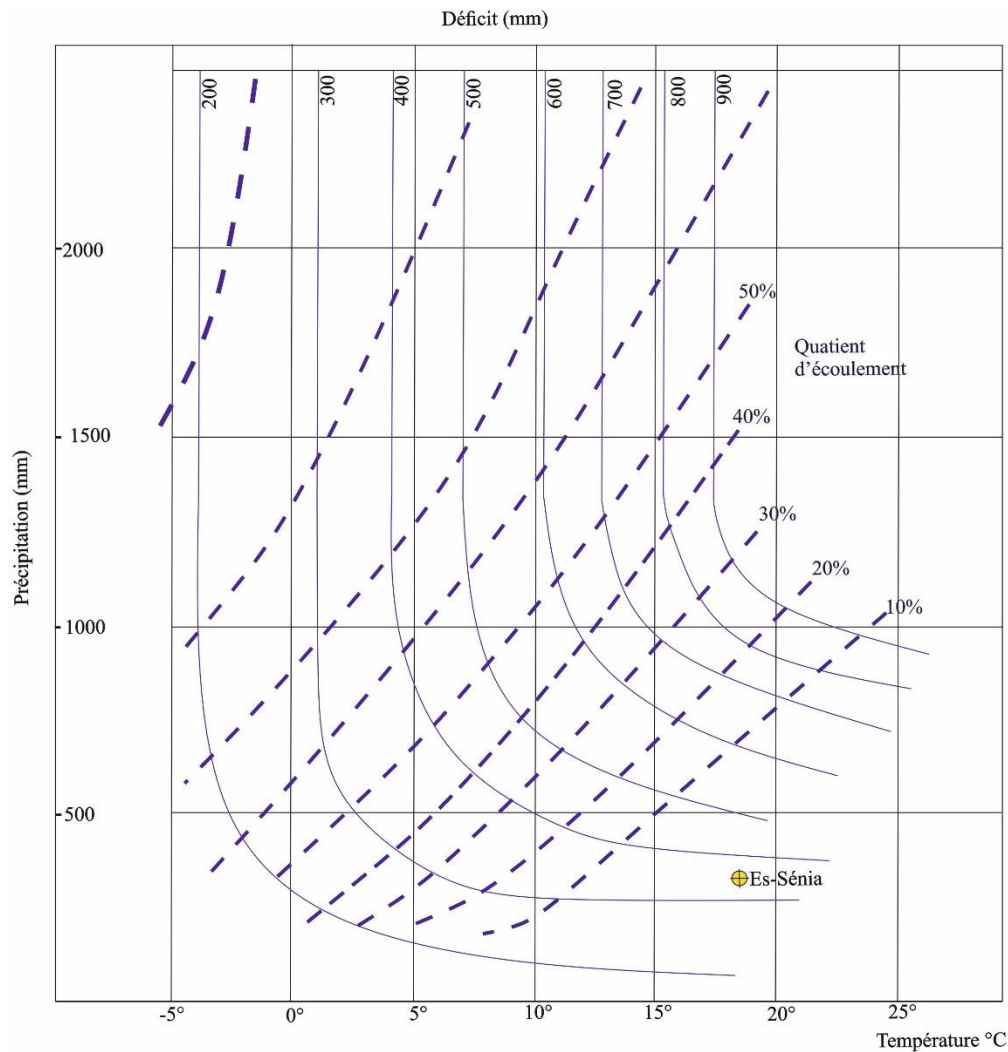


Figure. A. IV. 12. Abaque de Wundt pour calculer l'ETR.

#### IV. 2. 6. Interprétation des résultats :

Le tableau. A.IV. 8. Résume les résultats de l'évapotranspiration réelle et potentielle calculés par les différentes méthodes pour une année hydrologique allant de 1995 au 2018.

Tableau. A. IV. 8. Comparaison entre les différentes méthodes.

Paramètre	Méthodes	Résultats
ETP <sub>C</sub> (mm)	Thornthwaite	888,14
ETR (mm)	Thornthwaite	295,88
	Turc	349,46
	Coutagne	N'est pas applicable
	Verdeil	339
	Wundt	340

Nous constatons que L'ETR obtenue par la méthode de Thornthwaite est plus faible de celle obtenue par les autres méthodes. Elle représente 84,20% des précipitations annuelles de 351,4mm, et c'est cette dernière que l'on retiendra pour l'évaluation du bilan hydrologique.

**IV. 2. 6. 1. Déficit d'écoulement :** Appelé aussi déficit agricole, il représente la différence entre l'ETP et l'ETR, c'est la quantité d'eau peut être utilisée par les plantes par un apport d'irrigation.

**IV. 2. 6. 2. L'excédent :** Il s'agit d'un volume d'eau en excès, il alimente soit la nappe par infiltration ou bien les écoulements.

**IV. 2. 6. 3. Les écoulements :** Thornthwaite propose que les écoulements forment la moitié de l'excédent pour chaque mois.

**IV. 2. 6. 4. La réserve utile :** La RFU est la quantité d'eau emmagasinée dans la couche pédologique et qui est facilement utilisable par les plantes, pour son bon fonctionnement physiologique. Richard en 1979 a proposé une formule pour le calcul de la RFU, dans la partie Nord- Est de l'Algérie qui est la suivante :

$$RFU = \frac{1}{3} D_a H_e P$$

Avec :

RFU : réserve facilement utilisable en (mm).

Da : densité apparente du sol, (Hallaire propose de prendre  $D = 0,9$ ).

He : Capacité de rétention:

He = 5% pour un sol sablo limoneux

He= 10% pour un sol limoneux

He=20% pour un sol argilo limoneux

Pour notre cas et vu la nature du sol, on a adopté le dernier cas.

$\emptyset$  He = 20% soit 0.2

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

P = 0.5m. La RFU maximale calculée est égale à 30 mm et la RFUmin = 0. L'application de la méthode de Thornthwaite a donné les résultats qui ont été consignés dans le tableau A.IV.9

Tableau. A. IV. 9. Bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite, appliqué à la station météorologique de la région d'Es Sénia (1995-2018).

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Année
P (mm)	14,53	46,67	66,25	46,97	39,16	36,45	35,84	33,98	23,8	4,41	1,2	2,14	351,4
ETP	104,15	74,96	30,32	25,70	22,27	25,02	39,72	55,46	86,54	121,58	154,68	147,74	888,14
Variation de la réserve	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	/
P-ETP	-89,62	-28,29	35,93	21,27	16,89	11,43	-3,88	-21,48	-62,74	-117,17	-153,48	-145,6	/
R.F.U	0	0	30	30	30	30	26,12	4,64	0	0	0	0	/
ETR	14,53	46,67	30,32	25,70	22,27	25,02	39,72	55,46	28,44	4,41	1,2	2,14	295,88
Da	89,62	28,29	0	0	0	0	0	0	58,1	117,17	153,48	145,6	592,26
Ex	0	0	5,93	21,27	16,89	11,43	0	0	0	0	0	0	55,52
Ecoul	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P-ETP/ETP	-0,86	-0,38	1,18	0,83	0,76	0,46	-0,09	-0,39	-0,72	-0,96	-0,99	-0,98	/

RFU=30mm

#### IV. 2. 7. Bilan hydrologique (1995-2018) :

La formule du bilan hydrologique s'exprime de la manière suivante :

$$P=ETR+R+I+S$$

Avec :

**P** : précipitation moyenne annuelle (mm).

**ETR** : évapotranspiration réelle (mm).

**I** : infiltration moyenne annuelle.

**S** : variation de la réserve que nous supposons nulle (si nous établissons un bilan sur une période de 10 ans par exemple).

**R** : ruissellement moyen annuel (mm).

La valeur de précipitations est connue. la détermination des autres paramètres permet la déduction du bilan hydrologique global.

#### IV. 2. 7. 1. Calcul de ruissellement :

##### • Par la méthode de Tixeront-Berkaloff :

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

$$R = (351,4)^3 / 3 * (888,14)^2$$

$$R = 18,33 \text{ mm.}$$

#### IV. 2. 7. 2. Estimation de l'infiltration :

##### IV. 2. 7. 2. 1. Méthode de Thornthwaite :

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

$$I = 351,4 - (295,88 + 18,33)$$

$$I_{\text{Thornthwaite}} = 37,19 \text{ mm}$$

##### IV. 2. 7. 2. 2. Méthode de Turc :

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

$$I = 351,4 - (349,46 + 18,33)$$

$$I_{\text{Turc}} = -16,39 \text{ mm}$$

La valeur de I est négative donc cette méthode n'est pas adéquate.

##### IV. 2. 7. 2. 3. Méthode de Verdeil :

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

$$I = 351,4 - (339 + 18,33)$$

$$I_{\text{Verdeil}} = -5,93 \text{ mm}$$

La valeur de I est négative donc cette méthode n'est pas adéquate.

##### IV. 2. 7. 2. 4. Méthode de Wundt :

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

$$I = 351,4 - (340 + 18,33)$$

$$I_{\text{Wundt}} = -6,93 \text{ mm}$$

Cette méthode n'est pas correcte pour notre cas pour la même raison.

Les valeurs obtenues dénotent, d'une part, la faiblesse de l'intensité des pluies, et d'autre part, l'importance de l'évapotranspiration.

Compte tenu de l'hétérogénéité des terrains et de leur perméabilité, les eaux précitées vont soit ruisseler, cas des formations marneuses, soit s'infiltrer sur place cas des formations des calcaires

Méssinien, ces derniers affleurent en altitude là où des précipitations sont les plus importantes, leur perméabilité est bonne ce qui permet une infiltration très importante.

#### **IV. 2. 8. Conclusion**

L'analyse climatique réalisée sur une période de 23 ans (1995 - 2018) a montré que la région d'Oran est caractérisée par un climat méditerranéen. Malgré sa proximité avec le littoral, son climat est semi-aride, avec des étés chauds et des hivers relativement froids, avec une température mensuelle moyenne comprise entre 5,43 °C en janvier et 31,31 °C en août, et la température annuelle moyenne est d'environ 18,16 °C.

L'analyse du bilan hydrique montre que le territoire appartient à une zone peu pluvieuse, avec une précipitation moyenne annuelle de l'ordre de 351.4 mm. L'évapotranspiration potentielle et l'évapotranspiration réelle moyenne annuelle sont respectivement de l'ordre de 888.14mm, et 295.88mm (soit 84.20 % des précipitations). La RFU atteint sa valeur maximale (30mm) dans les mois de novembre, décembre, janvier et février où l'excédent est supérieur à 0. Le déficit agricole annuel estimé est de l'ordre de 592,26mm, il s'étale sur la période de six mois allant de Mai jusqu'à Octobre. Le ruissellement et l'infiltration représentent respectivement 18.33mm (5,21 % des précipitations), et 37.19mm (10,58 % des précipitations).

## V. RESSOURCE EN EAUX SOUTERRAINES

Grâce à la description lithostratigraphique des couches géologiques identifiées ou percées par les forages, nous avons été en mesure de définir et de reconnaître les formations aquifères présentes dans la région, qui se présentent de la manière suivante :

### V. 1. COMPLEXE AQUIFERE MIO-PLIOCENE (CALCAIRES RECIFEAUX)

Le complexe aquifère Mio-Pliocène est identifié comme le principal aquifère potentiel dans la région, avec une section des calcaires Miocènes qui émerge des monts des Tessala et s'incline vers le Nord et le Nord-Ouest sous la plaine de la M'léta.

Cet aquifère se distingue par sa profondeur et son attrait économique, avec une puissance importante oscillant entre 130 et 150 mètres. Sa vaste étendue latérale en fait un réservoir de type en charge d'une grande qualité (Bellaredj. A, 2013 ; Bouazza. S, 2014).

Ce complexe est relié aux calcaires gréseux et aux grès peu consolidés du Pliocène marin (Astien) ainsi qu'aux calcaires récifaux du Miocène supérieur de la série du Murdjadjo. Les calcaires récifaux ont une épaisseur de 60 à 75 mètres, mais peuvent également atteindre 150 mètres. Ils s'éclaircissent rapidement le long des failles sub-longitudinales sous le terrain moderne et sont principalement fracturés par porosité. Il appartient à un système de horsts et de grabens, dont la mise en place a conditionné toute une série de compartiments calcaires, plus ou moins surélevés les uns par rapport aux autres.

La limite supérieure de la nappe est délimitée par les marnes rouges du Pléistocène inférieur ou par les marnes brunes à bleues du Pliocène inférieur marin (Plaisancien). Lorsque ces dépôts récents commencent par un niveau détritique (grès, calcaires gréseux...), ils mettent le complexe en charge et créent une couverture étanche efficace qui sauvegarde la nappe profonde, prévenant ainsi sa pollution et son interaction avec des eaux de surface contaminées.

Ce réservoir présente une perméabilité efficace à travers des fissures et des formations karstifiées. La présence de fissures a été observée dans la majorité des forages. Ce réservoir se révèle être un grésocalcaire, avec des rapports de pertes de boues, partielles ou totales, signalés dans les intervalles calcaires. Selon l'E.R.E.M. (1984), une grande partie des eaux de pluie s'infiltrent dans ce réservoir. Les écoulements sont stoppés vers le bas, soit par les intercalations de niveaux marneux à tripoli, soit par les marnes bleues.

Dans la zone de jonction de la plaine avec les Tessalas, les formations de ce complexe plongent, suivant des failles, rapidement sous les terrains récents.

L'aire de captage de la nappe inclut à la fois les affleurements de calcaires et les couches imperméables susceptibles de les suralimenter. Sa superficie est de 25 km<sup>2</sup> et s'étend de l'extrémité ouest d'Arbal à l'extrémité est du mont Chouki (figure.A.V.1).

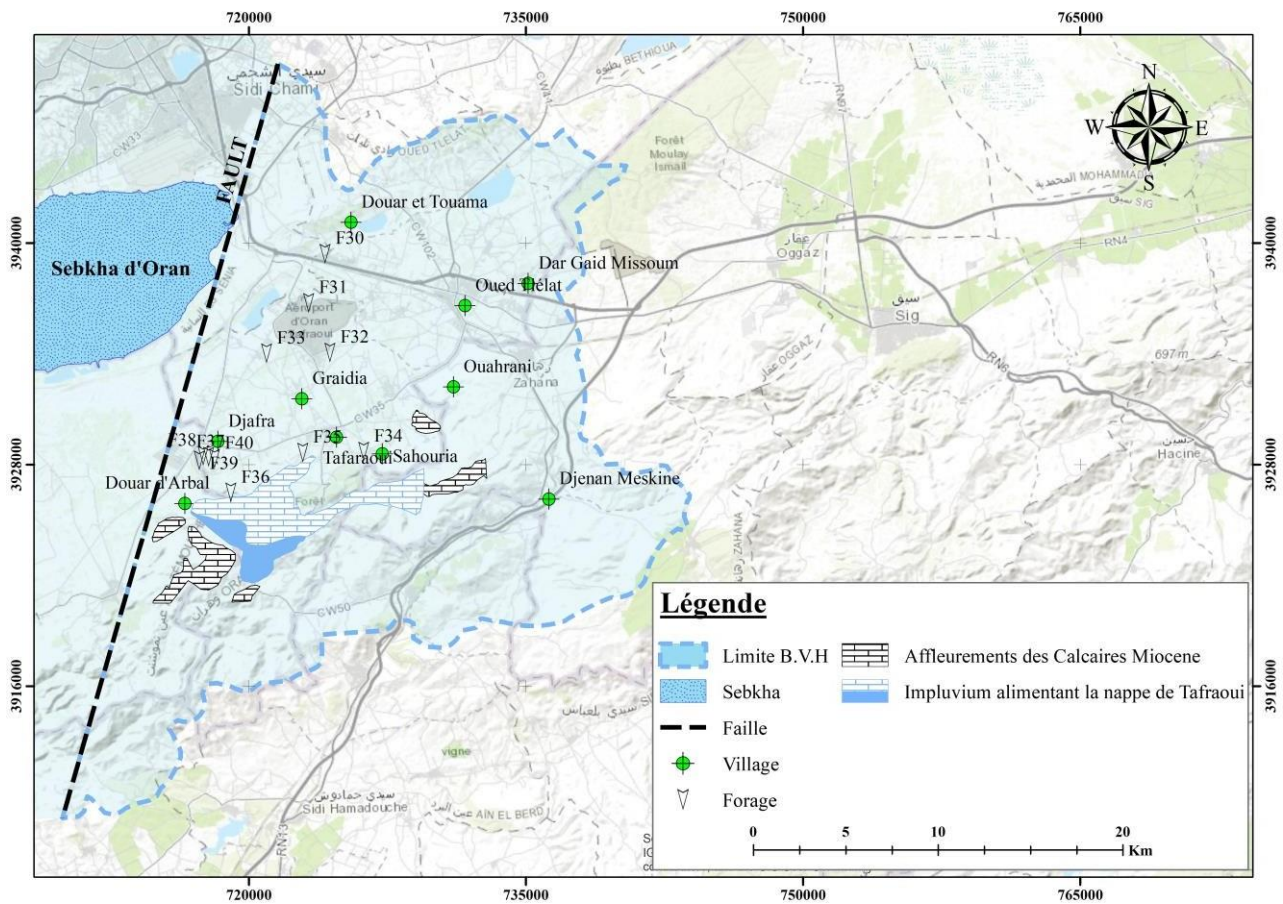


Figure. A. V. 1. Carte des affleurements calcaires miocènes et de leur zone de captage dans la plaine de la M'leta.

L'excédent de cette nappe est drainé par une succession de sources débordantes situées le long du bord Sud de la plaine, comme indiqué dans le tableau A.V.1 et la figure A.V.4.

Tableau. A. V. 1. Sources de débordements

Nom de la source	X	Y	Observations
Aïn Defla	209,150	245,600	Tarie
Aïn Gouraïa	207,000	245,100	-
Aïn Bou Seter	204,100	246,100	Q = 0,11 l/s
Aïn Den	197,600	244,500	Tarie

L'émergence de ces sources se produisait au niveau du contact supérieur des calcaires-mur des formations Plio-Quaternaire imperméables (figure A.V.2). Le débit de ces sources a pu diminuer significativement en raison de la prolongation de la période sèche dans la région et de la surexploitation de la nappe par les forages.

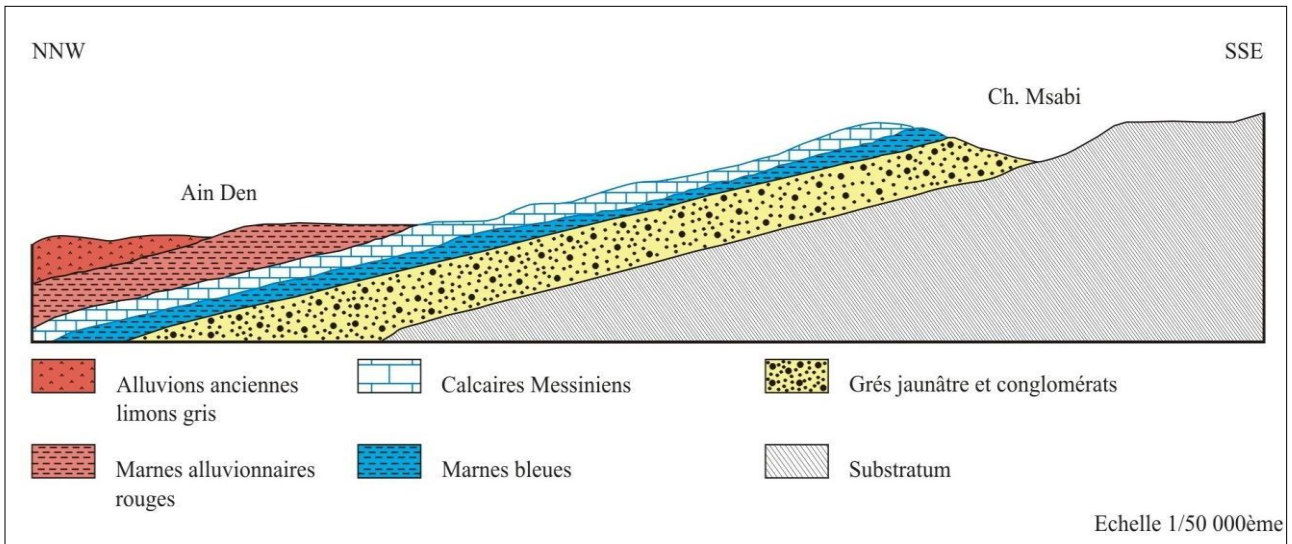


Figure. A. V. 2. Coupe géologique du secteur d'Arbal

Sous la plaine, l'aquifère n'est plus limité vers le bas que par les marnes à tripolis qui prennent là un grand développement.

Au Sud de la plaine, l'aquifère atteint fréquemment une épaisseur de 130 mètres, plus au Nord, il n'a plus que 70 mètres (forage Ban Lartigue 1).

Il se compose principalement de calcaires, parfois gréseux en haut. Il présente une forte fissuration, avec les fissures partiellement remplies de sable quartzeux à grain fin (figure A.V.3).

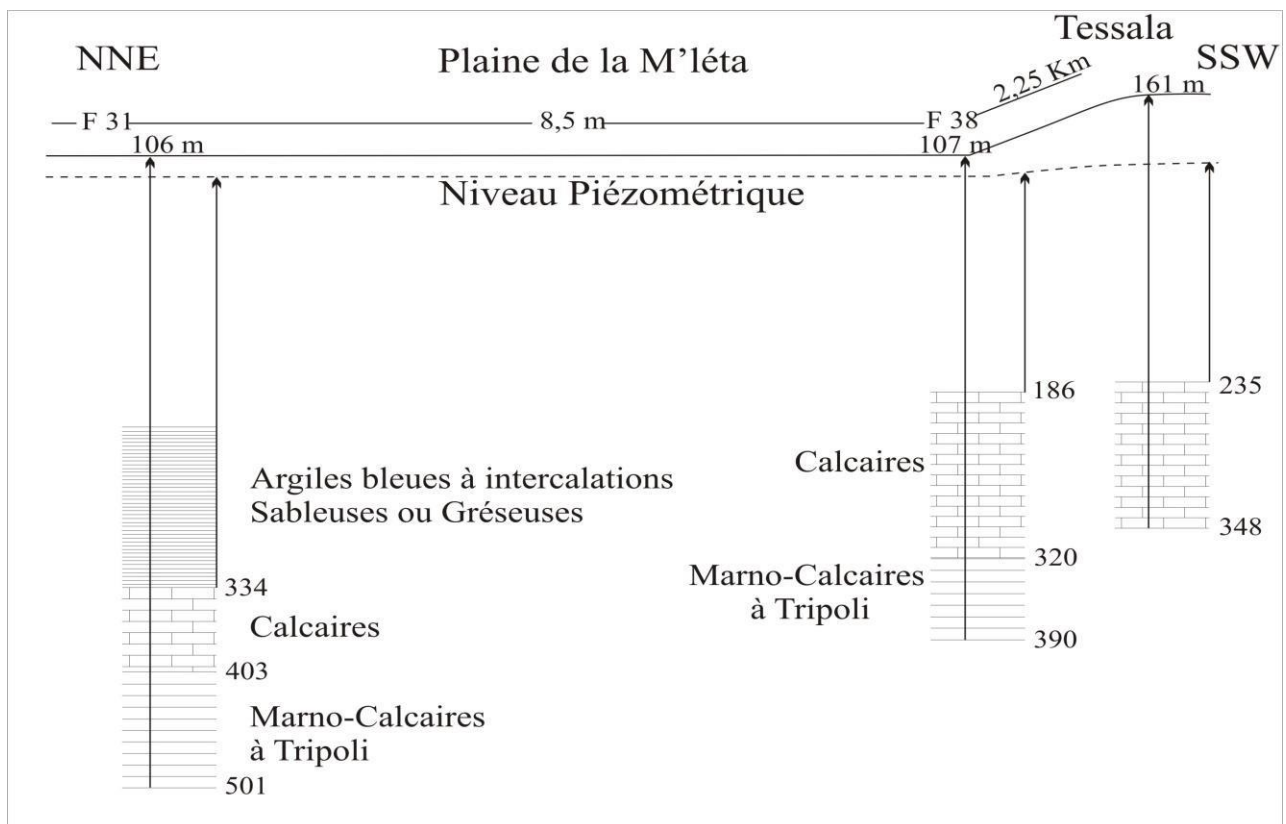


Figure. A. V. 3. Pression hydraulique de la nappe par rapport aux aquifères de la plaine de la M'léta.

Dans les monts des Tessalas, une partie des calcaires affleurant à faciès plus gréseux, recouvrent en

lambeaux discordants les marno - schistes des unités tectoniques, les marnes bleues et les argiles rouges du Miocène.

Ces lambeaux sont d'extension limitée, leur épaisseur est très variable. Les couches sont subhorizontales. Ces lambeaux renferment autant de nappes perchées. Ils sont alimentés par les précipitations sur leurs propres affleurements.

Parmi ces lambeaux :

- Le lambeau du Djebel Tessala : Elle est constituée de 200 m de couches de calcaires gréseux très perméables. Ce lambeau, dont la surface est de 25 km<sup>2</sup> est drainé sur son pourtour par une trentaine de petites sources.
- Le lambeau de Moulay Abdelkader : Il se développe au Sud d'Arbal et repose en contact anormal sur les marnes bleues, sur les marnes schisteuses du crétacé et parfois sur les argilites rouges. La nappe est drainée par une multitude de sources à débit très faible et irrégulier avec des variations saisonnières. Seuls des trop-pleins s'écoulent parfois pour certaines sources, d'autres ont complètement tari (tableau. A.V.2, figure. A.V. 4).

Tableau. A. V. 2. Sources drainantes le lambeau de Moulay Abdelkader.

NOM DE LA SOURCE	X Lambert	Y Lambert
Ain Tangroutah	200.200	243.200
Ain Mahmoud	200.600	243.400
Ain Sefra	202.200	242.800
Ain Defla	200.300	242.000
Ain Maglouz	199.500	242.100
Ain Kernafa	199.400	242.300
Ain Arbal	200.000	243.900
Ain Basla	199.400	242.300

- Le lambeau de Sidi Ghalem : Ce lambeau a une extension très limitée, estimée à 2,5 km<sup>2</sup>. Les sources jaillissent directement au contact calcaire gréseux - marnes bleues et parfois par l'intermédiaire de conglomérats et éboulis de pente (tableau. A.V.3, figure. A.V. 4).

Toutes les sources provenant des lambeaux calcaires sourdaient avec de très faibles débits. Aujourd'hui, elles ont pratiquement toutes tari.

Tableau. A. V. 3. Sources drainantes le lambeau de Sidi Ghalem

NOM DE LA SOURCE	X Lambert	Y Lambert
Ain Kernafa (S. Ghalem)	204.20	241,60
Ain Saf Saf	203.10	241.75
Ain Beida	203.10	240.70
Ain Kebira	201.60	240.30
Ain Tebouda	200.50	240.80

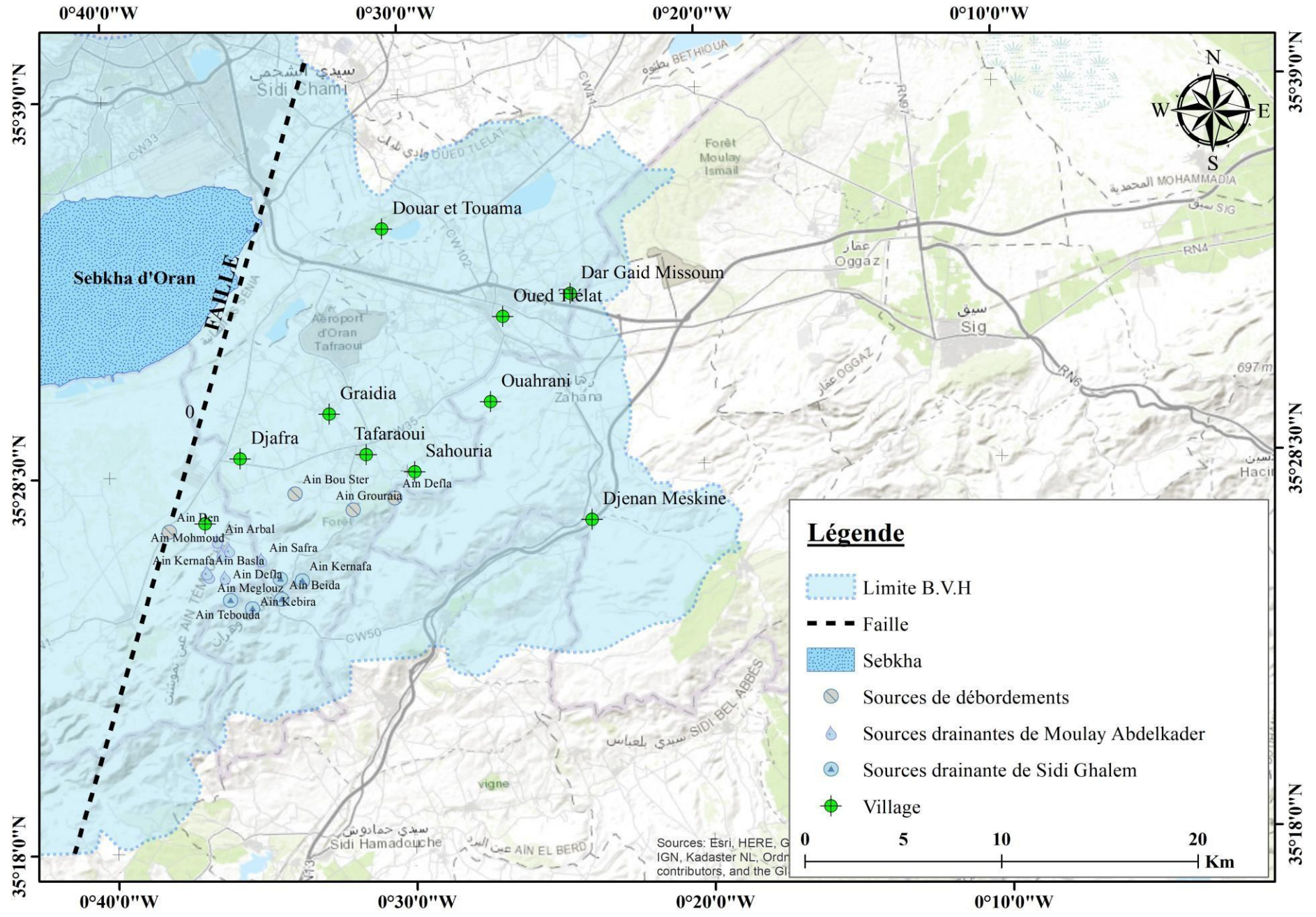


Figure. A. V. 4. Carte de localisation des sources de la plaine de la M'leta

## V. 2. AQUIFERE DU PLEISTOCENE INFERIEUR

La structure aquifère est principalement constituée de formations continentales avec une prédominance d'argile rouge. Cependant, le long du bassin côtier, au cœur de l'affleurement des argilites, des niveaux conglomératiques épais (ravin de Bou Seter) s'insèrent.

Ces amas de galets et de graviers, composés de calcaire et de grès, sont cimentés par une substance gréso-argileuse. En dépit de leur extension limitée vers le Nord, ils s'enfoncent en profondeur et représentent des aquifères de qualité relativement bonne.

Le forage S3A ( $X = 203.11 - Y = 247.37$ ) a intercepté ces formations à une profondeur de 42.6 m (avec une altitude égale à 109.75 m) sur une étendue de 46 m.

La nappe est ascendante ; son niveau statique se fixe au-dessus du toit de l'aquifère à près de 31 m de profondeur (cote 121 m). Aux essais de pompage, cette nappe a débité moins de 1,2 l/s pour un rabattement de 40 m. L'eau a une minéralisation de près de 1,35 g/l (EREM, 1984).

**Astien** : est représenté par les grès qui reposent en discordance sur les calcaires, il affleure sur le Tessala et au niveau de Djebel Debbi, ce sont généralement des fins bancs beiges, et parfois calcaireux.

## V. 3. AQUIFERE ALLUVIAL (*Pleisto-Holocène*)

Les formations alluviales de M'léta comprennent deux niveaux :

- Le premier composé de sédiments récents de teinte grise, avec une composition argilo-limoneuse souvent saline et gypseuse (Holocène).
- Le niveau secondaire, plus vieux, se compose de limons caillouteux de teinte rougeâtre, visibles près de Tamzourah et d'Ain El Arbaa.

La nappe d'eau souterraine présente dans l'aquifère alluvial qui couvre l'intégralité de la plaine est utilisée par de nombreux puits domestiques, avec des profondeurs de 15 à 30 m. Les essais effectués au forage S1A ( $x = 197.06 - y = 243.41$ ) ont révélé un débit pouvant atteindre 3 l/s.

Le substratum de cet aquifère est formé d'argiles et marnes du Pléistocène. Son alimentation s'effectue suivant deux processus :

- Alimentation directe par sa propre surface.
- Alimentation par le réseau hydrographique (Oueds).

L'intégralité des eaux de cette nappe converge vers l'abatement de la grande Sebkhah, générant ainsi un écoulement endoréique. La surface libre est peu profonde, permettant l'évaporation des eaux de cette nappe et contribuant à sa minéralisation.

## V. 4. CONCLUSION

La recherche hydrogéologique des diverses couches géologiques indique que seuls les calcaires du Miocène suscitent un intérêt majeur en raison de leur ampleur étendue en surface et en profondeur, de leur épaisseur, et de leur fracturation propice à l'accumulation et au mouvement des eaux souterraines.

Au niveau de l'exploitation, les calcaires sont en régime de surexploitation en raison de la croissance économique, démographique et de la sécheresse qui a prévalu ces dernières années dans la région.

Les formations constituant le remplissage du quaternaire présentent parfois de bonnes perméabilités d'interstice et des perméabilités de ressources en eaux, mais ceci est limité, soit en raison de leur hétérogénéité, soit en raison de la forte minéralisation de leurs nappes.

Aquifère des calcaires miocènes des monts de Tassala (130-150 m) surmontés par de marnes rouges du pléistocène inf. et des marnes bleues du pliocène inf. marin (écran étanche contre la pollution). Il repose sur un substratum marnes à tripolis et marnes bleues.

Aquifère Alluvial (Pleisto-Holocène) :

- Le premier composé de sédiments récents argilo- limoneuse souvent saline et gypseuse (Holocène).
- Le niveau secondaire, plus vieux, se compose de limons caillouteux de teinte rougeâtre, visibles près de Tamzourah et d'Ain El Arbaa.

Le bassin sédimentaire néogène de la plaine de M'léta est caractérisé par l'empilement de deux à trois couches aquifères dans sa zone centrale. Ces couches peuvent communiquer entre elles soit par les assises faiblement perméables, soit par des accidents.

## VI. PIEZOMETRIE

### VI. 1. INVENTAIRE DES POINTS D'EAU

Dans la plaine de la M'léta, le seul inventaire des points d'eau existant datait de 1985, aussi nous avons été amenés à effectuer un nouvel inventaire qui s'est déroulé durant les mois de février 2022.

Les travaux d'inventaire se sont essentiellement axés sur les cartes topographiques au 1/50.000ème N°181 d'Arbal et N°182 de Sig.

Les résultats des travaux de terrains sont reportés dans les tableaux représentés dans l'annexe N° 1. Un total de 198 puits a été visité (Carte N° 1) et 68 forages ont été renseignés à partir des informations recueillies auprès de la Direction de l'Hydraulique d'Oran et de l'ANRH d'Oran (Carte N° 2 en annexe).

Les forages captent la nappe du complexe du Mio – Pliocène. Les puits ne captent pour la majorité, que la nappe superficielle. Toutefois, certains agriculteurs ont procédé à leur approfondissement par un système de sondage, pouvant capter, ainsi, la nappe du complexe Mio - Pliocène.

Sur la carte N° 3 (en annexe), la totalité des 266 points d'eau (puits et forages) ont été reportés.

Il ressort de cet inventaire (tableau. A.VI.1) que plus de 74,44 % des puits et plus de 25,56 % de forages inventoriés sont exploités.

Les autres ouvrages sont inexploités, abandonnés ou détruit (forages) du fait de deux principales causes : assèchement pour les puits ou ensablement pour les forages.

Tableau. A. VI. 1. Récapitulatif de l'inventaire des points d'eau.

PUITS		FORAGES	
198		68	
TOTAL = 266			
74,44 %		25,56 %	
EXPLOITES	NON EXPLOITES	EXPLOITES	NON EXPLOITES
143	55	39	29
72,22 %	27,78 %	57,35 %	42,65 %

A travers tous ces points nous avons tenu 19 points d'inventaire des points d'eau, qui ont été répartis sur l'ensemble de la plaine (figure. A.VI. 1).

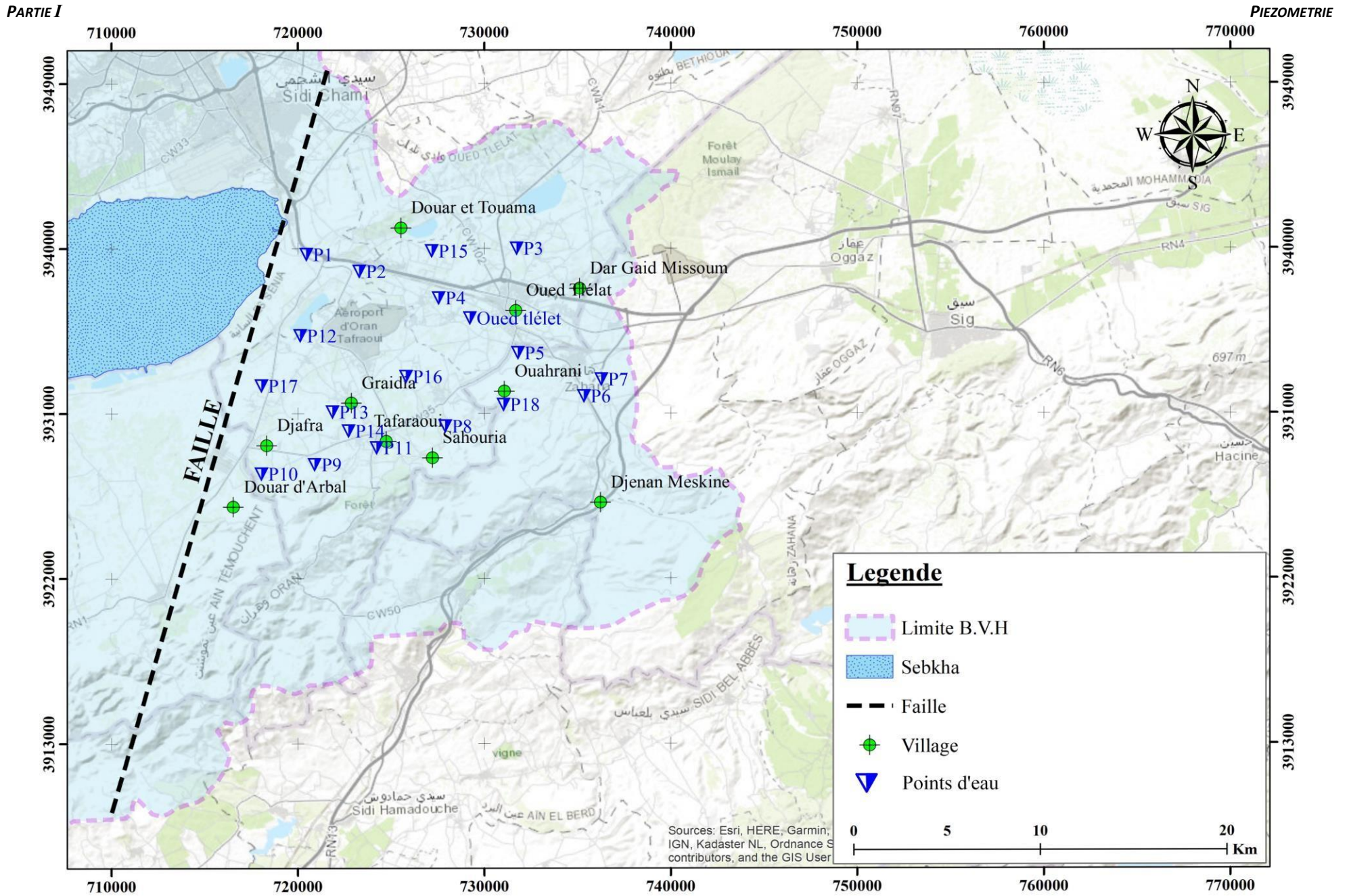


Figure. A. VI. 1. Carte d'inventaire de points d'eau de la partie Est de la plaine de la M'leta.

## VI. 2. PIEZOMETRIE DE LA PARTIE EST DE LA M'LETA

En ce qui concerne M'léta, l'utilisation du terme "nappe unique" nécessite de la prudence. En effet, les dépôts quaternaires présentent une perméabilité irrégulière, notamment sur le bord sud où des cônes de déjections anastomosés forment des dépôts sablonneux ou limoneux avec une configuration digitée. Cette sédimentation crée un compartimentage de la plaine, avec autant de niveaux aquifères que de niveaux relativement perméables. Toutefois, des circulations lentes se produisent entre les différentes nappes, et les pressions finissent par se transmettre, justifiant ainsi l'utilisation du terme "nappe."

Nous avons pu disposer de cartes piézométriques de la plaine de la M'léta établies par l'A.N.R.H en Avril 2021 (figure. A.VI.2) et en Août 2021 (figure. A.VI.3). Nous l'avons complété par une carte élaborée sur la base des relevés effectués lors de notre inventaire des points d'eau que nous avons menée au cours du mois de février 2022 (figure. A.VI.4). Les mesures bien réparties sur notre région. Il faut remarquer que l'altitude des puits n'est rattachés, cela nous donne qu'approximativement l'allure de la nappe ou la margelle n'est pas prise en compte.

Les cartes, dressées en Avril et Août 2021, nous renseignent, d'une manière très générale, sur le sens d'écoulement des eaux souterraines de la nappe du Plio - Quaternaire. Les courbes isopièses sont représentées à des distances beaucoup plus espacées en aval pour les cartes d'Avril et Août. Les eaux s'écoulent vers la grande Sebkhah, où toutes les eaux convergent dans un bassin endoréique, et le flux suit quasiment en parallèle avec les Oueds.

Les Monts des Tessalas constituent la principale zone d'alimentation. Une fraction du ruissellement des précipitations a tendance à s'infiltrer au niveau des piedmonts, contribuant de manière modeste aux niveaux des eaux de surface.

Dans les zones de Sahouria et Tafraoui une partie de l'écoulement se fait vers le Nord en direction d'Oued Tlélat. L'autre partie se fait vers le Nord-Ouest parallèlement aux affleurements des calcaires. Les espacements deviennent plus importants et le gradient hydraulique passe de 0,003 au Nord-Ouest du village Tafraoui à 0,001 près d'Oued Tlélat.

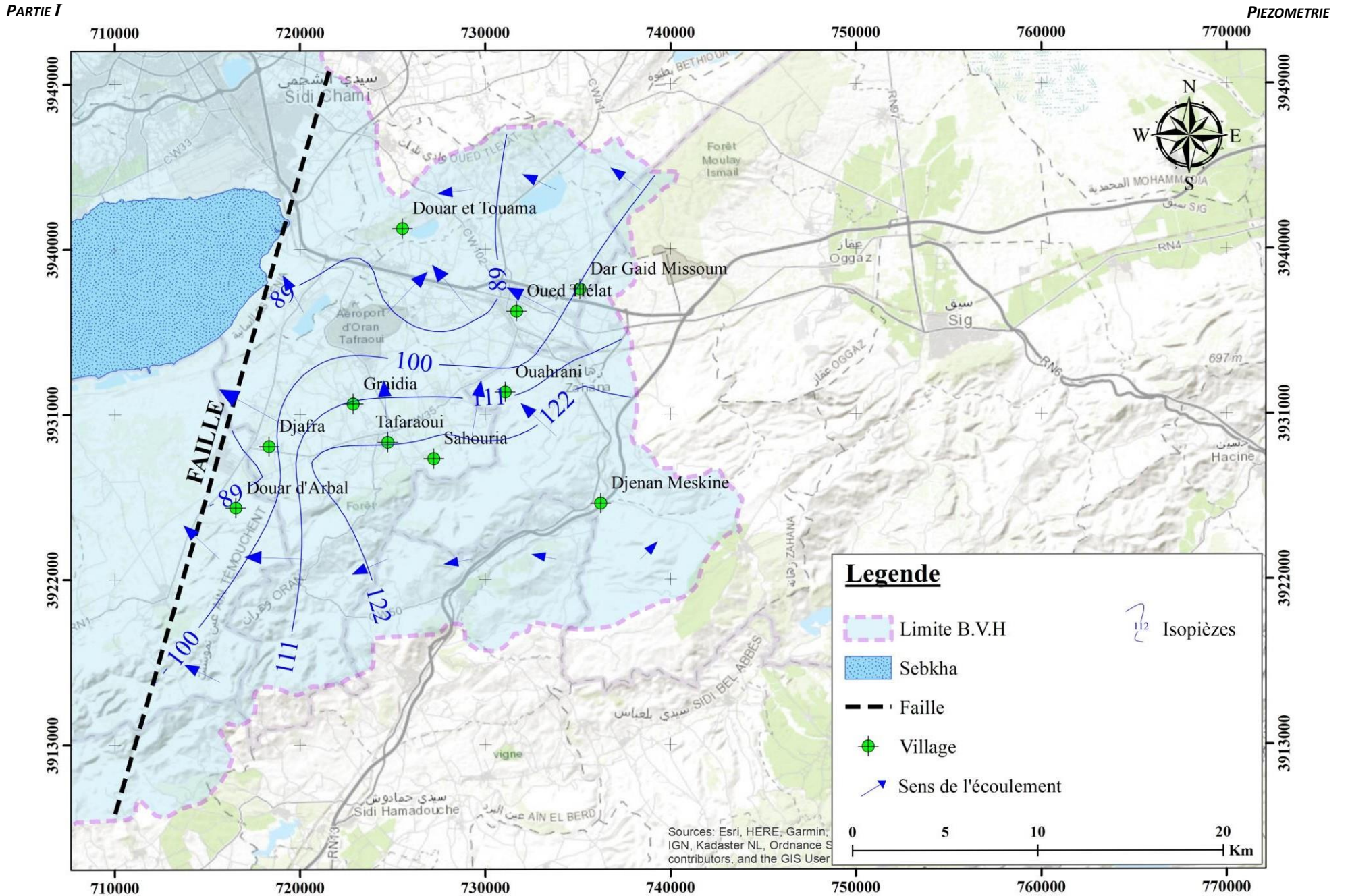


Figure. A. VI. 2. Carte piézométrique de la partie Est de la plaine de la M'leta (Avril 2021).

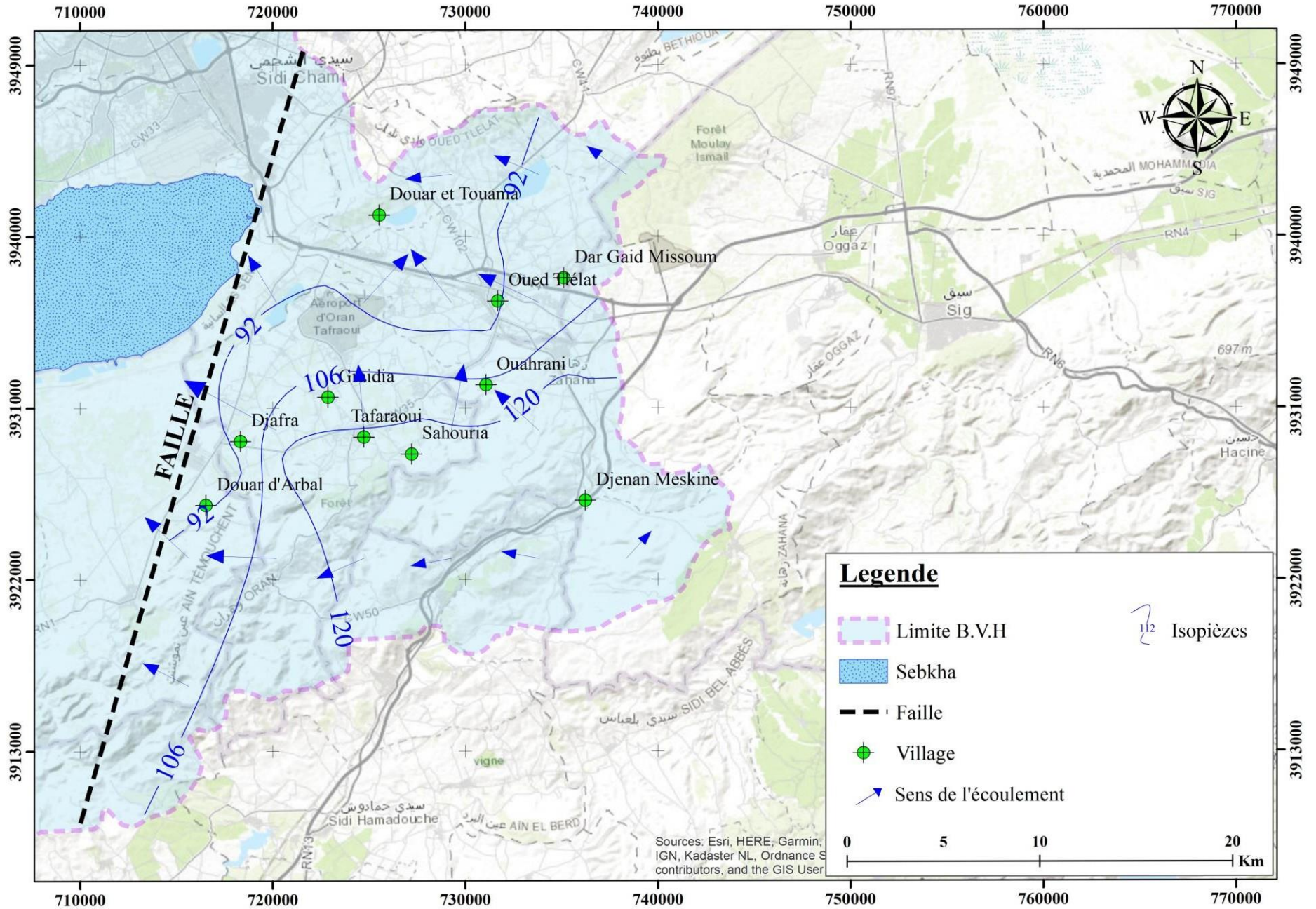


Figure. A. VI. 3. Carte piézométrique de la partie Est de la plaine de la M'leta (Août 2021).

D'après la carte piézométrique établie à partir des mesures effectuées en février 2022 (figure.A.VI.4). On constate que les courbes piézométriques dans les zones Nord de la plaine sont espacées et l'écoulement se fait généralement du Sud vers le Nord, en direction de la grande Sebkhah d'Oran où toutes les eaux convergent (bassin endoréique).

La carte piézométrique dressée avec les données des mesures de février 2022 (figure.A.VI.4) garde pratiquement les mêmes traits que les précédentes cartes, ce qui signifie que la dynamique de l'eau dans l'aquifère reste stable dans le temps. Toutefois, cette carte, fait ressortir un aspect plus perturbé dans la région Ouest de Graidia. Cet état est la conséquence de l'augmentation du nombre de puits dans cette région et donc des pompages plus importants que les années antérieures, en plus de l'influence de la sécheresse qui s'est fait ressentir par l'approfondissement des niveaux d'eau dans les ouvrages.

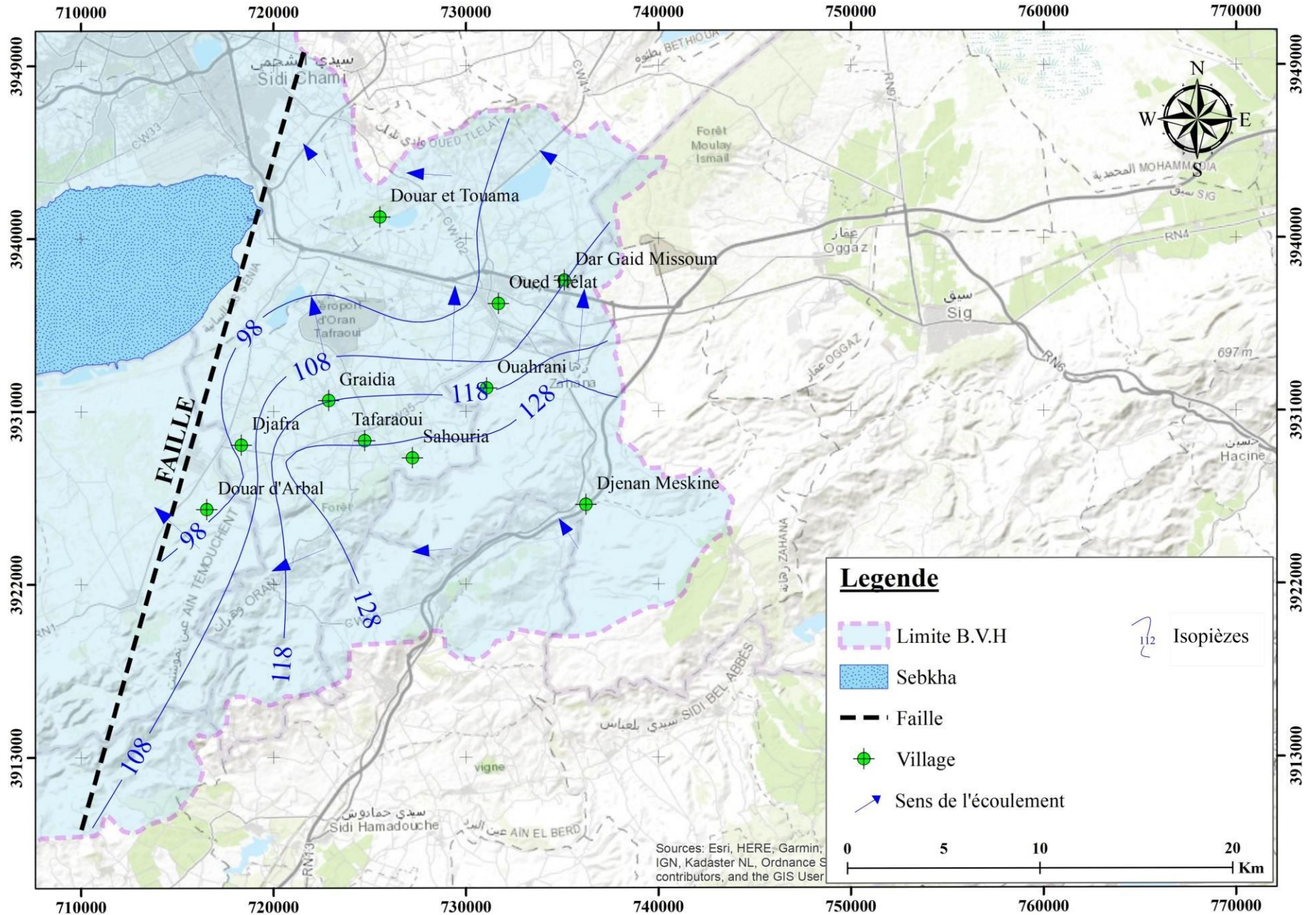


Figure. A. VI. 4. Carte piézométrique de la partie Est de la plaine de la M'leta (Février 2022).

### VI. 3. ALIMENTATION ET RECHARGE DE LA NAPPE

Les eaux météoriques qui s'infiltrent sur l'ensemble de l'impluvium et les eaux d'écoulement des oueds des Tessalas, qui s'infiltrent lors des hautes eaux, constituent principalement la source d'alimentation de la nappe de la M'léta.

Cette dernière alimentation est facilitée par la bonne perméabilité des formations alluvionnaires formées des éléments grossiers des cônes de déjection. Plus en aval les sédiments sont de plus en plus fins et argileux. Ceci est bien évidence par la diminution du gradient hydraulique de l'amont vers l'aval.

Une alimentation latérale à partir des affleurements calcaires semblerait exister, ceci est particulièrement visible dans la zone de Taфраoui.

Les zones d'alimentation amont de la M'léta sont les zones préférentielles de recharge. Entre les "Hautes eaux" et les "basses eaux", le battement de la surface piézométrique varié de 2 à 4 mètres en allant vers l'aval, est de l'ordre de un mètre dans le centre de la plaine.

La rénovation du nappe mio-pliocène à M'léta est faible en raison du caractère endoréique du bassin.

### VI. 4. FLUCTUATION DU NIVEAU DU PLAN D'EAU

Il nous a été donné de consulter, au niveau des services techniques de l'Hydraulique, les annuaires piézométriques réalisés par l'ANRH ORAN sur plusieurs années hydrologiques.

L'ANRH a institué un premier réseau de surveillance piézométrique en 1988 qui a fonctionné jusqu'en 1991 et abandonné en raison du peu d'intérêt qu'il suscita du fait de l'importance de la salinité des eaux.

Un second réseau a été conçu en 1994, en ne prenant, cette fois, en considération que la nappe profonde.

Nous avons pu récupérer les mesures des niveaux des plans d'eau du Complexe Mio – Pliocène prises mensuellement sur trois piézomètres et ce pour une période s'étalant de 1995 à 2005.

L'analyse de la fluctuation des niveaux des eaux dans le piézomètre N° 1, situé au Nord des affleurements des calcaires du Miocène, fait ressortir une tendance à la baisse continue de ces niveaux (figure. A.VI. 5).

Un rabattement de près de 6 mètres a été enregistrée en 10 années d'observation (entre les mois de Mars 1995 et Mars 2005).

Cet état de fait est dû à la faiblesse de la recharge du fait de la succession d'années sèches.

Certains relèvements des niveaux enregistrés font suite à de fortes précipitations, restantes toutefois insuffisantes, la vidange des aquifères continuant rapidement de suite.

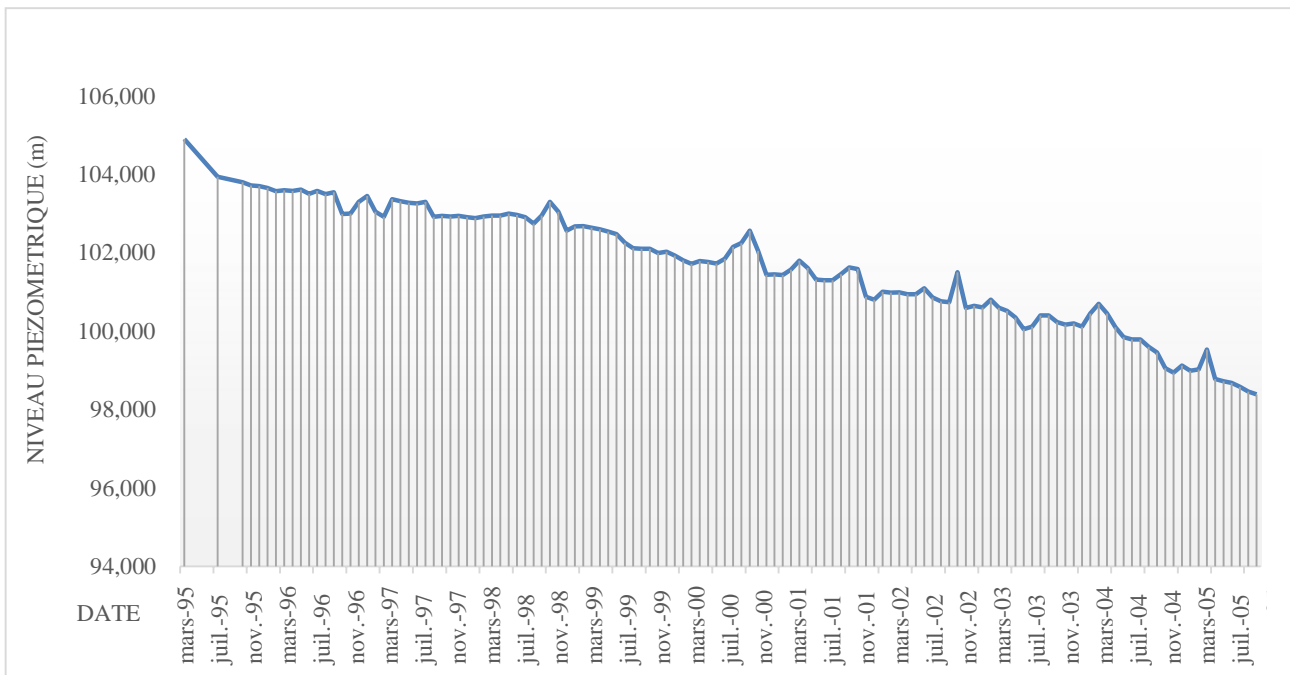


Figure. A. VI. 5. Variation du niveau piézométrique dans le point N°1.

Le piézomètre N°2 est situé dans la zone Est de la Plaine de la M'léta (représentatif notre zone d'étude). Plusieurs forages existent au niveau de cette zone, dont la plupart sont en exploitation.

L'influence des pompages sur la nappe est bien visible, la fluctuation des niveaux d'eau ayant atteint les 4 mètres de juillet 2004 à Juillet 2005.

Toutefois il faut remarquer que la période qui a suivi (au-delà d'août 2005) a enregistré une certaine stabilité suivie d'une remontée des niveaux des plans d'eau (figure. A.VI. 6).

Il nous a été donné de remarquer, durant notre tournée sur terrain, qu'un bon nombre de forages, récemment réalisés par des particuliers, sont à l'arrêt du fait du problème de venues de sables très fins détériorant les pompes, obligeant les exploitants à diminuer les débits d'exhaure ou à abandonner complètement l'ouvrage.

Cette difficulté de captage des eaux due à la nature lithologique du réservoir constitué, indirectement, une protection de l'aquifère d'une surexploitation.

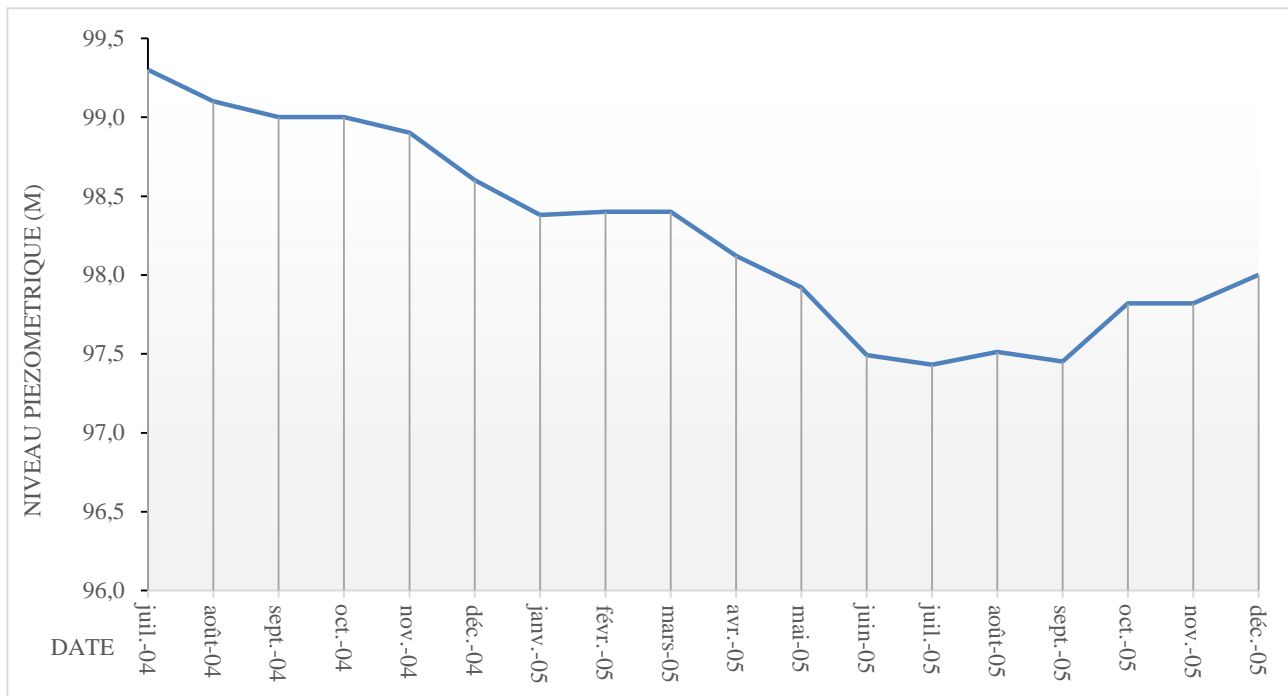


Figure. A. VI. 6. Variation du niveau piézométrique dans le point N°2.

Le graphique (figure. A.VI.6) relatif au piézomètre N°2, fait apparaître des remontées des niveaux du plan d'eau mettant en évidence une l'alimentation provenant des formations de l'Astien assez appréciable et de la nappe du Plio – Quaternaire à travers les argiles sableuses.

La zone représentée par ce piézomètre semble assez stable et aucune influence n'est à constater sur les niveaux d'eau, donc sur la nappe.

## VII. CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES

Dans ce chapitre, nous avons discuté des principales caractéristiques hydrodynamiques, en ce qui concerne : la transmissivité T, le coefficient d'emmagasinement S et le coefficient de perméabilité K.

Détermination des caractéristiques hydrodynamiques par essais de pompage :

Nous avons adopté plusieurs méthodes, privilégiant néanmoins celles qui sont communément employées pour relier le rabattement au fil du temps et le débit ainsi que les paramètres hydrodynamiques de la nappe, en se basant sur les données de deux forages significatifs dans notre zone d'étude : OT2 et OT3.

### VII. 1. METHODE DE THEIS

L'expression utilisée est la suivante :

$$\Delta = Q / 4\pi T \cdot W(u) \text{ avec } u = R^2 \cdot S / 4 \cdot t \cdot T$$

Avec :  $\Delta$  = rabattement en m

Q = débit constant de pompage dans l'ouvrage en m<sup>3</sup>/s

t = temps de pompage en s

R = distance à laquelle le rabattement est mesuré

T = transmissivité en m<sup>2</sup>/s

S = coefficient d'emmagasinement

La figure A.VII.1 et le tableau A.VII.1, indiquent les résultats obtenus.

Tableau. A. VII. 1. Valeurs de T et K d'après la méthode de THEIS :

Nom du forage	Q 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> /s	$\Delta$	1/u	W(u)	t (s)	T 10 <sup>-3</sup> m <sup>2</sup> /s	S	K (m/s)
OT 2	25	51,4	3.10 <sup>4</sup>	10	4500	0,38	1,5 10 <sup>-3</sup>	3.10 <sup>-6</sup>
OT 3	42	2	4.10 <sup>2</sup>	3	103	5,04	5 10 <sup>-2</sup>	6,3 .10 <sup>-5</sup>

Il faut remarquer, qu'en l'absence de piézomètre, cette méthode est mal adaptée pour le calcul de S, mais cependant elle reste fiable pour les valeurs des transmissivités.

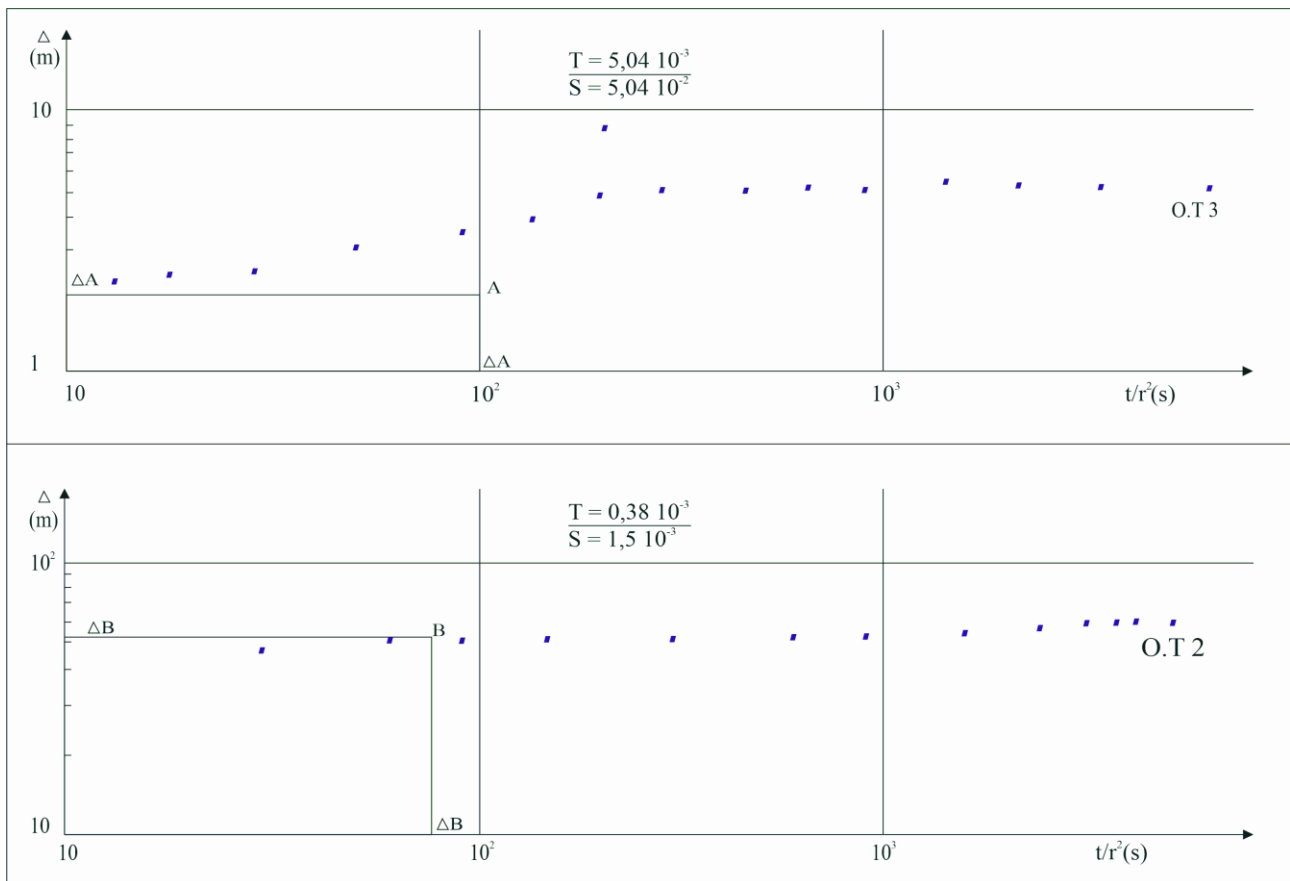


Figure. A. VII. 1. Courbes interprétatives des essais de pompages d’après la méthode de THEIS.

**VII. 2. METHODE DE JACOB**

Cette méthode s’appuie sur la formule de THEIS dont l’équation se réduit à :

$$\Delta = 1 + \frac{2,30 \cdot Q}{4\pi T} \log \frac{2,25 t T}{R^2 S}$$

Cette méthode a été appliquée aux deux forages OT2 et OT3 captant les calcaires gréseux du Mio – Pliocène (figure. A.VII.2 et tableau. A.VII.2).

Tableau. A. VII. 2. Valeurs des transmissivités d’après la méthode de JACOB.

Nom du Forage	C (10 <sup>-3</sup> m <sup>2</sup> /s)	T (m <sup>2</sup> /s)	Formation captée
OT 2	8,2	0,56 10 <sup>-3</sup>	Calcaires gréseux
OT 3	20	0,34 10 <sup>-3</sup>	Calcaires gréseux

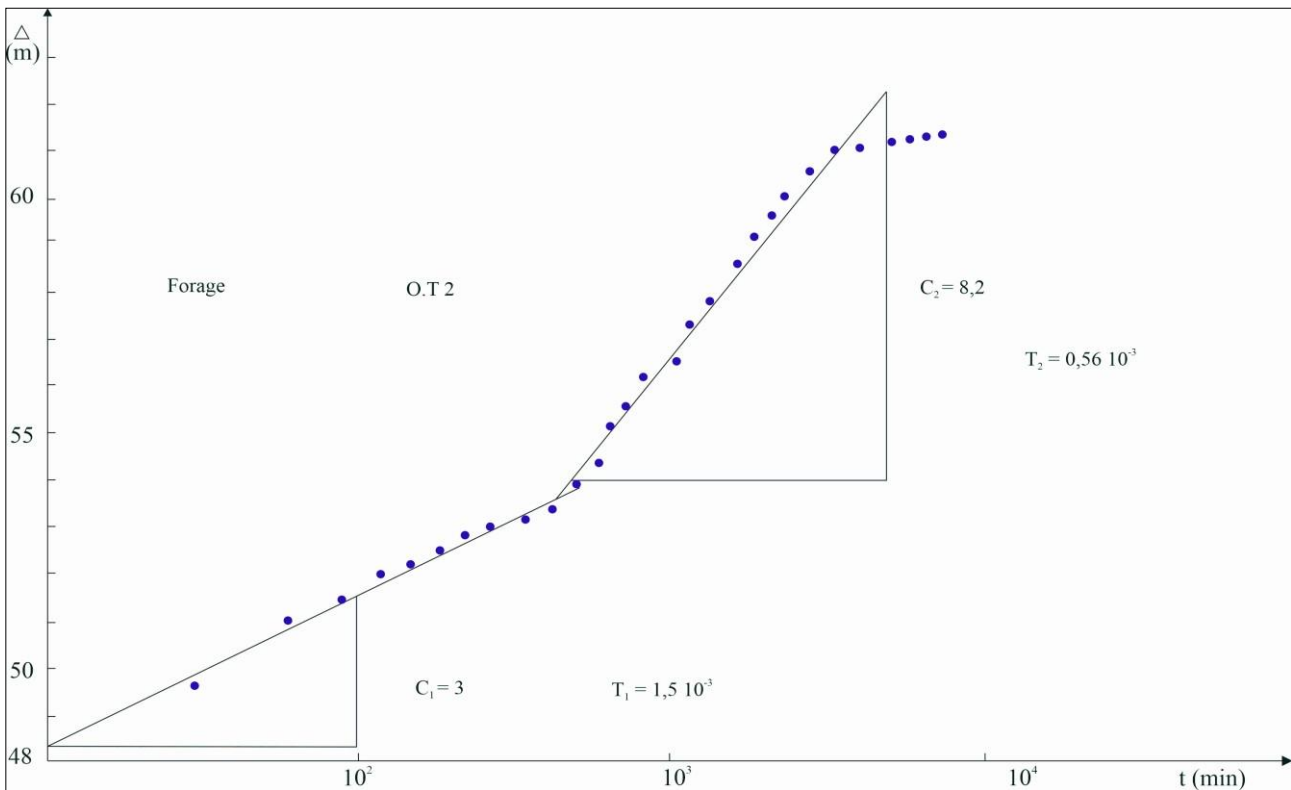


Figure. A. VII. 2. Courbe de descente d'après la méthode de JACOB.

**VII. 3. METHODE DE LA REMONTEE DE THEIS – JACOB**

Cette méthode permet le calcul de T et la vérification de la valeur trouvée lors de la descente.

Le rabattement résiduel s'exprime comme suit :

$$\Delta'' = \Delta - \Delta' = 1 + \frac{0,183 \cdot Q}{T} \text{Log} \frac{t}{t'}$$

- Avec :  $\Delta$  = rabattement à la fin du pompage
- $\Delta'$  = rabattement durant la remontée par rapport au niveau statique
- t = temps depuis le début du pompage
- t' = temps depuis l'arrêt du pompage

L'application de cette méthode a été faite sur plusieurs forages dont les résultats sont reportés dans le tableau. A.VII.3 (figure. A.VII.3).

Tableau A. VII. 3. Valeurs de Transmissivité d'après la méthode de THEIS-JACOB (remontée) :

Paramètres	OT 6	OT 4	OT 2
Nom			
C (m)	3	--	C1= 1 C2= 2
T (m <sup>2</sup> /s)	2.10 <sup>-3</sup>	--	T1 = 4.57.10 <sup>-3</sup> T2= 0,8.10 <sup>-3</sup>
Coefficient de Perméabilité K (m/s)	2.93.10 <sup>-5</sup>	2.5.10 <sup>-5</sup>	2,2 10 <sup>-5</sup> 0,50 10 <sup>-5</sup>

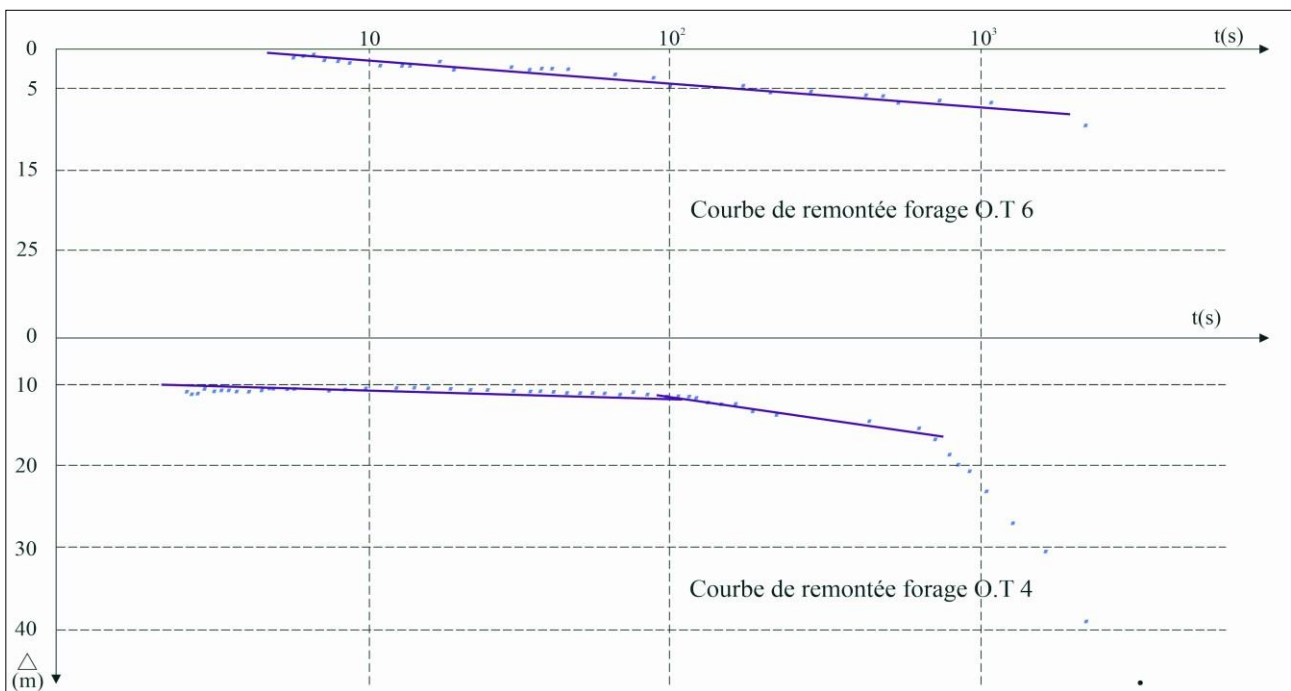


Figure. A. VII. 3. Courbe de remontée d'après la méthode THEIS – JACOB.

#### VII. 4. CONCLUSIONS

D'après l'étude piézométrique de l'aquifère Mio-Plio-Quaternaire de la plaine de la M'léta, nous a permis de constater un écoulement des eaux souterraine de direction Sud-Est vers le Nord-Ouest coïncidant topographiquement des monts de Tessala vers la grande sebkha d'Oran. L'étude de la surface piézométrique nous a permis de définir des zones d'alimentation le long des monts situent dans la partie Est de la région d'étude, avec un gradients hydraulique moyenne de l'ordre de 1 à 3% répartie dans la région d'étude. Comme la nappe est principalement alimentée par les eaux de pluie.

Dans l'ensemble des essais de pompage effectués sur les ouvrages de la plaine de la M'léta, les conditions n'ont pas été respectées rigoureusement, la plupart des mesures se faisant dans le puits de pompage lui-même.

La transmissivité varie, dans la plaine de la M'léta, entre  $0,38 \cdot 10^{-3} < T < 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ . Le coefficient d'emménagement S, calculé grâce à l'utilisation des piézomètres varie entre  $0,4 \cdot 10^{-3} < S < 1,17 \cdot 10^{-3} \%$ .

Pour les alluvions Plio – Quaternaire, la transmissivité est égale à  $5,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  dans les puits situés dans la région de Tamzourah.

### VIII. HYDROCHIMIE

L'étude hydrochimique est d'une importance primordiale dans la détermination des caractéristiques hydrochimiques des eaux souterraines (Kheliel. O, et al, 2018), ainsi que la qualité de l'eau pour les différents usages (domestique, agricole ou industrielle) (Khedidja. A, Boudoukha. A. 2018).

Cette étude hydrochimique a inclus 16 échantillons captant l'aquifère du Mio-Pliocène positionné dans notre région (figure. A.VIII. 1). L'ensemble des échantillons a été prélevé et analysé au niveau du laboratoire de l'ADE Relizane durant la période de juin 2021 et février 2022. De plus, cela nous permet de dresser différentes cartes d'iso-teneur ainsi que des diagrammes permettant une classification par famille d'échantillons d'eau et identifier sa l'origine des eaux.

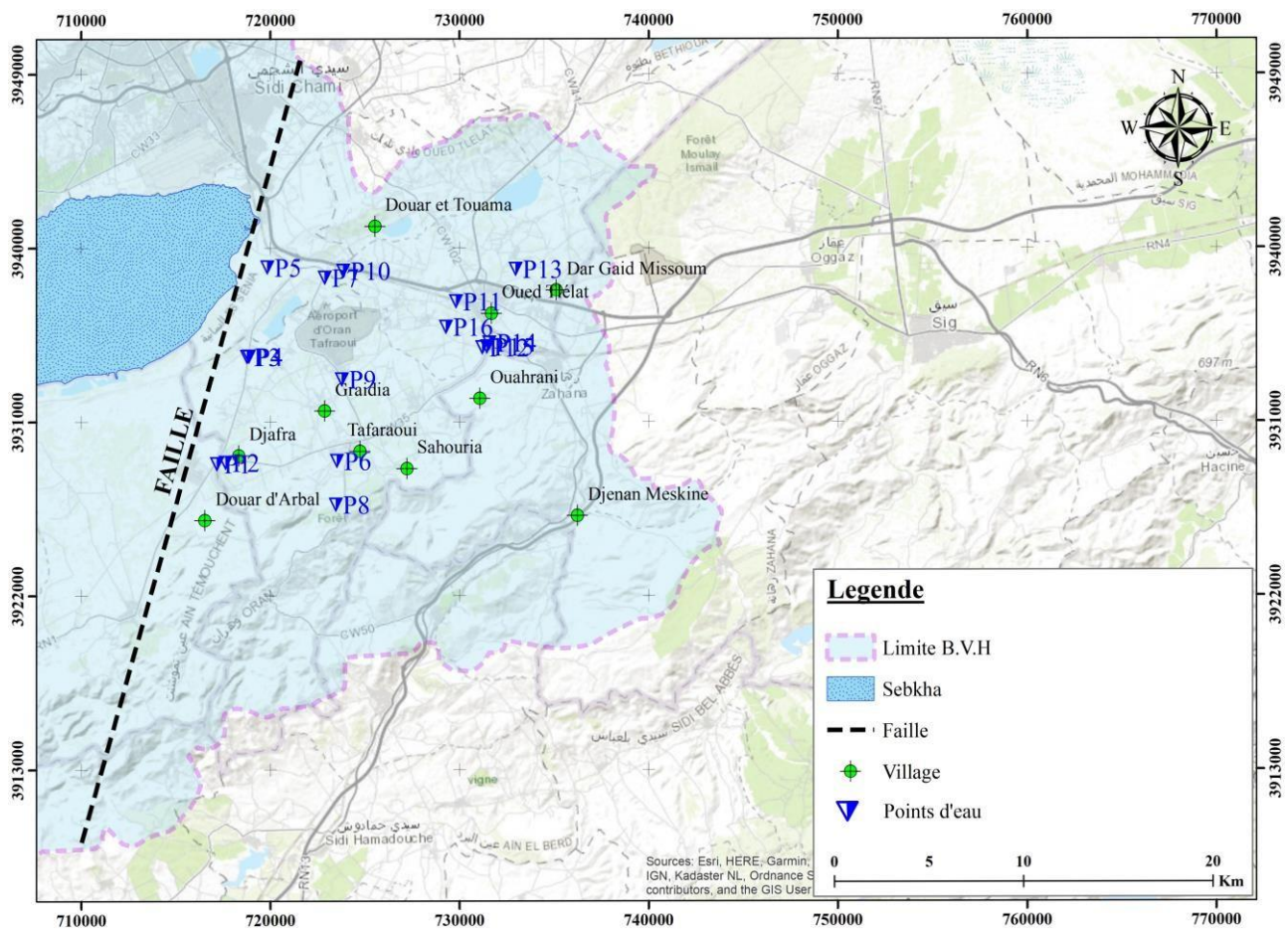


Figure. A. VIII. 1. Carte d'inventaire des points d'eau prélevés dans l'aquifère Mio-Pliocène

### VIII. 1. QUALITE DES EAUX

On évalue la qualité des eaux souterraines en se basant sur différents paramètres physiques et chimiques, ces paramètres ayant un impact sur des caractéristiques organoleptiques immédiatement discernables par l'utilisateur (Kouachi. A, 2016).

Les paramètres pris en compte sont les suivants :

- Le pH ;
- La dureté de l'eau ;
- La teneur en substances minérales dissoutes.

Tableau. A. VIII. 1. Norme OMS de potabilités des eaux (2017).

ELEMENTS	NORME O.M.S
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	250
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	250
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	250
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	100
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	50
Na <sup>+</sup> (mg/l)	150
K <sup>+</sup> (mg/l)	12
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	50
Ph	6.5<pH<9.5
Cd. (µS.cm <sup>-1</sup> )	2500

## VIII. 2. MINERALISATION DES EAUX SOUTERRAINES

Le mécanisme hydrochimique des eaux souterraines dépend essentiellement de la nature lithologique des formations traversées et du temps d'interaction aux roches (Amichi, F, 2010 ; Khedidja, A, Boudoukha, A. 2018).

Les facteurs climatiques et l'activité anthropique jouent un rôle dans la variation de la concentration de ces éléments par le biais des interactions entre les nappes phréatiques et les eaux de surface.

Lorsque l'eau au contact avec des terrains qu'elle rencontre, elle porte divers éléments qui vont influencer sur sa qualité. Certains de ces éléments sont présents naturellement dans le sol, et vont définir la qualité « naturelle » de l'eau brute (Belksier, M.S et al, 2016).

Les résultats d'analyse physico – chimiques sont rapportés sur le tableau (Annex 01)

La composition chimique de l'eau captée par les forages, présente des différences qui sont la conséquence de succession d'événements hydrologiques qui peuvent modifier la qualité de l'eau contenue dans l'aquifère. Les caractéristiques chimiques de l'eau subissent des changements en raison de la période de rétention dans le système aquifère, ainsi que des conditions d'écoulement et de la lithologie des formations aquifères. (Aghzadeh, N et al, 2016).

Tableau. A. VIII. 2. Statistiques sommaires des paramètres physico-chimiques des eaux d'aquifère Mio-Pliocène (2021/2022).

Paramètres	Min	Max	Moy	Ecart-Type	Cv%	Algerian Standard	Standard WHO (2017)
T (°C)	19	23	20,6875	1,30224	6,295	25	25
pH	7	7,4	7,2	0,121106	1,682	6.5 à 9	6.5 à 8.5
Cd (µS/cm)	1678	4813	2977,688	811,028	27,2368		750
TDS (mg/l)	1002	3205	2017,556	551,9809	27,36		
RS (mg/l)	1103	3282	2048,111	556,5121	27,172		
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	43,08	279,06	151,9017	67,03874	44,133	200	100
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	42,89	235,02	110,0844	50,97773	46,3079		<100
Na <sup>+</sup> (mg/l)	194,8	514,97	337,4328	98,39135	29,1588	200	200

K <sup>+</sup> (mg/l)	3,99	17,15	9,1505	3,4987	38,2351	12	10
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	116,64	1080	499,4133	258,029	51,6664		300
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	268,73	890,69	519,4556	192,7075	37,098	400	<250
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	222,6	530,7	377,1428	94,81469	25,1403	500	200 à 300
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	1,55	28,52	12,91778	8,091431	62,6379	50	50

## VIII. 2. 1. Paramètres Physiques

### VIII. 2. 1. 1. Température de l'eau

La température de l'eau joue un rôle important dans la solubilité de gaz (en particulier l'oxygène gazeux). La température supérieure à 15°C a un effet négatif sur la santé humaine, Il assister de développement des micro-organismes pathogènes en même temps qu'elle peut intensifier la fermentation qui agit comme pollution additionnelle diminuant la teneur en "oxygène dissous" (Adda. M, 2013).

Lors de campagne de prélèvements du mois de juin 2021 et février 2022, la température a varié de 19 à 23°C.

### VIII. 2. 1. 2. Potentiel d'Hydrogène (pH)

Comme mentionné précédemment (tableau. A.VIII.2), le pH de l'eau indique son caractère acide ou alcalin. En outre, le pH de l'eau maintient l'équilibre physico-chimique, notamment l'équilibre calco-carbonique, modulant ainsi l'impact de l'eau sur les carbonates (réaction d'attaque ou de dépôt). Les eaux des aquifères sableux ou granitiques présentent un pH acide (Adda. M, 2013 ; Benhaouadia. S et Radjah. F, 2018). Il est alcalin dans les calcaires.

Les valeurs de pH mesurées sont approximativement les mêmes elles varient de 7,0 à 7,4, ils traduisent donc un pH légèrement basique.

Les mesures de pH nous ont indiqué que tous les points d'eau sont conformes à la norme de potabilité.

### VIII. 2. 1. 3. Conductivité électrique (CE)

Le niveau de minéralisation d'une eau est exprimé par sa conductivité, qui est liée aux espèces ioniques présentes et qui augmente en corrélation avec la concentration en sels dissous (Bouazza. S. 2014).

Les valeurs de conductivité des eaux de notre aquifère ont été mesurées en laboratoire et varient entre 1678 et 4813  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

Cette variation est peut avoir plusieurs causes, parmi lesquelles on peut citer :

- La variation géologique par zone et les interactions eaux-encaissant ;
- La direction générale de l'écoulement de la nappe ;

- Les transferts entre différentes nappes, parfois liés à une cimentation insuffisante dans certains forages ;
- Evaporation importante liée à la proximité de la surface.

Pendant la saison hivernale, le niveau d'eau augmente, en raison de l'infiltration des précipitations, ce qui entraîne une diminution de la minéralisation en éléments chimiques par conséquent la diminution de la connectivité électrique des eaux.

## VIII. 2. 2. Paramètres Chimique

### VIII. 2. 2. 1. Eléments Majeurs

#### VIII. 2. 2. 1. 1. Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )

La teneur en calcium est liée directement à la nature géologique des terrains traversés par l'eau. L'ion  $\text{Ca}^{2+}$  est obtenu de deux origines naturelles différentes qui sont : soit par l'attaque du  $\text{CO}_2$  dissous dans les roches calcaires (dolomie), ou par simple dissolution sous forme de sulfates dans le cas de gypse.

Les concentrations les plus élevées, atteignant un pic de 279,06 mg/l, sont repérées dans la région Nord-Ouest de la plaine. En contraste, les niveaux les plus bas, avec un minimum de 43,08 mg/l, sont notés en amont de la nappe, spécifiquement dans les forages aux abords des formations calcaires. Au cours des périodes de hautes eaux, une certaine dilution est enregistrée, tandis qu'en période de basses eaux, la moyenne enregistrée augmente, avec des valeurs d'écart-type considérables, témoignant d'une variation importante des concentrations.

#### VIII. 2. 2. 1. 2. Magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ )

La concentration en magnésium est dépendante de la composition des roches traversées, notamment celles formées par le calcaire dolomitique. Les ions magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) résultent principalement de la dissolution de la dolomie (carbonate de magnésium). La moyenne observée pendant la période de crues est supérieure à celle des basses eaux, soulignant l'importance de la dilution par rapport à la concentration pour l'acquisition de cet élément.

Les niveaux les plus élevés sont enregistrés dans la zone centre-est de la plaine, au niveau des forages situés dans la région d'Oued Tlélat, avec un maximum de 235,02 mg/l. Les concentrations les plus faibles sont observées dans la partie ouest.

#### VIII. 2. 2. 1. 3. Sodium ( $\text{Na}^+$ )

Les marnes formant le substrat présentent des niveaux élevés en ions sodium, en raison de processus tels que le lessivage, l'évaporation et l'échange de bases. Le déplacement de l'eau souterraine a contribué à l'accumulation de ces concentrations, car les eaux en mouvement se chargent progressivement en se déplaçant vers la zone d'accumulation. Cela explique les concentrations

élevées, dépassant les 194,8 mg/l pour atteindre plus de 514,97 mg/l. Les concentrations varient considérablement en raison de leurs origines diverses. Il est à noter que toutes les analyses de forages dépassent les normes de potabilité.

#### VIII. 2. 2. 1. 4. Potassium (K<sup>+</sup>)

Le potassium est l'élément le moins courant dans les eaux souterraines, résultant de l'altération des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques utilisés en agriculture. Selon nos observations, les concentrations de potassium variaient de 3,99 mg/l à 17,15 mg/l. Toutes les valeurs mesurées restent en deçà du seuil maximal défini par l'OMS.

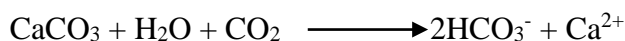
#### VIII. 2. 2. 1. 5. Chlorures (Cl<sup>-</sup>)

L'ion chlorure possède des caractéristiques distinctes des autres éléments, ne faisant pas l'objet d'adsorption par les formations géologiques, n'ayant pas une affinité facile avec d'autres éléments chimiques, et restant hautement mobile. Les concentrations élevées de chlorures dans les eaux souterraines proviennent principalement de la dissolution et du lessivage des terrains salifères. Toutes les concentrations enregistrées dépassent de manière significative la norme de consommation établie par l'OMS à 250 mg/l, à l'exception du point d'eau P2 qui atteint 222,6 mg/l. Les origines des chlorures peuvent être variées :

- Les chlorures dans les eaux souterraines peuvent avoir diverses sources, notamment la présence d'argiles sableuses gypsifères.
- Les origines des chlorures peuvent inclure le déversement des eaux usées dans la plaine.
- La présence de marnes formant le substratum peut contribuer à l'augmentation des concentrations en chlorures dans les eaux souterraines.

#### VIII. 2. 2. 1. 6. Bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées et par les eaux de pluie chargées en gaz carbonique. La somme des équations de dissolution est donnée comme suit :



On a observé des concentrations élevées, avec un pic atteignant 1080 mg/l, en raison de la dissolution des calcaires.

#### VIII. 2. 2. 1. 7. Sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)

Comme évoqué précédemment, la présence de sulfates dans l'eau est en relation avec la dissolution du gypse présent dans les marnes.

On observe une variation des concentrations en sulfates, avec un maximum de 890,69 mg/l au puits (Dar Gaid Missoum) et un minimum de 300,6 mg/l à (Arbel).

### VIII. 3. CARTOGRAPHIE HYDROCHIMIQUE

Les eaux souterraines renferment toujours des sels dissous qui reflètent les propriétés du milieu d'origine. Ces sels peuvent également résulter de phénomènes externes tels que l'évaporation et le lessivage, entraînant des modifications de la chimie du milieu. La cartographie hydrochimique permet d'identifier et de comprendre la répartition spatiale des éléments chimiques. La distribution des concentrations dépend de plusieurs facteurs, dont la lithologie, l'état hydrodynamique de la nappe (profondeurs de la surface piézométrique, vitesse d'écoulement) et les conditions climatiques (température élevée provoquant l'évaporation, précipitations entraînant le lessivage et la dissolution des roches). Dans notre étude actuelle, nous dresserons une carte des éléments chimiques prédominants caractérisant les faciès chimiques ayant une incidence sur la qualité des eaux.

#### VIII. 3. 1. Carte des Magnésiums

À partir de la carte d'isoteneurs du magnésium (figure. A.VIII.2), montre que la concentration est relativement important dans la région d'Oued Tlélat et des valeurs plus faibles dans la région Ouest à l'environ du forage P1, cette baisse dans les concentrations se fait suivant un couloir en direction du forage. P12 (72,62 mg/l) situés dans le secteur d'Oued Tlélat et le forage P1 (42,89 mg/l) localisés à l'Ouest.

Les valeurs les plus élevées ont été marquées au niveau de la zone où se situent les forages P6, P9, P11, P13 et P14. Ces fortes valeurs pourraient être expliquées par l'existence d'une lentille dolomitique ou une cimentation mal réalisée qui a permis un mélange entre les eaux des formations Moi-Pliocènes avec les eaux du Quaternaire.

Les faibles valeurs confirmeraient le caractère calcaireux de l'aquifère des calcaires du Miocène Supérieur.

#### VIII. 3. 2. Carte des Sodiums

D'après la carte du sodium (figure. A.VIII.3), la valeur la plus importante (514,97 mg/l) se trouvent localisées dans la région sud proche des affleurements Miocène à prédominants calcaires au niveau du forage P13.

Près de Graidia, les courbes d'iso-valeurs sont presque parallèles déterminant un contact rapide entre les eaux ayant peu séjournées dans les calcaires affleurants et celles des aquifères captés par forages. En effet, les eaux s'infiltrant au niveau des calcaires, s'enrichissent en Sodium et se propagent dans la plaine en fonction des pentes souterraines.

L'écoulement étant ralenti au niveau des formations caractérisées par une mauvaise perméabilité, l'échange ionique qui s'enclenche entre les différents solides et le liquide appauvrit les eaux de leur sodium. Ceci pourrait expliquer les faibles valeurs situées loin des zones de recharge occupées par les calcaires.

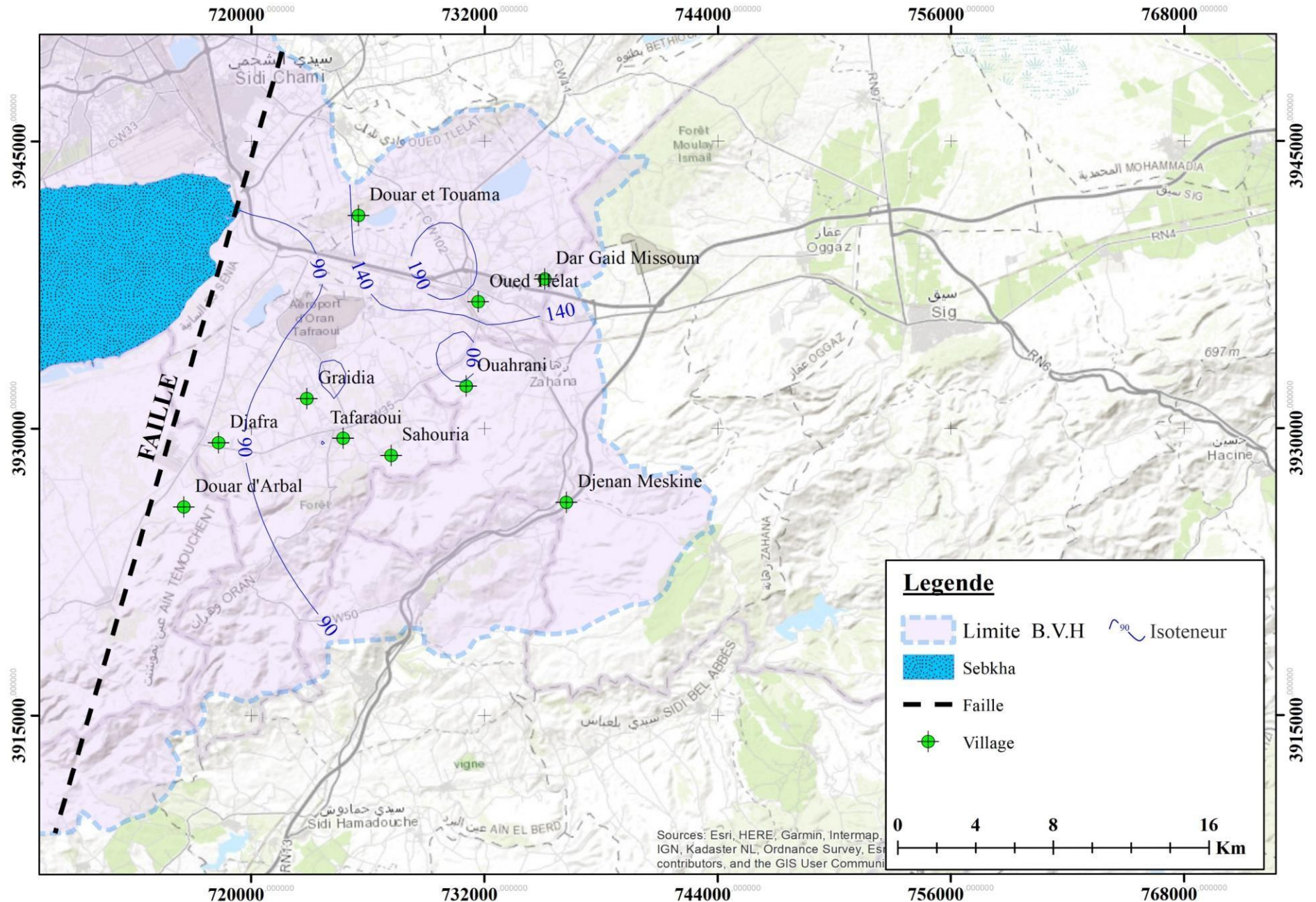


Figure. A. VIII. 2. Carte du Teneurs en Magnésiums du Complexe du Mio – Pliocène.

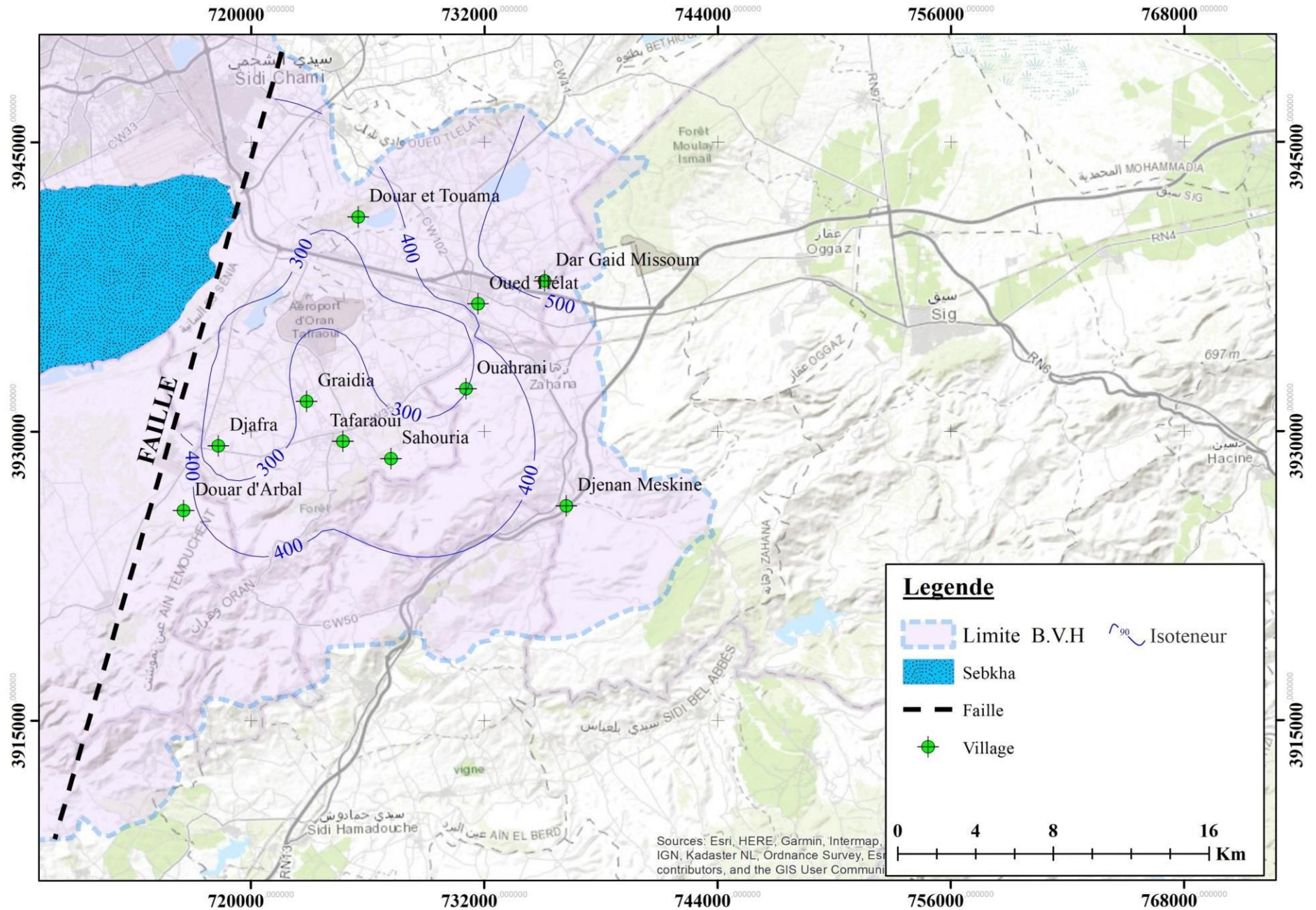


Figure. A. VIII. 3. Carte du Teneurs en Sodiums du Complexe du Mio – Pliocène.

### VIII. 3. 3. Carte des Chlorures

La carte d'isovaleur montre que les teneurs en chlorures sont comprises entre 222,6 mg/l au forage P2 à 530,7 mg/l à P15 (figure. A.VIII.4).

Conformément à la carte des isoteneurs en chlorure, des concentrations élevées sont observées au Nord-Est de la plaine. La présence d'argile et une évaporation intense constituent la principale source de chlorures. De plus, la dissolution des engrais et des pesticides utilisés en agriculture, ainsi que le déversement des eaux usées, peuvent également contribuer à l'augmentation des concentrations de cet élément dans les eaux souterraines. L'affleurement de la roche mère en surface favorise le premier phénomène, tandis que la faible profondeur de la surface piézométrique favorise le second.

Au cœur de la plaine, la concentration en chlorures est plus faible. Il convient de souligner que l'évolution de la teneur en chlorures se produit selon deux axes : le premier en suivant la direction de l'écoulement des eaux souterraines et le second en se déplaçant des bordures vers le centre de la plaine.

### VIII. 3. 4. Carte des Sulfates

La carte des sulfates révèle que la majorité des valeurs relativement élevées sont localisées du Sud au Nord-Est (figure. A.VIII.5), où la présence de gypse contenu dans les marnes est significativement plus élevée. Une faible teneur en sulfates est constatée au forage P2.

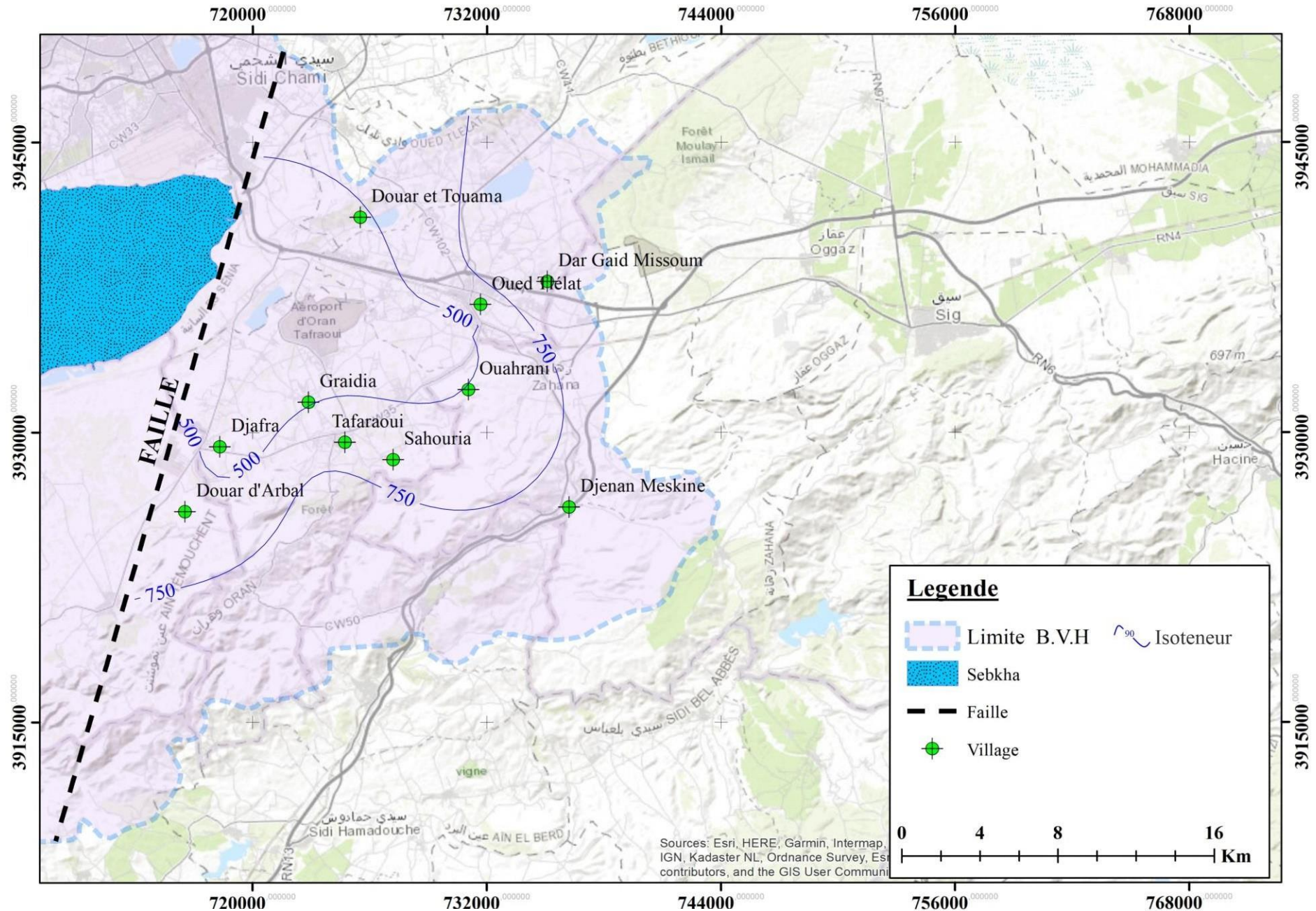


Figure. A. VIII. 4. Carte du Teneurs en Chlore du Complexe du Mio – Pliocène.

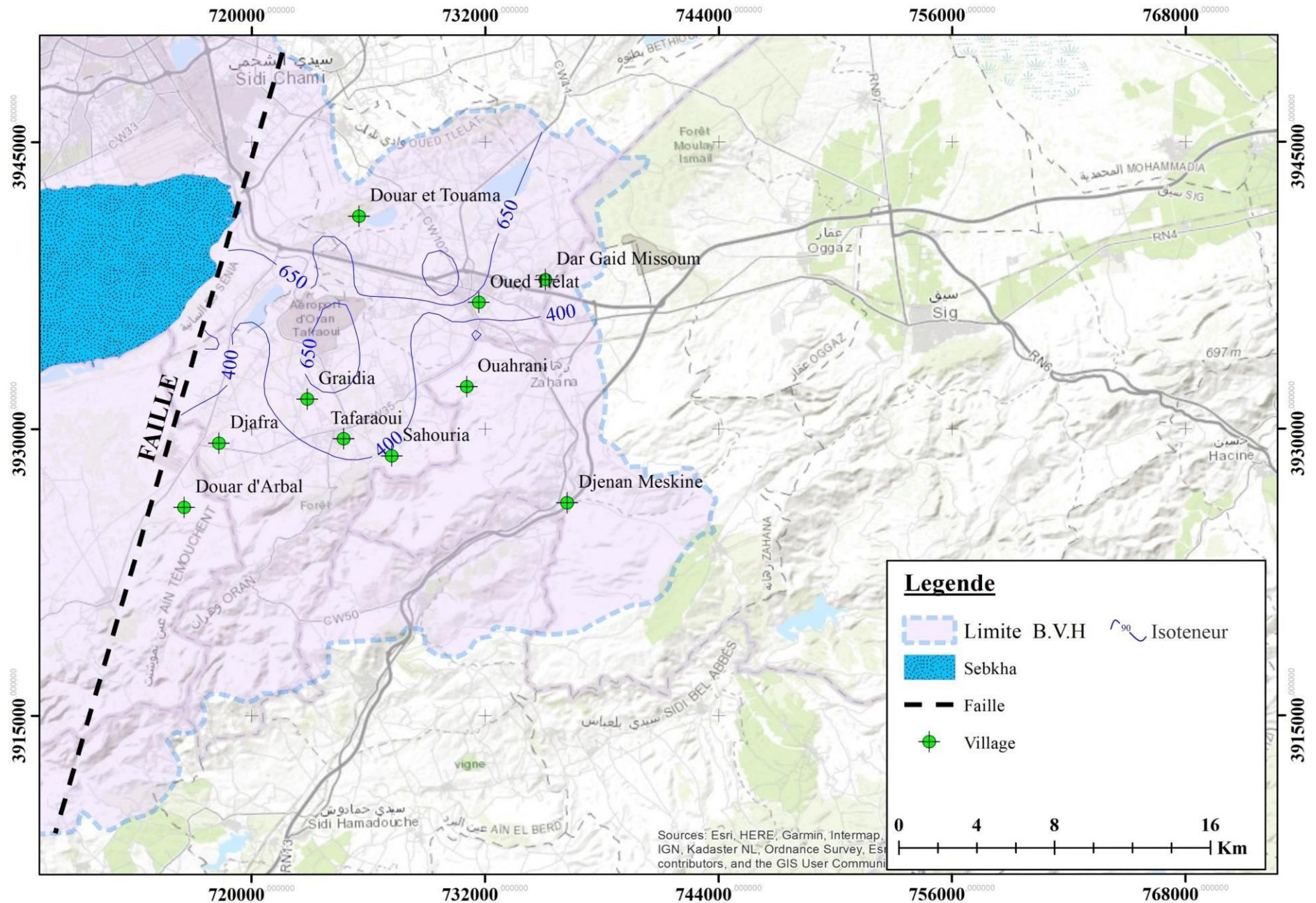


Figure. A. VIII. 5. Carte du Teneurs en Sulfates du Complexe du Mio – Pliocène.

### VIII. 4. Rapports caractéristiques

Afin de mieux identifier les sources de provenance des eaux souterraine ainsi que de comparer les concentrations d'éléments chimique des eaux souterraine, on a opté à établir les rapports suivants  $rMg^{+2}/rCa^{+2}$ ,  $rSO_4^{-2}/rCl^{-}$  et  $rNa^{+}/rCl^{-}$ .

Tableau. A. VIII. 3. Calcul des rapports caractéristiques.

Nom	$Mg^{2+}/Ca^{2+}$	$SO_4^{2+}/Cl^{-}$	$Na^{+}/Cl^{-}$
P1	0,57	0,34	1,07
P2	2,02	0,39	1,03
P3	0,63	1,33	1,17
P4	1,67	0,25	1,04
P5	0,61	1,05	1,20
P6	1,45	0,43	0,73
P7	0,28	1,27	1,09
P8	1,11	0,29	0,72
P9	1,14	1,37	1,24
P10	1,02	1,39	1,22
P11	2,41	1,22	1,10
P12	0,86	0,89	1,11
P13	2,31	0,46	0,89
P14	3,50	0,42	1,21
P15	0,83	0,53	0,94
P16	2,35	0,542	0,92

#### VIII. 4. 1. Rapport de Magnésium-Calcium

Il apparaît que le rapport entre le magnésium (Mg) et le calcium (Ca) dans l'eau est supérieur à 1 pour la plupart des points d'eau (62,5%). Cela suggère que le magnésium est l'élément dominant et qu'il provient probablement de la dissolution de formations carbonatées à haute teneur en magnésium (Magnésite et dolomite Les points d'eau restants (37,5%) affichent un rapport inférieur à l'unité, indiquant la prédominance du calcium sur le magnésium. Ceci est probablement dû à la dissolution du massif carbonaté où le calcium est plus abondant.

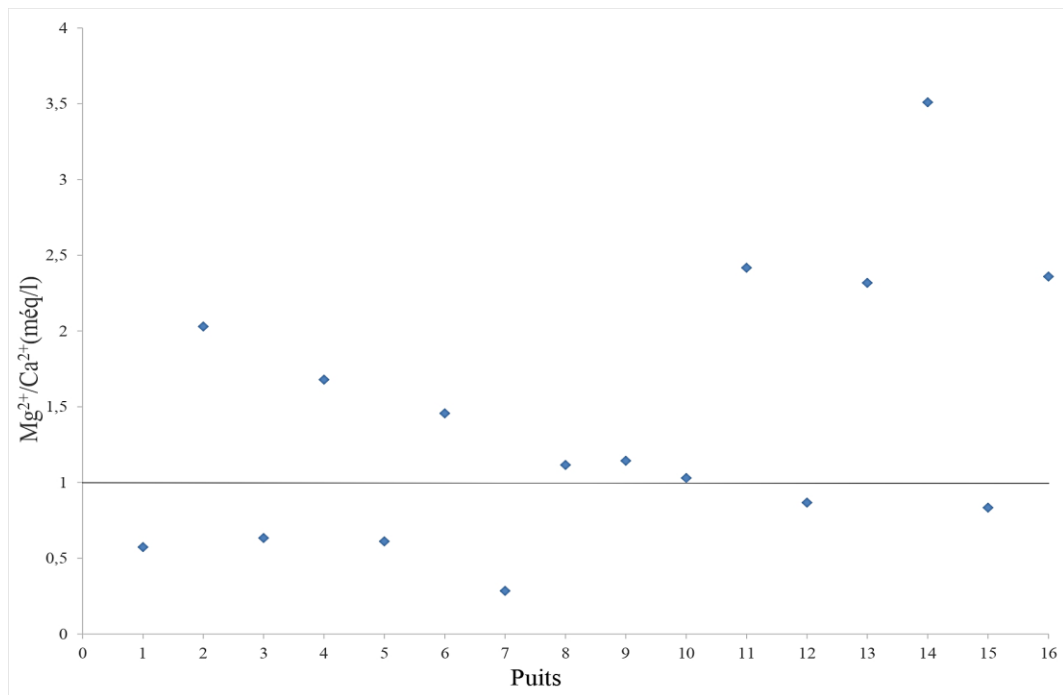


Figure. A. VIII. 6. Variation des rapports de  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$  dans les eaux analysées

#### VIII. 4. 2. Rapport de Sulfate- chlorure

Selon la figure (A.VIII.7), les rapports calculés de l'ensemble des points sont inférieurs à l'unité avec un pourcentage de 62.5. Parmi ces résultats on constate des teneurs élevées du chlorure sont probablement dû à la dissolution des terraines salifères ainsi qu'aux différents rejets domestique et industrielle

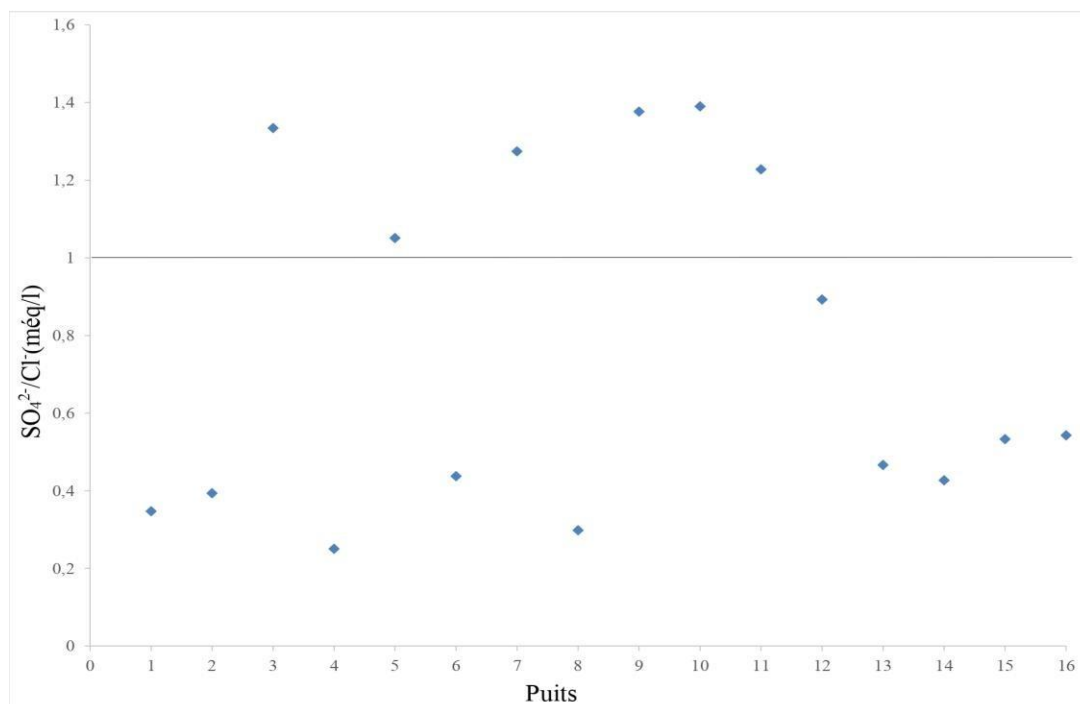


Figure. A. VIII. 7. Variation des rapports de  $SO_4^{2-}/Cl^-$  dans les eaux analysées.

### VIII. 4. 3. Rapport de Sodium- Chlorure

D'après la figure ci-dessous, nous avons onze points d'eau soit 68,75% ou  $r_{Na^+}/r_{Cl^-} > 1$ , ce qui détermine la prédominance du sodium sur le chlorure (présence d'évaporite, formations gypso-salines). Pour le reste, nous disposons de cinq puits soit 31,25% ou  $r_{Na^+}/r_{Cl^-} < 1$ , Cela traduit une provenance des chlorures liées aux terrains salifères, aux argiles, et aux rejets domestiques et industrielles.

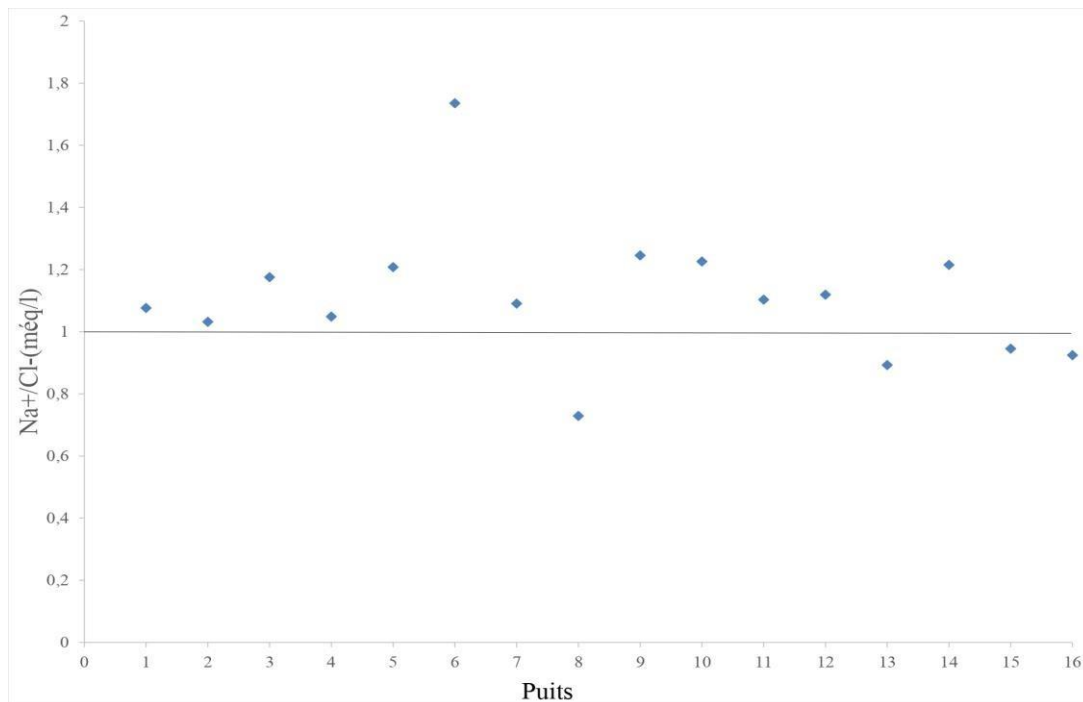


Figure. A. VIII. 8. Variation des rapports de  $Na^+/Cl^-$  dans les eaux analysées

### VIII. 5. CLASSIFICATION ET REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DES ANALYSES D'EAU DU COMPLEXE DU MIO – PLIOCENE

Pour donner les différents faciès hydrochimiques de l'eau rencontrés dans notre région, et d'avoir une indication sur l'aspect qualitatif des eaux souterraines, Nous avons eu recours à la représentation graphique, qui est un outil inévitable. Pour atteindre cet objectif, nous avons adopté aux diagrammes de classification, qui sont Schoeller-Berkaloff et à celui de Piper et la classification de Stabler.

#### VIII. 5. 1. Classification de Stabler

L'application de la formule de la caractéristique de STABLER nous a permis de classer les eaux selon la quantité en pourcentage des éléments chimique, le résultat nous a montré des différents faciès chimique (figure. A.VIII. 9).

62,5% des points d'eau analysés sont chlorurés sodiques, et 31,25% sont en de faciès-sulfates sodiques. Les autres familles restantes représentent 6,25% de faciès sulfates calciques-. Dans notre secteur les faciès hydrochimiques changent approximativement d'Est à l'Ouest, du faciès chloruré sodique dans la partie Est à faciès sulfates sodiques dans la partie Ouest.

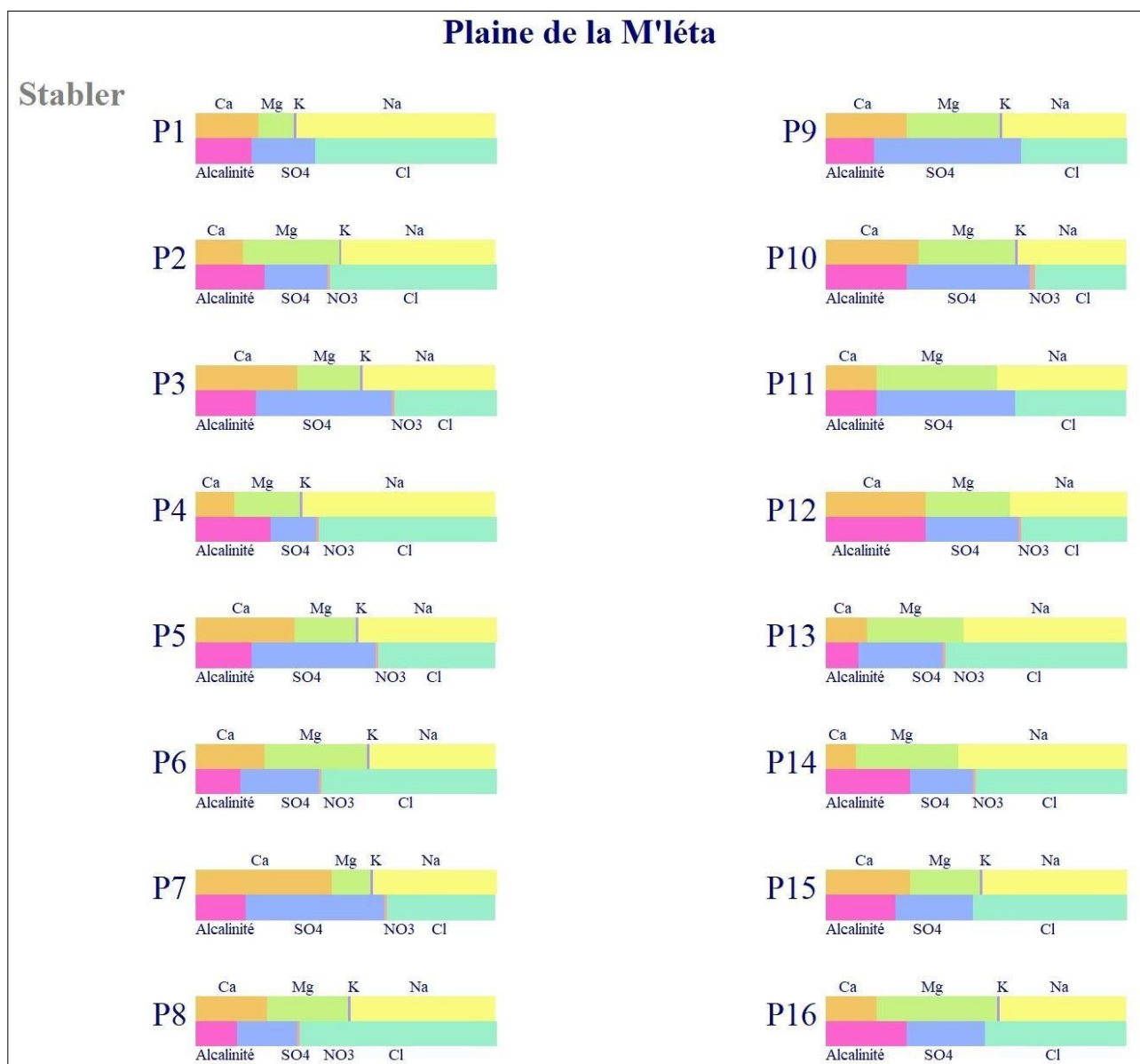


Figure. A. VIII. 9. Représentation des analyses chimiques sur le diagramme de Stabler.

### VIII. 5. 2. Diagramme de Shöeller Berkloff

Ce type de graphique permet de représenter le faciès chimique de divers échantillons d'eau, chaque échantillon étant symbolisé par une ligne brisée. La concentration précise de chaque élément chimique est notée et représentée par une ligne verticale sur une échelle logarithmique. La ligne brisée est formée en connectant tous les points représentant les différents éléments chimiques.

A partir de l'interprétation des diagrammes, il permet de confirmer et de mieux faire ressortir les faciès et sous-faciès prédéterminés, qui est confirmant la dominance du faciès chloruré sodique, permettant de dire que la minéralisation des eaux est liée aux ions  $\text{Cl}^-$  et  $\text{Na}^+$ .

On observe aussi deux faciès, le premier sulfaté sodique et le second sulfaté calcique.

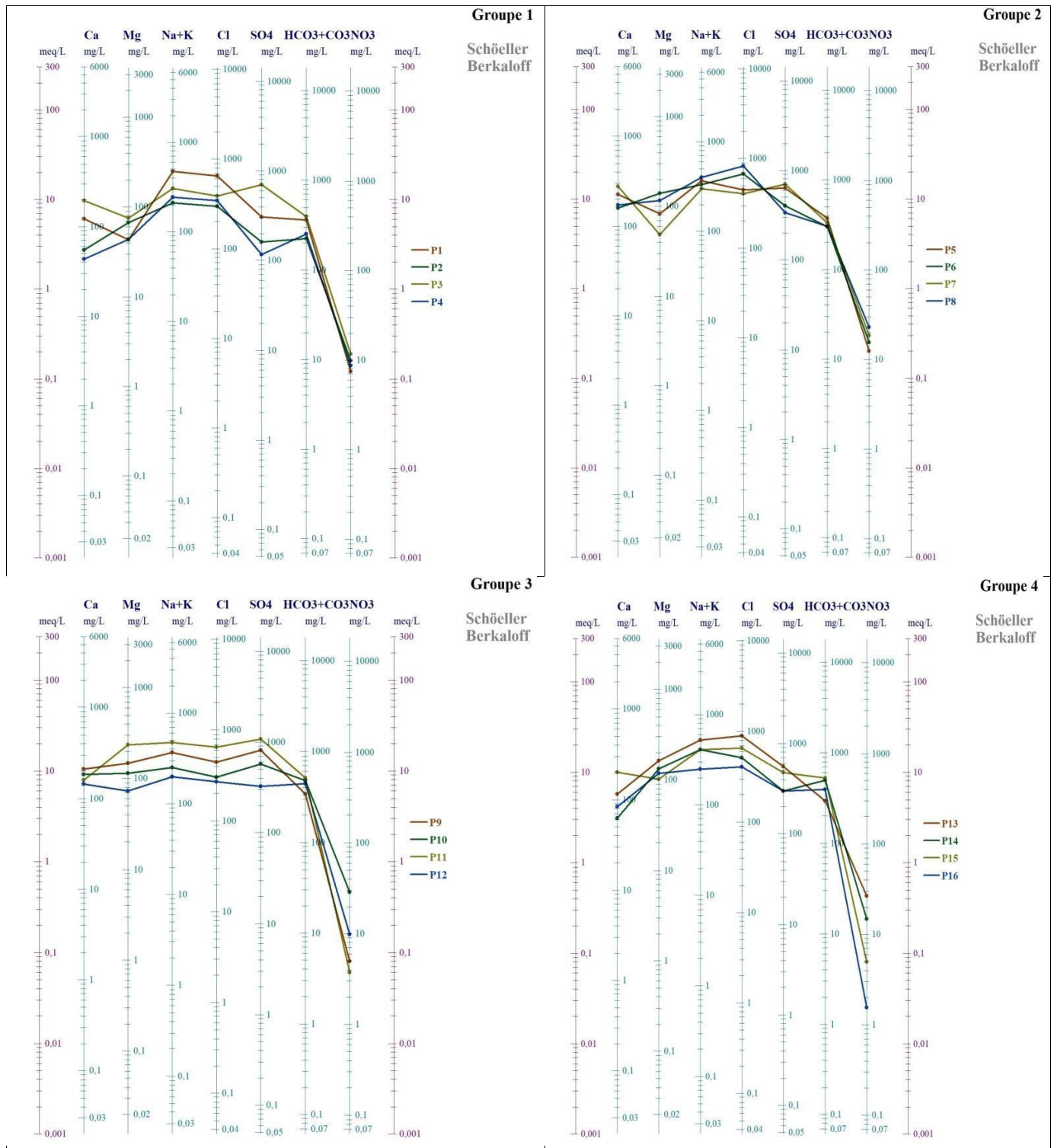


Figure. A. VIII. 10. Présentation d'analyse chimique sur le diagramme Schöeller- Berkaloff.

### VIII. 5. 3. Diagramme de Piper

Cette représentation graphique comprend un losange et deux triangles équilatéraux, offrant la possibilité de représenter les cations et les anions sur deux triangles distincts. Le losange synthétise le faciès global, permettant ainsi la représentation simultanée de plusieurs échantillons d'eau.

Les regroupements de points concentrés dans un pôle illustrent, pour les divers échantillons, la combinaison des éléments cationiques et anioniques.

Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux souterraines dans l'aquifère du Mio-Pliocène de la plaine de la M'léta suggèrent que la majorité des nuages de points se localisent dans le pôle faciès chloruré et sulfaté calcique, qui est relativement dominant. Un faible pourcentage de forages présente un faciès chloruré ou sulfaté sodique, probablement en raison de l'alimentation par les formations de bordures.

Selon le diagramme de Piper, deux faciès ont été identifiés :

- Faciès chlorurée et sulfatée magnésienne et calcique (dominance).
- Faciès chloruré Sodique (P1 et P4).

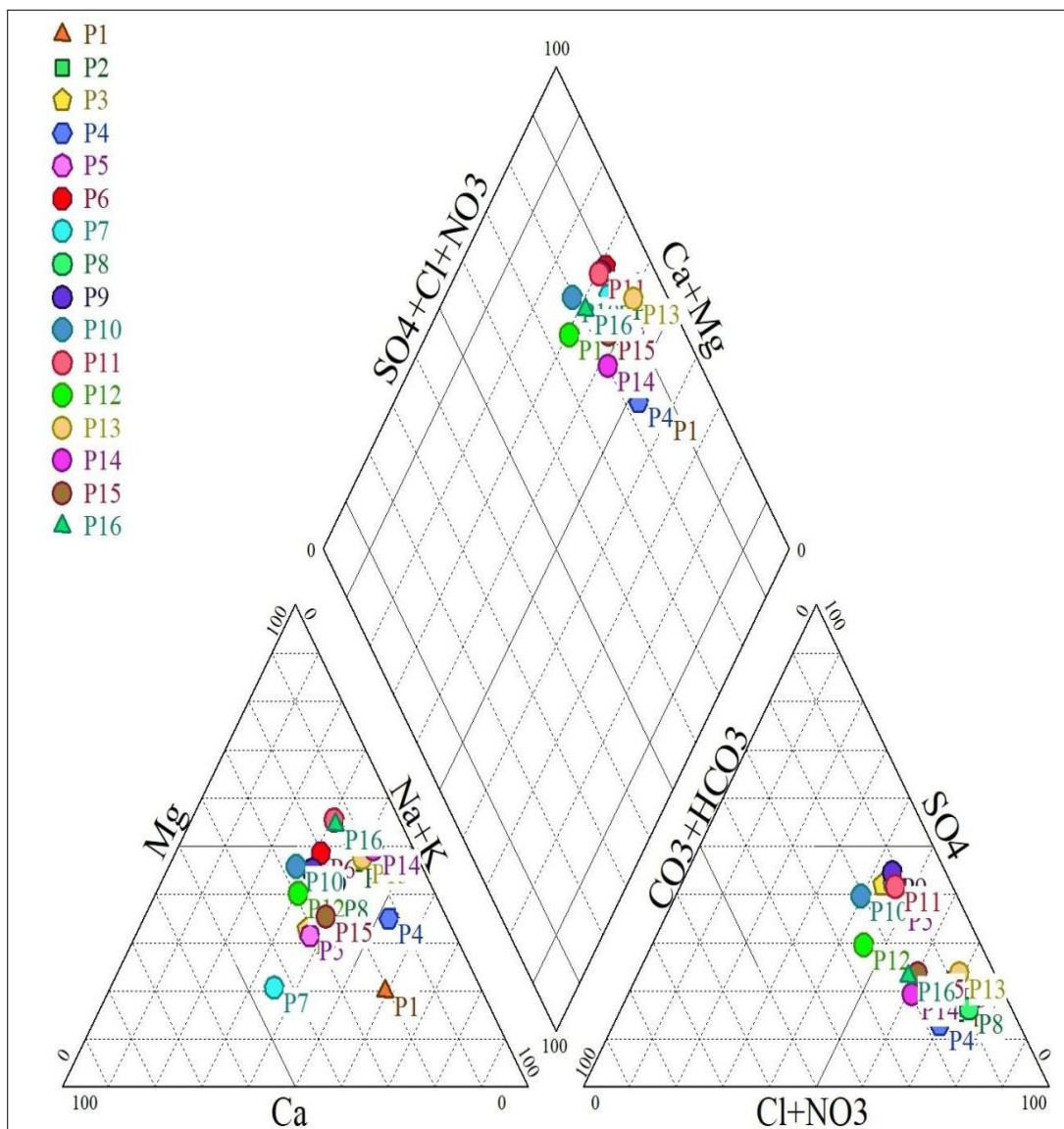


Figure. A. VIII. 11. Représentation des éléments chimiques dans la région du M'léta.

## VIII. 6. ETUDE STATISTIQUE EN COMPOSANTE PRINCIPALE

### VIII. 6. 1. Analyses Statistiques

Concernant a l'analyse statistique, en raison de la grande quantité de données et leur variabilité importante, nous avons choisi l'ACP est une technique qui présente une forte sensibilité aux valeurs extrêmes et qui est idéale et largement utilisée en raison de la simplicité de l'algèbre et de son interprétation directe (Paul L. C et al, 2013; Bouteraa. O et al, 2019), et permet de comprendre le fonctionnement des aquifères et d'identifier les mécanismes à l'origine de la minéralisation des eaux, elle peut également être considérée comme une méthode de projection qui dépose n échantillons de l'espace de dimension p caractérisé par p variables dans la dimension espace k (où  $k < p$ ) pour retenir autant d'informations. L'ensemble des échantillons forme un nuage de points dans cet espace multidimensionnel. Pour compenser l'effet de taille et l'hétérogénéité des données, celles-ci sont centrées et réduites avant l'analyse. Ce type de représentation d'un échantillon permet de voir tous les individus, et d'interpréter leur disposition (Bouteldjaoui. F et al, 2016).

Dans le cadre de cette étude, l'ACP a été réalisée sur l'ensemble des 16 échantillons d'eau souterraine. Effectué sur des variables centrales réduites à l'aide du logiciel (TIBCO Statistica 2018). Dix variables ont été considérées, à savoir les paramètres physiques et chimiques (pH, CE, matières totales dissoutes (TDS) et les ions majeurs ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ).

#### VIII. 6. 1. 1. Matrice de corrélation

La corrélation, une méthode statistique analysant la relation entre deux variables hydrochimiques, est interprétée en fonction du coefficient de corrélation. Un coefficient proche de 0 suggère une absence de relation, tandis que des valeurs proches de -1 ou 1 indiquent une forte corrélation entre les variables. L'analyse a porté sur 16 échantillons prélevés dans la nappe du Mio-Pliocène.

En se basant sur le tableau ci-dessous, la matrice démontre une corrélation très forte entre la conductivité électrique (EC) et la plupart des éléments chimiques. Cependant, une corrélation positive faible a été observée pour le calcium, le potassium, les bicarbonates et les nitrates en relation avec la plupart des éléments chimiques.

Tableau. A. VIII. 4. Matrice de corrélation pour différents points d'eau (mg/l).

Variables	Ca	Mg	Na	K	HCO	Cl	SO	NO	EC	TDS	pH
Ca	<b>1</b>										
Mg	0,02	<b>1</b>									
Na	0,13	<b>0,52</b>	<b>1</b>								
K	0,33	-0,26	0,18	<b>1</b>							
HCO	0,22	0,36	0,20	-0,16	<b>1</b>						
Cl	0,06	0,48	<b>0,86</b>	-0,03	-0,04	<b>1</b>					
SO	<b>0,68</b>	<b>0,57</b>	0,39	0,22	0,38	0,15	<b>1</b>				
NO	0,17	0,01	0,10	-0,09	-0,17	0,25	-0,01	<b>1</b>			
EC	0,34	<b>0,77</b>	<b>0,87</b>	0,05	0,33	<b>0,77</b>	<b>0,69</b>	0,14	<b>1</b>		
TDS	0,48	<b>0,71</b>	<b>0,80</b>	0,12	0,42	<b>0,65</b>	<b>0,79</b>	0,13	<b>0,96</b>	<b>1</b>	
pH	-0,13	-0,29	-0,26	0,18	-0,21	-0,14	-0,32	0,24	-0,28	-0,27	<b>1</b>

### VIII. 6. 1. 2. Cercle de corrélation et projection individuelle

En appliquant les analyses en composantes principales (ACP) aux variables adoptées (CE,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{NO}_3^-$ ) dans le tableau précédent, il est possible de faciliter et d'améliorer notre connaissance des principaux facteurs qui déterminent les mécanismes d'obtention de la minéralisation de tous les échantillons d'eau. Cette ACP est interprétée selon l'ordre d'apparition des résultats dans par le logiciel.

À travers le cercle de corrélation tracé sur les axes factoriels F1-F2 et F1-F3, on observe une distribution cohérente des paramètres étudiés. L'axe principal d'inertie F1, avec des chargements positifs sur toutes les variables, indique que la conductivité électrique (CE) est influencée par la dureté des calciums, des magnésiums, des sodiums, des calciums, des bicarbonates, des chlorures et des sulfates, suggérant des prévisions sur l'interaction eau-roche. Cet axe exprime également la minéralisation et la pollution organique de l'eau. Quant au deuxième axe, Le facteur 2 lié positivement aux sodiums, aux potassiums et au pH, et lié négativement aux bicarbonates et aux magnésiums, il indique une minéralisation moindre de l'eau par rapport à l'axe 1. Ainsi que le F3, lié positivement aux sulfates, sodiums, aux magnésiums et au Nitrate, et lié négativement aux calciums, potassium, chlorures et aux bicarbonates, il indique même une faible minéralisation de l'eau qu'à l'axe 1.

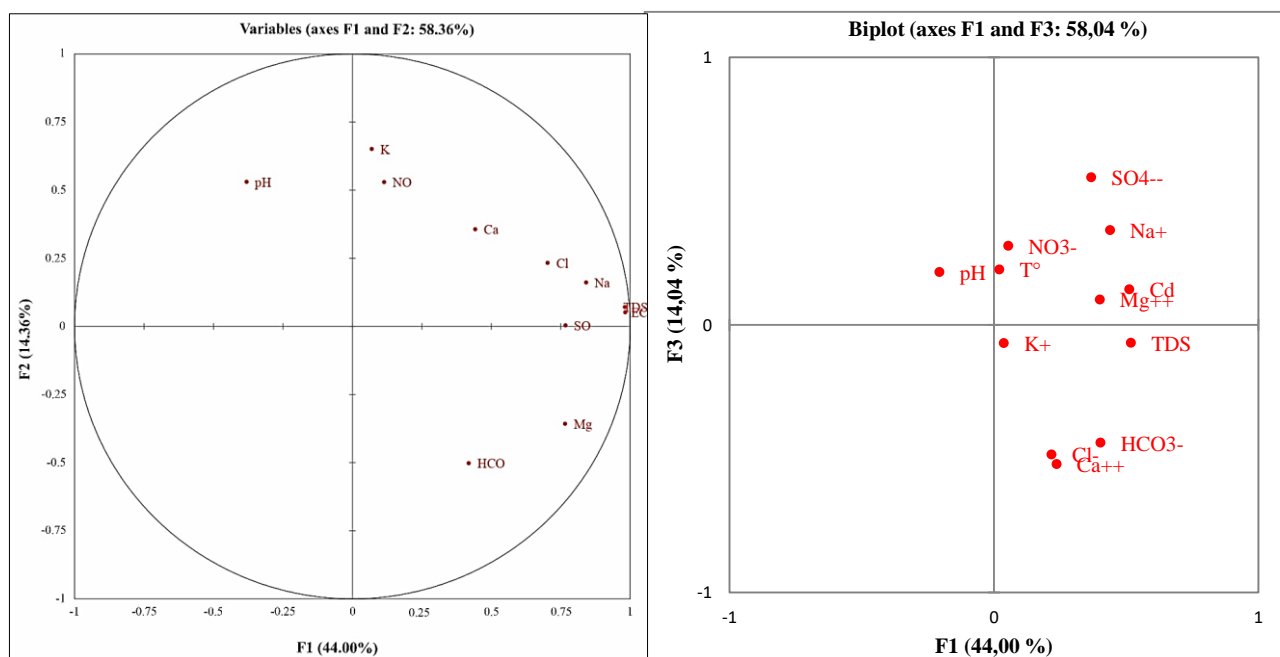


Figure. A. VIII. 12. Cercles de corrélation pour les facteurs F1-F2, F1-F3.

### VIII. 6. 1. 3. Hierarchical Cluster Analysis

Les résultats de la classification ascendante hiérarchique pour 16 échantillons sont présentés par le dendrogramme de la figure A. VIII.13, Par HCA qui confirme les résultats du test ACP, et où il montre trois groupes distincts. Le premier groupe montre la relation entre  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , TDS et

et CE (figure. A.VIII. 13) en référence à la salinité de l'aquifère. Le deuxième groupe recombine  $\text{NO}_3^-$  et pH pour indiquer la relation entre l'acidité des échantillons et le bicarbonate. Tandis que le troisième groupe montre la relation entre  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{HCO}_3^-$ .

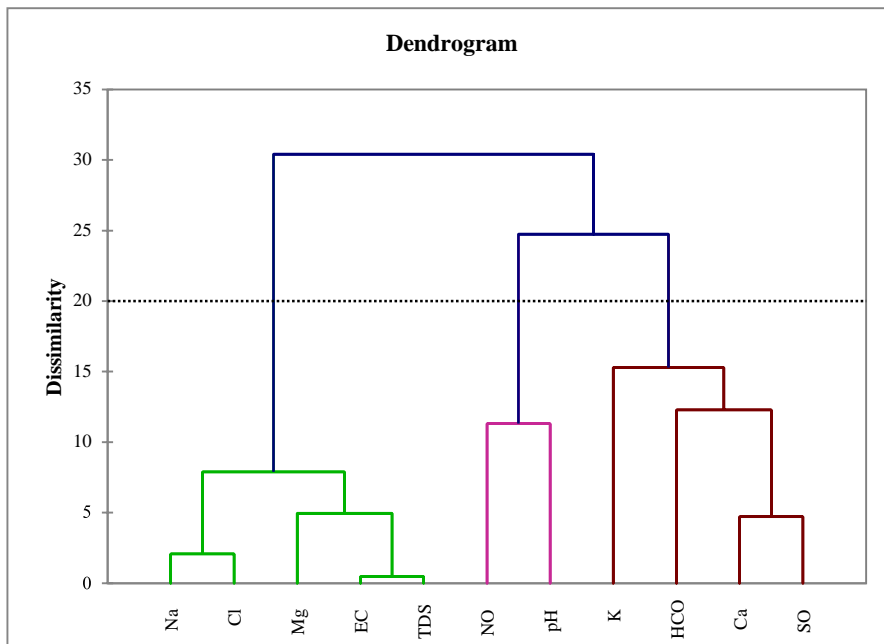


Figure. A. VIII. 13. Dendrogramme des variables

### VIII. 7. MECANISMES CONTROLANT L'HYDROCHIMIE

Plusieurs facteurs influencent la composition chimique des eaux souterraines, en particulier les précipitations, l'évaporation et l'altération des roches sont les trois principaux mécanismes naturels qui déterminent la chimie de l'eau.

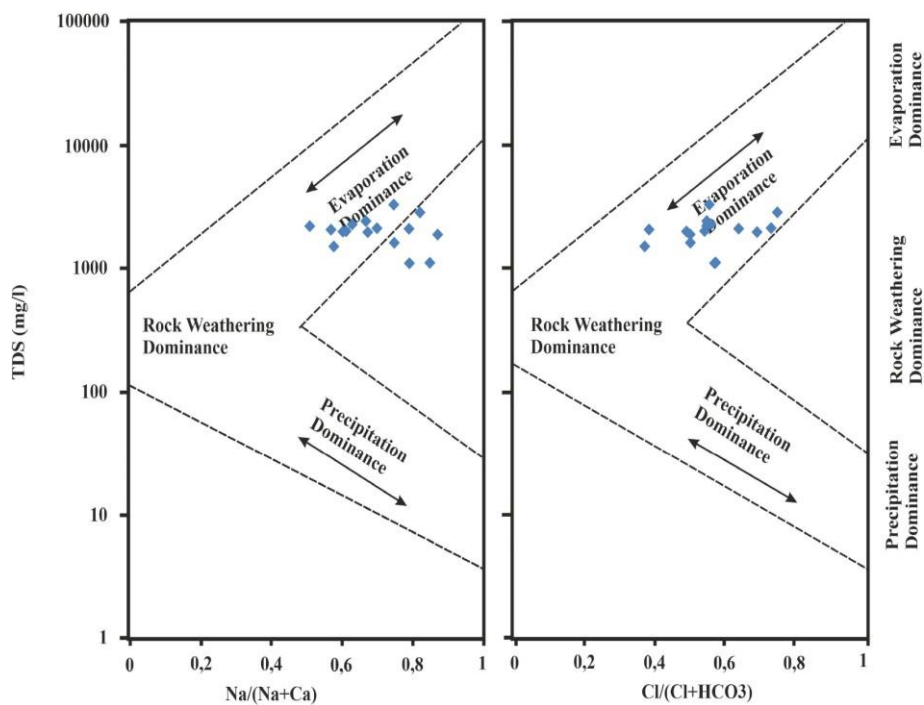


Figure. A. VIII. 14. Diagramme de Gibbs.

Gibbs a construit un diagramme simple et efficace comparant la concentration de TDS par rapport aux cations dominants  $[Na^+/(Na^+ + Ca^{2+})]$  ou de TDS par rapport aux rapports anions  $[Cl^-/(Cl^- + HCO_3^-)]$  pour identifier les facteurs d'influence de l'hydrochimie des eaux souterraines.

La projection des échantillons sur le diagramme de Gibbs montre que les eaux souterraines de notre région sont largement contrôlées par l'évaporation et deuxièmement par l'interaction roche-eau. Les principaux ions qui représentent ces processus sont  $Ca^{2+}-HCO_3^-$  et  $Na^+-Cl^-$ . Les rapports  $Na^+/(Na^+ + Ca^{2+})$  variaient de 0,50 à 0,86, avec une moyenne de 0,69, indiquant un fort échange de cations dans le système d'eau souterraine.

### VIII. 8. MODELISATION GEOCHIMIQUE

En calculant l'indice de saturation, on peut prédire l'aspect minéral de la matrice solide de la roche réservoir sans avoir à prélever d'échantillons dans cette dernière (Boutera. A et al. 2019), et aussi déterminer l'effet des éléments chimiques sur la chimie de l'eau. Le degré de saturation d'une eau peut être représenté par équation (1)

$$IS = \text{Log} (PAI/K SP) \quad (1)$$

Cette constante K caractérise l'équilibre établi dans un système réversible qui cesse d'évoluer (pour une température donnée).

À l'aide du logiciel "Diagramme", les indices de saturation ont été calculés, les résultats ont été classés et insérés dans le tableau A.VIII.5, et présentés graphiquement dans la figure 8.15 "A, B".

Tableau. A. VIII. 5. Évolution des indices de saturation des minéraux de la zone étudiée (2021 – 2022).

Point d'eau	Minéraux Carbonatés			Minéraux évaporitiques		
	Is Calcite	Is Aragonite	Is Dolomite	Is Gypse	Is Anhydrite	Is Halite
P 1	0.23	0.08	0.31	-1.18	-1.41	-5.17
P 2	-0.34	-0.48	-0.26	-1.69	-1.92	-5.83
P 3	0.07	-0.08	-0.01	-0.70	-0.94	-5.58
P 4	-0.31	-0.46	-0.32	-1.88	-2.12	-5.70
P 5	0.34	0.20	0.57	-0.70	-0.93	-5.45
P 6	0.10	-0.05	0.43	-1.03	-1.27	-5.30
P 7	0.54	0.39	0.58	-0.55	-0.79	-5.57
P 8	0.24	0.09	0.59	-1.07	-1.31	-5.13
P 9	0.06	-0.09	0.28	-0.68	-0.90	-5.47
P10	0.47	0.32	1.02	-0.82	-1.05	-5.78
P11	0.24	0.09	0.93	-0.75	-0.99	-5.19
P12	0.26	0.11	0.49	-1.06	-1.30	-5.90
P13	-0.18	-0.32	0.11	-1.08	-1.32	-5.00
P 14	-0.06	-0.21	0.49	-1.52	-1.76	-5.32
P 15	0.23	0.08	0.45	-0.88	-1.12	-5.23
P 16	0.10	-0.05	0.65	-1.36	-1.60	-5.64

En se référant au tableau ci-dessus, les minéraux carbonatés tels que la calcite et la dolomite présentent des indices de saturation positifs dans la majorité des puits, indiquant ainsi une sursaturation par rapport à ces minéraux et une propension à la précipitation. La principale raison de ces précipitations peut s'expliquer par l'aridité caractérisant la zone d'étude, avec un indice d'aridité de 12,47 (indice de De-Martonne), une évaporation intense de 1389 mm/an, et une diminution annuelle des précipitations de 374 mm. En ce qui concerne les minéraux évaporitiques tels que le gypse et l'halite, ils semblent atteindre leur équilibre, avec toutes les valeurs d'indice de saturation étant négatives, indiquant ainsi une sous-saturation par rapport à ces minéraux. Pour l'halite, les valeurs sont particulièrement basses, traduisant une saturation relativement faible (voir figure A.VIII.15). La concentration plus faible de Na par rapport à Cl est probablement attribuable à la nature du sodium, qui peut se lier aux minéraux argileux par le processus d'échange d'ions.

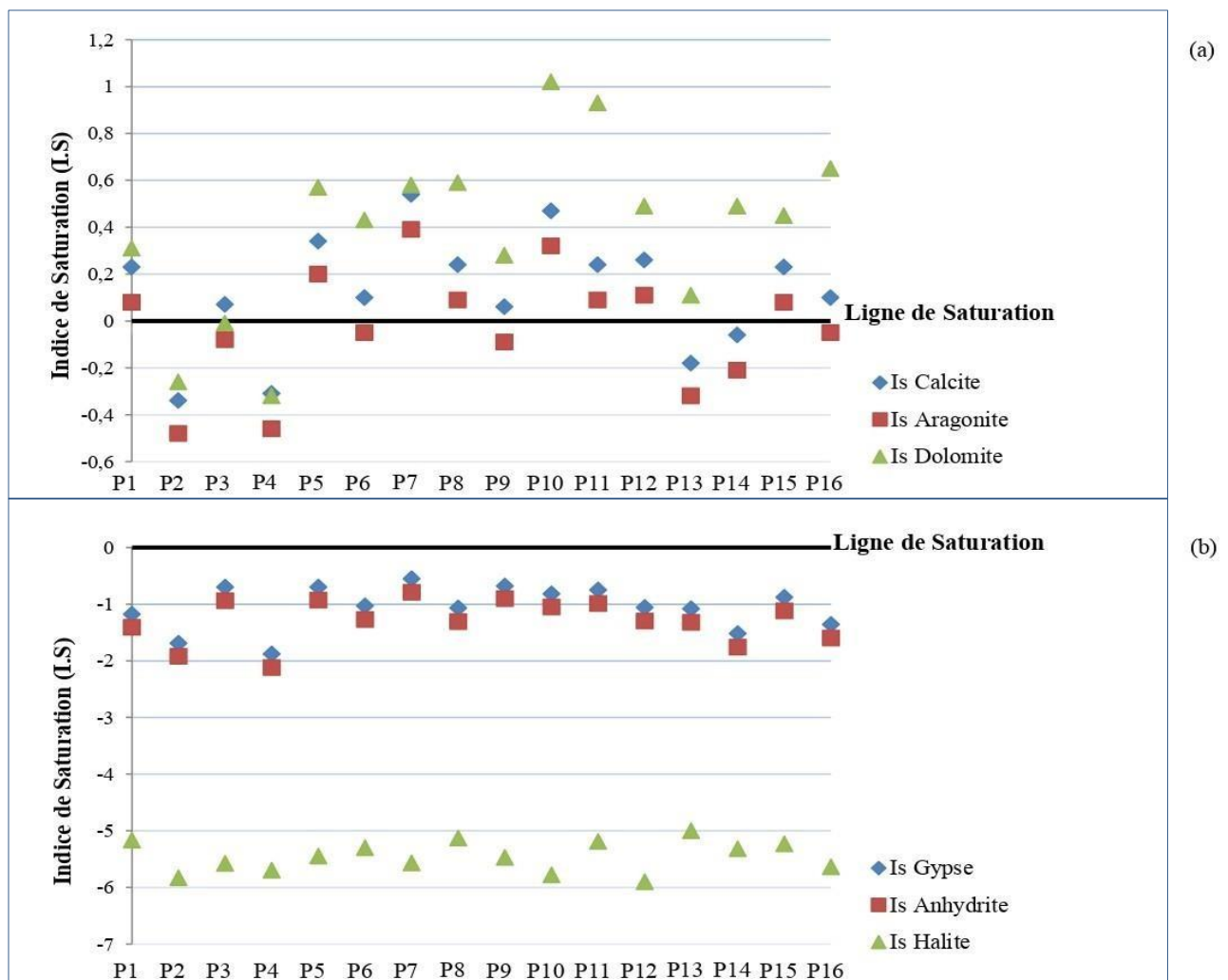


Figure. A. VIII. 15. Variation de l'indice de saturation des minéraux indiqués, Indice de saturation de (a) minéraux carbonatés, (b) Minéraux évaporitiques.

## VIII. 9. EVALUATION DE LA QUALITE DES EAUX D'IRRIGATION

Dans notre recherche, la qualité de l'eau d'irrigation est un facteur essentiel qui doit être observé et pris en considération. Elle a divers impacts sur la production agricole et sur les caractéristiques physico-chimiques du sol (Suarez et al., 2006). Dans les régions arides, une utilisation excessive et non rationnelle de l'eau d'irrigation conduit à l'accumulation de sels dans le sol, ce phénomène affectant la croissance des plantes (Masmoudi, 2016). C'est pourquoi l'étude de la classification des eaux d'irrigation est cruciale pour évaluer l'incidence de la minéralisation de l'eau sur le sol et les cultures.

### VIII. 9. 1. Classification des eaux de l'irrigation par Méthode de Richard

Richards a développé un graphique qui établit une corrélation entre le taux d'absorption de sodium (SAR) et la conductivité électrique de l'eau (Richards, 1954). La classification des eaux pour l'irrigation selon la méthode de Richards consiste à positionner les échantillons sur le diagramme de Richards (voir figure. A.VIII.16). Le SAR est défini par l'équation suivante, exprimée en unités de concentration en meq/l.

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{(Ca+Mg)/2}} \quad (2)$$

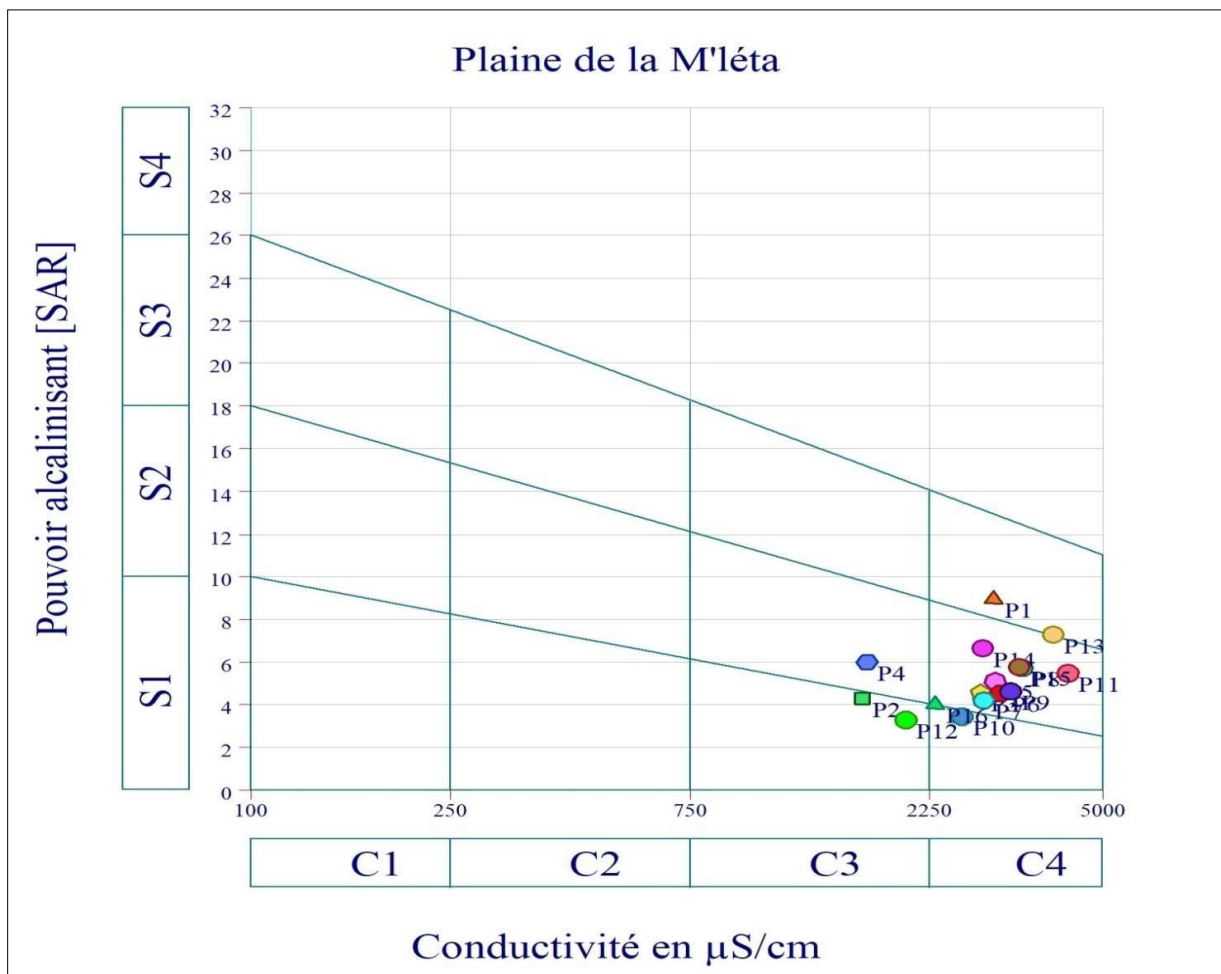


Figure. A. VIII. 16. Qualité des eaux d'irrigation S.A.R

**C3-S1, C3-S2** : Ces deux catégories affichent des eaux de qualité acceptable, convenant à des fins d'irrigation. Toutefois, il est recommandé de surveiller l'évolution de la salinité. Il a été répertorié trois points d'eau dans cette catégorie, représentant ainsi 18,75% de l'ensemble.

Les catégories **C4-S1** et **C4-S2** se distinguent par une qualité médiocre et une forte minéralisation, pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel, mais seulement sur des sols correctement drainés et lessivés. On a recensé douze points d'eau de cette catégorie, représentant ainsi 75% du total.

La catégorie **C4-S3** est associée à une eau de qualité médiocre, généralement inadaptée à l'irrigation, mais pouvant être utilisée dans certaines conditions spécifiques : sols très perméables, bon lessivage, et plantes très tolérantes au sel. Nous disposons d'un unique échantillon dans cette catégorie.

### VIII. 9. 2. Classification des eaux de l'irrigation par méthode de Wilcox

La classification des eaux pour l'irrigation selon la méthode de Wilcox (Wilcox, 1948) nécessite la représentation des échantillons sur le diagramme de Wilcox (figure. A.VIII. 17), ce dernier nous a permis de déduire que les échantillons pendant les deux périodes se positionnent dans les classes suivantes :

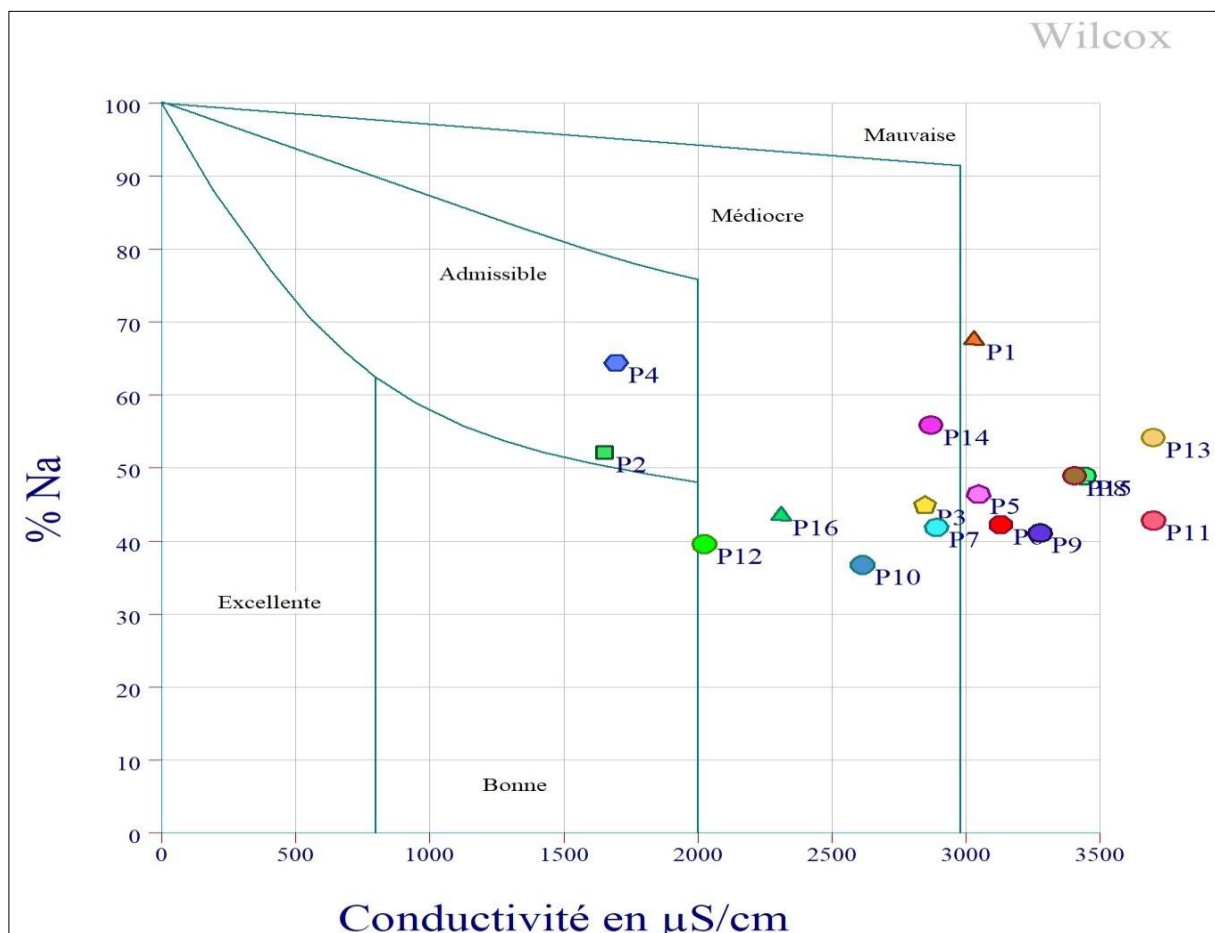


Figure. A. VIII. 17. Classification de Wilcox.

La classification de WILCOX classe les eaux du Moi-Pliocène de la plaine de la M'léta dans les catégories "bonne", "médiocre" et "mauvaise". Cette classification est parallèle à celle de RICHARDS,

**Eau a qualité admissible** : sont celles présentant une minéralisation relativement faible, constatée dans 12,5% des échantillons (voir figure A.VIII.17). Les échantillons partageant cette classification incluent P2 et P4.

**La classe d'eau considérée comme médiocre**, obtenant un taux de 37,5%, est définie par une minéralisation moyenne, un risque modéré de salinisation et une faible probabilité d'alcalinisation. Les points d'échantillonnage inclus dans cette catégorie sont P3, P7, P10, P12, P14 et P16.

**Les eaux considérées comme de mauvaise qualité** présentent une forte minéralisation, entraînant un risque significatif de salinisation des sols, bien que l'alcalinisation soit modérée. Les échantillons associés à cette classe comprennent P1, P5, P6, P8, P9, P11, P13 et P15, soit 50% du total.

## VIII. 10. CONCLUSION

Tenant compte des influences des conditions géologiques, climatiques et hydrogéologiques, cette étude hydrochimique de l'aquifère Miocène-Pliocène de la plaine de la M'léta a mis en lumière la variabilité de la plupart des paramètres physico-chimiques ayant un impact sur l'évolution et la qualité des eaux.

- Les eaux présentent une plage de température allant de 19 à 23 °C, tandis que le pH mesuré oscille entre 7 et 7,4.
- Les eaux de notre aquifère présentent une plage de conductivité comprise entre 1678 et 4813  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .
- Selon la classification chimique, deux faciès prédominent : chloruré calcique et l'autre chloruré sodique.
- La répartition des faciès chimique et en relation direct avec la dissolution des massifs de nature carbonaté ainsi qu'aux différents facteurs anthropogénique d'origine agricole et domestique.
- L'analyse statistique multivariée a confirmé une relation très forte entre l'EC et la plupart des éléments chimiques.
- L'étude de l'indice de saturation parfois une sous-saturation par rapport à certains minéraux.
- L'étude du S.A.R à confirmer que les eaux du secteur étudié sont bonnes pour l'irrigation.

## IX. CONCLUSION DE LA PARTIE I

La région côtière du Nord-Ouest algérien, la plaine de la M'léta, fait partie du bassin versant de la grande Sebkhia d'Oran et est caractérisée par un climat méditerranéen semi-aride. En été, la région connaît des températures élevées grâce à un ensoleillement continu, tandis que la période hivernale est marquée par des températures plus modérées. Les données climatologiques pour la période de 1995 à 2018 révèlent une lame d'eau précipitée estimée à 351,4 mm et une température moyenne annuelle de 18 °C.

L'analyse géologique a impliqué une synthèse des recherches antérieures menées par divers auteurs, révélant ainsi deux ensembles majeurs.

- Un substratum anté-synchro-nappe qui émerge uniquement dans les massifs littoraux (Murdjadjo) et dans les Tessala.
- Une cuvette où se produit une importante sédimentation post-nappe.

L'étude hydrogéologique a révélé les formations géologiques propices à l'exploitation, à savoir celles présentant les meilleures capacités hydrauliques, notamment le complexe Mio-Pliocène qui comprend les calcaires récifaux du Miocène supérieur ainsi que les grès consolidés et les sables fins du Pliocène marin. Les dépôts quaternaires, constituant une nappe phréatique, se révèlent être moins intéressants tant du point de vue qualitatif que quantitatif par rapport à la nappe profonde.

L'étude des cartes piézométriques met en lumière un flux des eaux souterraines orienté de manière prédominante du Sud vers le Nord dans la zone d'étude, accompagné d'une légère diminution du niveau piézométrique imputable à l'intensification de l'agriculture dans la région.

D'après l'interprétation des essais de pompages on observe des valeurs de transmissivité allant de  $0.56 \cdot 10^{-3}$  au centre de la plaine jusqu'à  $5.8 \cdot 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s dans la partie Ouest à Tamzourah.

Nous avons exposé nos travaux de recherche qui couvrent l'aspect géochimique, mettant en lumière la corrélation entre la géologie et l'hydrochimie de l'aquifère. L'interprétation des données analytiques par différentes méthodes a révélé que les eaux de l'aquifère du Mio-Pliocène présentent des gradients de température variant de 19 à 23 °C, et que le pH de tous les forages se situe dans la plage de normes de potabilité. En ce qui concerne les éléments chimiques, leurs concentrations diminuent pendant la saison hivernale en raison de l'augmentation du niveau de l'eau, et vice versa. Deux faciès chimiques dominants ont été identifiés, l'un étant chloruré calcique et l'autre chloruré sodique. De plus, l'analyse statistique multivariée a confirmé une relation très forte entre la conductivité électrique (EC) et la plupart des éléments chimiques, à l'exception des nitrates, qui semblent d'origine humaine (probablement liés à l'utilisation d'engrais en agriculture). En accord avec les indices de saturation, on observe parfois une sous-saturation par rapport à certains minéraux. En ce qui concerne la qualité de l'eau, elle est généralement classée de médiocre à admissible pour l'irrigation.

# PARTIE II

## *La Vulnérabilité et la Protection de l'Aquifère du Complexe Mio – Pliocène de la Plaine de la M'léta*

- CONTAMINATION DES EAUX SOUTERRAINES ;
- LA VULNERABILITE A LA POLLUTION ;
- ELABORATION DE LA CARTE DE VULNERABILITE INTRINSEQUE DE LA  
PARTIE ORIENTALE DE LA PLAINE DE LA MLETA ;
- PROTECTION DE L'AQUIFERE DU COMPLEXE MIO – PLIOCENE.

## I. CONTAMINATION DES EAUX SOUTERRAINES

### I. 1. DEFINITION DE LA POLLUTION DE L'EAU

L'eau devient impure en raison de l'influence humaine, devenant inadmissible pour répondre aux besoins particuliers ou constituant une menace pour l'environnement (Castany. G, 1982; Bouteraa. O, 2019). Les causes naturelles de la dégradation de la qualité de l'eau souterraine sont donc exclues de ce concept (Khedidja. A, 2013).

### I. 2. LES ORIGINES DES POLLUTIONS

Le nombre de substances polluantes est significatif et ne cesse de croître à l'échelle mondiale (Baghvand et al., 2010). Dans sa vaste catégorisation des origines de la pollution, il est nécessaire d'examiner distinctement les contaminants physiques, chimiques, organiques et biologiques, car chacun de ces groupes nécessite une approche spécifique.

La classification des origines peut se faire de la manière suivante.

❖ **Habitats humains :** Les habitats humains engendrent une forme de pollution en accord avec les divers apports hétérogènes qui y sont associés. Il s'agit principalement d'une pollution d'origine biologique, comprenant des éléments tels que les excréments, les fosses d'aisance, les puits perdus, les décharges urbaines, les puits, etc. Elle découle également des conduites d'eau d'égout, des eaux résiduaires et des bassins de purification.

❖ **Industrie :** L'apparition évidente de ce type de pollution remonte aux années soixante-dix du XXe siècle (Debieche. T. H, 2002 ; Mekhloufi. M. et Sadi. R, 2013 ; Nouar. T, 2007). Les facteurs responsables sont extrêmement diversifiés en fonction du secteur d'activité, notamment les industries chimiques, biologiques, ainsi que les vestiges industriels qui représentent une menace réelle pour tous les composants de l'environnement. L'eau, étant l'élément prépondérant, subit une influence particulièrement significative. Les industries liées aux produits pétroliers, comprenant les forages, les raffineries, les réservoirs, les oléoducs, les réservoirs souterrains et les stations-service, sont parmi les principales sources de cette pollution. Les déchets miniers, tels que les sels de sodium ou de potassium, peuvent entraîner une salinisation dangereuse des nappes superficielles, sans oublier les terrils, l'exhaure, etc. Les industries métalliques, minières, agroalimentaires, chimiques, de la papeterie, de la sucrerie, de la distillerie, de la laiterie, de la teinturerie, du lavage de laine, et autres, contribuent également à cette problématique. Il convient de souligner que la pollution par des éléments toxiques représente la forme la plus dangereuse de cette pollution.

❖ **Cultures :** Les méthodes agricoles contemporaines et l'élevage des animaux actuels ont un impact significatif sur la qualité de l'eau, entraînant la perte de ses caractéristiques (Bouteraa. O, 2019). Cette influence se manifeste à travers une pollution biologique causée par le déversement de fumier et de boues, ainsi que par l'irrigation avec des eaux usées. Parallèlement, une pollution chimique se produit

par l'épandage d'engrais minéraux tels que les chlorures, les sulfates, les nitrates de potassium, les sels ammoniacaux, les nitrates, les phosphates, etc. De plus, l'irrigation entraîne une augmentation de la salinité due à l'évapotranspiration, et cette salinité se propage aux nappes phréatiques par infiltration. Les traitements antiparasitaires, les pesticides, et d'autres substances similaires contribuent également à cette problématique.

### **I. 3. INDICATEURS PRINCIPAUX DE LA POLLUTION**

#### **I. 3. 1. Eléments Nutritifs**

##### **I. 3. 1. 1. Nitrates**

Les nitrates sont, sur le plan chimique, des sels dérivés de l'acide nitrique. Ces composés sont définis par la présence de l'ion nitrate  $\text{NO}_3^-$ , constitué d'un atome d'azote et de trois atomes d'oxygène (Hadjadj. M, 2018). Les nappes phréatiques sont exposées à une concentration élevée de nitrates, leur présence en grande quantité pouvant être d'origine naturelle (Benhaouadia. S et Radjah. F, 2018). Parfois, elle indique également la présence d'une contamination provenant des eaux usées, de certaines industries, ou de ruissellements riches en engrais issus de l'agriculture. Les ions nitrates se forment de manière naturelle au cours du cycle de l'azote, particulièrement lors de la décomposition de matières organiques sous l'action des bactéries du sol. L'azote organique subit une transformation par oxydation, se convertissant d'abord en composés ammoniacaux, puis en nitrates (Boubkeri. M, 2013). Cette situation a des conséquences graves sur la vie de la faune aquatique et peut entraîner l'eutrophisation. Les normes de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) fixent, pour l'eau destinée à la consommation humaine, un niveau guide de 25 mg/l, avec une concentration maximale admissible de 50 mg/l.

##### **I. 3. 1. 2. Nitrites**

Ils peuvent résulter de l'oxydation incomplète de l'ammoniac (Adda. M, 2013) ou de la réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante. Le nitrite est présent sur un vaste spectre, bien que généralement à des niveaux bien inférieurs à ceux des nitrates. Les nitrates et les nitrites subissent tous deux des transformations mutuelles dans la nature. Les nitrites se forment dans le sol grâce à l'activité bactérienne résultant de la décomposition de matières organiques, qu'elles soient d'origine végétale ou animale. En raison de leur distribution répandue dans l'environnement, ils sont fréquemment présents dans l'eau. Leur apparition est souvent liée à une utilisation excessive d'engrais, de matières organiques végétales et animales, ainsi qu'à des pratiques d'assainissement et de drainage agricole, entraînant ainsi une pollution des eaux souterraines. L'Organisation mondiale de la santé (O.M.S) préconise une valeur limite de 0.1 mg/l en nitrites pour l'eau potable.

### **I. 3. 1. 3. Ammonium**

Cet élément s'avère nocif pour l'organisme humain (Amichi. F, 2010 ; Debieche. T. H, 2002). Sa présence en quantité substantielle rend l'eau impropre à la consommation en raison de son odeur et de son goût. La détection d'ammonium dans les eaux souterraines résulte d'une contamination en surface, principalement due aux rejets d'effluents domestiques et industriels, ou d'un phénomène de réduction naturelle des nitrates. Elle reflète généralement un processus de décomposition incomplète de la matière organique.

Pour la consommation humaine de cette eau, il est recommandé de respecter une limite maximale admissible de 0,5 mg/l.

### **I. 3. 1. 4. Phosphates**

La composition chimique du phosphate présent dans l'eau est conditionnée par le type de déchets générés par cette eau. Leur présence dans les eaux naturelles est influencée par la nature des sols traversés ainsi que par les eaux domestiques, industrielles et usées (Abid. H et Hacherouf. B, 2001). Si les composés phosphatés sont utilisés à des concentrations élevées dans l'industrie, ils peuvent avoir des effets toxiques significatifs sur l'homme ou les animaux. Les eaux souterraines risquent d'être contaminées par des rejets provenant d'activités industrielles et domestiques, ainsi que par le lessivage des terres cultivées contenant des engrais phosphatés.

Pour l'eau destinée à la consommation humaine, les recommandations de l'Organisation mondiale de la santé (O.M.S.) établissent un niveau guide de phosphate à 0,4 mg/l et une concentration maximale admissible de 5 mg/l.

### **I. 3. 1. 5. Matières Organiques**

La matière organique présente dans l'eau est représentée un groupe de polluants chimiques hautement dangereux qui menacent la santé humaine et l'écosystème (Benhaouadia. S et Radjah. F, 2018 ; Hennia. K, 2006). Il y a nombreuses preuves médicales confirment que la matière organique a été causée les handicaps et les maladies. Ce genre de pollution est fortement lié aux activités humaines. Ça pourrait être c'est matière organique résultant de la décomposition de produits d'origine végétale ou animale, élaborés sous l'influence des micro-organismes.

La présence de cette matière organique dans l'eau rend celle-ci impropre à la consommation en raison de son odeur et de son goût, qui peuvent être intensifiés par la chloration, et finalement, cela pourrait susciter des soupçons de contamination microbienne.

### **I. 3. 1. 6. Matières en Suspension (MES)**

La quantité et la composition minérale et organique des matières en suspension dans les eaux présentent une grande variabilité. Ces caractéristiques dépendent de la nature des terrains traversés (Gouaidia. L, 2008), de la saison des pluies, des rejets, etc. Lorsqu'elles se déposent, ces matières

peuvent obstruer les fonds aquatiques et entraîner des perturbations au niveau de la faune et de la flore.

#### **I. 4. NATURE ET ORIGINE DES POLLUANTS DE LA ZONE D'ETUDE**

Lors de nos investigations sur le terrain dans la zone d'étude, un recensement de toutes les activités a été réalisé, de sorte que la nappe se situe dans une zone générant des risques de pollution multiformes, issues des activités agricoles, urbaines et industrielles.

Il est important de souligner la présence d'un réseau d'assainissement souvent vétuste, entraînant d'importantes fuites d'eaux usées dans le sous-sol. On note également l'existence de vastes zones d'habitation telles que Boustere, Kehailia, Toumiat, etc., qui ne sont pas dotées d'un réseau d'assainissement, entraînant ainsi le rejet des eaux usées dans des fosses étanches.

À cela s'ajoutent les activités agricoles caractérisées par l'utilisation excessive et irrégulière d'engrais et de pesticides, entre autres. Cette pratique peut également contribuer à une pollution diffuse des eaux souterraines. Par ailleurs, les activités industrielles implantées dans la zone d'Oued Tlélat doivent également être prises en considération, car elles peuvent avoir des répercussions significatives sur la qualité de l'eau dans la région.

Il est important de noter que certaines entreprises, qui ne sont pas connectées au réseau d'assainissement en raison d'obstacles tels que l'inaccessibilité ou l'obstruction, peuvent recourir à l'utilisation de fosses ou de puisards secs. Alternativement, elles peuvent évacuer les eaux usées dans des réservoirs septiques. Toutes ces pratiques peuvent potentiellement conduire à la contamination des eaux souterraines dans la zone d'étude.

#### **I. 5. ANALYSE DES ELEMENTS INDICATEURS DE POLLUTIONS DANS LE SECTEUR D'ETUDE**

Pour évaluer l'impact potentiel de la pollution des aquifères dans notre zone d'étude, nous avons entrepris l'étude de certains indicateurs de pollution présents dans l'aquifère. L'objectif est d'évaluer le degré de vulnérabilité de la nappe à ce type de pollution.

Dans ce contexte, l'analyse des seize échantillons d'eau prélevés a porté non seulement sur les éléments chimiques majeurs, mais également sur certains indicateurs de pollution. Les résultats de cette dernière analyse sont présentés dans le tableau. B.I. 1.

Les principaux éléments soumis à analyse comprennent les nitrates, les nitrites, l'ammonium, les phosphates, la matière organique acide, la matière en suspension et la turbidité.

La détection de ces éléments dans l'eau, ou leur non-conformité aux normes établies pour l'eau potable, peut fournir des indications cruciales sur la qualité de l'eau prélevée, déterminant ainsi sa potabilité pour la consommation humaine.

Tableau. B. I. 1. L'analyse physico-chimique des éléments indicateurs de pollution des points d'eau prélevés (juin 2021 et février 2022).

Els chimiques (mg/l) Nom de puits	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub>	MO	MES
P1	7,4	0,01	0,01	0,00	1,2	2
P2	9,92	0,01	0,02	0,02	3,45	2
P3	11,78	0,04	0,02	0,02	5,81	2
P4	8,68	0,04	0,01	0,01	2,63	5
P5	12,4	0,02	0,01	0,02	3,16	4
P6	15,5	0,02	0,02	0,02	6,23	5
P7	18,6	0,02	0,02	0,01	2,32	2
P8	22,94	0,03	0,01	0,02	5,02	4
P9	4,96	0,04	0,02	0,01	3,32	6
P10	28,52	0,02	0,02	0,02	5,31	2
P11	3,72	0,01	0,01	0,02	4,15	5
P12	9,92	0,04	0,02	0,01	2,29	2
P13	26,66	0,03	0,02	0,02	5,35	2
P14	14,88	0,02	0,01	0,02	5,23	4
P15	4,98	0,02	0,02	0,01	3,12	2
P16	1,55	0,02	0,02	0,02	4,06	2

## I. 5. 1. Eléments Nutritifs

### I. 5. 1. 1. Nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

L'altération des "nitrates" est prise en considération pour établir un classement synthétique, ainsi que pour divers usages tels que la "potabilisation" et l'"abreuvement", tout en contribuant à la détermination de l'état patrimonial de l'eau.

Les données recueillies sont analysées à l'aide d'une grille de qualité générale. Les seuils de classement des nitrates sont examinés en détail dans le tableau B.I.1.

Il est observé que le secteur d'étude présente seulement trois classes de qualité. La première classe englobe la majorité des eaux, ne dépassant pas les teneurs de 10 mg/l (qualifiée d'eau de très bonne qualité). La deuxième classe est définie par de l'eau de bonne qualité, tandis que la troisième classe regroupe l'eau de qualité passable.

La figure B.I.1 offre une représentation visuelle des variations spatiales des teneurs en nitrates. On observe que les eaux de l'aquifère présentent des teneurs en nitrates en dessous du seuil de 50 mg/l fixé par les normes de l'Organisation mondiale de la santé (O.M.S). Cependant, des teneurs relativement élevées sont enregistrées dans les parties extrêmes Nord et l'Est Djenane Meskine, correspondant aux vastes zones consacrées à l'agriculture.

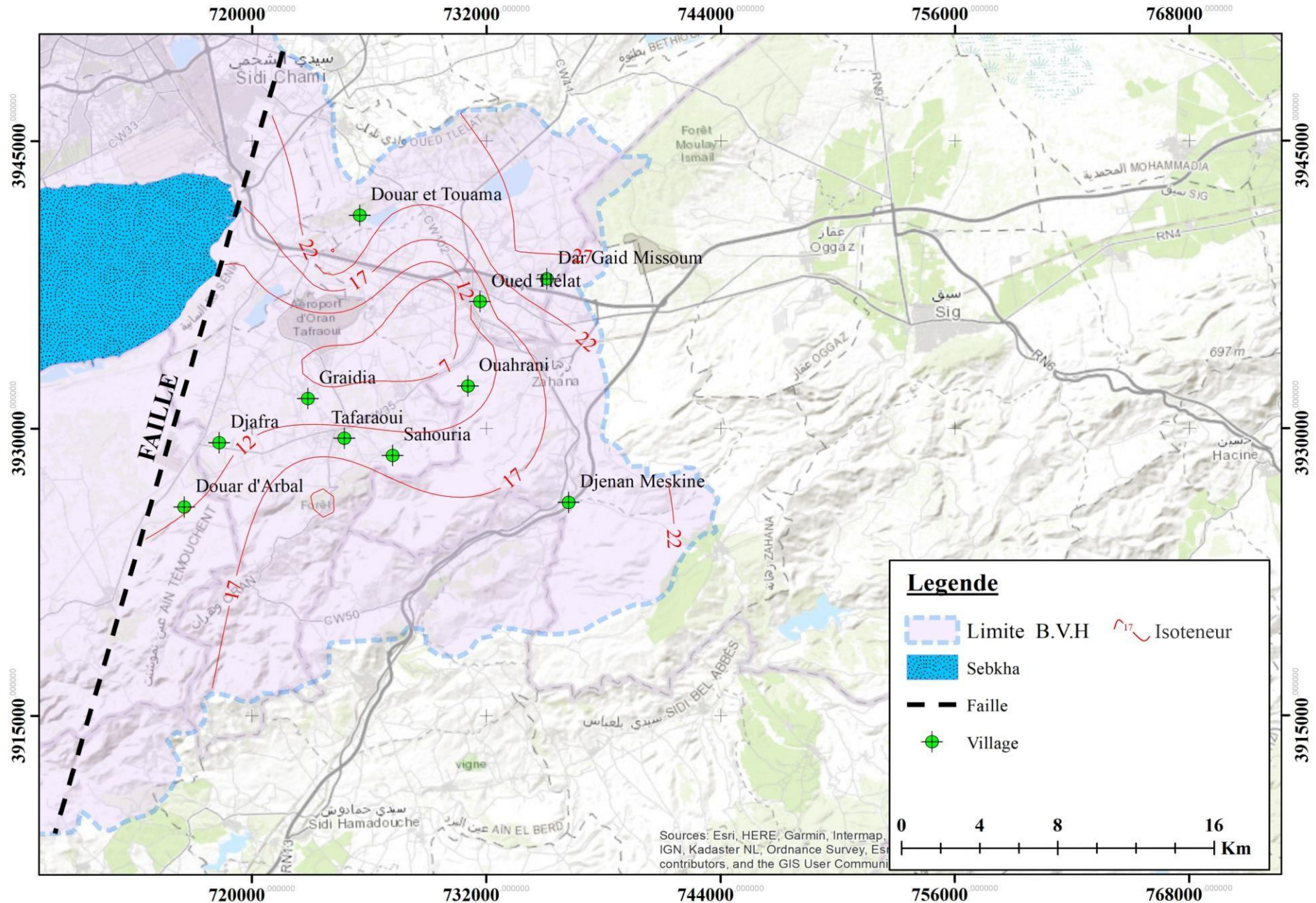


Figure. B. I. 1. Carte des Teneurs en Nitrates du Complexe du Mio – Pliocène.

### I. 5. 1. 2. Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ )

Contrairement aux nitrates, les teneurs en nitrites dans tous les puits respectent les normes de consommation ( $< 0.1 \text{ mg/l}$ ). Elles varient entre  $0,01 \text{ mg/l}$  et  $0,04 \text{ mg/l}$  pour l'ensemble des points d'eau étudiés.

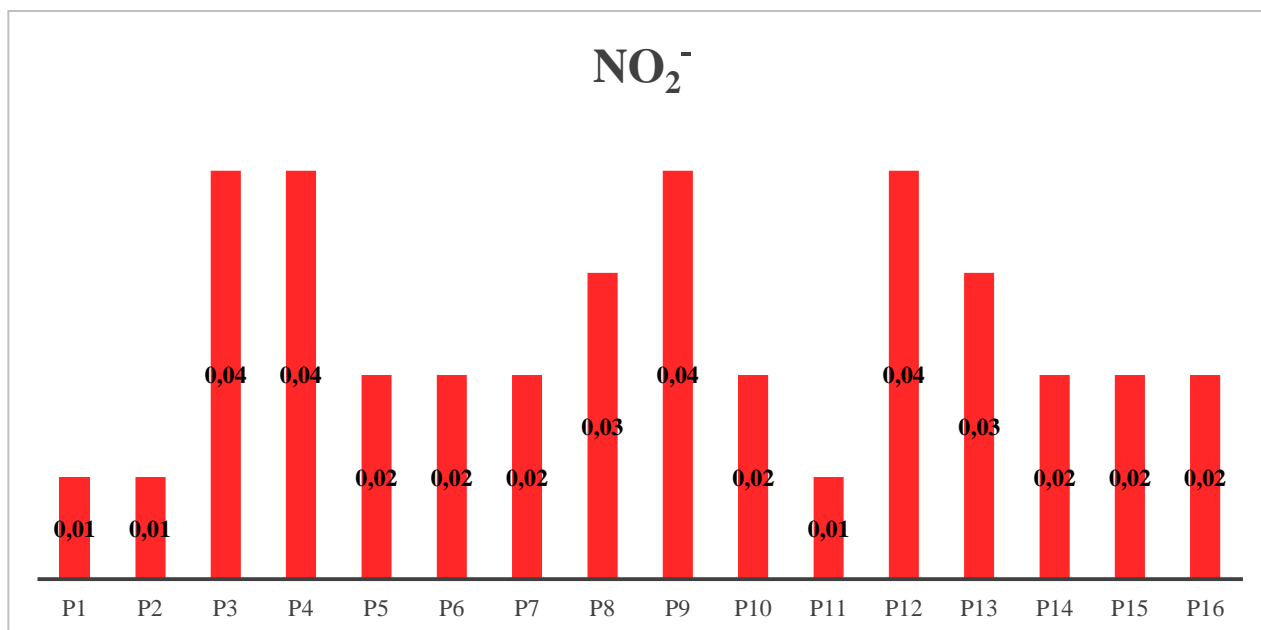


Figure. B. I. 2. Histogramme illustrant les variations des teneurs en nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) dans les points d'eau étudiés.

### I. 5. 1. 3. Ammonium ( $\text{NH}_4$ )

Dans notre secteur d'étude, les résultats obtenus pour les teneurs en ammonium ( $\text{NH}_4$ ) sont très inférieurs aux critères des consommations admises ( $0,5 \text{ mg/l}$ ). Les concentrations en ammonium varient entre  $0,00$  et  $0,02 \text{ mg/l}$ .

### I. 5. 1. 4. Phosphates ( $\text{PO}_4$ )

Les concentrations demeurent en deçà des normes de consommation ( $0,4 \text{ mg/l}$ ) pour la majorité des points d'eau. Les niveaux de phosphate oscillent entre  $0,01 \text{ mg/L}$  et  $0,02 \text{ mg/l}$ .

### I. 5. 1. 5. Matières Organiques

Les résultats d'analyse laissent entendre que les eaux souterraines du secteur étudié ne présentent pas des concentrations élevées en matières organiques acides. La valeur maximale observée se situe au niveau du puits N°3, atteignant  $5,81 \text{ mg/l}$ . Il est important de noter que les matières organiques basiques n'ont pas été quantifiées dans cette analyse.

### I. 5. 1. 6. Matières en Suspension

Les eaux souterraines du secteur étudié ne possèdent pas une forte teneur en MES. Les valeurs varient entre 2 et 5.

**I. 6. CONCLUSION**

La caractérisation de la qualité des eaux de la nappe étudiée a permis de délimiter les points affectés par tel ou tel élément indicateur de pollution.

La confrontation des teneurs en éléments indicateurs de pollution aux normes de potabilité permet de faire ressortir les résultats suivants :

Pour les éléments nutritifs, les nitrates sont détectés avec des teneurs ne dépassant pas les normes d'eau potable pour tous les points d'eau ( $\leq 50$  mg/L). Pour les autres d'éléments, les normes sont respectées.

## II. NOTION DE LA VULNERABILITE

### II. 1. DEFINITION ET HISTORIQUE DU CONCEPT DE VULNERABILITE

Le terme "vulnérabilité" se traduit la fragilité ou la sensibilité d'un système face à une menace externe telle que la pollution. En hydrogéologie, Margat intègre à la fin des années 1960 le concept de vulnérabilité, initialement appelé « vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution » (Albinet. M et Margat. J, 1970).

La vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines fait référence à la susceptibilité de la qualité des eaux souterraines face à divers types de pollutions. Elle est souvent déterminée par les propriétés intrinsèques de l'aquifère, notamment sa nature géologique et ses caractéristiques physiques (Aller. L et al,1987 ; Forster et al, 1987).

La vulnérabilité d'une eau souterraine à la pollution est une notion relative, sans dimension et non mesurable (Vrba & Zaporozec, 1994). Sa caractérisation repose généralement sur l'estimation d'un certain nombre de paramètres, plus ou moins importants, liés notamment à la couverture de la nappe (sol), à la zone non saturée et à la zone saturée proprement dite.

La vulnérabilité dépend de la nature et du type de nappe phréatique, qu'elle soit libre ou captive, ainsi que du mode de circulation de l'eau dans l'aquifère. En l'absence d'un horizon imperméable entre la surface du sol et le toit d'une nappe libre (Nekkoub. A et al, 2020), cela confère un caractère plus vulnérable. Les polluants d'origine superficielle peuvent se diffuser librement dans le sol et la zone non saturée jusqu'au niveau piézométrique. D'autre part, la fluctuation verticale saisonnière du niveau piézométrique conduit à "rincer" les particules de la zone non saturée et à entraîner les substances qui y sont adsorbées. En revanche, les nappes captives, maintenues par des formations imperméables, sont mieux protégées.

Pour accéder à couche superficielle dans un milieu poreux, les polluants transportés par les eaux pénètrent à des nombreux obstacles (figure. B.II.1).

- Le sol : Le sol joue un rôle crucial dans le processus d'infiltration de l'eau vers la nappe. Il constitue la partie supérieure exposée à la pollution et a un impact significatif sur la qualité et la quantité de l'eau qui peut s'infiltrer. De plus, le sol agit comme un puissant moyen d'épuration et de recyclage des eaux. Les sols contenant des pourcentages élevés d'argile et de matière organique ont la capacité d'absorber les cations tels que Ca, Mg, K, Na, ainsi que des métaux lourds et certaines molécules organiques.

Le microbiote du sol peut assainir le sol en éliminant ses substances indésirables.

- La Zone Non Saturée, située entre la surface du sol et la surface supérieure de la nappe phréatique, constitue une étape clé dans le trajet d'un polluant. L'épaisseur de cette zone influence le temps nécessaire au transfert d'un polluant jusqu'à la nappe, jouant ainsi un rôle

crucial dans le filtrage de certains matériaux et leur préservation, surtout lorsque la granulométrie est plus fine. Cette zone est caractérisée par la présence d'air, de matière organique et d'acides. Contrairement à la zone saturée, la zone non saturée a naturellement le pouvoir de s'auto-épurer.

- Dans la Zone Saturée, la filtration se poursuit dans le milieu poreux de la nappe. Cependant, le rôle de purification dans cette couche est relativement faible par rapport à la couche non saturée. Cela est dû à la rareté et à l'absence d'oxygène, de matières organiques et de micro-organismes. Néanmoins, la dilution joue un rôle significatif dans cette zone, en raison du débit élevé de la nappe, de la vitesse élevée et de la transmissivité élevée.

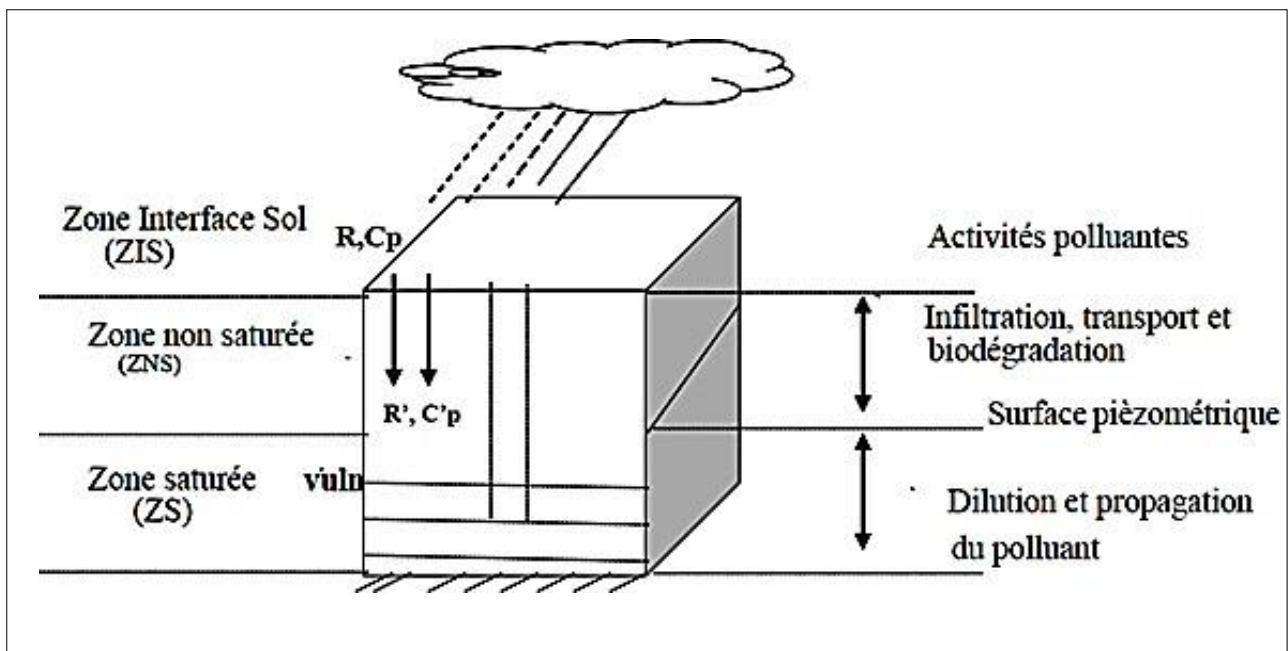


Figure. B. II. 1. Schéma représente de la pollution des eaux souterraines.

La protection de la nappe sera d'autant meilleure que le sol et la zone non saturée sont épais, que leur granulométrie est fine, que la vitesse de percolation de l'eau dans la nappe est faible.

Certains facteurs sont pris en compte pour estimer la vulnérabilité des aquifères à la contamination chimique. Ces facteurs peuvent inclure les éléments suivants (figure. B.II.2) :

- Les modalités d'infiltration des contaminants dans la nappe ;
- La diffusion des contaminants dans la nappe ;
- La rétention du polluant dans la nappe.

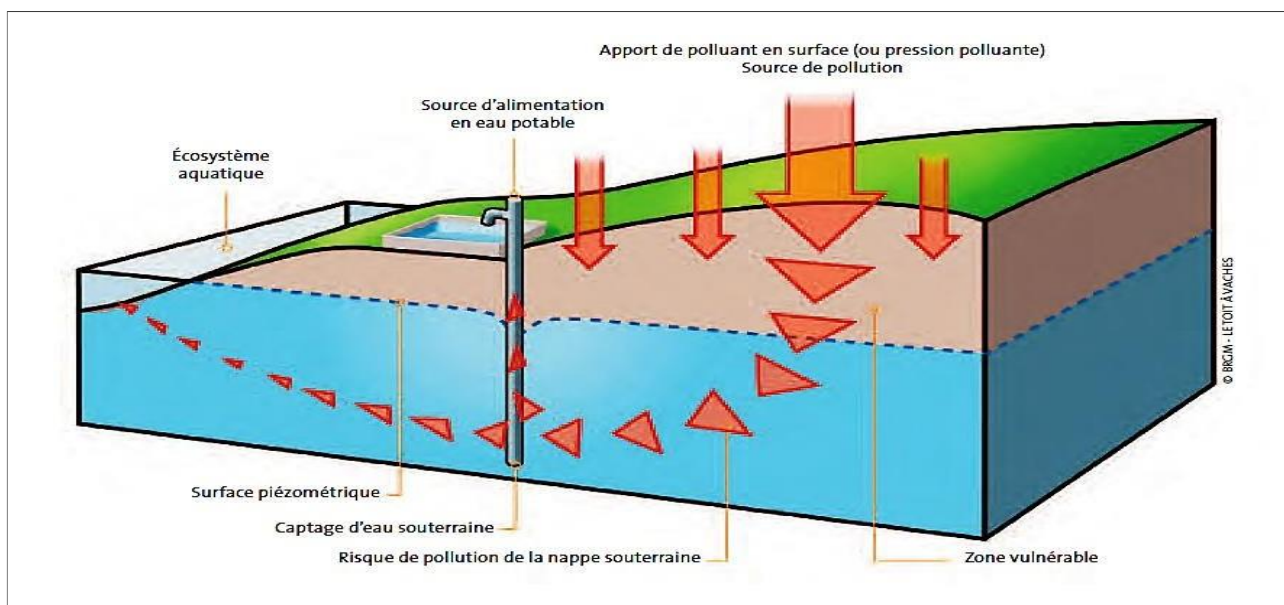


Figure. B. II. 2. Vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines.

## II. 2. METHODOLOGIE D'ÉVALUATION DE LA POLLUTION

La cartographie de la vulnérabilité intrinsèque à la pollution des eaux souterraines est un outil essentiel pour identifier et comprendre les zones à risque élevé de pollution. Indépendamment de la nature et du type de polluant, ainsi que des facteurs tels que la vitesse de migration et la dégradation du contaminant, cette cartographie devrait idéalement orienter les plans d'occupation des sols. Elle peut également servir de base pour la mise en place de mesures préventives strictes dans les zones identifiées comme particulièrement vulnérables à la contamination des eaux souterraines (Menani. M.R., 2001).

Autrement, l'objectif des cartes de vulnérabilité est de diviser la zone d'étude en plusieurs unités avec des différents niveaux de vulnérabilité (Ncibi. K et al 2020; Nekkoub. A, 2020).

Tout à fait, la cartographie de la vulnérabilité de l'aquifère joue un rôle essentiel dans la gestion durable de la nappe. En identifiant les zones les plus vulnérables à la pollution, elle permet aux autorités de mettre en place des mesures de prévention et d'intervention rapides et appropriées en cas de contamination. Cela contribue à une gestion proactive de la ressource en eau souterraine, visant à la protéger et à prévenir les risques potentiels liés à la pollution (Twana. O. A, 2016; Ramesh. J, 2020).

Effectivement, la cartographie de la vulnérabilité dans une zone dépend fortement de la disponibilité des données, en particulier celles liées aux horizons géologiques situés entre l'aquifère et la surface du sol (Nadjla. B et al, 2018 ; Abdoulaye. P et al, 2022).

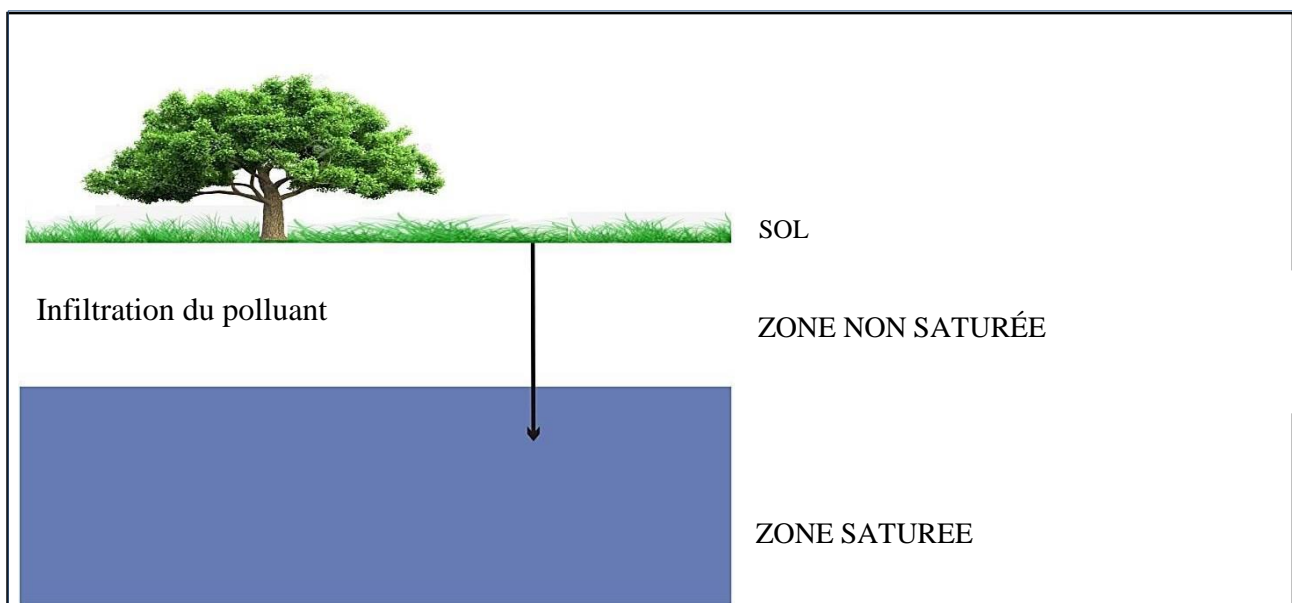


Figure. B. II. 3. Schéma explicatif montrant le trajet d'un polluant dans les trois compartiments géologique (sol, zone non saturée, zone saturée).

La carte de vulnérabilité est en effet un outil standard crucial pour la protection des eaux souterraines contre toute éventuelle source de pollution (Samir A et al., 2019). Elle est considérée comme un document fondamental pour l'aménagement du territoire et s'avère précieuse pour toute prise de décision future (Sabah. L; Salah. C, 2017). Son utilité réside notamment dans sa capacité à orienter le choix des sites pour les projets de développement, en tenant compte des conséquences potentielles sur la qualité des ressources en eau souterraine. Cela contribue à une gestion plus durable et préventive de la nappe phréatique.

Le Système de (SIG) est l'outil idéal pour appliquer la méthodologie d'élaboration des cartes de la vulnérabilité et de traitement des données. Cette méthodologie facilite l'analyses multicritère et la mise à jour des modèles élaborés (Goodchild. M. F, 1996; Samir A and al, 2019).

La mise en place de cartes de vulnérabilité à l'aide d'un Système d'Information Géographique (SIG) nécessite effectivement la construction d'une base de données essentielle pour la gestion des ressources en eau (Samir. B, Hamed. B. D, 2008). Cette base de données constitue le cœur du système d'information géographique, et elle est cruciale pour stocker, organiser et gérer les informations spatiales nécessaires à l'analyse de la vulnérabilité des eaux souterraines.

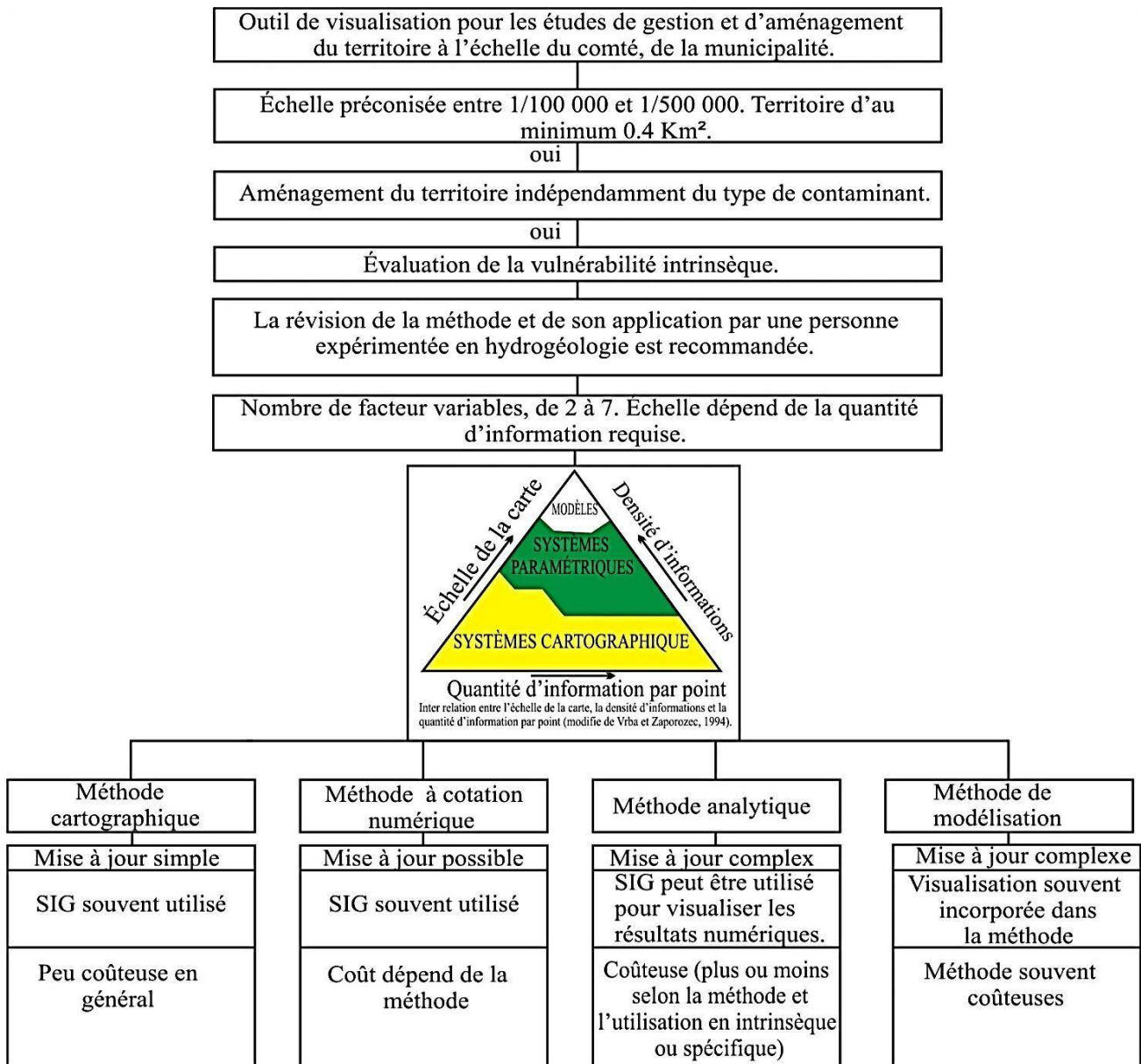


Figure. B. II. 4. Organigramme pour l'aboutissement à une méthode d'évaluation de la vulnérabilité. Il semble que la conclusion tirée du diagramme triangulaire, basé sur la densité d'information, suggère que la méthodologie à adopter peut dépendre de la densité des données disponibles. Si la densité d'information est élevée, cela pourrait indiquer que l'échelle recommandée pour les études de vulnérabilité régionales, comme 1/100 000, ne serait pas toujours appropriée. Dans le cas d'une densité de points moyenne, l'utilisation d'une méthode à cotation numérique pourrait être préférable. Cela souligne l'importance d'ajuster la méthodologie en fonction de la disponibilité des données et de la résolution souhaitée pour l'étude de la vulnérabilité des eaux souterraines.

Il est compréhensible que choisir parmi le nombre de méthodes disponibles pour estimer la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution puisse être difficile. La sélection d'une méthode appropriée peut dépendre de divers éléments et critères spécifiques à l'étude en question. Certains facteurs à considérer pour guider le choix des méthodes peuvent inclure :

- Le but de l'évaluation de la vulnérabilité (étude régionale ou étude de caractérisation plus pointue) ;
- Les conditions d'utilisation de la méthode : La méthode sélectionnée doit être appropriée, fiable et adaptée aux besoins spécifiques de l'étude en cours ;
- La quantité d'informations accessible et le nombre de paramètres utilisés, dans le but d'optimiser le rapport coût/fiabilité de l'estimation (Vrba et Zaporozec, 1994) ;
- Les divers obstacles, qu'ils soient d'ordre financier, humain, ou matériel (comme l'accessibilité à des supports informatiques).

L'utilisation de plusieurs méthodes pour élaborer les cartes de vulnérabilité est une approche courante et recommandée dans les études hydrogéologiques. L'utilisation simultanée des méthodes DRASTIC, DRIST et SI, qui partagent les mêmes paramètres, permettra de comparer et de consolider les résultats obtenus à partir de ces différentes méthodes. Chaque méthode peut apporter des perspectives complémentaires ou des nuances à l'évaluation de la vulnérabilité.

## II. 3. EVALUATION DE LA VULNERABILITE PAR DEFFERANTS METHODES

### II. 3. 1. Méthode DRASTIC

Est une approche quantitative utilisant un système de classification numérique basé sur le modèle "PCSM" (Point Count System Model). Cette méthodologie a été développée par l'Agence américaine de protection de l'environnement (EPA) aux Etats-Unis en 1985 et (Aller et al. 1987). Afin d'estimer de la vulnérabilité d'une eau souterraine à être polluée. Elle est identifiée sous l'acronyme DRASTIC. Dans la mise en place de la méthode DRASTIC pour évaluer la vulnérabilité des eaux souterraines, plusieurs étapes sont généralement nécessaires (Ramesh. J and al ,2020) :

- **Collecte de données** : Rassembler toutes les données pertinentes sur les paramètres hydrogéologiques nécessaires à l'application de la méthode DRASTIC. Cela peut inclure la profondeur de la nappe, la recharge nette, la nature de l'aquifère, la nature du sol, la topographie, l'impact de la zone vadose, et la conductivité ;
- **Attribution des scores** : Chaque paramètre est évalué et attribué un score en fonction de son influence potentielle sur la vulnérabilité. Les scores sont généralement déterminés selon des directives prédéfinies ;
- **Calcul du score total** : Les scores attribués à chaque paramètre sont agrégés pour obtenir un score total de vulnérabilité pour chaque emplacement ;
- **Interprétation des résultats** : Les résultats obtenus sont interprétés pour identifier les zones présentant une plus grande ou une moindre vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines ;

- **Cartographie** : Les résultats peuvent être cartographiés pour visualiser spatialement la vulnérabilité de la nappe.

Chaque étape doit être réalisée avec soin pour garantir la fiabilité des résultats. La méthode DRASTIC est largement utilisée en géologie pour évaluer la vulnérabilité des aquifères à la pollution.

La méthode DRASTIC est définie par l'acronyme des lettres initiales de sept paramètres utilisés (figure. B.II.5) pour évaluer de l'indice de vulnérabilité intrinsèque des aquifères,

- D: **D**epth to water ou profondeur du plan d'eau;
- R: **R**echarge ou recharge efficace;
- A: **A**quifer media ou nature lithologique de l'aquifère;
- S: **S**oil media ou nature du sol (granulométrie et faciès);
- T: **T**opography slope ou pente du terrain;
- I: **I**mpact of vadose zone ou impact de la zone non saturée (lithologie et épaisseur);
- C: **C**onductivity of the aquifer ou conductivité hydraulique de la zone saturée. Les paramètres utilisés dans la méthode DRASTIC sont regroupés en trois catégories principales, chacune reflétant différentes caractéristiques du système aquifère. Voici ces catégories :

- ↔ **Paramètres de surface** (Topographie, Recharge nette, Nature du sol) ;
- ↔ **Paramètres de la zone vadose** (Nature de la zone vadose, Profondeur du plan d'eau) ;
- ↔ **Paramètres de l'aquifère** (Nature de l'aquifère, conductivité hydraulique).

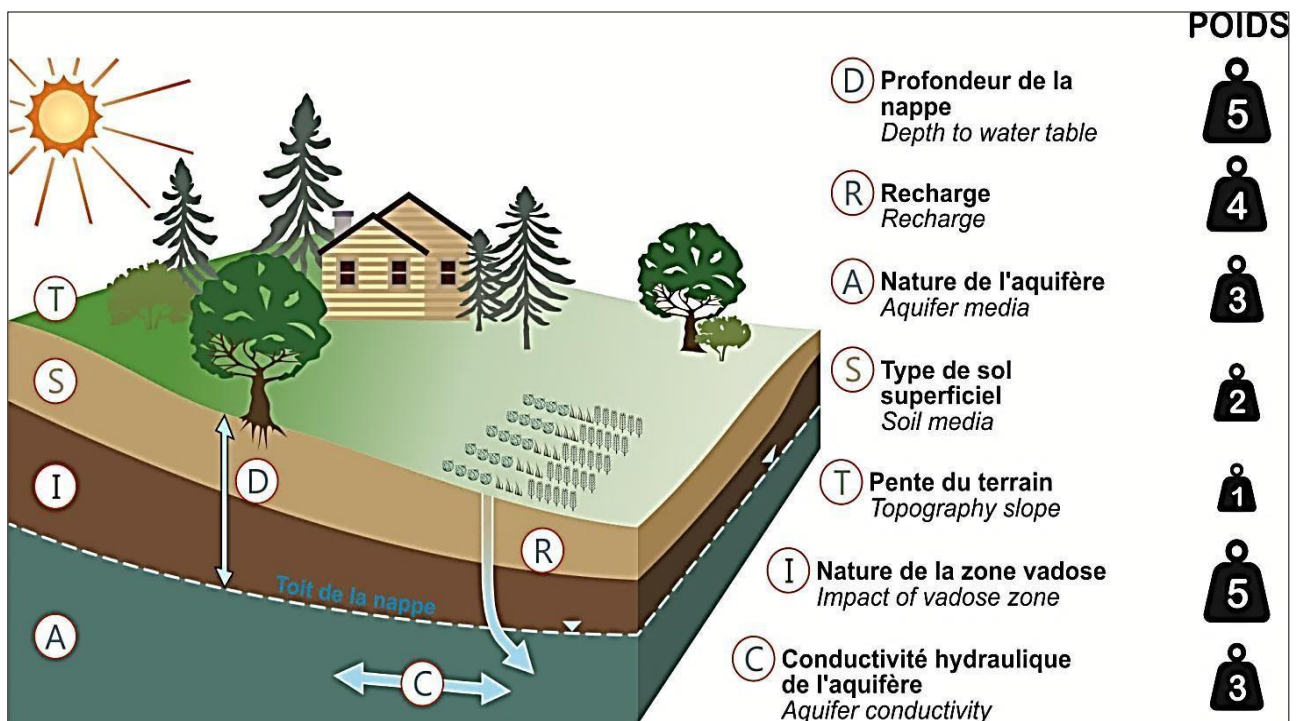


Figure. B. II. 5. Diagramme schématisé de la cartographie de la vulnérabilité selon la méthode DRASTIC (B. Turner and R. Franklin).

Schématiquement, les sept paramètres contribuent à diviser l'unité hydrogéologique en ses principales composantes et affectent à leur tour le devenir des polluants à des degrés divers dans leur migration, leur atténuation dans le sol et leur temps de transit. Cet effet ayant des degrés divers sur ce dernier. Dans la méthode DRASTIC, les paramètres sont attribués des valeurs numériques appelées "poids paramétriques" ils varient généralement entre 1 à 5, reflète le degré d'influence de chacun d'eux, donc plus l'indice DRASTIC est élevé, plus le risque de contamination des eaux souterraines. Chaque paramètre reçoit une cote, généralement entre 1 et 10, définie en fonction d'intervalles de valeurs spécifiques. Cette cote reflète la contribution du paramètre à la vulnérabilité globale. (Mokili. M et al, 2017). Le tableau. B.II.1 suivants résumant les propriétés de chaque paramètre et le poids qui leur est attribué, ainsi que la classification de chaque paramètre.

Tableau. B. II. 1. Classes proposées selon les cotes et les poids attribués pour les sept paramètres DRASTIC

Paramètre DRASTIC	Coefficient de pondération	Note DRASTIC										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
D	5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
R	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
A	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
S	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
T	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
I	5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
C	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Indice DRASTIC		23			92		138		184		226	
Classe de Vulnérabilité		Faible			Moyenne		Forte		Extrême			

Dans le SIG, chaque facteur est évalué au moyen d'une couche à laquelle est attribué un coefficient correspondant au poids du facteur, c'est-à-dire son impact sur la vulnérabilité de la nappe (Bentekhici. N. et Saad. A, 2016). Ensuite, ces couches sont juxtaposées sur une couche résultat où sera calculé l'indice de pollution DRASTIC, également appelé 'DRASTIC Pollution Index (DPI)'.

Il est impératif que les couches superposées partagent les mêmes caractéristiques cartographiques, incluant un système de projection identique, les mêmes unités de longueur, une étendue géographique similaire, ainsi qu'une résolution uniforme. Ceci est essentiel car toutes les opérations seront effectuées sur un format matriciel (Anani A.T, 2006).

Le "DPI" est dépourvu de dimension. Une fois attribué, le chiffre ou l'ordre de grandeur n'a pas de signification en soi. L'unité du "DPI" devient pertinente lors de la comparaison entre deux sites ou d'un site par rapport à plusieurs autres sites. Le site affichant le "DPI" le plus élevé sera considéré comme étant le plus exposé à une éventuelle contamination ou pollution.

### a. Première étape

Comme nous l'avons expliqué dans le tableau précédent, chacun des sept paramètres se voit attribuer une valeur numérique dans la gamme entre 1 à 5 (poids paramétriques Dp, Rp, Ap, Sp, Tp, Ip, Cp). Chaque paramètre est associé à un poids (valeur préétablie) variant entre 1 et 5 (Bouchahm. N, 2009 ; Es Saouini. H, 2015), reflétant l'importance du paramètre dans les mécanismes de transport et d'atténuation des contaminants.

### b. Étape secondaire

Chaque parmi les sept paramètres est lié à une cote allant de 1 à 10, déterminée en fonction d'intervalles de valeurs. La plus basse cote reflète les conditions de vulnérabilité minimale à la contamination (Dc, Rc, Ac, Sc, Tc, Ic, Cc).

Pour chaque unité hydrogéologique, les sept paramètres doivent ensuite faire l'objet d'une évaluation afin d'attribuer à chacun, une cote pouvant faire varier entre 1 et 10. (Guillaume. M et Marie. L, 2015).

### c. Troisième étape

À la dernière étape, une fois que les différentes classes sont définies et que leurs évaluations sont attribuées, la méthode génère l'Indice DRASTIC (Id) spécifique à chaque unité hydrogéologique. Cet indice caractérise le niveau de vulnérabilité d'une zone particulière de la nappe. La vulnérabilité est d'autant plus élevée que l'indice (Id) calculé est élevé. Ce calcul de l'indice implique la somme des produits de chaque évaluation par son poids (Aller et al. 1987 ; Kehinde. A. M, 2018).

$$Id = \sum_{k=0}^n c * p \quad (1)$$

- p : Cote attribuée à chaque terme.
- c : Poids associé à chaque terme.

Pour rappel, les systèmes de classement simple sont largement dérivés des systèmes de Legrand (1964 et 1983). Une plage fixe est donnée à n'importe quel paramètre qui est jugé nécessaire et suffisant pour l'évaluation de la vulnérabilité. La gamme est bien divisée, en fonction de l'intervalle de variation de chaque paramètre. La somme des points de classement donne l'évaluation requise pour tout point ou zone (Al Hallaq A. et Abu Elaish. B, 2011). Le score numérique final est divisé en segments (une valeur minimum de 23 à l'une valeur maximum de 226) exprimant un degré de vulnérabilité relative. Le degré de vulnérabilité se définit comme la montre dans le tableau précédent.

### II. 3. 1. 1. Les paramètres du modèle DRASTIC

Comme mentionné précédemment, la méthode DRASTIC est considérée comme le choix optimal pour la mise en œuvre et la création d'une carte de vulnérabilité (Sbargoud. S, 2013). Ceci s'explique par les conditions spécifiques d'application, la densité des données disponibles, ainsi que la compréhension approfondie des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques du secteur."

#### « D » Depth to water ou profondeur du plan d'eau

Dans le cadre de la méthode DRASTIC, la profondeur de la nappe est identifiée comme l'un des paramètres les plus cruciaux, recevant une pondération de 5. Les valeurs de cote s'étendent de 0 à 31 mètres, et ce paramètre est reconnu comme particulièrement significatif dans l'évaluation de la vulnérabilité. La profondeur de la nappe joue un rôle crucial dans le temps de transfert des polluants et leur potentiel de dégradation. Souvent, la zone de profondeur de la nappe est le lieu principal du phénomène d'autoépuration. Il est important de noter que la cartographie de ce paramètre peut parfois présenter des défis en raison des composants de la zone vadose et de la profondeur de la nappe. Par ailleurs, la capacité d'atténuation tend à augmenter avec la profondeur de l'aquifère (figure. B.II.6).

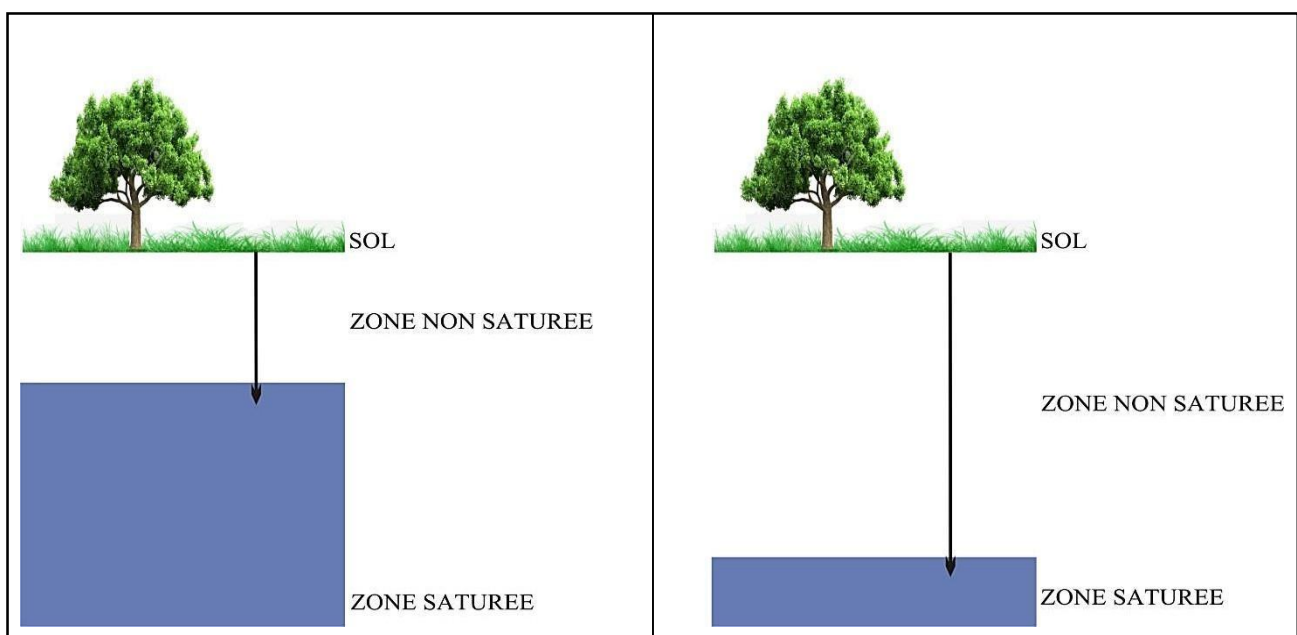


Figure. B. II. 6. Profondeur de la nappe d'eau conditionnant le degré du transfert du polluant.

#### « R » Net Recharge ou recharge efficace

La recharge de l'aquifère, en tant que paramètre, joue un rôle majeur dans le transport des contaminants vers l'aquifère. Cependant, il demeure l'un des paramètres les plus complexes à évaluer. Il définit la quantité d'eau qui s'infiltré et rejoint l'aquifère par unité de surface. La recharge nette est étroitement liée à l'infiltration efficace, ainsi qu'à sa répartition dans l'espace et dans le temps, in-

cluant des facteurs tels que l'évapotranspiration, les précipitations, la topographie, et la nature des formations superficielles.

Il y a une proportionnalité directe, plus le niveau d'eau des précipitations est élevé, plus la possibilité de pollution d'aquifère est plus grande (figure. B.II.7).

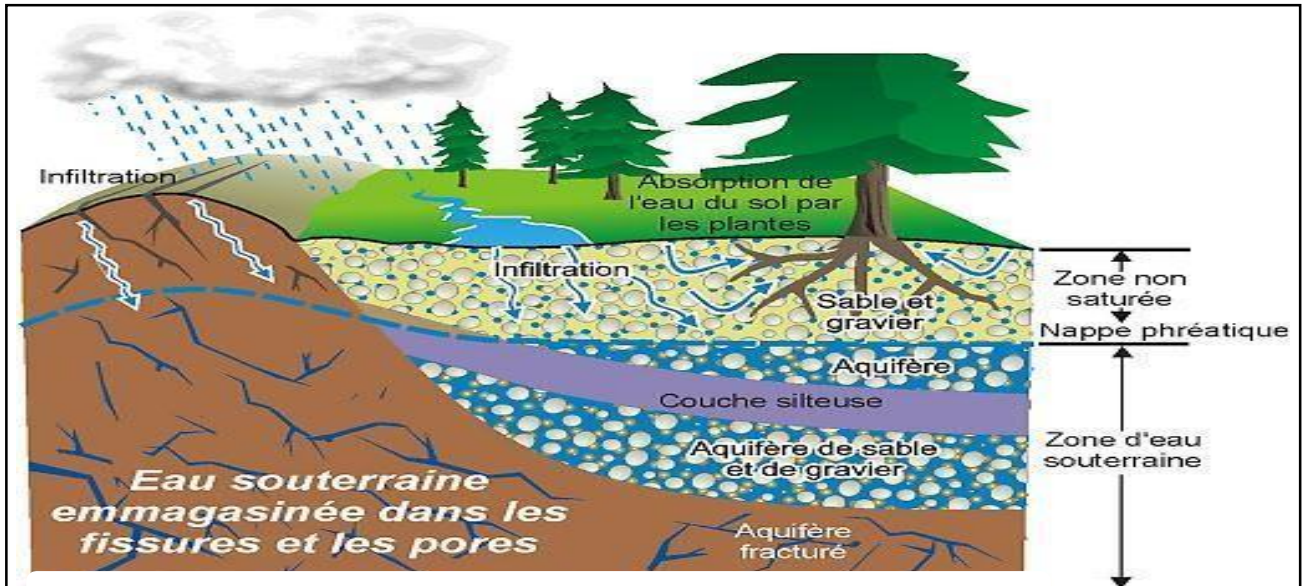


Figure. B. II. 7. Recharge de la nappe.

#### « A » Aquifer media ou milieu aquifère

C'est un fondement essentiel et d'une importance accrue dans la méthode DRASTIC. La migration du polluant vers la nappe est influencée par la nature lithologique et les caractéristiques hydrodynamiques de la zone non saturée, qui jouent un rôle crucial dans leur atténuation et leur propagation (figure B.II.8).

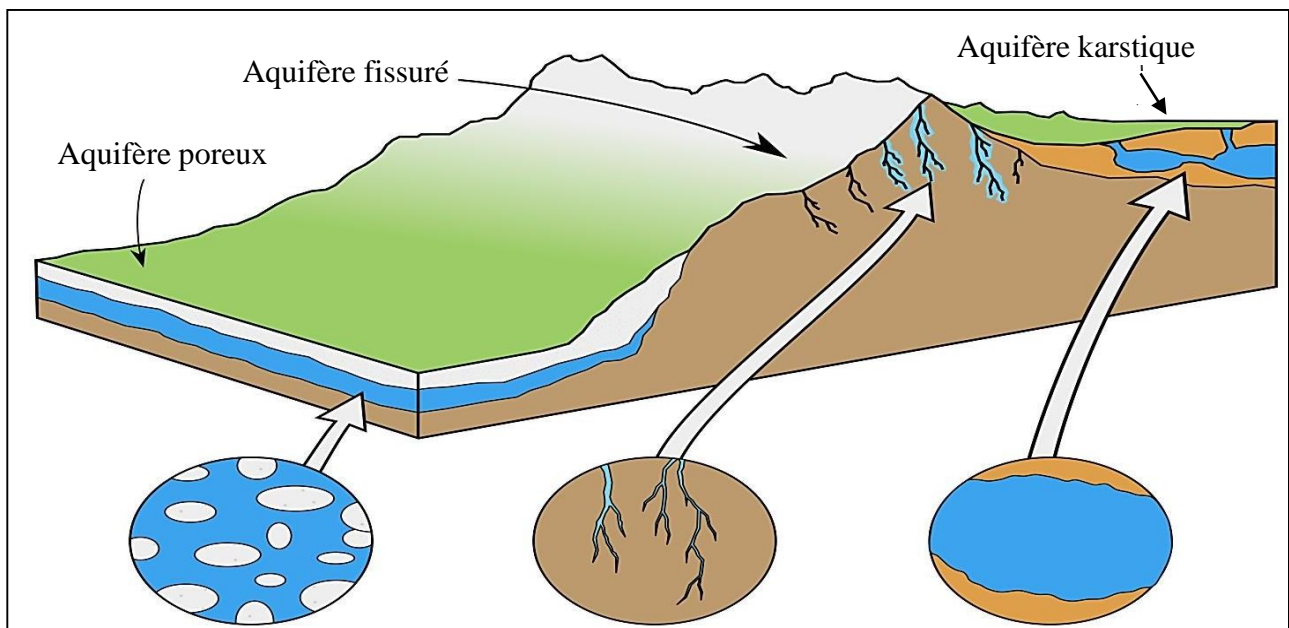


Figure. B. II. 8. Différent type d'aquifère.

### « S » Soil media ou type de sol

Le sol représente une couche d'altération qui recouvre la partie supérieure de la zone non saturée. Il est composé d'un mélange de fractions minérales et organiques, caractérisé par une forte activité biologique. Le paramètre du sol a été attribué à un indice faible (cote 2), avec une cote variant selon la texture du sol. Le sol peut influencer le processus de propagation du polluant vers l'aquifère en le retardant, le réduisant ou l'accéléralant. Cette influence varie d'un type de sol à un autre, dépendant principalement de facteurs tels que le pourcentage d'argile constituant le sol, la perméabilité du sol, et la présence de matière organique, d'acides humiques et de minéraux argileux. En revanche, dans un sol sableux, le risque de contamination devient très élevé.

### « T » Topography ou pente du terrain

Selon la méthode DRASTIC, ce paramètre est représenté par les valeurs de la pente, calculées en pourcentage. Ces valeurs fournissent une estimation de la vulnérabilité d'un aquifère à la pollution, avec un indice très bas (cote de 1) et des évaluations variantes entre 0 et 18 %. La pente conditionne le ruissellement de l'eau et sa stagnation, ce qui, en soi, influence le risque d'infiltration d'un polluant dans l'aquifère.

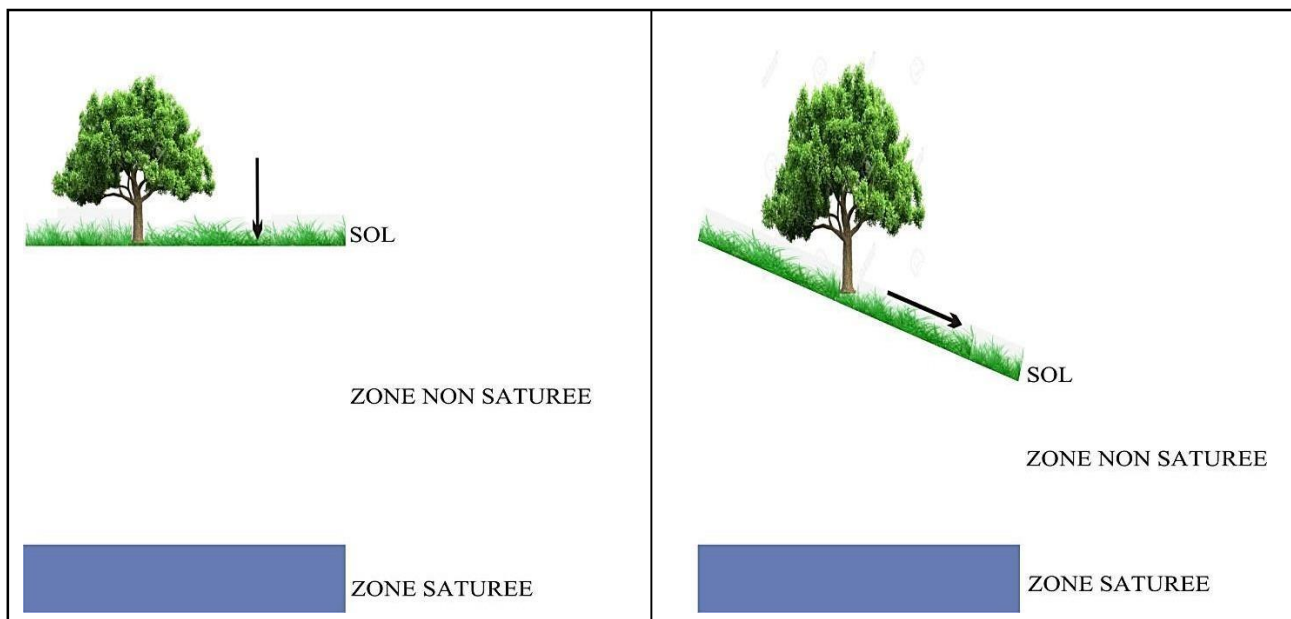


Figure. B. II. 9. Infiltration du contaminant par rapport à la pente.

### « I » Impact de la zone vadose (zone non saturée)

La nature lithologique de la zone non saturée joue un rôle central dans la propagation des polluants vers la nappe. Ce paramètre est d'une importance primordiale dans la méthode DRASTIC, avec une pondération de 5. L'impact de cette zone sur le potentiel de pollution de l'aquifère dépend essentiellement de sa perméabilité et de sa capacité d'atténuation.

### « C » Conductivité hydraulique de l'aquifère.

C'est un élément fondamental et d'une importance accrue dans cette méthode. La conductivité hydraulique, qui contrôle le taux de propagation des polluants, joue un rôle essentiel : plus elle est élevée, plus le transfert de contaminants est rapide. Les valeurs de conductivité hydraulique utilisées pour calculer les degrés de vulnérabilité dans une région sont généralement obtenues à partir des essais de pompage. En l'absence de ces essais, cette valeur est estimée à partir des caractéristiques géologiques du milieu aquifère. Les cotes attribuées aux sept paramètres de la méthode DRASTIC sont généralement présentées dans le tableau B.II.2, où la cote 10 correspond au degré de vulnérabilité le plus élevé.

Tableau. B. II. 2. Les cotes accordées aux paramètres de la méthode DRASTIC (d'après Lallemand-Barrès, 1994).

D : DISTANCE A LA NAPPE, EPAISSEUR DE LA ZONE NON SATUREE			R : RECHARGE (PLUIE EFFICACE)		
POIDS = 5			POIDS = 4		
Valeurs en mètre		COTE	Valeurs en mm		COTE
0 - 1,5		10	> 25,5		9
1,5 - 4,5		9	17,5 -25,5		8
4,5 - 9		7	10 - 17,5		6
9 - 15		5	5 - 10		3
15 - 22		3	0 - 5		1
22,5 - 30		2			
>30		1			
A : TYPE D'AQUIFERE			S : NATURE DU SOL		
POIDS = 3			POIDS = 2		
LITHOLOGIE DE L'AQUIFERE	COTE	COTE-TYPE	TYPE DE SOLS	COTE	
Calcaire karstique	9-10	10	Sol mince ou absent	10	
Basalte	2-10	9	Gravier	10	
Sable et gravier	4-9	8	Sable	9	
Calcaire massif	4-9	6	Tourbe	8	
Grès massif	4-9	6	Argile fissurée	7	
Lits de grès, calcaire et shale	5-9	6	Loam sableux	6	
Till	4-6	5	Loam	5	
Roches ignées/métamorphiques altérées	3-5	4	Loam silteux	4	
Roches ignées/métamorphiques	2-5	3	Loam argileux	3	
Shale massif	1-3	2	Terre noire	2	
			Argile	1	
T : TOPOGRAPHIE, PENTE			I : NATURE DE LA ZONE NON SATUREE		
POIDS = 1			POIDS = 5		
VALEURS EN % DE LA PENTE	COTE		NATURE DE LA ZONE VADOSE	COTE	COTE-TYPE
0 - 2	10		Calcaire karstique	8-10	10
2 - 6	9		Basalte	2-10	9
6 - 12	5		Sable et gravier	6-9	8

12 – 18	3	Roches ignées/métamorphiques	2-8	4
>18	1	Sable et gravier avec silt et argile	4-8	6
		Lits de calcaire, grès et shale	4-8	6
		Grès	4-8	6
		Calcaire	2-7	6
		Shale	2-5	3
		Silt/argile	2-6	3
		Couche imperméable	1	1
<b>C : PERMEABILITE</b>				
<b>POIDS = 3</b>				
PLAGE DE LA PERMEABILITE (en m/s)		COTE		
9,4 x 10 <sup>-4</sup> m/s		10		
4,7 x 10 <sup>-4</sup> – 9,4 x 10 <sup>-4</sup> m/s		8		
32,9 x 10 <sup>-5</sup> – 4,7 x 10 <sup>-4</sup> m/s		6		
14,7 x 10 <sup>-5</sup> – 32,9 x 10 <sup>-5</sup> m/s		4		
4,7 x 10 <sup>-5</sup> – 14,71 x 10 <sup>-5</sup> m/s		2		
1,7 x 10 <sup>-7</sup> – 4,7 x 10 <sup>-5</sup> m/s		1		

Après avoir déterminé les sept paramètres de la méthode DRASTIC, nous calculons l'indice DRASTIC de vulnérabilité intrinsèque pour chaque unité hydrogéologique. Comme illustré dans le tableau B.II.2 précédent, nous subdivisons la gamme en valeurs potentielles en fonction de l'intervalle de variation de chaque paramètre.

### II. 3. 2. Méthode DRIST (ou DRASTIC modifiée)

Cette méthode, élaborée au Maroc et proposée par M. Sinan (2000), spécifie les mêmes paramètres que ceux déterminés par la méthode DRASTIC. Elle se concentre particulièrement sur les paramètres liés exclusivement à la zone non saturée de la nappe, qui jouent un rôle dans le transfert vertical de la pollution depuis la surface du sol (Drias. T et Toubal. A. C, 2015). Il est important de noter que la perméabilité et la lithologie de la zone saturée seulement n'intervient pas dans ce processus de transfert.

Les paramètres utilisés par la méthode DRIST (ou DRASTIC modifiée) sont :

- D: Depth to water ou profondeur du plan d'eau;
- R: Net Recharge ou recharge efficace;
- I: Impact of vadose (lithologie et épaisseur);
- S: Soil media ou nature du sol (granulométrie et faciès);
- T: Topography slope ou pente du terrain.

Les poids et les cotes attribués aux divers paramètres sont identiques à ceux définis dans la méthode DRASTIC. L'indice de vulnérabilité verticale ( $Iv$ ) est calculé en additionnant les produits de chaque cote par son poids :

$$Iv = \sum_{k=0}^n c * p \quad (2)$$

- p. Cote attribuée à chaque terme.
- c. Poids associé à chaque terme.

Tableau. B. II. 3. Classes de vulnérabilité dans la méthode DRIST

Degré de vulnérabilité	Indice de vulnérabilité
Très faible	27 – 50
Faible	50 – 80
Moyen	80 – 110
Elevé	110 – 140
Très élevé	140 – 166

### II. 3. 3. Méthode SI (Susceptibility Index)

Développée au Portugal par M. Ribeiro (2000), cette méthode est un indice de sensibilité qui évalue la vulnérabilité verticale spécifique à la pollution agricole, principalement par les nitrates et les pesticides. La méthode DRASTIC a été utilisée comme fondement, conservant quatre paramètres d'origine (D : profondeur de la nappe, R : recharge efficace de l'aquifère, A : lithologie de l'aquifère, et T : pente topographique du terrain). Un nouveau paramètre a été introduit : le type d'occupation du sol (OS). Ce paramètre est classé selon la classification CORINE Land Cover (European Community, 1993) (tableau B.II.4).

Le calcul de l'indice de vulnérabilité ( $Isi$ ) se fait en sommant les produits des cotes par les poids des paramètres correspondants.

$$Isi = \sum_{k=0}^n c * p \quad (3)$$

Les cinq paramètres hydrogéologiques de la méthode SI sont représentés par les variables D, R, A, T, et OS.

p : Etant le poids du paramètre c'est un facteur de pondération (varie de 0,186 à 0,222).

c : La cote associée (varie de 0 à 100)

Chaque classe d'occupation des sols se voit attribuer une valeur appelée facteur d'occupation des sols, notée LU, variant de 0 à 100. Il est important de noter que les valeurs des cotes assignées aux différentes classes des paramètres ont été multipliées par 10 pour faciliter la lecture des résultats obtenus (Batchi. M et al, 2017). Par conséquent, ces valeurs varient de 0 à 100, représentant le degré de vulnérabilité, du moins vulnérable au plus vulnérable. Les poids attribués aux paramètres SI varient de 0 à 1 en fonction de l'importance du paramètre dans la vulnérabilité (tableau B.II.5).

Tableau. B. II. 4. Les principales classes d'occupation des sols et valeurs correspondantes.

Occupation des sols selon la classification CORINE Land Cover	Valeur du facteur d'occupation des sols LU (Land use factor)
Décharge industrielle, décharge d'ordures, mines	100
Périmètres irrigués, rizières	90
Carrière, chantier naval	80
Zones artificielles couvertes, zones vertes	75
Cultures permanentes	70
Zones urbaines discontinues	70
Pâturages et zones agroforestières.	50
Milieux aquatiques (marais, salines, etc.	50
Forêts et zones semi naturelles	0

Tableau. B. II. 5. Poids attribués aux paramètres SI

Paramètres	D	R	A	T	OS
Poids	0,186	0,212	0,259	0,121	0,222

La méthode SI présente quatre degrés de vulnérabilité selon les valeurs des indices obtenues (tableau. B.II.6).

Tableau. B. II. 6. Les classes d'indices SI et leurs degrés de vulnérabilité

Degré de vulnérabilité	Indice de vulnérabilité
Faible	< 45
Moyen	45 – 64
Elevé	65 – 84
Très élevé	85 – 100

### III. ELABORATION DE LA CARTE DE VULNERABILITE DE LA PARTIE ORIENTALE DE LA PLAINE DE LA M'LETA

L'objectif majeur de cette étude est de générer une carte de la vulnérabilité intrinsèque à la pollution de la nappe dans la plaine de la M'léta en appliquant la méthode DRASTIC. Cela implique l'analyse des données relatives aux caractéristiques physiques des trois composantes : sol, zone non saturée et zone saturée, comme précédemment mentionné.

Les cartes ont été élaborées au sein de la structure principale d'un Système d'Information Géographique (SIG) utilisant "ArcGIS", qui se révèle être un puissant outil d'analyse.

#### III. 1. EVALUATION DES PARAMETRES DRASTIC et SI

##### (D) Profondeur

En fonction des campagnes piézométriques et des valeurs enregistrées aux niveaux des forages captant le complexe du Mio-Pliocène qui a été mesurés au cours de l'année 2022 tableau. B.III.1.

La profondeur du plan d'eau dans la partie orientale de la Plaine de la M'léta fluctue entre 1 et 65 mètres, avec les zones de faible profondeur localisées au Nord-Ouest de la plaine qui sont particulièrement vulnérables à la pollution (figure B.III.1).

Tableau. B. III. 1. Codification de la classe des profondeurs d'eau.

Intervalle	Cote	Poids	Indice DRASTIC
0 - 1	10	5	50
9 - 15	5	5	25
15 - 23	3	5	15
23 - 31	2	5	10
> 31	1	5	5

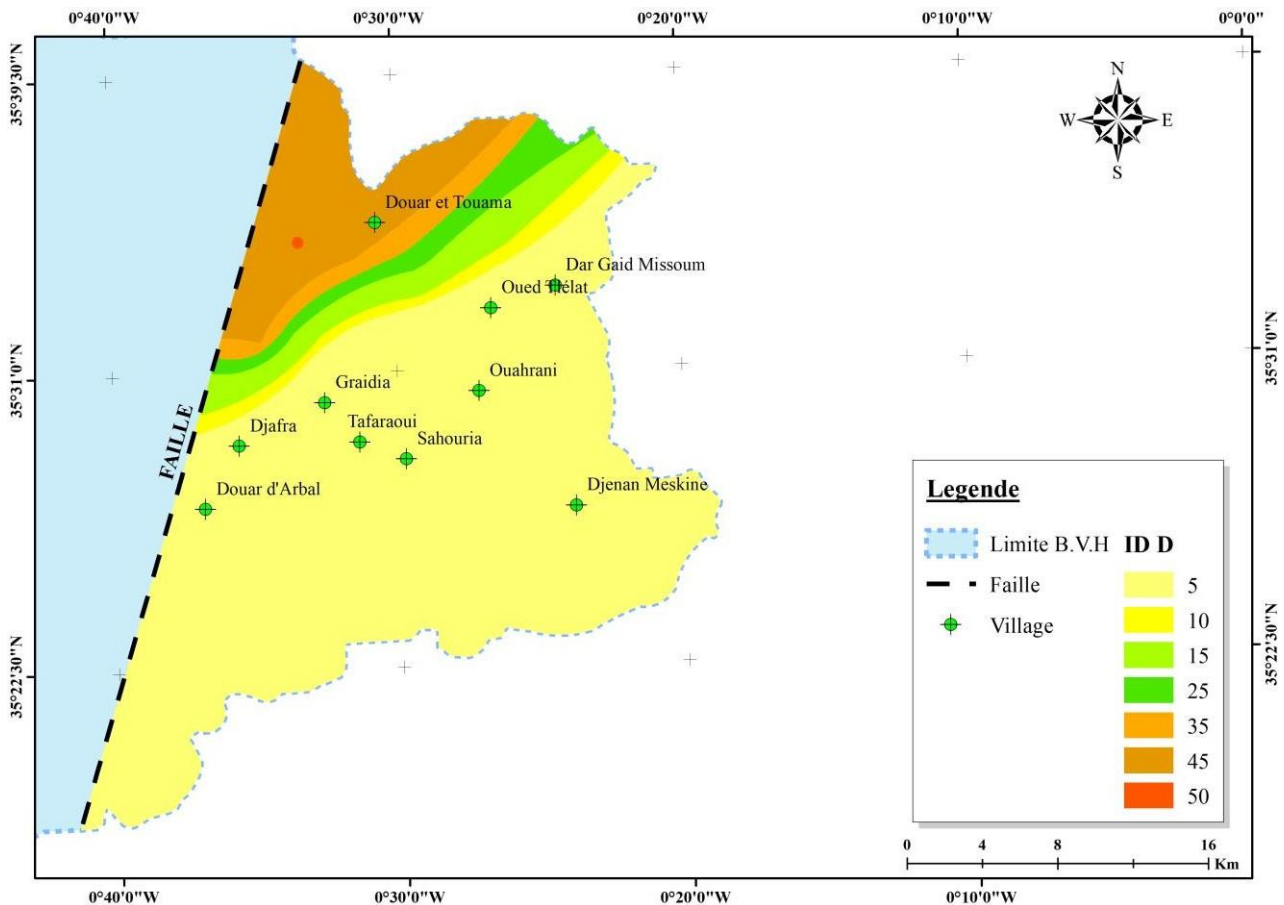


Figure. B. III. 1. Carte de vulnérabilité liée à la profondeur de l'eau.

### (R) Recharge Efficace

La recharge représente la capacité d'eau qui atteint la zone saturée pendant une période spécifiée. Ce processus est étroitement lié à l'infiltration efficace, qui dépend de la répartition spatio-temporelle des paramètres énergétiques tels que les températures, les précipitations et l'évapotranspiration, ainsi que de la topographie et de la nature des formations superficielles. La recharge joue un rôle clé en tant que principal vecteur des contaminants vers l'aquifère.

Les résultats de l'étude hydro-climatique évoquée dans le premier chapitre nous ont permis d'estimer la recharge à 37,19 mm, valeur qui nous semble au premier abord supérieure à sa valeur car nous n'avons pas pris en compte du contexte géologique.

Les résultats du bilan hydrologique des stations météorologiques, selon l'O.N.M en 2018 et l'A.N.R.H en 2021, révèlent que la valeur moyenne de ce paramètre a été estimée à 25 mm dans l'ensemble du bassin. Cette estimation nous semble fidèle à la réalité, compte tenu du transfert entre les apports provenant du Djebel Tessala et de l'infiltration qui régule l'équilibre hydrodynamique de l'aquifère Plio-Quaternaire. Pour la codification, l'intervalle retenu se situe entre 17,5 et 25,5 (tableau B.III.2).

Tableau. B. III. 2. Codification de la classe de la recharge.

Intervalle	Cote	Poids	Indice DRASTIC
17,5 -25,5	8	4	32

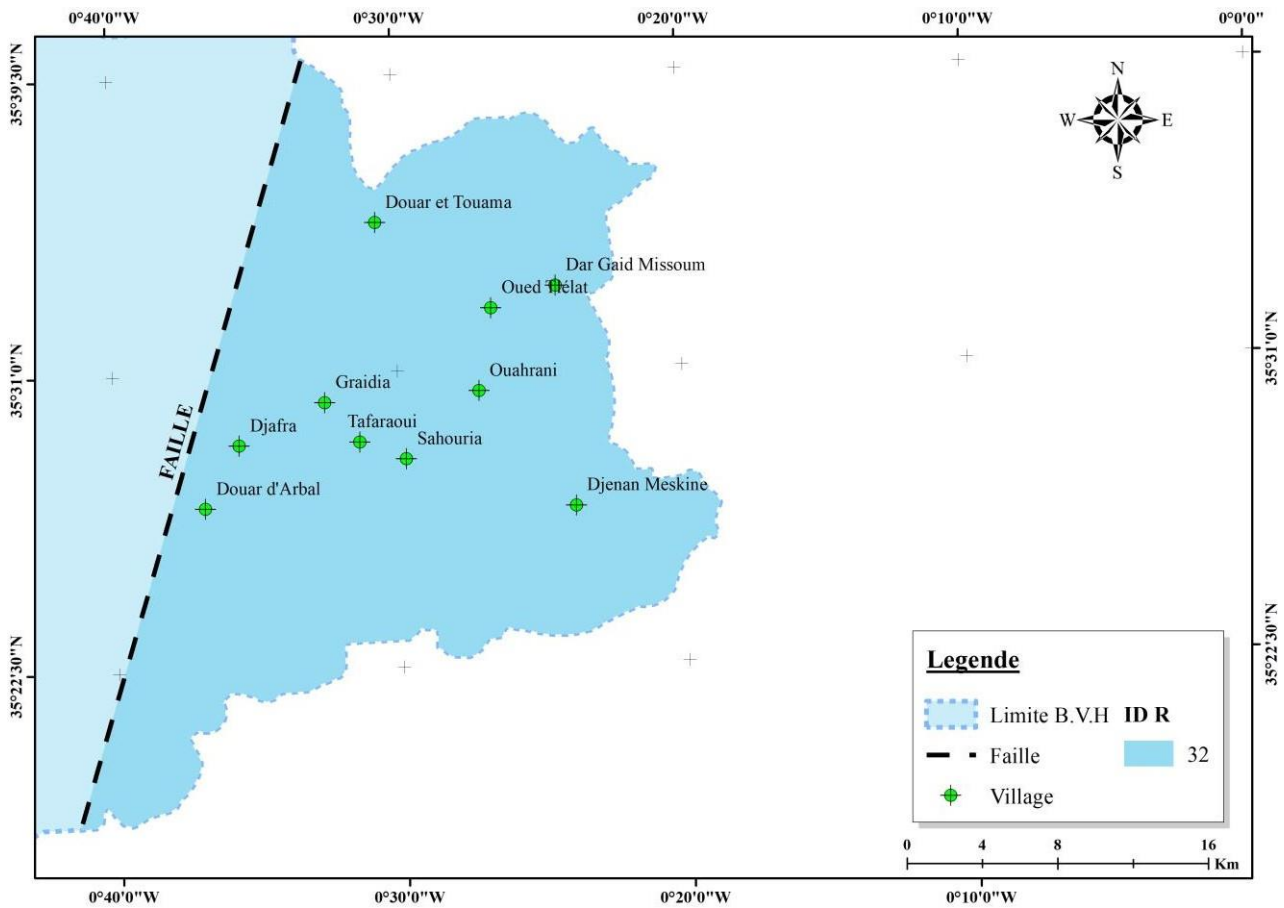


Figure. B. III. 2. Carte de vulnérabilité liée à la recharge de la nappe

### (A) La Nature de l'Aquifère

Ce paramètre a été discuté plus tôt, il est désigné la lithologie de l'aquifère. Selon des coupes lithologiques existantes au niveau des forages et des sondages et des coupes géologiques et selon nos investigations de terrain à travers la zone d'étude et captant la nappe du complexe du Mio-Pliocène, nous avons pu délimiter ce paramètre sur l'ensemble de la zone.

L'examen de ces données a mis en lumière la présence de deux matériaux aquifères particulièrement vulnérables à la pollution, avec des indices estimés conformément à la notation présentée dans le tableau B.III.3.

Tableau. B. III. 3. Codification de la classe de la nature d'aquifère.

Lithologie de l'Aquifere	Cote	Poids	Indice DRASTIC
Lits de grès, calcaire et shale	6	3	18
Calcaire karstique	10	3	30

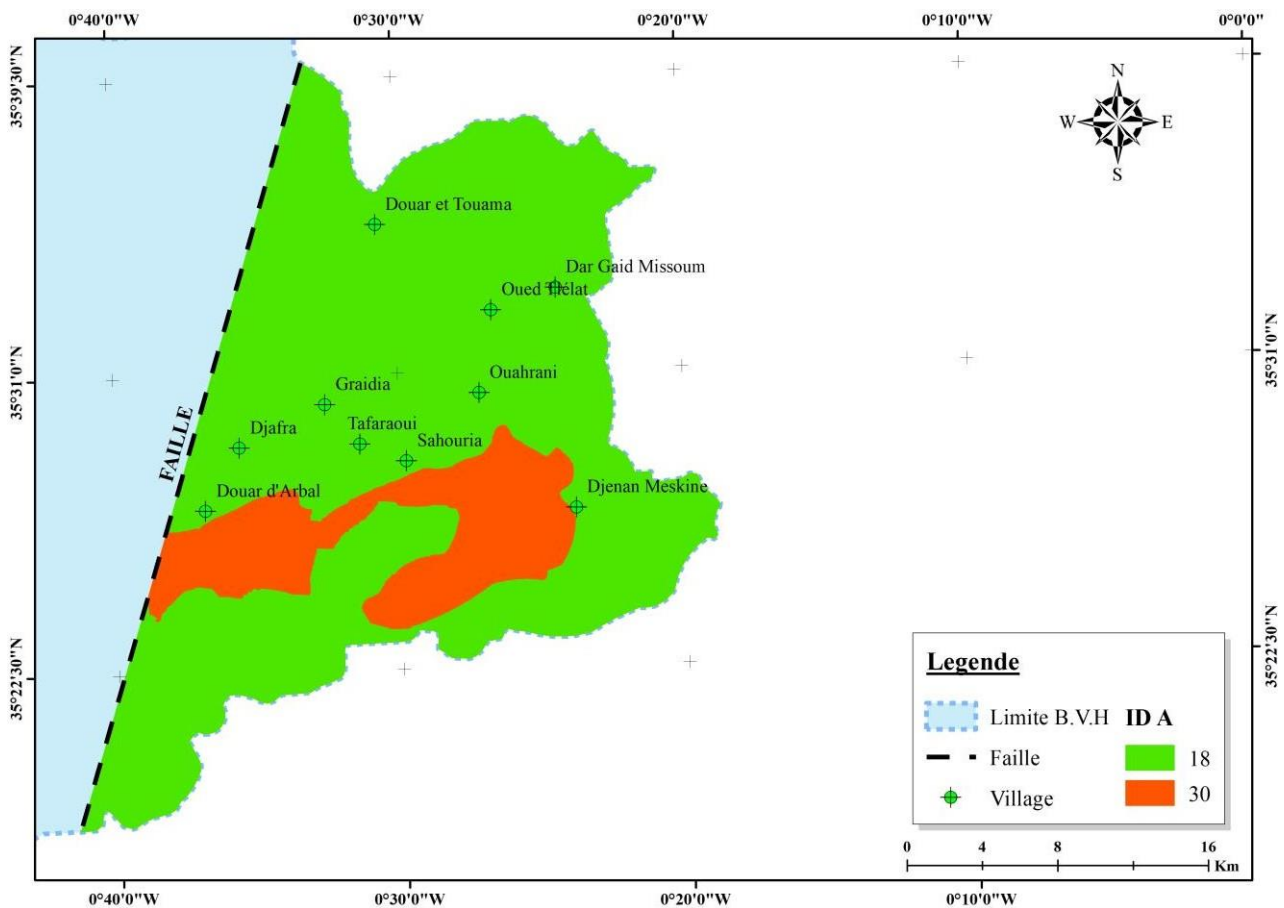


Figure. B. III. 3. Carte de vulnérabilité liée à la nature de l'aquifère

### (S) La Nature du Sol

La carte pédologique de la nappe de la M'leta, établie par le B.N.E.D.E.R en 2005, a permis de classier la zone en deux catégories de vulnérabilité distinctes, comme illustré dans le tableau B.III.4.

- ✦ Les sols peu évolués qui sont surtout présents dans la frange Sud, dans les cônes d'épandage de crues des oueds provenant des monts des Tessalas.
- ✦ Les sols calcimagnésiques qui sont largement répandus dans la plaine alluviale de l'oued Tlélat.

Tableau. B. III. 4. Codification de la classe de la nature du sol.

Type de Sols	Cote	Poids	Indice DRASTIC
Sol peu évolué	5	2	10
Sols calcimagnésiques	3	2	6

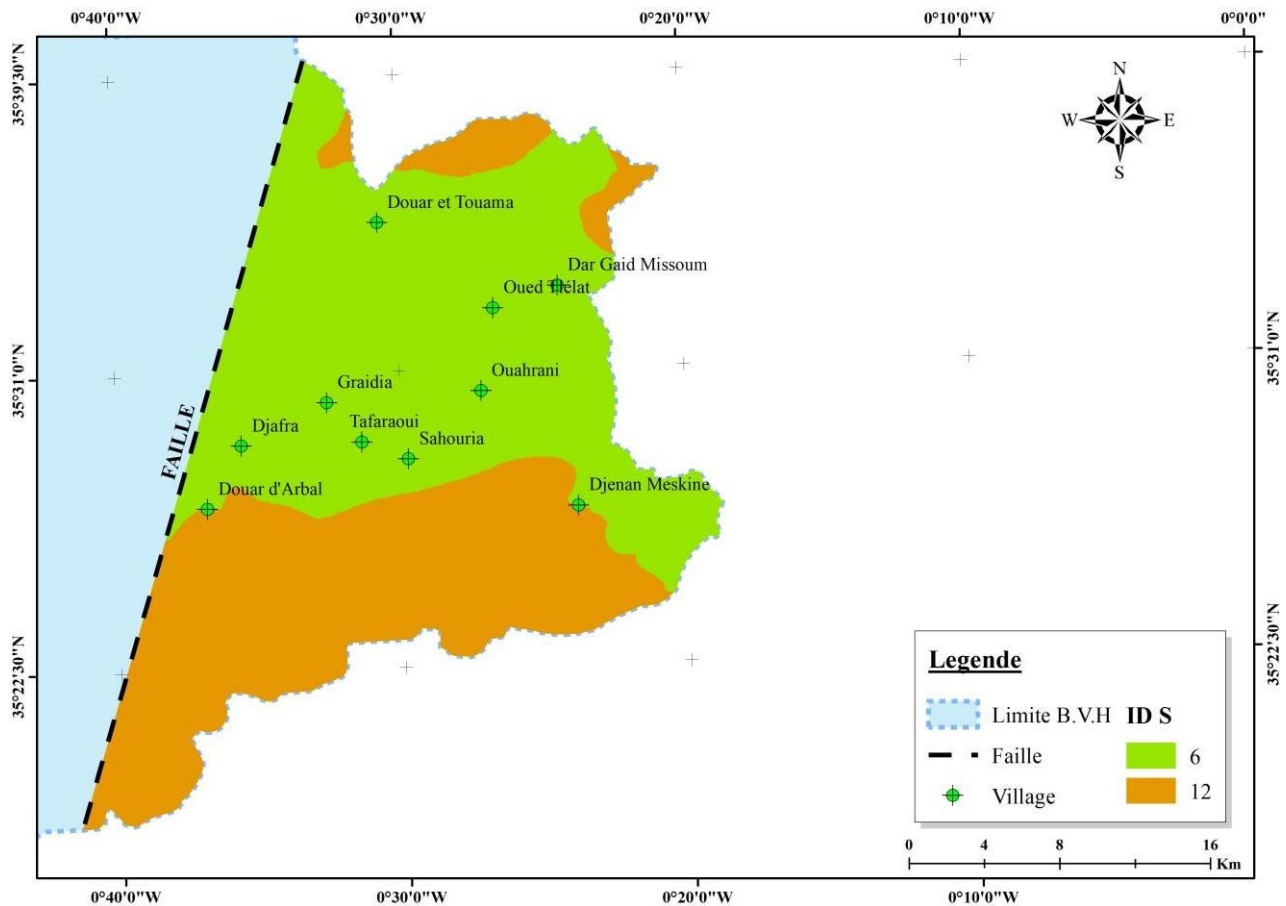


Figure. B. III. 4. Carte de vulnérabilité associée à la nature du sol

**(T) Topographie**

Comme évoqué précédemment, la carte des pentes, basée sur les cartes topographiques (1/50000ème) et le Modèle Numérique de Terrain, est classée en quatre catégories de pentes, comme illustré dans le tableau B.III.5.

La classe de pente la plus faible (0 - 2 %) domine la quasi-totalité dans notre région d'étude.

Tableau. B. III. 5. Codification de la classe de la Topographie.

Intervalle	Cote	Poids	Indice DRASTIC
0 - 2	10	1	10
2 - 6	9	1	9
12 - 18	3	1	3
18 et PLUS	1	1	1

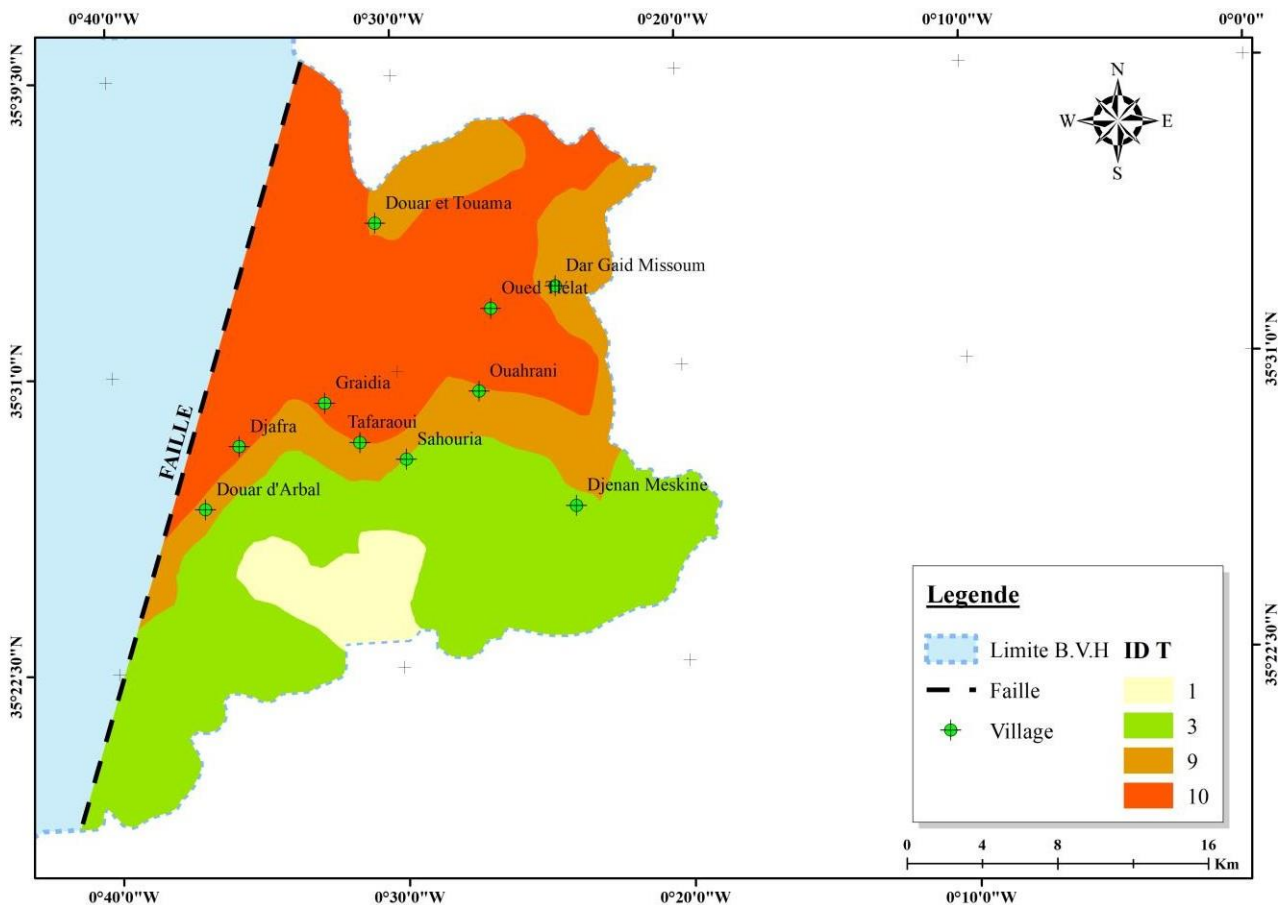


Figure. B. III. 5. Carte de vulnérabilité liée à la topographie.

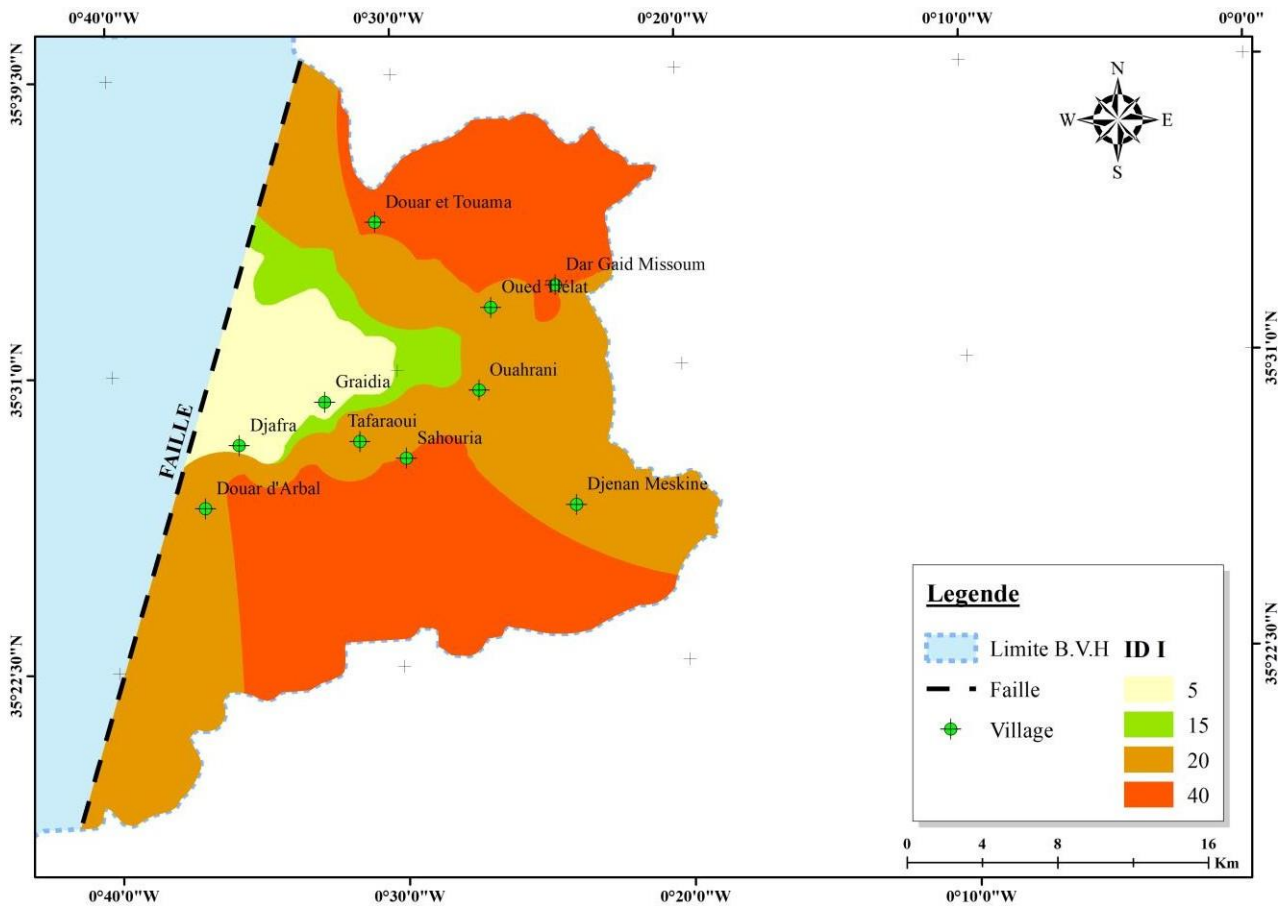
**(I) Nature de la Zone Non Saturée « Zone Vadose »**

Cette zone a un impact sur le potentiel de pollution de l'aquifère, donc l'étude de leur nature et de leur épaisseur détermine les facteurs qui peuvent contaminer les eaux souterraines, donc l'évaluation de cette carte est très importante.

Sur la base de la description des différents logs de forage implantés dans la région (figure. B.III.6), on a défini quatre classes (tableau. B.III.6).

Tableau. B. III. 6. Codification de la classe de la zone non saturée.

Nature de la Zone Vadose	Cote	Poids	Indice DRASTIC
Argiles	1	5	5
Argiles – marnes	3	5	15
Argiles sableuses	4	5	20
Sable et gravier avec argile	6	5	30



### (C) Conductivité Hydraulique

La carte de perméabilité de la nappe est déterminée à partir des valeurs mesurées de la transmissivité (Hassani, 1987 ; A.N.R.H, 2012) :

$$K = T/b$$

$K$  : la conductivité hydraulique de l'aquifère (exprimée en m/s),

$T$  : la transmissivité (exprimée en  $m^2/s$ ) ;

$b$  : l'épaisseur de l'aquifère.

Dans la M'léta, la transmissivité varie de  $0,38 \cdot 10^{-3}$  à  $1,5 \cdot 10^{-3} m^2/s$  (tableau. B.III.7).

Tableau. B. III. 7. Codification de la classe de la Conductivité hydraulique.

Plage de la Perméabilité (en m/s)	Cote	Poids	Indice DRASTIC
$15 \times 10^{-5} - 33 \times 10^{-5}$	4	3	12
$33 \times 10^{-5} - 5 \times 10^{-4}$	6	3	18
$5 \times 10^{-4} - 9.5 \times 10^{-4}$	8	3	24

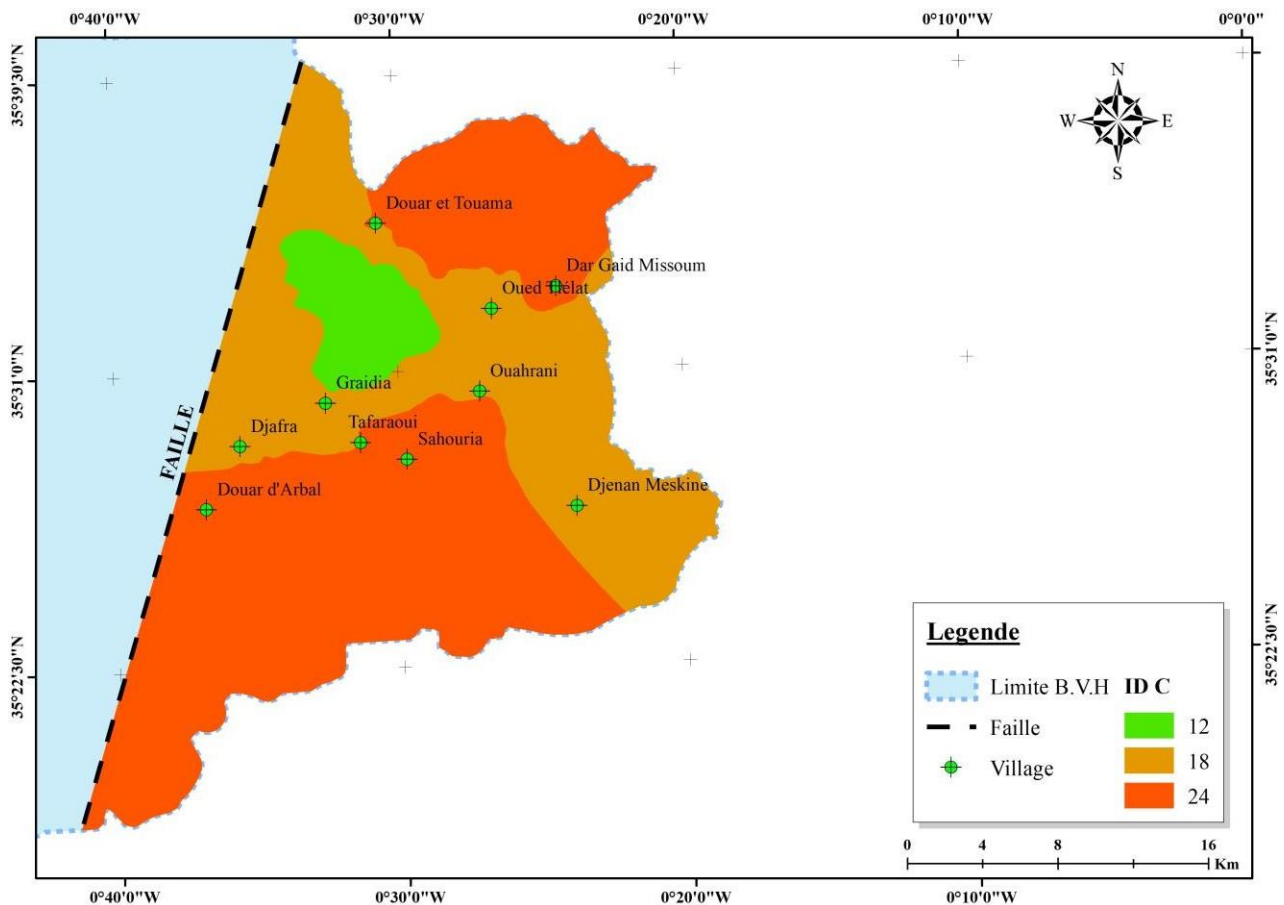


Figure. B. III. 7. Carte de vulnérabilité liée à la conductivité hydraulique.

### (OS) Occupation du sol

Le paramètre d'occupation du sol (OS) a été dérivé du traitement de l'image Landsat 7 ETM+ (2012). Cette image a été exploitée pour générer la carte de l'occupation du sol dans la zone d'étude, comme le montre la figure 3.8.

Elle présente six classes différentes dans la plaine de la M'leta (tableau. B.III.8).

Tableau. B. III. 8. Codification de la classe d'occupation du sol.

Plage d'occupation du sol	Cote	Poids	Indice DRASTIC
Décharge industrielle	100	0,222	22,2
Zones urbaines continues	75	0,222	16,65
Cultures permanents	70	0,222	15,54
Zones urbaines discontinues	70	0,222	15,54
Milieux aquatiques (marais)	50	0,222	11,1
Forêt et zone semi-naturelles	0	0,222	0

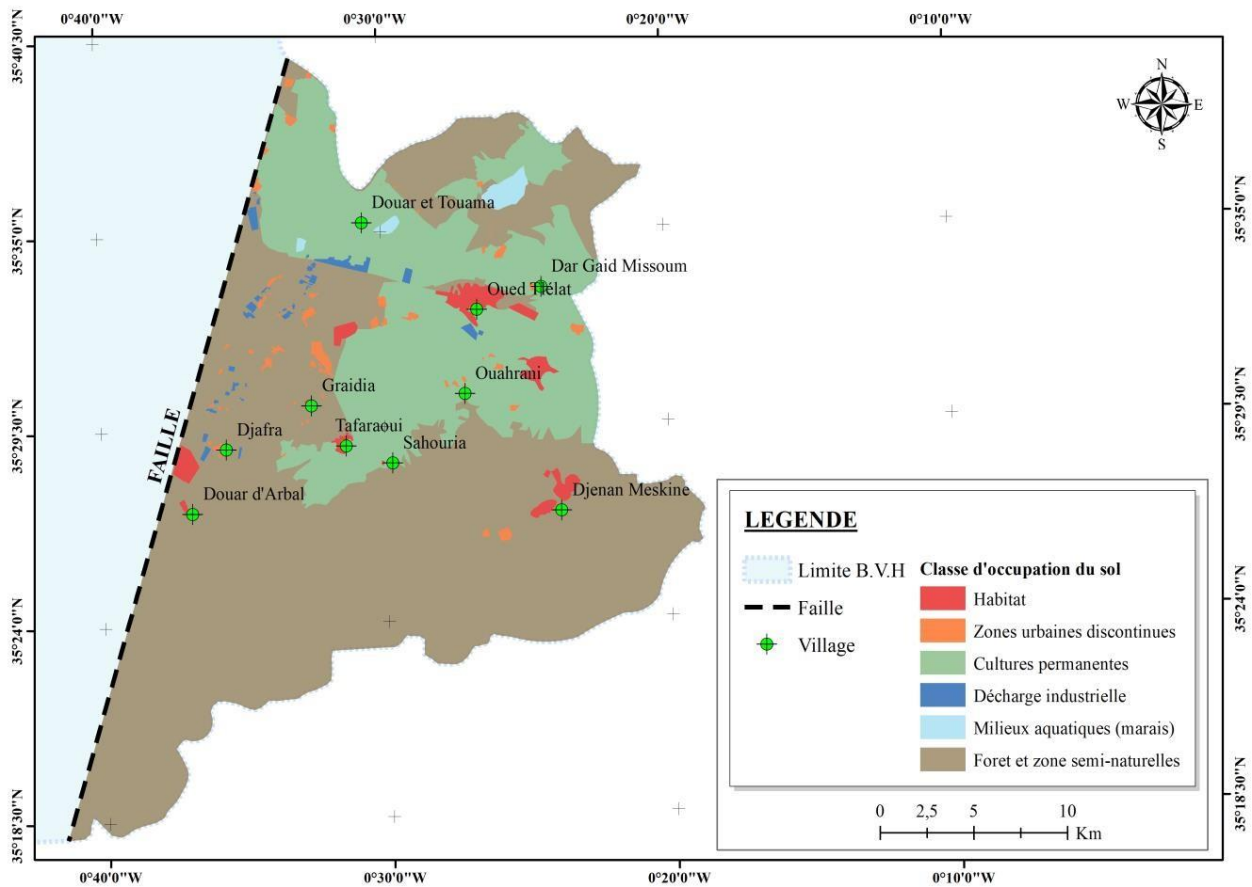


Figure. B. III. 8. Carte de vulnérabilité liée à l'occupation du sol

## III. 2. RESULTATS ET DISCUSSIONS

### III. 2. 1. Elaboration de la carte finale selon la méthode DRASTIC

La création de la carte finale a été réalisée en effectuant une sommation pondérée des cartes matricielles des sept paramètres obtenus précédemment (figure B.III.9) selon l'indice DRASTIC (Id) avec :

$$\diamond Id = \sum_{k=0}^n c * p \quad (1)$$

#### III. 2. 1. 1. Interprétation des résultats

La carte de vulnérabilité, résultant de l'application de la méthode DRASTIC (Aller et al, 1987 ; Engel et al, 1996), a permis de classer les degrés de vulnérabilité en trois classes distinctes (figure B.III.10).

❖ La première zone, affichant une faible vulnérabilité et prédominante dans la zone d'étude, est représentée en jaune. Cette caractéristique concorde avec le sol de texture fine (argilo-limoneux) et une perméabilité relativement basse. La transmission de la pollution se fait à une vitesse très réduite en raison de la surface des particules d'argile qui favorise une rétention importante.

❖ La deuxième zone, caractérisée par une vulnérabilité moyenne à élever, s'étend sur la partie Nord de la zone d'étude (secteurs orange et rouge), tandis qu'une autre section de vulnérabilité moyenne est présente dans la partie Sud-Est. Ces zones sont étroitement liées à la nature lithologique de la zone non saturée ainsi qu'aux matériaux de l'aquifère possédant une forte perméabilité. Cette configuration correspond également à l'extension de la nappe, où la profondeur de la surface piézométrique est très faible, voire nulle parfois. Ces zones abritent la majorité des forages destinés à l'AEP (Alimentation en Eau Potable) et aux besoins agricoles. Il est impératif d'instaurer dès maintenant un contrôle rigoureux afin de définir des mesures de protection adéquates pour ces zones.

### III. 2. 2. Elaboration de la carte finale selon la méthode DRIST

De la même manière que précédemment, la création de la carte finale a été effectuée en réalisant une sommation pondérée des cartes matricielles pour les paramètres spécifiques à la zone vadose, ou zone non saturée de la nappe, qui joue un rôle dans le transfert vertical de la pollution depuis la surface du sol. La perméabilité et la nature lithologique n'entrent pas en jeu dans ce transfert (figure B.III.11), selon l'indice DRIST (Iv) avec :

$$❖ Iv = \sum_{k=0}^n c * p \quad (2)$$

#### III. 2. 2. 1. Interprétation des Résultats

L'analyse de la carte de vulnérabilité (figure B.III.11) a révélé la présence de deux zones distinctes :

- ❖ Une première zone de faible vulnérabilité, qui englobe la majorité de la plaine et est représentée en jaune, est clairement observable. Cette caractéristique est principalement attribuable à la nature lithologique de la zone vadose (argiles, argiles marneuses, argiles sableuses), qui limite le transfert des polluants.
- ❖ Une deuxième zone de vulnérabilité moyenne à forte occupe la partie Nord de la plaine, notamment à Douar et Touama. À l'inverse, une vulnérabilité moyenne est observée sur le versant Sud-Est de la plaine. Cette observation rejoint également ce que nous avons mentionné précédemment et est associée aux puits de faible profondeur.

L'application des méthodologies proposées a souligné l'importance cruciale des Systèmes d'Information Géographique (SIG) dans la création de cartes de vulnérabilité et de sensibilité à la pollution des nappes d'eau souterraine. Cela est particulièrement vrai pour les nappes d'extension régionale bénéficiant d'un volume important de données. Le SIG développé sert également d'outil puissant et efficace d'aide à la décision pour les gestionnaires des ressources en eau de la région (figure B.III.9).

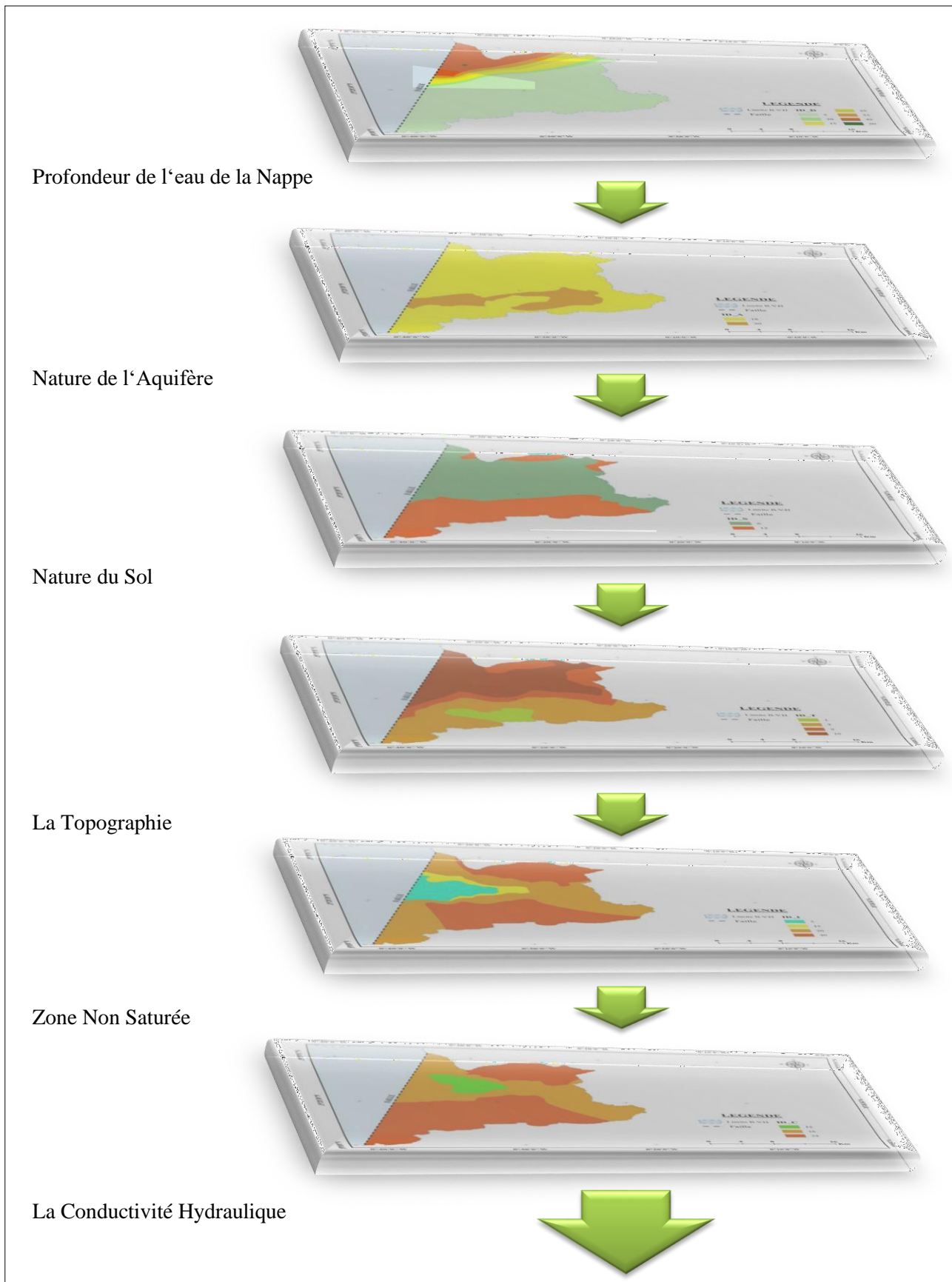


Figure. B. III. 9. Superposition des cartes pondérées pour l'obtention de la carte de vulnérabilité globale

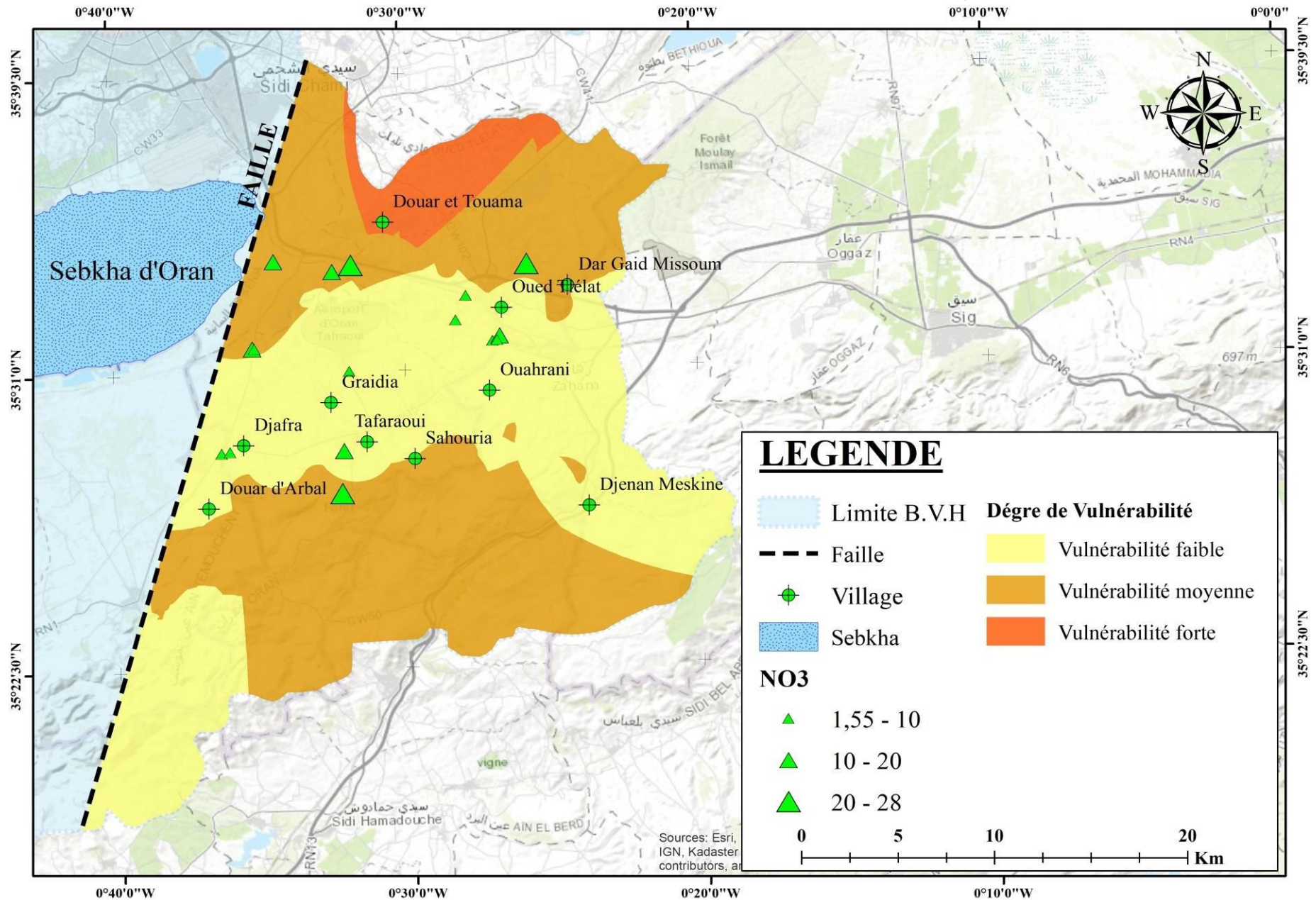


Figure. B. III. 10. Carte de la Vulnérabilité Intrinsèque Globale selon la méthode DRASTIC.

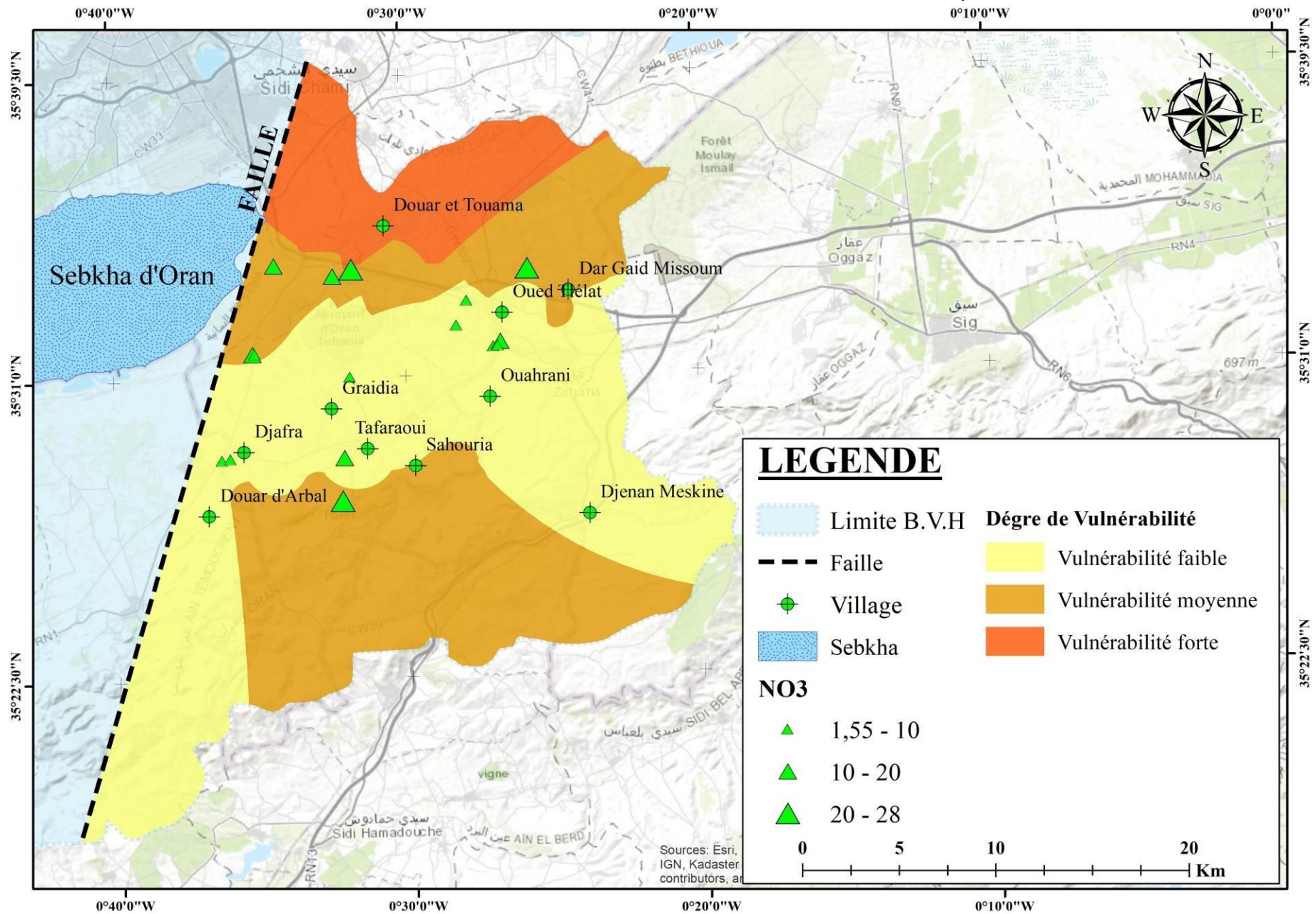


Figure. B. III. 11. Carte de la Vulnérabilité Intrinsèque Globale selon la méthode DRIST.

### III. 2. 3. Elaboration de la carte finale selon la méthode SI

Pour créer la carte finale, il est nécessaire de calculer l'Indice de Sensibilité à la Pollution (Isi) en additionnant les produits des cotes par les poids des paramètres correspondants.

$$\diamond \text{Isi} = \sum_{k=0}^n c * p \quad (3)$$

#### III. 2. 3. 1. Interprétation des Résultats

Les résultats démontrent une variabilité de l'indice de valeur de vulnérabilité dans une fourchette allant de 20 à 68. L'analyse de ces plages d'indice de vulnérabilité révèle la présence de trois classes distinctes de vulnérabilité en surface (figure B.III.12).

❖ La première zone, caractérisée par une faible vulnérabilité, est située dans la partie méridionale, couvrant la majeure partie, soit 66,76%, et s'étendant jusqu'au centre, tandis que la portion restante est répartie sur le reste de la zone d'étude. Cette situation est en corrélation avec la nature lithologique de la zone vadose (ZNS), la profondeur de la nappe et la recharge constante.

❖ La deuxième zone, caractérisée par une vulnérabilité moyenne à élever, occupe la plus grande étendue de la carte, soit 33,23% (secteurs orange et rouge).

Elle est caractérisée essentiellement à l'occupation du sol par des terrains agricoles, la densité de population et les zones industrielles, où les zones agricoles occupent la majeure partie de la superficie, avec une topographie de pente très faible, ce qui contribue à la stagnation des polluants.

La pollution peut survenir dans les zones agricoles, où l'utilisation intensive d'engrais et de pesticides est prédominante. Ainsi, le paramètre d'occupation du sol émerge comme l'un des facteurs cruciaux permettant de moduler l'étendue du transfert des polluants.

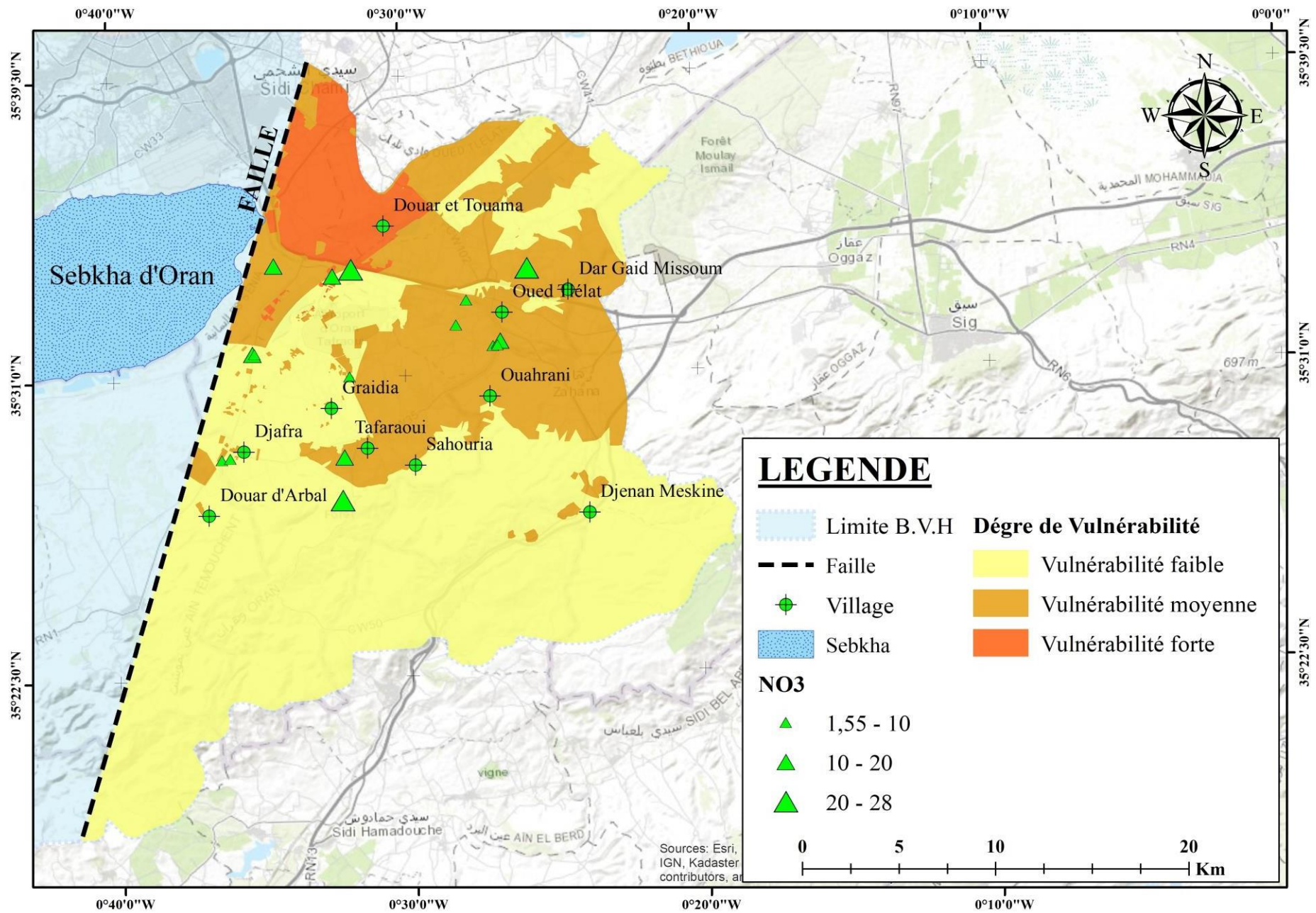


Figure. B. III. 12. Carte de la Vulnérabilité Spécifique Globale selon la méthode SI.

Les concentrations en nitrates dans les eaux souterraines de la zone d'étude demeurent relativement faibles dans l'ensemble de la plaine, oscillant entre 1,55 et 28,52 mg/l pour les 16 échantillons. En se basant sur les informations précédentes, il est possible de discerner trois catégories de qualité dans cette région. La majorité des eaux présentent des concentrations ne dépassant pas le seuil de 10 mg/l, caractérisant une eau de très bonne qualité, avec une composition normale ou quasi naturelle, et ces eaux se trouvent dans une zone de faible vulnérabilité. La deuxième catégorie représente une eau de bonne qualité, proche de son état naturel mais avec des traces de contamination d'origine humaine, située dans une zone de vulnérabilité faible à moyenne. La troisième catégorie concerne une eau de qualité raisonnable, localisée dans une zone de vulnérabilité moyenne.

### III. 3. CONCLUSIONS

Cette étude vise à créer des cartes de vulnérabilité intrinsèque à la pollution pour la partie nord-orientale de la plaine de la M'léta, avec une évaluation basée sur les caractéristiques physiques de l'environnement.

Ces cartes présentent un intérêt majeur en fournissant une perspective globale de toute la zone, sans se restreindre aux zones déjà affectées par la pollution des eaux souterraines. Cette approche permet d'anticiper et de mettre en place des mesures de protection.

L'utilisation des méthodes DRASTIC, DRIST et SI pour générer des cartes de vulnérabilité intrinsèque globale a permis d'identifier les zones à risque élevé de contamination. La subdivision du secteur d'étude en différentes unités, caractérisées par des niveaux de vulnérabilité variés, s'appuie sur le traitement exhaustif de données liées aux horizons géologiques entre l'aquifère et la surface du sol. Les cartes générées par les méthodes DRASTIC et DRIST révèlent des similitudes marquées en termes de degré de vulnérabilité, soulignant que les zones les plus sensibles à la pollution se situent principalement dans la partie nord de la plaine.

Selon la méthode DRIST, seuls les paramètres associés à la zone non saturée sont déterminants dans le déplacement du polluant de la surface vers la nappe aquifère.

Grâce à notre application de la méthode d'indice de Sensibilité, le résultat ont montré que le degré de vulnérabilité est toujours important dans la partie orientale de la M'léta, alors que les terrains agricoles occupent la majeure partie de cette zone. Il s'est également prouvé que le paramètre d'occupation du sol a un rôle important dans le devenir du transfert des polluants.

Les cartes issues de ces trois méthodes se révèlent précieuses pour l'élaboration de plans d'aménagement et l'évaluation des projets environnementaux. Néanmoins, il est essentiel de souligner que les méthodes DRASTIC, DRIST et SI ne peuvent pas remplacer une expertise hydrogéologique spécifique nécessaire pour certains projets.

L'utilisation du système d'information géographique (SIG) a été d'une grande utilité pour la gestion intégrée des données, conduisant à la création efficace de la carte finale de vulnérabilité.

#### **IV. NOTION DE LA PROTECTION DE L'AQUIFERE**

En abordant la vulnérabilité antérieure des eaux souterraines aux différentes formes de pollution d'origine humaine, il devient essentiel de développer une politique de préservation des points de captage d'eau potable et des ressources hydriques qu'ils alimentent. Cette préservation se traduit par la mise en place de périmètres de protection, des zones où des mesures spécifiques sont prises pour anticiper ou retarder la contamination des points de captage. Ces périmètres de protection se révèlent particulièrement efficaces dans la prévention des pollutions ponctuelles (Foster. S, Bousquet. A et Furey. S, 2018 ; Paradis. D, 2000 ; Kouamé. K. J, 2007).

L'objectif de délimiter une zone d'alimentation en eau est de contrer les pollutions diffuses en permettant la mise en œuvre ciblée de programmes d'action visant à préserver la ressource (Alcaydé. G, 2000). L'idée sous-jacente est de prioriser la protection des zones contribuant le plus à l'alimentation du captage, ce qui se traduit par la création de périmètres de protection.

#### **IV. 1. DELIMITATION DE L'AIRE D'ALIMENTATION**

##### **IV. 1. 1. GENERALITES DU BASSIN HYDROGEOLOGIQUE ALIMENTANT LE CAPTAGE**

Le bassin hydrogéologique de la M'léta, également appelé bassin versant souterrain, représente la section de l'aquifère du complexe du Mio-Pliocène où les eaux souterraines convergent vers les captages. Sa délimitation est définie par la ligne de partage des eaux souterraines, qui, contrairement au bassin versant superficiel, peut être migrante. Il constitue l'équivalent souterrain d'un bassin versant pour les eaux de surface.

L'aquifère du complexe du Mio-Pliocène est partiellement alimenté par l'infiltration des cours d'eau. Les bassins versants de ces cours d'eau, qui contribuent à l'alimentation de l'aquifère par l'infiltration directe des eaux météoriques ou après un ruissellement diffus, sont pris en compte dans le bassin hydrogéologique.

À l'intérieur du bassin versant souterrain, une portion de la nappe souterraine qui approvisionne le captage représente l'ensemble des particules d'eau localisées en un point quelconque de la zone saturée, et qui aboutiront finalement dans le captage (voir figure B.IV.1).

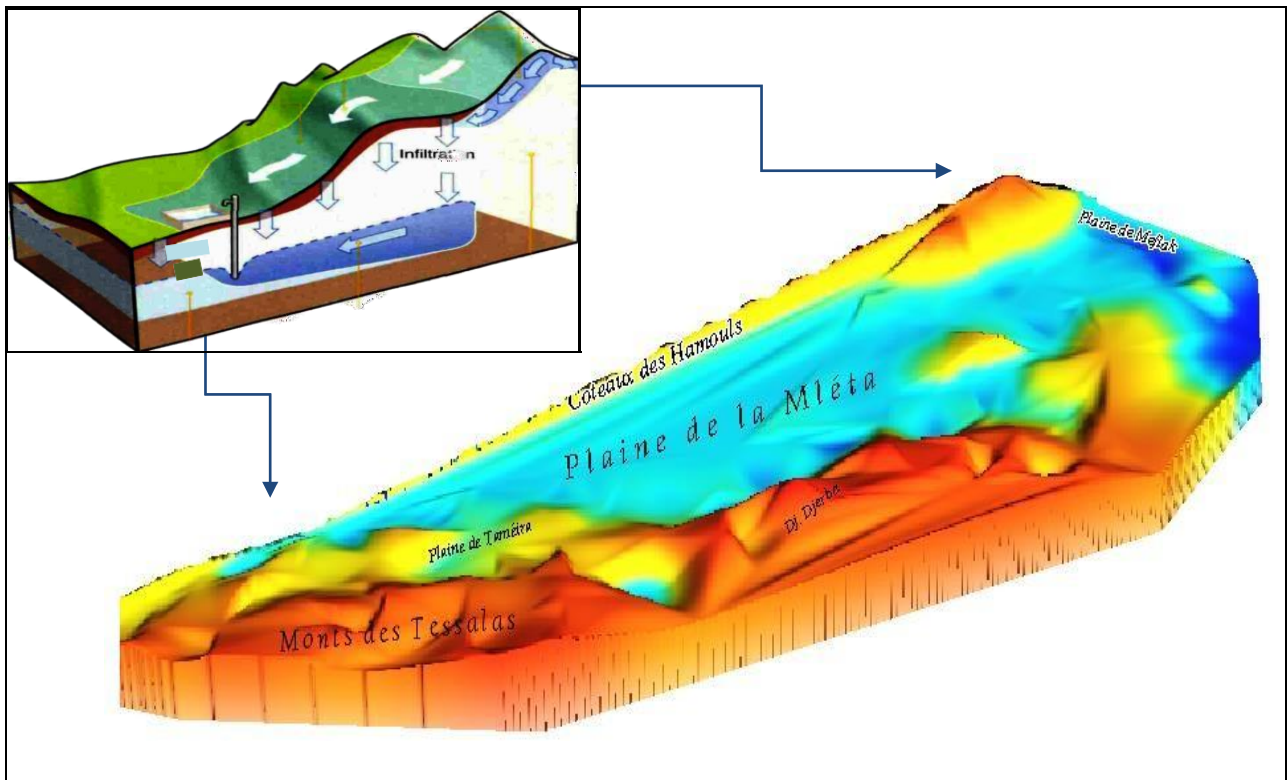


Figure. B. IV. 1. Portion de la nappe alimentant le captage

Le bassin d'alimentation du captage désigne les points de la surface du sol qui participent à l'alimentation du captage, correspondant à la projection en surface de la portion de nappe souterraine alimentant le captage.

Si l'on considère que la zone entre la crête topographique et la crête piézométrique est imperméable, le bassin d'alimentation du captage est alors plus restreint.

Le bassin d'alimentation du captage représente la zone en surface qui contribue à l'alimentation du captage par l'infiltration directe des eaux ou l'infiltration de cours d'eau. Il suit généralement la projection verticale de la portion de la nappe, bien qu'il puisse différer en ajoutant ou en retirant des zones de surface (figure. B.IV.2).

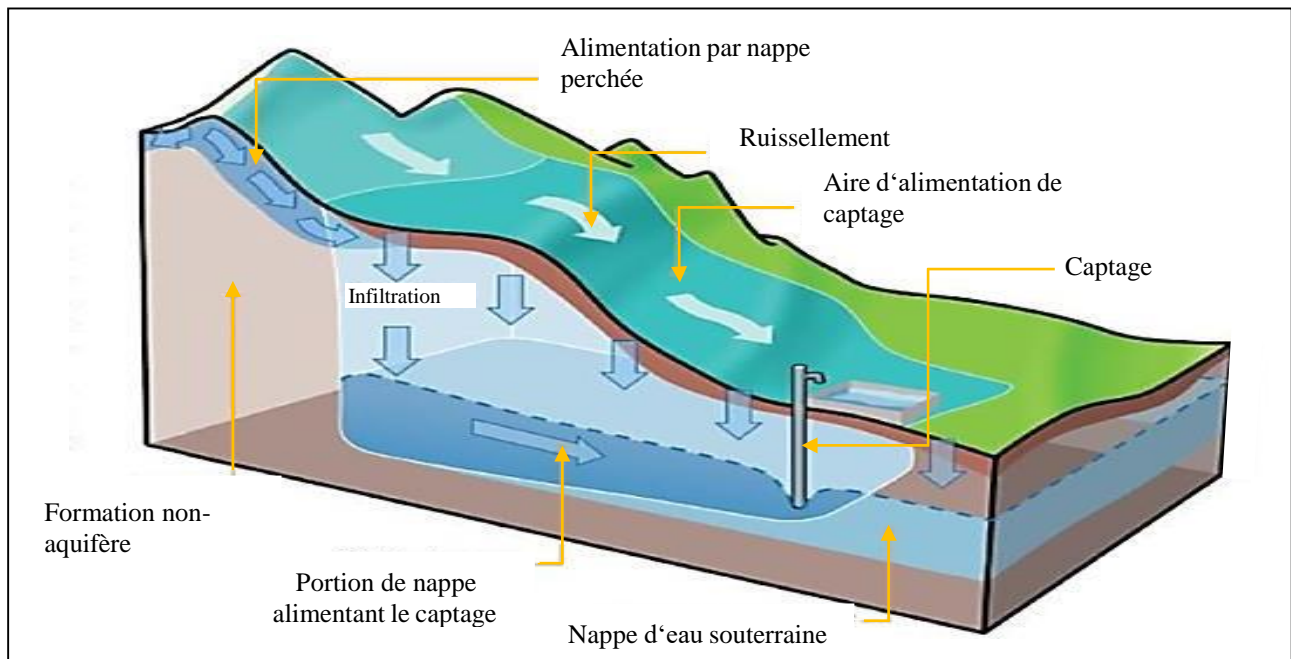


Figure. B. IV. 2. Portion d'alimentation du Captage

Les zones à proximité immédiate du captage, caractérisées par des couvertures imperméables, ne font pas partie du bassin d'alimentation. En revanche, les zones attenantes, telles que les versants en bordure, avec des écoulements de sub-surface et des ruissellements diffus qui s'infiltrant en partie, participent à l'alimentation du captage.

L'étude géologique et hydrogéologique traitée dans la première partie a servi de base à la délimitation du bassin d'alimentation du captage, à l'analyse des conditions d'écoulement et à la caractérisation de la vulnérabilité.

L'étude géologique et hydrogéologique a joué un rôle crucial en définissant le type d'aquifère, en délimitant le Bassin d'Alimentation du Captage et en caractérisant les paramètres de vulnérabilité. Les données acquises au cours de cette étude ont été essentielles pour la compréhension et l'évaluation du système.

L'aquifère souterrain de la M'léta, intégré dans les couches du Mio-Pliocène, est de type milieu fissuré, se développant au sein de couche sédimentaires comprenant des grès fissurés et des calcaires fissurés.

L'alimentation de l'aquifère se produit à la fois au niveau des discontinuités principales et au sein de la roche fissurée moins perméable.

**IV. 1. 2. BASSIN HYDROGEOLOGIQUE ET PORTION DE NAPPE ALIMENTANT LE CAPTAGE (LE COMPLEXE AQUIFERE DU MIO – PLIOCENE)**

L'aquifère du complexe Mio-Pliocène étudié dans la région de la M'léta se situe dans la partie Est. Il est composé de grès carbonatés du Pliocène marin en contact avec des calcaires du Miocène, et son épaisseur est d'environ 150 mètres.

Cette nappe est semi captive à captive, car Il existe des formations argileuses du Pliocène continental qui isolent cette nappe des nappes superficielles.

La géologie du bassin versant de la grande sebkha d'Oran se caractérise par deux ensembles principaux : un substratum anténappe au Nord composé de massifs schistosés autochtones, tels que les Monts Murdjadjo, un substratum anténappe au sud est formé par un complexe d'unités allochtones, comprenant les Monts des Tessalas.

Le schéma structural décrit par les géologues Fenet et Thomas a mis en évidence (figure. B.IV. 3) :

- L'axe anticlinal d'Oum El Gueraz, en bordure Est de la Sebkha, correspond sensiblement aux Coteaux d'El Hamoul. Cette structure est décalée par le grand décrochement senestre (F1) de direction NNE – SSW qui constituera la limite occidentale du bassin hydrogéologique.
- L'anticlinal subdivise la sebkha en deux bassins hydrogéologiques. Au niveau de chaque bassin, les écoulements en nappe profonde sont individualisés par cette zone anticlinale qui remonte à faible profondeur les formations à dominante marneuse du Miocène inférieur.
- Ces bassins forment des structures synclinales qui peuvent se subdiviser en différents sillons. Un sillon Est relativement bien identifié sous la plaine de Tlélat.

Une partie des formations carbonatées du Miocènes caractérisant les Monts des Téssalas est plongé sous la plaine dans la partie N-W.

Cette formation est de bonne caractéristique hydrogéologique.

L'aquifère est libre aux endroits où elle affleure, mais elle devient captive en se dirigeant vers la bordure Est de la Sebkha.

L'impluvium de cette nappe s'étend sur une superficie de 25 km<sup>2</sup> entre le domaine d'Arbal à l'Ouest et le mont Chouki à l'Est. Il englobe non seulement les affleurements de calcaires, mais également les assises imperméables susceptibles de les suralimenter. Les sources de débordement en bordure Sud de la plaine évacuent le trop-plein de la nappe. Cependant, en raison de la période sèche prolongée et de l'exploitation de L'aquifère par les puits, le débit de ces sources a fortement diminué, voire s'est tarie pour la plupart.

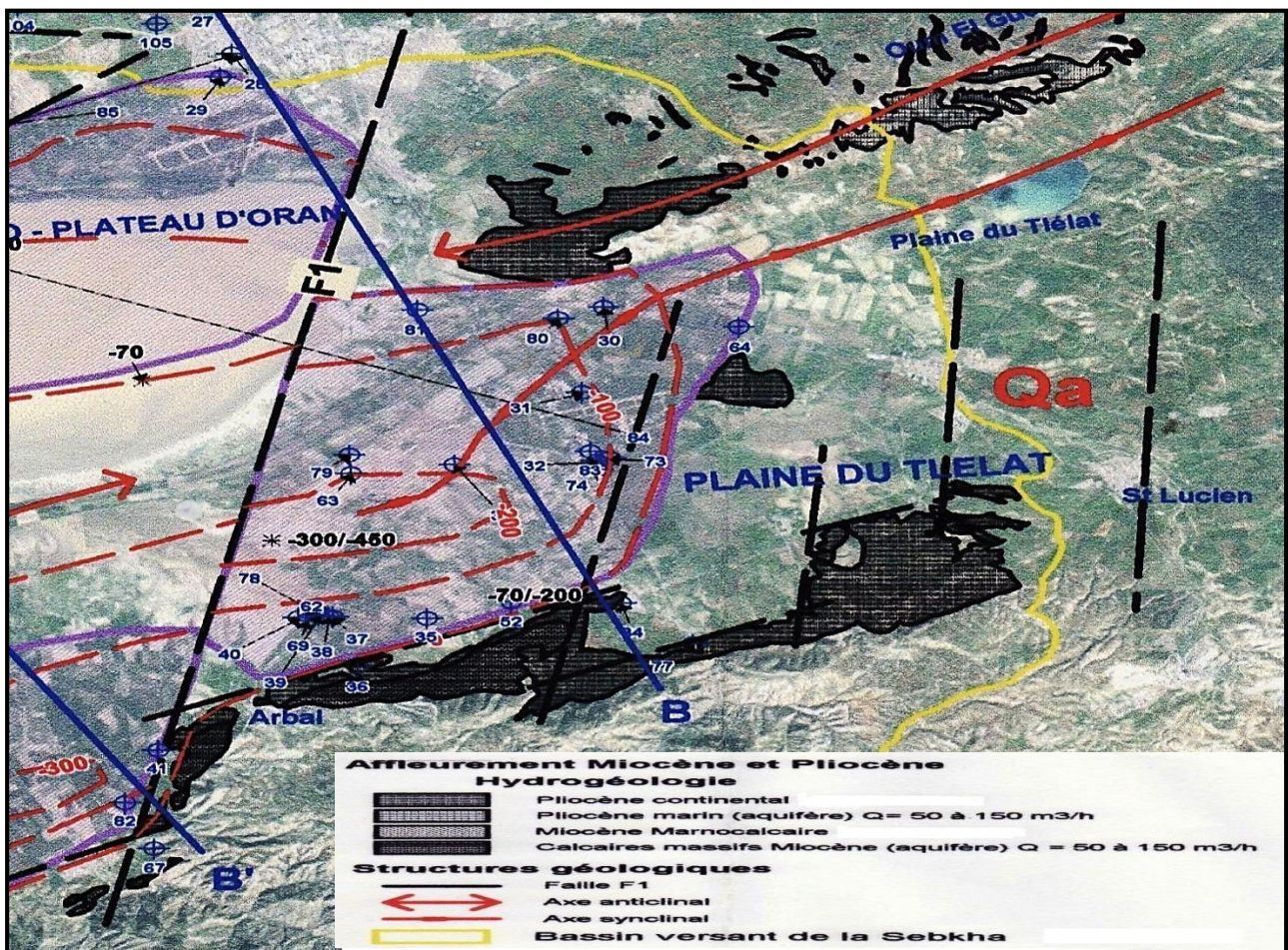


Figure. B. IV. 3. Schéma géologique structural (SOGREAH).

Manifestation du Pliocène inférieur en limite Est de la sebkha sous forme d'une structure anticlinale d'Oum El Gueraz. Les Apparences se présentent sous la forme de coteaux gréseux caractérisés par une bonne capacité d'infiltration. Ces formations absorbent facilement les précipitations, contribuant ainsi à la recharge des nappes profondes de la plaine de Tlélat.

Au sein de la plaine de Tlélat, les grès du Pliocène renferment une aquifère artésien relativement abondante.

En fait, l'étude de la structure hydrogéologique de la Plaine de la M'léta a permis de définir trois zones assez distinctes du point de vue régime hydraulique, à savoir :

- La première Zone des piedmonts Nord du Tessala : Les calcaires du Miocène supérieur, constituant la bordure Sud de la Plaine de la Mléta et principale zone d'alimentation, renferment une nappe libre, en réseau de fissures à karstiques, donc une perméabilité en grand.
- La seconde zone située au niveau des vallons de Mangin et de la Côte rouge : Les grès et sables du Pliocène Supérieur (Astien) localisés sur la bordure Nord de la M'léta constituent la

seconde zone d'alimentation. Cette formation est caractérisée par une perméabilité à interstice. La nappe est libre et les niveaux statiques sont assez profonds au bas des vallons mais proches de la surface au niveau même des affleurements.

- La Plaine proprement dite : C'est le domaine du Complexe Mio – Pliocène caractérisé par une nappe captive où coexistent deux perméabilités, l'une en grand, caractéristique des calcaires fissurés du Miocène Supérieur et l'autre à interstice, caractéristique des sables et grès de l'Astien.

Ces considérations géologique et hydrogéologique nous ont permis de dresser la carte N°1 sur laquelle les zones d'alimentations ont été ressorties et prises en considération dans la délimitation du Bassin d'Alimentation du Captage (BAC) :

- Une zone principale, d'alimentation du complexe Mio – Pliocène localisée dans les Monts des Tessalas où affleurent les calcaires du Miocène supérieur fissurés permettant une bonne infiltration des eaux.
- Une seconde zone située au niveau des piémonts des Tessalas où affleure le Pliocène Continental reposant directement sur les calcaires du Miocène supérieur contribuant à une alimentation indirecte du complexe Mio – Pliocène.
- Une troisième zone, située au niveau des vallons de Mangins où affleurent les grès et sables fins du Pliocène inférieur (Astien) et qui contribuent à une alimentation directe du complexe Mio – Pliocène.

#### **IV. 2. PERIMETRES DE PROTECTION DU CAPTAGE**

##### **IV. 2. 1. DEFINITIONS ET APPLICATION A L'AQUIFERE DU MIO – PLIOCENE**

Le périmètre de protection des bassins versants vise à lutter contre les pollutions locales ou accidentelles et à réglementer ou interdire les activités présentant un risque potentiel sur la nature et la qualité des eaux prélevées pour la consommation humaine, Ils jouent également un rôle crucial non seulement dans la gestion des sources de pollution existantes, mais surtout dans la prévention de nouvelles sources de pollution, contribuant ainsi à maintenir la qualité des bassins versants à long terme.

Les périmètres de protection ont été créés dans le but précis d'assurer le maintien de la qualité de l'eau. En général, ces zones de protection sont désignées pour éviter la dégradation des ressources en eau.

Une division typique d'un périmètre de protection comprend trois zones distinctes, chacune avec des contraintes spécifiques : (figure. B.IV. 4).

**IV. 2. 1. 1. Périmètre de protection immédiat ou zone dite "captage"**

C'est la zone la plus proche du point de prélèvement. Elle est soumise aux contraintes les plus strictes car toute contamination pourrait avoir un impact direct sur la qualité de l'eau. Les terrains inclus dans ce périmètre doivent être acquis en propriété et clôturés, seules les activités nécessaires au fonctionnement et à l'entretien de l'ouvrage sont autorisées ; toutes les autres activités sont interdites.

**IV. 2. 1. 2. Périmètre de protection rapprochée**

Il s'agit de la zone intermédiaire qui entoure la zone immédiate, et son périmètre est généralement de quelques hectares. Les contraintes dans cette zone peuvent être moins strictes que dans la zone immédiate, mais elles visent toujours à minimiser les risques de pollution. Des activités spécifiques peuvent être réglementées ou soumises à des normes plus strictes.

**IV. 2. 1. 3. Périmètre de protection éloignée**

Il s'agit de la zone la plus éloignée du point de prélèvement, et bien que son périmètre ne soit pas obligatoire, elle demeure importante pour la préservation de la ressource en eau. Même si les contraintes peuvent être moins strictes, elles sont toujours conçues pour minimiser les risques de contamination à long terme.

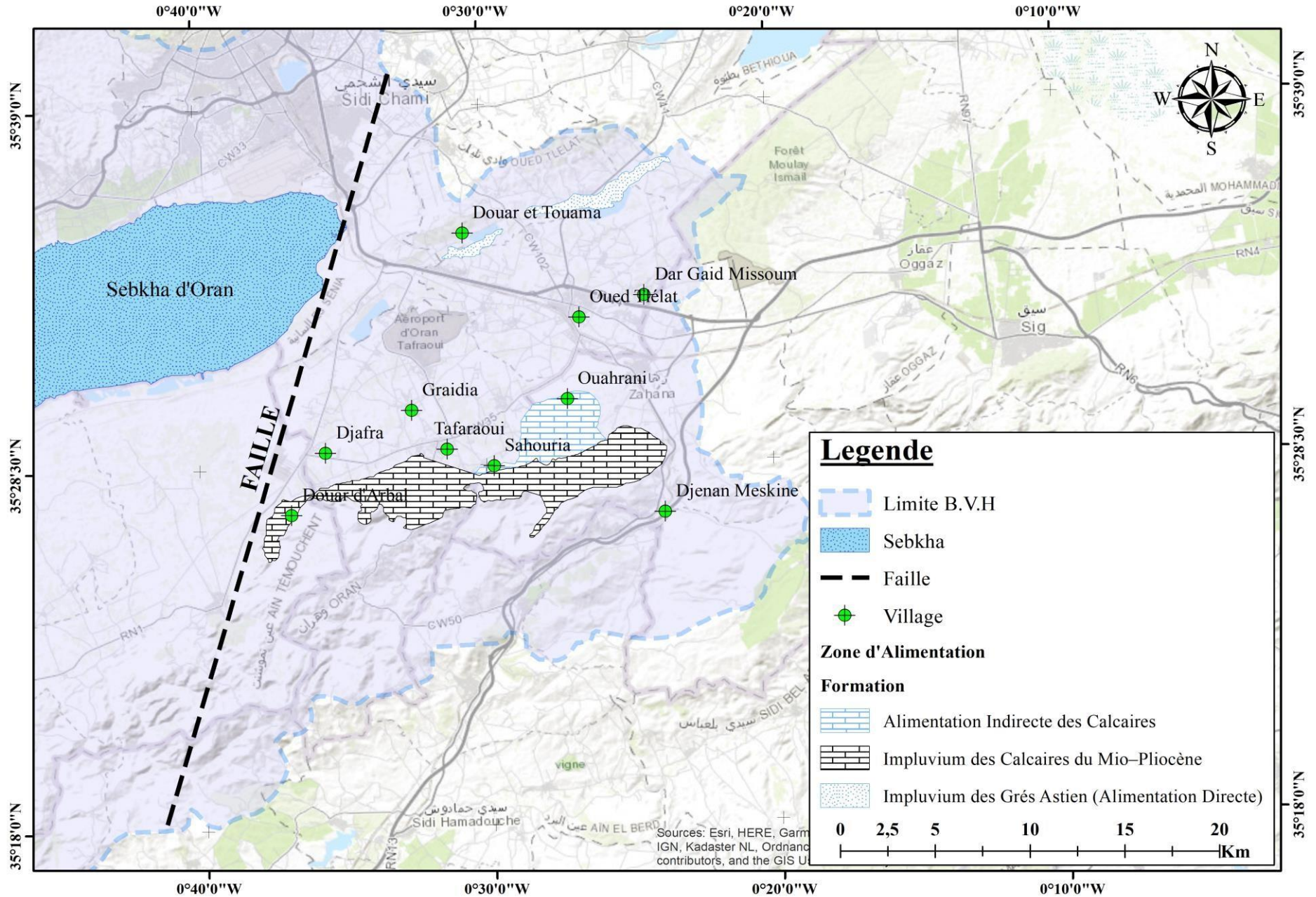


Figure. B. IV. 4. Carte des zones d'Alimentation

#### IV. 3. ROLES DES PERIMETRES DE PROTECTION

Le mandat impératif de définir des périmètres de protection autour d'un bassin versant est essentiel pour préserver la qualité des eaux destinées à la consommation humaine, à l'exception du périmètre de protection éloigné. Ces zones, dans leur ensemble, ont pour objectif de réglementer les activités, d'anticiper les risques de pollution et de garantir la pérennité de la qualité des ressources en eau du bassin versant. En général, on identifie trois catégories de zones de protection, caractérisées par une décroissance de l'intensité des contraintes. Ces zones portent les appellations suivantes (figure B.IV.5)

- ↪ Zone 1 = Périmètre de Protection Immédiat (PPI) = Zone de prélèvement ;
- ↪ Zone 2 = Périmètre de Protection Rapproché (PPR) = Zone de protection ;
- ↪ Zone 3 = Périmètre de Protection Eloigné (PPE) = Zone de vigilance. Cette zone peut s'étendre au maximum au bassin d'alimentation et pourrait également s'appeler zone d'information, de sensibilisation, ou de sauvegarde.

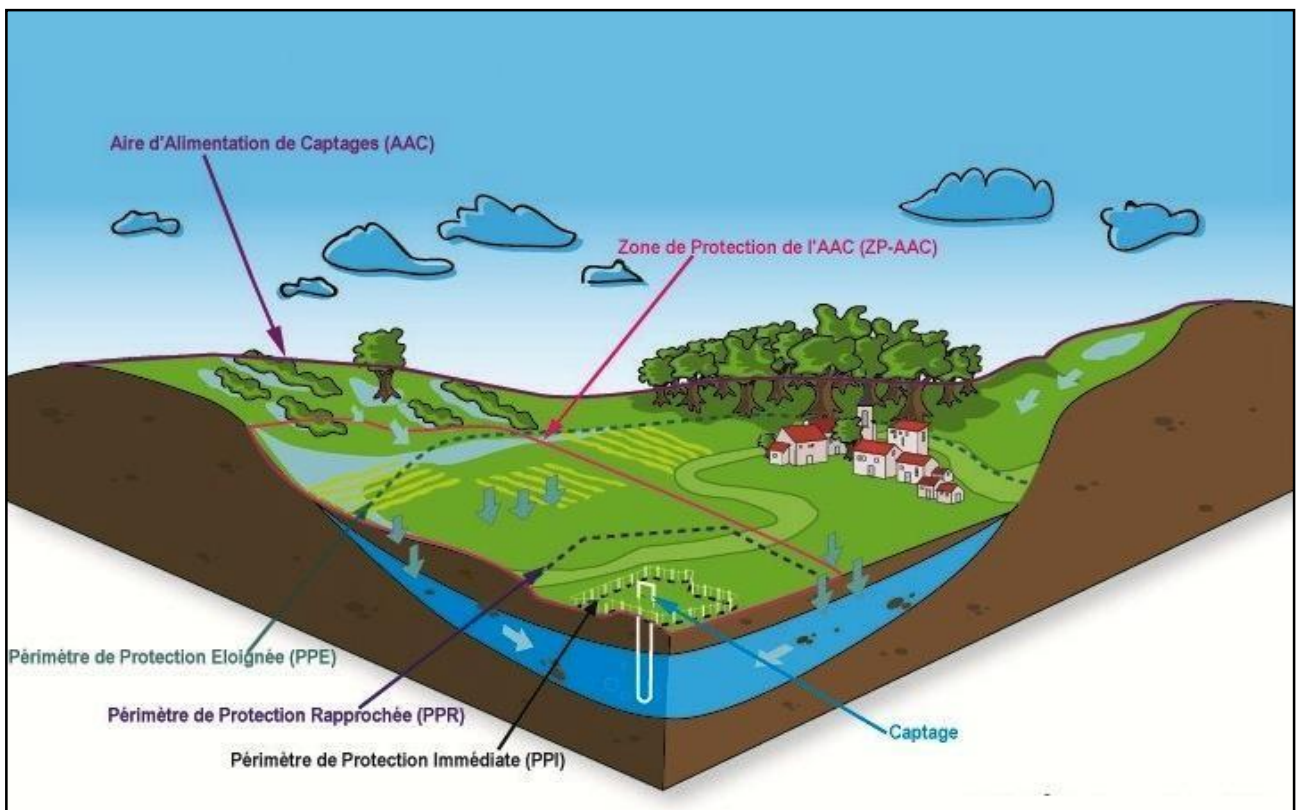


Figure. B. IV. 5. Trois types de zones de protection (SOURCE : BRGM).

Nous l'avons fait en raccourci à une seule zone d'échantillonnage pour expliquer comment identifiées les différentes zones de protection.

**IV. 3. 1. Périmètre de Protection Immédiat :**

- Fonctions :
  - ↪ Prévenir la détérioration des installations de prélèvement ;
  - ↪ Interdire toute introduction de substance polluante dans les installations de captage.
- Obligations :
  - ↪ Le Maître d'Ouvrage doit acquiescer cela ;
  - ↪ Doit être clôturé ;
  - ↪ Toutes activités autres que celles requises pour l'exploitation et l'entretien du captage sont strictement interdites, même si elles sont a priori non polluantes.

Il est obligatoirement acquis par le Maître d'Ouvrage et doit être clôturé. Toutes activités autres que celles nécessaires à l'exploitation du captage et à son entretien y sont interdites (même si elle est a priori non polluante comme la mise en place d'antennes de téléphonie).

**IV. 3. 2. Périmètre de Protection Rapproché :**

- Objectif : Assurer une protection efficace du captage contre les pollutions dissoutes présentes dans l'eau souterraine.
- Délimitation :
  - ↪ Dépend des caractéristiques géologiques telles que la nature de l'aquifère, ainsi que la nature et l'épaisseur de la couverture ;
  - ↪ Dépend de la vulnérabilité de la nappe.
- Fonction : Préserver les eaux captées d'une dégradation de qualité liée à une pollution ponctuelle (non diffuse). Il permet une certaine autoépuration en l'absence de contamination à l'intérieur de cette zone.

**IV. 3. 3. Périmètre de Protection Eloigné :**

- Obligation : Non obligatoire ;
- Vocation : Ne crée pas de servitudes, mais vise à informer les Maîtres d'Ouvrage sur l'importance de préserver la qualité de l'eau souterraine dans ces zones. Il entraîne une obligation de vigilance.

Ces périmètres de protection sont conçus pour empêcher la contamination de la source d'eau potable, avec des contraintes plus strictes dans la zone immédiate, suivi du périmètre rapproché, et enfin du périmètre éloigné qui a une fonction plus informatrice et d'alerte (figure. B.IV.6).

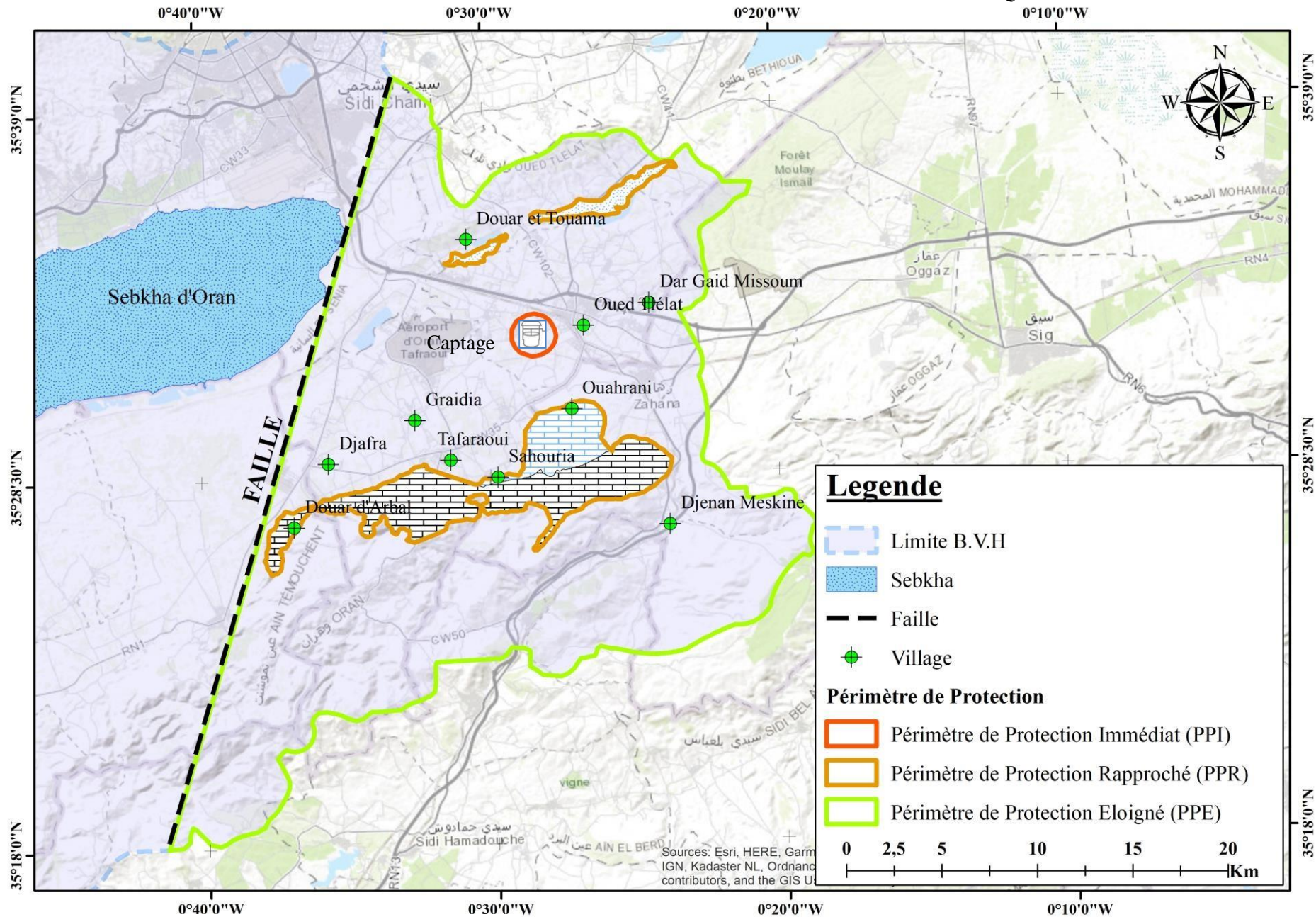


Figure. B. IV. 6. Carte des périmètres de protection.

Il existe plusieurs mesures clés pour prévenir le risque de pollution dans une zone d'approvisionnement d'un bassin versant, avec un accent particulier sur la gestion de la qualité de l'eau, dont les plus importantes sont :

- Considérez le modèle d'utilisation des terres et le plan d'acquisition des terres.
- Éloigner l'activité agricole du point de captage pour atténuer la pollution diffuse.
- Orienter les pratiques sur les parcelles concernées vers une meilleure protection de la qualité de l'eau.
- Mettre en œuvre des pratiques telles que l'agriculture avec de faibles niveaux d'intrants, l'enherbement permanent et le boisement.
- Rationaliser l'utilisation de produits phytosanitaires pour lutter contre la contamination des eaux souterraines.
- Modifier la gestion de la rotation des cultures pour réduire les doses d'intrants par hectare.
- Limiter la fréquence d'utilisation des herbicides par des techniques alternatives (sarclage, désherbage, faux semis).
- Améliorer les conditions d'épandage et de traitement, par exemple en fractionnant les applications d'engrais et en appliquant des insecticides uniquement lorsque les ravageurs apparaissent.
- Installer et entretenir des dispositifs tampons (bandes enherbées) en bordure des champs cultivés pour réduire le transfert de produits agricoles vers les eaux de surface.
- Envisagez le boisement des terres agricoles pour divers avantages, notamment une exposition réduite aux produits phytosanitaires et une meilleure gestion de l'eau.
- Entreprendre des actions de prévention des risques de pollution industrielle et urbaine, impliquant les collectivités et les structures privées.
- Mettre l'accent sur la protection spatiale intégrée et la collaboration avec les parties prenantes pour préserver la qualité des eaux de captage.
- Réhabiliter les anciennes décharges d'ordures ménagères pour éviter toute contamination.
- Mettre aux normes les forages existants par le nettoyage et la réhabilitation.
- Remplissez les puits et forages abandonnés pour prévenir les risques potentiels de pollution.
- Insistez sur la nécessité d'une collaboration avec toutes les parties prenantes.
- Reconnaître les contraintes liées à l'utilisation des terres et les prendre en compte dans l'élaboration de plans d'action pour la protection des bassins versants tout en préservant le tissu socio-économique local.

Ces actions forment collectivement une approche globale visant à sauvegarder la qualité de l'eau dans le bassin versant, en s'attaquant aux sources de pollution agricoles et non agricoles. La planification intégrée et la collaboration sont essentielles au succès de telles initiatives.

L'eau souterraine provenant des formations du complexe Mio-Pliocène est une source d'approvisionnement en eau économiquement abordable en raison de son abondance, de sa qualité et de sa proximité par rapport aux lieux de consommation.

Il est essentiel de mettre en place des mécanismes de gestion et de prévention pour préserver la qualité de la ressource en eau souterraine, compte tenu des risques potentiels de contamination liés aux activités humaines et à la vulnérabilité des nappes. L'établissement de périmètres de protection autour des ouvrages de captage est une mesure importante pour assurer une exploitation durable des forages. Cependant, il est également souligné que cette approche ne garantit la protection que dans l'aire d'alimentation des ouvrages en exploitation. Pour préserver la qualité de l'eau souterraine contre les sources de pollution diffuses à l'échelle du territoire, une approche régionale plus large est nécessaire. Cette approche comprend la délimitation et la caractérisation des formations aquifères, l'évaluation de la recharge et l'établissement du degré de vulnérabilité.

Effectivement, toutes les étapes de caractérisation, de la délimitation des formations aquifères à l'évaluation de la recharge et à l'établissement du degré de vulnérabilité, fournissent des informations cruciales. Ces données permettent aux différents acteurs impliqués dans la gestion des ressources en eau souterraine de mettre en œuvre des programmes efficaces.

L'étude climatologique fournit des informations cruciales pour comprendre les conditions météorologiques de la région. Le climat méditerranéen semi-aride, caractérisé par des étés chauds et un ensoleillement continu, a des implications importantes pour la gestion des ressources en eau. La lame d'eau précipitée de 351,4 mm et la température moyenne annuelle de 18,16 °C offrent un aperçu des conditions climatiques dominantes.

L'étude hydrogéologique des différentes formations a révélé que seules les formations calcaires du Miocène suscitent un vif intérêt en raison de leur vaste étendue à la surface et en profondeur, de leur épaisseur, ainsi que de leur fracturation propice à l'accumulation et à la circulation des eaux souterraines.

L'aquifère est délimité vers la partie supérieure soit par les marnes rouges du Pléistocène inférieur, soit par les marnes brunes bleues du Pliocène inférieur marin (Plaisancien). Lorsque ces marnes débutent avec un niveau détritique (grès, calcaires gréseux...), l'aquifère est du Mio-Pliocène inférieur. Ces couches constituent un bon niveau étanche qui protège la nappe contre la pollution de surface. Vers le bas, les eaux sont stoppées soit par les intercalations de niveaux marneux à tripoli, soit par les marnes bleues, argilites rouges, ou marno-schistes des unités tectoniques.

Les eaux souterraines de l'aquifère situé dans les formations quaternaires sont inexploitable en raison de leur forte minéralisation.

L'alimentation de la nappe de la M'léta provient principalement des eaux météoriques qui s'infiltrent sur l'ensemble de l'impluvium, ainsi que des eaux d'écoulement des oueds des Tessalas qui s'infiltrent au niveau de leurs cônes de déjection pendant les périodes de hautes eaux.

L'hydrochimie des nappes dans la plaine de la M'léta révèle deux principaux faciès d'eau : l'un à dominance chlorurée calcique et l'autre à dominance chlorurée sodique. De plus, une analyse statistique a confirmé une corrélation très forte entre la conductivité électrique (EC) et la plupart des éléments chimiques, à l'exception du nitrate, dont l'origine semble être d'origine humaine, probablement liée à l'utilisation d'engrais en agriculture. Selon les indices de saturation, il y a parfois une sous-saturation par rapport à certains minéraux. En ce qui concerne la qualité de l'eau, elle est généralement évaluée comme médiocre à acceptable pour l'irrigation.

En ce qui concerne les indicateurs de pollution, la plupart des échantillons d'eau prélevés montrent des concentrations en nitrates inférieures aux normes de potabilité.

La cartographie de la vulnérabilité intrinsèque à la pollution des eaux dans le complexe du Mio-Pliocène a permis d'identifier les zones présentant un haut risque de contamination, subdivisant ainsi le secteur d'étude en plusieurs unités présentant différents niveaux de vulnérabilité. Cette cartographie s'est appuyée sur le traitement d'un grand nombre de données liées aux horizons géologiques situés entre l'aquifère et la surface du sol.

Absolument, la cartographie de la vulnérabilité de l'aquifère est une étape cruciale pour une gestion efficace de la nappe. Elle fournit des informations essentielles sur les zones présentant un risque élevé de contamination, permettant ainsi aux gestionnaires des ressources en eau de mettre en place des mesures préventives ciblées et des interventions rapides en cas de pollution.

L'utilisation des méthodes DRASTIC, DRIST et SI pour élaborer la carte de vulnérabilité intrinsèque et spécifique est une approche judicieuse. Chacune de ces méthodes apporte sa propre contribution à l'évaluation de la vulnérabilité de l'aquifère.

L'examen de la carte mentionnée a conduit à la distinction de trois classes présentant des degrés de vulnérabilité différents.

- La première zone, caractérisée par une faible vulnérabilité, est localisée dans la partie centrale et ouest de la zone étudiée.
- La deuxième zone, présentant une vulnérabilité moyenne, couvre la plus grande partie de la carte. Elle est principalement constituée de terrains à perméabilité élevée, où la transmission de la pollution se fait à une vitesse très faible ; la surface des particules argileuses permet une rétention importante.
- La troisième zone, affichant une vulnérabilité élevée, s'étend principalement dans la région nord de la carte, notamment sur les terrains agricoles.

L'application de la méthodologie proposée a démontré l'importance cruciale des Systèmes d'Information Géographique (SIG) dans l'élaboration de cartes de vulnérabilité et de sensibilité à la

pollution des nappes d'eau souterraine, en particulier pour celles qui couvrent des régions étendues et bénéficient d'un volume considérable de données. Le SIG développé se présente également comme un outil puissant et efficace d'aide à la décision pour les gestionnaires des ressources en eau de la région.

La valeur de la carte obtenue réside dans son aptitude à élargir la perspective à l'ensemble du domaine, ne se restreignant pas aux zones où la pollution a déjà atteint les eaux souterraines et a été mesurée. Cette carte facilite la mise en place de mesures de protection, elle est précieuse pour la planification territoriale et elle contribue à l'évaluation de projets liés à l'étude de l'environnement.

Néanmoins, les méthodes DRASTIC, DRIST et SI ne peuvent pas remplacer une expertise hydrogéologique essentielle pour un projet particulier.

Pour assurer l'approvisionnement en eau potable, il est indispensable de mettre en œuvre une politique visant à protéger les captages d'eau potable ainsi que les ressources en eau qu'ils alimentent. Cette protection se concrétise par l'établissement de périmètres de protection, visant à prévenir ou retarder la pollution des captages d'eau. Ces périmètres de protection sont particulièrement adaptés pour lutter contre les pollutions ponctuelles.

La délimitation d'une aire d'alimentation de captage a pour objectif de lutter contre les pollutions diffuses en facilitant la mise en œuvre ciblée de programmes d'actions visant à protéger la ressource en eau. L'idée sous-jacente est de prioriser la protection des zones ayant la plus grande contribution à l'alimentation du captage, résultant ainsi en une protection ciblée à travers la délimitation de périmètres.

La délimitation du bassin d'alimentation du captage a été réalisée à partir de l'analyse des données géologiques et hydrogéologiques, les seuls critères permettant de définir à la fois le type d'aquifère et d'induire le périmètre en question. C'est au cours de cette étude que les données nécessaires pour définir la typologie du système ont été recueillies.

L'aquifère souterrain de la plaine de la M'léta, qui se trouve dans les formations géologiques du Mio-Pliocène, est caractérisé comme étant de type fissuré. Ce type d'aquifère évolue au sein de formations sédimentaires qui comprennent des grès fissurés et des calcaires fissurés.

Dans un aquifère à porosité de fissure, l'écoulement des eaux souterraines se produit de manière préférentielle le long des fractures, diaclases, failles, et parfois au niveau des limites entre les bancs géologiques. Ces zones présentent une perméabilité plus élevée, facilitant le mouvement de l'eau à travers l'aquifère. Par contraste, le reste du massif peut être considéré comme relativement homogène, avec une porosité d'interstice (typique des grès) et de fissures, mais avec une perméabilité généralement moindre par rapport aux zones de fractures.

- Abdelhamid. K et Abderrahmane. B, 2013. Risk assessment of agricultural pollution on groundwater quality in the high valley of Tadjenanet-Chelghoum Laid (Eastern Algeria). *Desalination and Water Treatment*. <http://dx.doi.org/10.1080/19443994.2013.874702>.
- Abdoulaye. P, Seynabou. C. F, Mathias. D, Cheikh. B. G, Richard. G. T, 2022. An evaluation of groundwater vulnerability assessment methods in a rapidly urbanizing city: evidence from Dakar, Senegal. *Environmental Earth Sciences*. 81:410, <https://doi.org/10.1007/s12665-022-10531-5>.
- Abid. H et Hacherouf. B, 2001. Caractérisation hydrochimique et pollution par les nitrates des eaux souterraines de la région d'Oran. Mémoire d'ingénieur d'état, Université d'Oran. 67 p.
- Adda. M, 2013. Caractérisation hydrochimique et pollution des eaux souterraines en contexte urbain : Cas de l'agglomération Oranaise (Algérie). Thèse Magister en Sciences de la Terre. Université d'Oran 2.
- Aghzadeh. N, Chitsazan. M, Golestan. Y, 2016. Hydrochemistry and quality assessment of groundwater in the Ardabil area, Iran. *Applied Water Science*. DOI 10.1007/s13201-016-0498-9.
- Albinet. M, Margat. J, 1970. Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine. *Bulletin BRGM (2) ; section III (4)*.
- Alcaydé. G, 2000. Protection générale des ressources en eau et périmètres de protection des captages d'alimentation en eau potable. Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France.
- Al Hallaq A. et Abu Elaish. B, 2011. Determination of groundwater vulnerability zones to contamination in Khanyounis Governorate, Gaza Strip, using the DRASTIC model within GIS. *Umm Al-Qura Univ. J. Social Sciences*, 4 (1), 55 p.
- Aller. L, BENNET, T, LEHR. R. J, PETTY. R. J and HACKETT. G, 1987. DRASTIC: A Standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. US Environmental Protection Agency EPA- 600/2-87-035, 455.
- Amichi. F, 2010. Cartographie de la qualité des eaux souterraines de la Mitidja Ouest : Cas du bassin versant de Sidi Rached (Tipaza). Mémoire d'ingénieur d'état, Université d'Alger.
- Anani. A.T, 2006. Évaluation et cartographie des zones vulnérables à la pollution des eaux souterraines au niveau du District d'Abidjan (Sud de la Côte d'Ivoire) par les méthodes DRASTIC et GOD. Mémoire de DEA, Univ. Cocody, Côte d'Ivoire, 71 p.
- A.N.R.H, 2012. Agence nationale des ressources hydriques. Étude hydrologique de la plaine de la M'leta.
- Baghvand and al, 2010. Groundwater quality degradation of an aquifer in Iran central desert. *Desalination* 260(3):264-275.

- Batchi. M, Al Karkouri. J, Fenjiro. I et El Maaqili. M, 2017. Étude comparative de deux modèles (DRASTIC et SI) pour l'évaluation de la sensibilité de la nappe phréatique de Mnasra (Maroc nord-occidental) à la pollution d'origine agricole. *Physio-Géo*, 11, 42-64.
- Bates, J. K. et J. F. Evans, 1996. Evaluation of Wellhead Protection Area Delineation Methods, Applied to the Municipal Well Field at Elmore, Ottawa Coung, Ahio. *Ohio Journal of Science*, Vol. 96, no. 1, p.13-22.
- Belksier. M. S, Chaab. S and Abour. F, 2016. Qualité hydro chimique des eaux de la nappe superficielle dans la région de l ' Oued Righ et évaluation de sa vulnérabilité à la pollution, Algérie. *Revue Science et Technologie, Synthèse.*, 57, 42–57 pp.
- Bellaredj. A, 2013. Caractérisation des eaux souterraines de la plaine de la M'leta (Algérie, Nord-Ouest) par application de méthodes statistiques multivariées et modélisation géochimique. Thèse Magister en Sciences de la Terre. Université d'Oran 2.
- Bentekhici. N, Benkesmia. Y, Berrichi. F, Bellal. S, 2018. Évaluation des risques de la pollution des eaux et vulnérabilité de la nappe alluviale à l'aide des données spatiales. Cas de la plaine de Sidi Bel Abbès (Nord-Ouest Algérien). *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 31(1), 43-59.
- Benhaouadia. S et Radjah. F, 2018. Évolution de la pollution des eaux souterraines par les Nitrates dans le Moyen Chélif Occidental (Nord-Ouest d'Algérie). Mémoire Master en Hydrogéologie. Université d'Oran 2.
- Bentekhici. N, Saad. A, 2016. Cartographie de la vulnérabilité de la nappe à la pollution dans la plaine de Sidi Bel Abbès. Apport des données de télédétection et le SIG. *Bull. Sci. Géogr.*, 30, 42-52.
- Bezelgues et al, 2002. Cartographie de la vulnérabilité de Grand-Terre et de Marie-Galante (Guadeloupe). Phase1 : méthodologie de détermination de la vulnérabilité. Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM), France.
- Bhatt, K. 1993. Uncertainty in wellhead protection area delineation due to uncertainty in aquifer parameter values. *Journal of hydrogeology*. Vol. 149, p. 1-9.
- B.N.E.D.E.R, 2005. Etude d'assainissement et de lutttes contre les inondations dans la plaine de la M'leta. Première phase : état des lieux.
- Boualla. N, Benziane. A, Derrich. Z, 2012. Origine de la salinisation des sols de la plaine de M'leta (bordure sud du bassin sebkha Oran). *Journal of Applied BioSciences*, 53, 3787-3796.
- Bouazza. S, 2014. Actualisation de l'étude hydrogéologique de la plaine de la M'leta (Algérie-Nord-Ouest). Mémoire d'ingénieur. Université d'Oran. 166p.
- Boubkeri. M, 2013. Vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines en contexte industriel cas de la zone de Hassi Ameer (région d'Oran - Algérie), thèse Magister en Sciences de la Terre. Université d'Oran 2.

- Bouchahm. N, Slimani. R, Chaib, Rezeg. W, Benaouda. A, Djabri. L, 2009. Détermination de la vulnérabilité des eaux a la pollution par différentes méthodes : application a la nappe phréatique de Biskra Sud Algérien, Journal Algérien des Régions Arides, N°08, pp 35-50.
- Bouterraa. O, Mebarki. A, Bouaicha. F, NOuacer. Z AND Laignel. B, 2019. Groundwater quality assessment using multivariate analysis, geostatistical modeling, and water quality index (WQI): a case of study in the Boumerzoug-El Khroub valley of Northeast Algeria. *Acta Geochimica. Science Press*, 38, 796–814 pp. doi: 10.1007/s11631-019-00329-x.
- Bouteldjaoui. F, Kettab. A, and Bessenasse. M, 2016. Evaluation de la qualité des eaux souterraines par combinaison des méthodes hydrogéochimique, statistiques et géostatistique : Cas de la plaine de Ain Oussera, Algérie. Journées Maghrébines, Tlemcen. doi: 10.13140/RG.2.2.18487.68004.
- Castany. G, 1978. Protection des eaux souterraines contre la pollution. XV e journ. Hydraulique. Rapport général, Paris.
- C.G.G, 1970. Compagnie Générale de Géophysique. Prospection électrique de la partie orientale de la plaine de la M'leta
- Civita, M. V. 1995. A methodology for delineation and design of spring protection area system. In: XXVI International Congress of International Association of Hydrogeologists (Edmonton, Alberta, Canada, June 4-10 1995). International Association of Hydrogeologists, Sec. A, Mem. #3.
- Daniel. P, Richard. M, Yves. M et René. L, 1995. Étude comparative des méthodes de détermination des périmètres de protection en milieu granulaire : exemples du piémont laurentien. Groupe de recherche IN SITU – Centre géoscientifique de Québec, 880 Chemin Sainte-Foy, C.P. 7500, Sainte-Foy, QC, G1V 4C7
- Debieche. T. H, 2002. Changes in water quality (salinity, nitro- gen and heavy metals) due to salt pollution, agricul- tural and industrial. Application to the lowlands of Seybouse Nort-East of Algeria (PhD thesis). U. F. R. Sci- ence and Technology, Univ. Franche-Comte, Besanc, on. 235p.
- Drias. T et Toubal. A. C, 2015. Cartographie de la vulnérabilité a la pollution de la nappe alluviale de Tebessa-Morsott (Bassin versant de l'Oued Ksob) extrême Est Algérien. *Larhyss Journal*, ISSN Vol. 1112-3680 (22), 35-48.
- El Kayssi. Y, Hilali. M, Kouz. T, Kacimi. I, 2020. Évaluation de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines par la méthode DRASTIC : cas de la nappe alluviale de Rich (Haut Atlas central, Maroc). *Revue des Sciences de l'Eau/Journal of Water Science*, 32(4), 317-334.
- ENAGEO, 1986. Entreprise nationale de géophysique. Prospection Electrique.
- Engel. B, Navulur. K, Cooper. B, Hahn. L, 1996. Estimating groundwater vulnerability to nonpoint source pollution from nitrates and pesticides on a regional scale.
- EPA. 2003. Contaminated sediment transport and fate modeling. Athens, GA, p. 30605. Récupéré

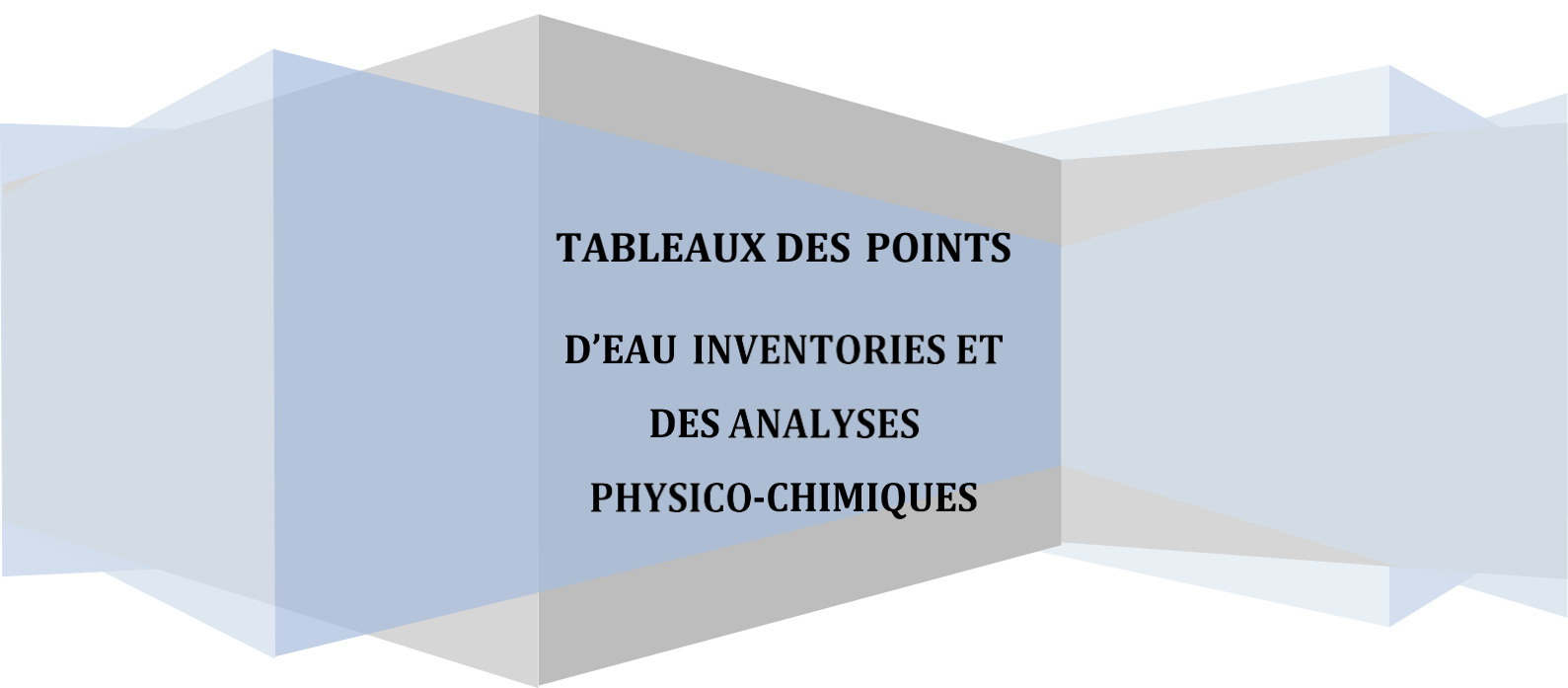
- sur /http://www.epa.gov/nerl/research/2003/ g5-4.htmlS.
- EREM, 1984. Entreprise Rurale d'Exploitation des Mines, étude hydrogéologique dans la région du gisement de sel d'Arbal. Rapport interne. Unité Sidi Bel Abbès.
- Es Saouini. H, 2015. Vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines : aspect dynamique et application à l'aquifère de R'mel (Larache, MAROC), (Doctorat en sciences et techniques de l'ingénieur, Université Abdelmalek Essaadi, TANGER).
- European Community, 1993. Corine land cover. Guide technique. Office des Publications Officielles des Communautés Européennes, Série environnement, sécurité nucléaire et protection civile, 144 p.
- Fenet. B, 1975. Recherches sur l'alpinisation de la bordure septentrionale du bouclier Africain à partir de l'étude d'un élément de l'orogène Nord Maghrébine: les monts du djebel Teddala et les massifs du littoral Oranais. Nice, Thèse Doctorat Es-Sciences Nice.
- Foster. S, 1987. Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. TNO Proc and Inf 38:69–86
- Foster. S, Bousquet. A, Furey. S, 2018. Urban groundwater use in Tropical Africa—a key factor in enhancing water security? Water Policy 20:982–994. <https://doi.org/10.2166/wp.2018.056>
- Goodchild. M. F, 1996. GIS and environmental modelling: progress and research issues. Fort Collins (CO), GIS World Books.
- Gouaidia. L, 2008. Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico chimiques des eaux d'une nappe en zone semi-aride, cas de la nappe de meskiana nord-est algérien. Thèse de Doctorat, Université de Badji Mokhtar-Annaba
- Gourinard. Y, 1952. Le littoral Oranais (mouvements verticaux et anomalies gravimétriques). Publ.XIXe congr. Géol. Intern. Alger, P107.
- Guillaume. M, Marie. L, 2015. Étude de la vulnérabilité de l'eau souterraine sur la zone Bécancour (Centre-du-Québec), Géohydro2011.7p.
- Hadjadj. M, 2018. Suivi des indicateurs de pollution dans une zone aride à semi-aride : Diagnostic des environs de Gdyl suite aux dépôts des déchets ménagers et rejet d'eau usée au niveau du lac Télamine. Thèse Magister En Sciences de la Terre, Université d'Oran 2. 126p.
- Hassani. M. I, 1987. Hydrogéologie d'un bassin endoréique – Le bassin versant de la grande sebkha d'Oran. Grenoble, Thèse de Doctorat. Université Scientifique Technologique et Médicale de Grenoble.
- Hennia. K, 2006. Contribution à la gestion qualitative des eaux souterraines dans les zones semi-arides Application au moyen Cheliff occidental. Thèse Magister. Université de Chélif.
- Kaouther. N, Rihab. H, Mongi. H, Naziha. M, Malika. A, Faten. K, Karim. Z, Younes H, 2020. Application of the analytic hierarchy process to weight the criteria used to determine the Water Quality Index of groundwater in the northeastern basin of the Sidi Bouzid region, Central Tunisia. Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration.
- Kehinde. A. M, 2018. Application of vulnerability modeling techniques in groundwater resources management: a comparative study. Applied Water Science. <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0770-2>.

- Khedidja. A, Boudoukha. A. 2018. Study of the physical and chemical qualities of surface water and groundwater in the upper valley of wadi Rhumel (Eastern Algeria). *Arabian Journal of Geosciences*. <https://doi.org/10.1007/s12517-017-3380-7>.
- Kheliel. O, Youcef. L, Achour. S, 2018. Qualité des eaux souterraines de la nappe du Moi-Pliocène de la région de Biskra et risque de la pollution par les nitrates. *Courrier du Savoir – N°25*, pp.135-142.
- Kouamé. K. J, 2007. Contribution à la gestion intégrée des ressources en eaux (GIRE) du district d'Abidjan (Sud de la Côte d'Ivoire) : outils d'aide à la décision pour la prévention et la protection des eaux souterraines contre la pollution. Thèse de doctorat, Université de Cocody, 225p.
- Kouachi. A, 2016. Synthèse hydrochimique et teneurs en nitrates des eaux de trois nappes de la région d'Oran. Thèse Master Université d'Oran.
- Lallemand. A et Barres. A, 1994. Normalisation des critères d'établissement des cartes de vulnérabilité aux pollutions. Rapport BRGM-R37928, Inédit.
- Menani. M, 2001. -Evaluation et cartographie de la vulnérabilité à la pollution de l'aquifère alluvionnaire de la plaine d'El Madher, Nord-Est algérien, selon la méthode DRASTIC, John Libbey Eurotext France. *Sécheresse Vol.12 (n°2)* : pp.95-101.
- Mef, 1995. Ministère de l'Environnement et de la Faune. Guide : les périmètres de protection autour des ouvrages de captage d'eau souterraine. Publication du Québec. Sainte-Foy (Québec).
- Mekhlouf. M et Sadi. R, 2013. Impact des eaux usées industrielles de Hassi Ameer sur la qualité physico-chimique du lac Télamine, *Mém. Ing. Univ Oran 2*, 87p.
- Mokili. M, Faidance. M, Patrick. M, 2017. Cartographie de la vulnérabilité à la pollution de la nappe souterraine d'Isiro (Nord-est de la RD Congo) à partir de la méthode DRASTIC. *Afrique SCIENCE*. 125 – 139.
- Nadjla. B et Sid Ahmed. B, 2018. Mapping of vulnerability to groundwater pollution by the application of the DRASTIC method and GIS, case of the Hennaya alluvial aquifer (Tlemcen wilaya, North-West Algeria). *EWASH & TI Journal*, 2018 Volume 2 Issue 2, Page 38-45.
- Nadjla. B, Yamina. B, Faouzi. B et Sid Ahmed. B, 2017. Évaluation des risques de la pollution des eaux et vulnérabilité de la nappe alluviale à l'aide des données spatiales. Cas de la plaine de Sidi Bel Abbès (nord-ouest algérien) Assessing water pollution risks and groundwater vulnerability using spatial data. Case of the Sidi Bel Abbes plain (North-West Algeria). *Journal of Water Science*. DOI: <https://doi.org/10.7202/1047052ar>.
- Ncibi. K, Chaar. H, Hadji. R, Baccari. N, Sebei. A, Khelifi. F, Abbas. M, Hamed. Y, 2020. A GIS-based statistical model for assessing groundwater susceptibility index in shallow aquifer in Central Tunisia (Sidi Bouzid basin). *Arabian Journal of Geosciences* 13(98):1–21. <https://doi.org/10.1007/s12517>.

- Nekkoub. A, Baali. F, Hadji. R, Hamed. Y, 2020. The EPIK multi-attribute method for intrinsic vulnerability assessment of karstic aquifer under semi-arid climatic conditions, case of Cheria Plateau, NE Algeria. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(15), 1–15. 10.1007/s12517-020-05704-0.
- Nouar. T, 2007. Impact de la pollution sur les ressources en eau superficielles et souterraines de la région de Guelma. Thèse de Doctorat en hydrogéologie. Université de Badji Mokhtar Annaba, Algérie. 179p.
- O.N.M, 2019. Office National de Météorologie. Données climatologiques de station d'Es-Sénia périmètre Tafraoui.
- Paradis. D, 2000. Comparaison des méthodes de détermination des périmètres de protection des ouvrages de captage d'eau souterraine dans les aquifères granulaires du piémont laurentien. Mémoire de maîtrise. Université du Québec : INRS-Géoressources. 138 p.
- Paul. L. C, Suman, A. Al and Sultan, N. 2013. Methodological Analysis of Principal Component Analysis (PCA) Method, *IJCEM International Journal of Computational Engineering & Management* ISSN, 16(2), pp. 2230–7893. Available at: [www.IJCEM.org](http://www.IJCEM.org)
- Perrodon. A, 1957. Étude géologique des bassins néogène sublittoraux de l'Algérie occidentale. Publication service carte géologie de l'Algérie (12), 12-328.
- Prospection Geophysique, 2012. Etudes géophysiques d'allure du réservoir dans la région alentour de la plaine d'Oued Tlélat.
- Rabahi H et Belani T, 2013. Etude hydrogéologique de la plaine de la M'léta (W.d'Oran). Mémoire fin d'étude.
- Ramesh. J, Rafat. Q, Ramya. S, Chandrakanth J, Pandurang, Balwant, Veligeti J. C. Padmakar and Paras. R, Pujari, 2020. Evaluation of Groundwater Vulnerability to Pollution using GIS Based DRASTIC Method in Koradi, India - A Case Study. *Journal geological society of india*. pp.292-297. Dio 10.1007/s12594-020-1549-2.
- Ribeiro. L, 2000. IS: Um novo índice de susceptibilidade de aquíferos à contaminação agrícola Internal report. ERSHA/CVRM, Instituto Superior Técnico Lisbon, Portugal, p 12.
- Richards. L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Edit. US Department of Agriculture, *Agricultural Handbook n°60*, Washington (USA), 160pp.
- Piper. A. M, 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *Transactions. American Geophysical Union*, 25, 914-923.
- Sabah. L et Salah. C, 2017. Assessment and mapping of the vulnerability to pollution of the groundwater, using the both DRASTIC and GOD methods, in alluvial plain of Guelma, NorthEast of Algeria. *Rev. Sci. Technol., Synthèse* 34: 48 -62.
- Samir. A, Saïd. H and Youssef. G, 2019. Application des méthodes paramétriques (DRASTIC et SI) pour l'étude de la vulnérabilité à la pollution potentielle par les nitrates de la nappe d'eau

superficielle de Timahdite-Almis Guigou (Moyen Atlas, Maroc). Revue des Sciences de l'Eau. DOI : <https://doi.org/10.7202/1067307ar>.

- Samir. B, Hamed. B. D, 2008. "Spatial Analyst" pour le calcul et la cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution selon la méthode DRASTIC. Application sur la nappe phréatique de Gabès Nord. La conférence francophone Est-il, 1er et 2 octobre, versailles.
- Sbargoud. S, 2013. Validité de l'application de la méthode de vulnérabilité DRASTIC à l'étude de la pollution par les nitrates dans la Mitidja (Nord d'Algérie). Conférence GeoTunis. 8-12 avril 2013, Tunis, Tunisie, 22 p.
- SEOR, 2011. Société de l'Eau et de l'Assainissement d'Oran.
- Sinan. M, 2000. Méthodologie d'identification d'évaluation et de protection des ressources en eau des aquifères régionaux par la combinaison des sig, de la géophysique et de la géostatistique. Application a l'aquifère du Haouz de Marrakech. Thèse de Doctorat d'État. Marrakech, Université Mohamed V, École d'Ingénieurs De Mohammedia. , Maroc.
- SOGREAH, 2004. Société Grenobloise d'Etudes et d'Amenagements Hydrauliques. Prospection géophysique du bassin versant de la grande sebkha d'Oran.
- Suarez. D. L, Wood. J.D, Lesch. S. M, 2006. Effect of SAR on water infiltration under a sequential rain- irrigation management system. Agric water Manage ; 86 :150-64.
- Thomas. G, 1985. Géodynamique d'un bassin intramontagneux: Le bassin du bas Chéelif Occidental (Algérie) durant le Mio-Plio-Quaternaire. Pau, Thèse Doctorat Es-Sciences., Adour.
- Twana. O. A, Salahalddin S. A, Nadhir A. A, Sven K, 2016. Groundwater Vulnerability Using DRASTIC and COP Models: Case Study of Halabja Saidaq Basin, Iraq. Engineering, 8(11), 741-760.
- U.S.E.P.A, 1987. United States Environmental Protection Agency. Guidelines For Delineation Of Wellhead Protection Areas. EPA-440/5-93-001.Office of Ground-Water Protection, Washington, DC.
- U.S.E.P.A, 1994. United States Environmental Protection Agency. HANdbOOK: Ground Water and Wellhead Protection. EPA/625/R-94/001.Office of Water, Washington, DC.
- Vrba, J and Zaporozec, A. 1994. Guidebook on mapping groundwater vulnerability.IAH. Vol.1. 131.
- Yelles-Chaouche. A. D, 2004. The Ain Temouchent (Algeria) Earthquake of December 22 nd , 1999. Pure application. Geophysics. 161, 607-621.



**TABLEAUX DES POINTS  
D'EAU INVENTORIES ET  
DES ANALYSES  
PHYSICO-CHIMIQUES**

N°	NOM DU FORAGE	X LAMBERT	Y LAMBERT	PROF. (m)	NS (m)	Débit (initial)	USAGE	ETAT
1	BOUDAUD KADOUR	215,850	257,500	60	50		IRRIG+AEB	EXPLOITE
2	TAMAZOURAH	196,8	240,2	300				NON EXPLOITE
3	GROS	200,250	247,700	380	10,21	25	IND	EXPLOITE
4	TAMAZOURAH	200,5	247,45	250			IRG	
5	KHARBOUCH MILOUD	200,60	248,25	125,00	8,00		AVICOLE	BON
6	MLETA 1	200,700	247,750	422	9,5	22	-	ABANDONNE
7	MAHMOUD ABDELLAH	201,25	247,97	62,00	10,00		PROJET PEPINIERE	BON
8	MAHMOUD ABDELLAH	201,27	248,00	110,00	10,00		PROJET PEPINIERE	BON
9	REGUIG AHMED	201,27	251,20	50,00			AVI + OVIN + BOVIN	
10	GCA	201,800	247,550	400	25		IRRIG	
11	MLETA 2	202,150	253,150	500	10	30	-	ABANDONNE
12	MLETA 2BIS	202,250	253,150	480	6		-	ABANDONNE
13	KADIRI ABDEL OUAHED	202,32	250,90	80,00	10,00		OVIN	EXPLOITE
14	OT 7 REHABILITE	203,4	257,68	270	1	20		EXPLOITE
15	OT7	203,5	257,7	270	ARTESIEN	25		
16	GCA	203,550	247,950	380				NON EXPLOITE
17	OUED TLELAT 2	204	252,35	414	14	20	AEP	NON EXPLOITE
18	SAYEH ABDELKRIM	204,37	251,92	70,00	4,70		OVIN + BOVIN	EXPLOITE
19	AID ABDELKADER	205,12	205,08	130,00			NON UTILISE	BON
20	OT8	205,500	257,600	318	14	25		NON EXPLOITE
21	SARL RAHMA	206,00	256,50	125,00			AVICULTURE + BOVIN	BON
22	FELLA MORAD	206,400	245,250	120	112,67	2	-	NON EXPLOITE
23	OT5	206,5	257	420	17,5	30		EXPLOITE
24	FORAGE TAFRAOUI (GRAIDIA)	206,600	247,500	240	52		AEP	EXPLOITE
25	BAN LARTIGUE 1	206,87	254,55	501	14,5	40	DETUIT	R.S:1,18g/l en 1952
26	TAFRAOUI T80	206,87	254,55	400	2,8	70		NON EXPLOITE
27	BAN LARTIGUE	206,95	252,6	360				ABANDONNE

<b>28</b>	BAN LARTIGUE2	207,07	252,3	430,4	21	20	DETRUIT	R.S:2 g/l
<b>29</b>	FORAGE OT 4	207,100	251,700	459	31	12	AEP	EXPLOITE
<b>30</b>	FORAGE TAFRAOUI VILLAGE 3639	207,300	247,600	120	63	0,6	MESURE PIEZO	PIEZOMETRIE
<b>31</b>	FORAGE TAFRAOUI	207,45	255,65	380	5	20		NON EXPLOITE
<b>32</b>	OUED TLELAT OT3	207,5	257,3	417	2,8	42	AEP	EXPLOITE
<b>33</b>	LALA FATMA (TAFRAOUI)	208,8	246,2	120	60	10		NON EXPLOITE
<b>34</b>	AID BENABDELLAH	208,95	248,35	110	ND		AVICULTURE	BON
<b>35</b>	FORAGE GCA	209,050	248,800	400	35,5		IRRIG	EXPLOITE
<b>36</b>	FERME PILOTE	209,400	253,800	150	11,9			NON EXPLOITE
<b>37</b>	FERME PILOTE	209,400	253,850	200	11,68			NON EXPLOITE
<b>38</b>	EAI DRE SI FODIL	210,35	255,60	20,00	5,00		IRRIGATION	BON
<b>39</b>	OUED TLELAT 6	210,4	256,5	226	3,8	45		ABANDONNE
<b>40</b>	SOUALMIA AHMED	210,55	248,20	140	65,00			BON
<b>41</b>	MANSOURI MOHAMED	210,65	256,1	54	6		IRRIGATION	BON
<b>42</b>	EAC DRE SI FODIL	210,75	210,85	5,00	4,20		NON UTILISE	BON
<b>43</b>	BRACHMI EL HADJ	210,80	248,80	70			NON UTILISE	BON
<b>44</b>	FORAGE KEHAILIA	211,450	249,400	230			-	NON EXPLOITE
<b>45</b>	OT1 MOUALEK	211,700	253,900	222	20	20	AEP	EXPLOITE
<b>46</b>	FORAGE DHW COCA	212,875	255,575	196	24	20	-	NON EXPLOITE
<b>47</b>	USINE COCA COLA (2)	213,350	255,375	215			IND	EXPLOITE
<b>48</b>	USINE COCA COLA (1)	213,500	255,400	220			IND	EXPLOITE
<b>49</b>	BENAMAR	213,5	256,65	160	10		IRRIG	EXPLOITE
<b>50</b>	FORTAS	214,100	250,850	150	28,5		IRRIG+AEB	EXPLOITE
<b>51</b>	DOUAR WAHRANI	214,225	250,900	150	-	-	-	DETRUIT
<b>52</b>	BELHOUARI HABIB	214,25	255,75	43,00	14		OVIN + BOVIN	BON
<b>53</b>	NAIT	214,300	251,525	180	38,8		IRRIG	EXPLOITE
<b>54</b>	BOUSSAID MOHAMED	214,42	255,85	28,30	22		IRRIGATION	BON
<b>55</b>	HAMOUD BOUALEM	214,600	252,925	219	33,5	8	IND	EXPLOITE

<b>56</b>	ONAB	214,850	252,950	233	33		IND	EXPLOITE
<b>57</b>	SARL MOULIN HABOUR	215,000	253,150	212	40	8	IND	EXPLOITE
<b>58</b>	OT9	215,675	254,875	190	24,85		AEP	EXPLOITE
<b>59</b>	MEHALI HBIB	215,750	257,375	70	50		IRRIG+AEB	EXPLOITE
<b>60</b>	GCA	216,100	258,050	150		-	-	NON EXPLOITE
<b>61</b>	MOHAMED	216,200	256,750	120	32,5		IND+AEB	FERME
<b>62</b>	EAI 4 SEBIT ABDELKADER	216,35	256,85	60,00	30		IRRIGATION	BON
<b>63</b>	CETIC-CRCC (BASE DE VIE TLELAT)	216,4	245,4	160	42	-	-	EXPLOITE
<b>64</b>	FORAGE OUED TLELAT	216,6	252,8	220	35	10		NON EXPLOITE
<b>65</b>	TOUMIET	216,600	256,875	190	-	-	AEP	NON EXPLOITE
<b>66</b>	BELHOUARI	218,4	260	170	115		IRRIG	EXPLOITE
<b>67</b>	LALLA DJILLALI	218,90	255,65	150	-	-	IRRIGATION + AEP	BON
<b>68</b>	PIEZOMETRE ANRH	212,750	254,100	180	21,95	3	MESURE NIVEAU EAU	-

N°	NOM	X	Y	PROF. (m)	N.S (m)	TYPE POMPE	USAGE	Hauteur abris (m)	CUVE- LLAGE	ETAT	∅ (m)	MARG- ELLE (m)	OBSERVATION
1	BERRACHED	200,17	247,79	---	---	ELECTRIQUE	INDIS. CUIR	---	---	---	---	---	FERME
2	BELKHOSS	200,250	247,250	9,34	5,23	---	IRRIG+AEB	1,2	---	---	---	---	EXPLOITE
3	HADJ KADDOUR BESSAIM	200,600	248,250	4,56	2,55	DIESEL	ELEVAGE	---	---	---	---	---	EXPLOITE
4	PUITS DU FORAGE M'LETA 1	200,77	247,75	5,20	4,70	SANS	NON UTILISE	NON	BRIQUES	---	1,80	0,00	ABANDONNE
5	DJAAFRI BOUAZZA	200,800	248,150	4,88	3,26	DIESEL	ABRV.	0,50	---	---	---	---	EXPLOITE
6	SAYAH MOHAMED	200,850	248,250	3,25	2,23	DIESEL	ELEVAGE	---	---	---	---	---	EXPLOITE
7	KADIRI ABDEL OUAHED	200,85	249,97	5,50	4,00	THERMIQUE	OVIN + BOVIN	NON	BRIQUES	---	1,80	0,50	EXPLOITE
8	BOUTATA BELAID	200,870	248,100	5,04	4,62	DIESEL	---	---	---	---	---	---	EXPLOITE
9	FRID AEK MILOUD	200,875	248,100	6,63	5,31	DIESEL	ABRV.	---	---	---	---	---	EXPLOITE
10	AIDALLAH BOUDJEMAA	200,900	248,050	6,05	3,46	---	---	---	---	---	---	---	---
11	BOUROUIS EMBAREK	200,950	247,900	5,30	4,14	ELECTRIQUE	IRRIGATION	0,20	---	---	---	---	EXPLOITE
12	MAHIDA MOHAMED	201,050	247,750	8,55	5,32	ELECTRIQUE	INDUSTRIE	---	---	---	---	---	EXPLOITE
13	SANDOUK NADIR	201,12	247,90	15,80	8,20	ELECTRIQUE	IRRIGATION	NON	BRIQUES	---	1,80	0,00	EXPLOITE
14	MAHMOUD ABDELLAH	201,15	248,00	14,50	9,50	ELECTRIQUE	IRR + ELEVAGE	NON	BRIQUES	---	1,80	0,50	EXPLOITE
15	DJAAFRI DAUD	201,300	247,650	8,73	7,52	ELECTRIQUE	ABRV.	0,40	---	---	---	---	EXPLOITE
16	MAHMOUD GHALEM	201,37	247,90	11,70	11,00	ELECTRIQUE	AVICOLE	NON	BRIQUES	---	1,80	0,70	EXPLOITE
17	DJAAFRI AEK	201,450	247,650	8,07	7,36	DIESEL	ABRV.	0,15	---	---	---	---	EXPLOITE
18	MEHALI ABDESSALAM	201,55	250,12	8,00	6,00	ELECTRIQUE	FAB. PARPAING	OUI	BRIQUES	---	1,80	0,50	EXPLOITE
19	SANDOUK NADIR	201,60	247,72	6,00	SEC	SANS	NON UTIL.	NON	BRIQUES	MAUVAIS	2,00	0,00	ABANDONNE

20	ANONYME	201,62	249,87	4,90	3,60	SANS	FAB. PARPAING	NON	---	---	1,80	0,00	NON UTILISE
21	KISSIR BOUALEM	201,95	251,55	3,60	2,00	SANS	OVIN + BOVIN	NON	PARPAING	MAUVAIS	1,20	0,20	NON UTILISE
22	KISSIR BENABDELLAH	202,00	252,20	1,20	COMBLE	SANS	NON UTILISE	NON	BRIQUES	MAUVAIS	1,00	0,00	ABANDONNE
23	KISSIR	202,02	252,10	2,20	0,70	SANS	IRRIGATION	NON	PIERRES	BON	1,50	0,25	EXPLOITE
24	SANDOUK	202,10	247,32	20,20	19,50	SANS	IRRIGATION	NON	BRIQUES	---	1,80	0,00	NON EXPLOITE
25	INDUSTRIE	202,100	252,500	4,4	3,4	---	IND	---	---	---	---	---	EXPLOITE
26	ANONYME	202,20	250,87	5,50	4,30	SANS	AVICOLE	NON	BRIQUES	---	1,80	0,00	EXPLOITE
27	SAYEH TAYEB	202,20	252,05	3,00	1,60	ELECTRIQUE	OVIN	NON	BRIQUES	BON	1,50	0,00	EXPLOITE
28	LOUNIS SAID	202,25	251,98	3,30	2,10	ELECTRIQUE	IRRIGATION	OUI	BRIQUES	BON	1,50	0,20	EXPLOITE
29	GCA	202,400	247,400	21,77	17	---	IRRIG	---	---	---	---	---	EXPLOITE
30	KADIRI ABDELOUAHED	202,40	250,85	8,20	6,10	SANS	---	NON	BRIQUES	BON	1,80	0,20	NON EXPLOITE
31	SENDOUK MUSTAFA	202,450	247,200	22,5	19,35	---	---	---	---	---	---	---	NON EXPLOITE
32	SANDOUK CONSOR	202,62	247,02	33,00	30,00	THERMIQUE	IRRIG. + ELEVAGE	NON	BRIQUES	BON	1,80	0,20	EXPLOITE
33	SANDOUK FATMA	202,92	247,35	36,00	20,00	PANNE	IRRIG. +ELEVAGE	NON	BRIQUES	BON	1,80	0,50	EXPLOITE
34	SENDOUK MUSTAFA	203,350	247,050	48	ND = 32,70	---	IRRIG+AEB	---	---	---	---	---	EXPLOITE
35	SAYEH BACHIR	203,95	252,45	3,90	3,30	ELECTRIQUE	OVIN + BOVIN	OUI	PARPAING	BON	1,2 X 1,5	0,25	EXPLOITE
36	HADRI KHOSSA	204,300	248,300	19,87	195,00	---	ABRV.	0,20	---	---	---	---	EXPLOITE
37	DEHIBA LAKHDAR	204,40	248,42	24,00	23,50	SANS	OVIN + BOVIN	NON	PIERRE	MAUVAIS	1,20	0,30	NON UTILISE
38	MEHIDA MILOUD	204,65	247,52	34,60	33,00	ELECTRIQUE	IRRIG-ELEVAGE	NON	BRIQUES	BON	1,80	0,00	EXPLOITE

<b>39</b>	BOUTATA MILOUD	204,800	247,600	26,50	23,00	---	ABRV.	---	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>40</b>	GHENIM	204,85	247,65	33,00	22,00	ELECTRIQUE	AVICULTURE	NON	BRIQUES	BON	1,80	0,50	EXPLOITE
<b>41</b>	SEGHIR AEK	204,850	254,500	4,47	4,23	---	ELEVAGE	0,40	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>42</b>	FLAGA AEK	204,900	247,650	24,87	23,37	Diesel	ABRV.	---	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>43</b>	NEHAL GHALEM	204,900	247,650	---	---	---	ABANDONNE	---	---	---	---	---	ABANDONNE
<b>44</b>	DEHIBA MOHAMED	204,950	247,900	29,78	26,14	Diesel	ABRV.	0,20	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>45</b>	FELLAGA MOHAMED	205,05	247,75	26,00	23,00	ELECTRIQUE	IRRIGATION	NON	BUSES	BON	1,80	1,00	EXPLOITE
<b>46</b>	CHAABANE EL HABIB	205,15	247,80	20,00	SEC	SANS	NON UTILISE	NON	BRIQUES	MOYEN	1,80	0,50	NON EXPLOITE
<b>47</b>	BAKHTI ALI	205,300	250,200	19,15	18,50	ELECTRIQUE	ABRV.	0,40	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>48</b>	LAFTAJ EL OUAFI	205,500	249,200	19,39	17,72	ELECTRIQUE	ABRV.	---	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>49</b>	BOUHADA ADDA	205,500	249,850	23,64	22,87	SEAU	ABRV.	---	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>50</b>	ZINE KHELOUFI AEK	205,600	250,100	24,02	23,26	ELECTRIQUE	ABRV.	0,60	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>51</b>	ZINE KHELOUFI MOUSSA	205,900	250,200	28,81	27,53	ELECTRIQUE	ABRV.	---	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>52</b>	BERBECHE AEK	206,200	252,200	13,65	12,42	ELECTRIQUE	ABRV.	0,80	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>53</b>	HADIDI HAMOUDA	206,20	256,72	2,70	2,00	ELECTRIQUE	DOM.	NON	NON	---	2,00	0,00	EXPLOITE
<b>54</b>	SEHARI AEK	206,250	250,150	29,08	28,80	ELECTRIQUE	ELEVAGE	---	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>55</b>	PUITS COMMUN	206,350	252,550	9,69	8,61	SEAU	ABRV.	0,50	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>56</b>	BOUARJA AOUAD	206,400	252,400	8,33	---	---	SEC	---	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>57</b>	DIDA MOKHTAR	206,400	252,450	8,23	7,45	ELECTRIQUE	ABRV.	---	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>58</b>	RACHED BOUALEM	206,450	255,600	2,32	1,36	SEAU	ABRV.	---	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>59</b>	EL HADJ LAKHDAR	206,500	250,200	20,07	---	---	SEC	---	---	---	---	---	EXPLOITE

<b>60</b>	SHABA LAHOUARI	206,500	250,300	23,35	22,90	SEAU	ABRV.	---	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>61</b>	BAGHDADI HADJ ALI	206,50	256,60	5,00	1,20	ELECTRIQUE	DOM.	NON	BUSES	BON	1,80	0,00	EXPLOITE
<b>62</b>	FELLA MORAD	206,550	244,900	48	sec	-	-	-	---	---	---	---	ABANDONNE
<b>63</b>	DNC	206,600	237,200	10,26	9,29	ELECTRIQUE	INDUSTRIE	0,80	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>64</b>	BOUREFFAS HAMID	206,90	256,70	3,00	2,8	---	IRRIGATION	NON	BRIQUES	BON	1,00	0,00	EXPLOITE
<b>65</b>	FELLA MORAD	207,100	245,250	65	60,8	---	IRRIG+AEB	-	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>66</b>	LOUAFI AEK	207,250	251,600	13,02	12,70	ELECTRIQUE	ABRV.	7,00	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>67</b>	DNE ABDELJALLIL	207,450	250,100	26,98	24,75	---	ABANDONNE	---	---	---	---	---	ABANDONNE
<b>68</b>	EAC 3 ARAB MOHAMED	207,50	250,12	30,00	N M,	---	IRRIGATION	OUI	BRIQUES	BON	2,00	0,00	EXPLOITE
<b>69</b>	MARZOUG NEKHAISSI	207,500	250,450	17,00	16,64	SEAU	---	0,50	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>70</b>	BELLAL BOUDOUMA	207,500	250,550	13,70	13,45	ELECTRIQUE	ABRV.	0,25	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>71</b>	PUITS COMMUN	207,500	252,100	11,47	10,70	SEAU	ABRV.	1,05	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>72</b>	DNE ABDELJALLIL	207,600	25,300	24,79	23,00	SEAU	ELEVAGE	0,20	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>73</b>	EAC 6 DOUMIA DJILALI	207,75	250,37	24,60	SEC	SANS	NON UTILISE	NON	BRIQUES	BON	2,00	0,20	ABANDONNE
<b>74</b>	EAC MEDAH MOHAMED	208,00	249,45	33,00	SEC	SANS	NON UTILISE	NON	BRIQUES	MOYEN	2,00	0,00	ABANDONNE
<b>75</b>	EAC 3 GUELIL AEK	208,20	248,30	31,60	SEC	SANS	NON UTILISE	NON	BRIQUES	MOYEN	1,80	0,00	ABANDONNE
<b>76</b>	SEGHIR	208,75	256,55	5,40	3,80	OUI	ABR + IRR	NON	BRIQUES	BON	---	0,60	EXPLOITE
<b>77</b>	SEGHIR	208,80	256,50	3,70	3,20	OUI	ABR + IRR	NON	BRIQUES	MOYEN	---	0,00	EXPLOITE
<b>78</b>	OUZAID AHMED	209,05	256,87	3,80	3,10	NON	NON UTILISE	NON	BUSE	BON	---	0,00	EXPLOITE
<b>79</b>	OUZAID AHMED	209,12	257,05	4,50	2,00	ELECTRIQUE	ABRV.	NON	BRIQUES	MOYEN	---	0,10	EXPLOITE
<b>80</b>	EAC 5 DRE SI BRAHIM	209,20	255,20	7,8	7,20	GMP	IRRIGATION	NON	PIERRES	MAUVAIS	---	0	EXPLOITE
<b>81</b>	MILOUD	209,25	255,80	8,8	7,00	NON	ABRV.	NON	PIERRES	MAUVAIS	---	1,00	EXPLOITE

<b>82</b>	OUZAID SMAINE	209,45	257,25	5,10	3,00	GMP	AVICULTURE	NON	PARPAING	BON	---	0,40	EXPLOITE
<b>83</b>	FERME PILOTE DRE SI MILOUD	209,60	254,30	24,8	21,60	ELECTRIQUE	IRRIGATION	OUI	BRIQUES	MOYEN	---	0,2	EXPLOITE
<b>84</b>	BENATTOU ABDELKADER	209,650	255,000	27	sondé	---	AEB+IRG	---	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>85</b>	EAC 5 DRE SI BRAHIM	209,65	255,00	10	9,80	GMP	IRRIGATION	NON	NON	---	---	0	EXPLOITE
	FEU PILOTE												
<b>86</b>	DRE SI MILOUD	209,70	251,75	19,2	19,00	NON	ABRV.	NON	PIERRES	MAUVAIS	---	1	ABANDONNE
<b>87</b>	DNE SI MILOUD	209,750	251,800	16,16	15,23	SEAU	ABRV.	0,90	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>88</b>	CHEKLAL AHMED	209,825	254,050	16,03	15,78	SEAU	DOMESTIQUE	0,60	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>89</b>	MME BOURAS ARBIA	209,90	247,40	23	SEC	NON	NON UTILISE	NON	BRIQUES	MOY	---	0	ABANDONNE
<b>90</b>	BOUHADA AHMED	209,925	254,125	21,34	21,22	SEAU	AEP+ABRV.	1,00	---	---	---	---	EXPLOITE
	FERME PILOTE												
<b>91</b>	DRE SI MILOUD	209,95	253,70	12,6	SEC	NON	---	NON	NON	---	---	0	ABANDONNE
<b>92</b>	HADJ DIDA ABDA	209,975	253,875	14,24	13,66	ELECTRIQUE	AEP+ABRV.	0,90	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>93</b>	DNE SI MILOUD	210,000	253,700	13,14	10,22	DIESEL	IRRIGATION	1,10	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>94</b>	AMARA MILOUD	210,000	253,800	12,05	11,08	SEAU	AEP	0,60	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>95</b>	CHEKLAL MILOUD	210,025	254,100	22,75	22,31	SEAU	AEP	0,80	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>96</b>	ABSENT	210,05	258,12	2,00	COMBLE	NON	COMBLE	NON	BRIQUES	MAUVAIS	---	0,00	ABANDONNE
	KHALIFA OUARED												
<b>97</b>	BAKHTI	210,100	253,750	11,32	9,56	---	---	---	---	---	---	---	---
<b>98</b>	BOURDJI MOHAMED	210,200	253,750	13,03	11,53	ELECTRIQUE	AEP+IRG	1,00	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>99</b>	DOUAR FETHIA	210,35	253,80	13	SEC	NON	NON UTILISE	NON	NON	---	---	0,60	ABANDONNE
<b>100</b>	MIA MEFTAH	210,400	254,800	18,38	17,02	DIESEL	IRRIGATION	0,40	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>101</b>	BATHA BELAHOUEL	210,45	255,35	19,4	17,6	GMP	IRRIGATION	NON	PIERRES	MAUVAIS	---	0	EXPLOITE

	PUITS COMMUNAL												
<b>102</b>	TANAZET	210,45	255,50	15,4	11,00	ELECTRIQUE	AEP	OUI	BRIQUES	BON	---	---	EXPLOITE
<b>103</b>	DMNE SIBRAHIM	210,500	255,400	8,01	5,84	DIESEL	IRRIGATION	0,20	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>104</b>	DMNE SIBRAHIM	210,500	255,550	5,29	4,26	SEAU	---	0,98	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>105</b>	ACHOURA LARBI	210,50	257,00	8,30	3,10	NON	IRR + ABR	NON	BRIQUES	BON	---	0,60	NON EXPLOITE
<b>106</b>	ACHOURA LARBI	210,50	257,12	4,00	2,90	NON	ABRV.	NON	BRIQUES	BON	---	0,00	EXPLOITE
<b>107</b>	SOUALMIA AHMED	210,60	248,15	70	65,00	NON	NON UTILISE	NON	BUSE	BON	---	0	NON EXPLOITE
<b>108</b>	NOURA MENAOUER	210,60	249,65	34,4	33,10	NON	NON UTILISE	NON	PIERRES	MAUVAIS	---	0,5	NON EXPLOITE
<b>109</b>	EAC 3 DRE SI BRAHIM	210,6	255,75	8,4	7	GMP	IRRIGATION	NON	NON	---	---	0	EXPLOITE
<b>110</b>	BELKHEIR	210,60	257,30	4,80	3,70	NON	AVICULTURE	NON	PARPAING	BON	---	0,60	NON EXPLOITE
<b>111</b>	EAC DRE SI FODIL	210,65	256,80	50,00	5,70	ELECTRIQUE	IRRI + ABR.	DALLE	BRIQUES	BON	---	0,20	EXPLOITE
<b>112</b>	EAC DRE SI FODIL	210,65	256,90	7,10	5,50	ELECTRIQUE	IRRI + ABR.	DALLE	BRIQUES	BON	---	0,20	EXPLOITE
	EAC 3 FERME												
<b>113</b>	DRE SI BRAHIM	210,7	255,9	6,4	SEC	NON	NON UTILISE	NON	PIERRES	MAUVAIS	---	0,5	ABANDONNE
<b>114</b>	ABSENT	210,72	257,65	4,20	3,10	NON	AVICULTURE	NON	BRIQUES	BON	---	0,20	NON UTILISE
<b>115</b>	EL HABIB TAHAR	210,75	253,60	17,5	12,60	NON	NON UTILISE	NON	PIERRES	MAUVAIS	---	0,6	ABANDONNE
<b>116</b>	BRACHMI MOHAMED	210,80	249,60	32	SEC	NON	NON UTILISE	NON	BRIQUES	MAUVAIS	---	0	ABANDONNE
<b>117</b>	KEHAILI AHMED	210,800	250,350	35,95	31,29	DIESEL	ELEVAGE	---	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>118</b>	EAC DRE SI FODIL	210,80	256,80	8,00	5,00	---	IRRI + ABR.	DALLE	BRIQUES	BON	---	0,20	EXPLOITE
<b>119</b>	NOURA ABDELKADER	210,850	250,000	34,17	31,12	ELECTRIQUE	ELEVAGE	0,50	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>120</b>	MIA HAMOU	210,850	254,700	23,47	21,92	ELECTRIQUE	AEP+IRG	0,10	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>121</b>	CHAFI MILOUD	210,950	250,050	37,92	34,24	ELECTRIQUE	ELEVAGE	0,10	---	---	---	---	EXPLOITE

<b>122</b>	MOUALIM ALI	211,000	249,850	32,72	30,23	ELECTRIQUE	IRRIGATION	---	---	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>124</b>	SIDI ABDELLAH	211,65	249,60	N,M	NM	---	---	---	---	---	---	---	---	FERME
<b>125</b>	EAC 2 MERZOUG KOUIDER	211,70	257,25	8,20	5,7	GMP	OVIN + BOVIN	NON	BRIQUES	BON	---	0,20	---	EXPLOITE
<b>126</b>	EAC 6 DRE SI BRAHIM	211,85	255,7	11,4	9,4	NON	NON UTILISE	NON	BRIQUES	BON	---	0	---	ABANDONNE
<b>127</b>	BENSAADOUNE BELKACEM MUSTAFA	211,850	255,875	12,05	8,95	---	AEB+IRG	---	---	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>128</b>	EAC 6 DRE SI BRAHIM	211,85	255,9	8,6	7,6	NON	IRRIGATION	NON	BRIQUES	BON	---	0	---	NON EXPLOITE
<b>129</b>	CHERIF AHMED	211,87	253,90	16	SEC	NON	NON UTILISE	NON	BRIQUES	MAUVAIS	---	0	---	ABANDONNE
<b>130</b>	DOMAINE MANSOURI	211,975	255,750	11,28	10,65	---	AEB+IRG	---	---	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>131</b>	EAC 6 DRE SI BRAHIM	212,02	255,85	COMBLE	SEC	NON	COMBLE	NON	NON	---	---	0	---	ABANDONNE
<b>132</b>	ANCIENNE FERME	212,05	250,65	17	SEC	NON	NON UTILISE	NON	BRIQUES	MAUVAIS	---	0	---	ABANDONNE
<b>133</b>	EAC 4 AMARA ABDELKADER	212,15	254,00	29,40	24,6	GMP	IRRIGATION	NON	BRIQUES	BON	1,80	0,00	---	EXPLOITE
<b>134</b>	EAC 1 DRE SI BRAHIM	212,25	225,30	18,10	15,90	GMP	IRRI + ABR.	NON	BRIQUES	MOY	---	0,20	---	EXPLOITE
<b>135</b>	BELAIDAOUI MOKHTAR	212,250	253,900	25,97	22,65	---	AEB+IRG	---	---	---	---	---	---	---
<b>136</b>	ANCIENNE FERME	212,42	250,82	16,3	SEC	NON	NON UTILISE	NON	PIERRES	MAUVAIS	---	0,3	---	ABANDONNE
<b>137</b>	MERAH YAHIA	212,450	255,700	13,52	12,9	---	AEB+IRG	---	---	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>138</b>	DOMAINE MANSOURI	212,500	255,375	24	12,6	---	IRRIG	---	---	---	---	---	SONDE	EXPLOITE
<b>139</b>	MERAH YAHIA	212,500	255,625	14	12,45	---	AEB+IRG	---	---	---	---	---	SONDE	EXPLOITE
<b>140</b>	EAC 1 DRE SI BRAHIM	212,5	255,65	14,2	ND	GMP	IRRIGATION	NON	BRIQUES	MOY	---	0	---	EXPLOITE
<b>141</b>	EAC 1 BOUGUERBA MOHAMED	212,50	257,75	13,50	7	ELECTRIQUE	IRRIGATION	NON	BRIQUES	BON	1,60	0,00	---	EXPLOITE
<b>142</b>	EAC 4 DAS SI BOUBARNAS	212,60	259,55	5,20	4,5	SANS	NON UTILISE	---	PIERRES	MAUVAIS	1,20	0,00	---	NON EXPLOITE

<b>143</b>	EAC.	212,70	258,90	8,60	7,1	SANS	NON UTILISE	NON	BRIQUES	BON	1,80	0,00	NON EXPLOITE
	FERME PILOTE												
<b>144</b>	DRE SI MILOUD	212,70	292,80	24,6	23,20	NON	NON UTILISE	NON	PIERRES	MAUVAIS	---	0,2	ABANDONNE
	EAC 1 BOUADJANI												
<b>145</b>	CHARIRA	212,85	257,75	4,00	COMBLE	SANS	NON UTILISE	NON	NON	---	---	0,00	ABANDONNE
	EAC 2 BENZAHIA												
<b>146</b>	ABDELKADER	213,42	257,90	15,80	8,5	SANS	NON UTILISE	NON	BRIQUES	BON	---	0,00	ABANDONNE
<b>147</b>	BENDENNOUN AEK	213,50	256,85	14,00	10,7	GMP	IRRIGATION	NON	BRIQUES	BON	1,80	0,00	EXPLOITE
	BENDENNOUN												
<b>148</b>	ABDEL GHANI	213,51	256,85	14,20	11	GMP	IRRIGATION	NON	BRIQUES	BON	1,80	0,00	EXPLOITE
<b>149</b>	TAHRI RAMDANE	213,55	259,85	5,1	5	NON	ABRV.	NON	NON	---	---	0	EXPLOITE
<b>150</b>	BOUREFFAS RACHID	213,75	255,60	21,20	17,7	GMP	IRRIGATION	NON	BRIQUES	BON	1,80	0,00	EXPLOITE
<b>151</b>	EAC DRE SI ANTAR	213,80	252,80	29,7	SEC	NON	NON UTILISE	NON	PIERRES	MAUVAIS	---	0	ABANDONNE
<b>152</b>	BOUREFFAS HAMID	213,90	255,55	21,70	19	ELECTRIQUE	IRRIGATION	OUI	BRIQUES	BON	---	0,00	EXPLOITE
<b>153</b>	EAC 2 BELKHEIR	213,90	257,17	15,50	14	GMP	IRRIGATION	NON	BRIQUES	BON	1,80	0,20	EXPLOITE
<b>154</b>	EAC 2 MESBAHI ABDELKADER	213,97	256,95	17,00	14,5	GMP	IRRIGATION	NON	BRIQUES	BON	2,70	0,00	EXPLOITE
<b>155</b>	EAC 2 DJILLALI	214,00	257,90	17,60	7,3	GMP	IRRIGATION	NON	BRIQUES	BON	1,80	0,00	EXPLOITE
<b>156</b>	EAC 1 DJEBBAR KHALED	214,15	254,05	34,20	30,9	GMP	IRRIGATION	NON	BRIQUES	BON	---	0,25	EXPLOITE
<b>157</b>	EAC 1 BAGHDADI YUCEF	214,25	255,40	22,80	---	ELECTRIQUE	IRRIGATION	OUI	BRIQUES	BON	---	0,20	EXPLOITE
<b>158</b>	TOUFIK	214,30	256,00	21,00	20	ELECTRIQUE	IRRIGATION	NON	BRIQUES	BON	1,80	0,00	EXPLOITE
<b>159</b>	BOURAADA AHMED	214,40	255,37	23,90	NM	ELECTRIQUE	IRRIGATION	OUI	BRIQUES	BON	1,80	0,00	EXPLOITE
<b>160</b>	EAC 4 GUELLIL MAAMAR	214,50	254,40	31,80	30	GMP	IRRIGATION	OUI	BRIQUES	BON	---	0,25	EXPLOITE
<b>161</b>	EAC 2 BELAZ CHEIKH	214,80	254,60	32,90	ND	GMP	IRRIGATION + AEP	NON	BRIQUES	BON	---	0,00	EXPLOITE

<b>162</b>	BENDENNOUN ABDEL GHANI	214,90	257,20	17,60	16,3	ELECTRIQUE	ABRV.	NON	PIERRES	MOYEN	2,20	0,20	EXPLOITE
<b>163</b>	EAC 6 BENSAFI MOHAMED	214,95	258,45	7,50	6,8	SANS	NON UTILISE	NON	BRIQUES	MOYEN	---	0,00	ABANDONNE
<b>164</b>	EAC 3 HASNI	215,00	257,45	15,00	11	GMP	IRRIGATION	NON	BRIQUES	BON	---	0,50	EXPLOITE
<b>165</b>	EAC 4 BELKEZALI ABDELKADER	215,10	257,60	10,00	COMBLE	SANS	NON UTILISE	NON	NON	---	---	0,00	ABANDONNE
<b>166</b>	EAC 4 BEN ABBOU M'BAREK	215,15	254,75	36,20	26	GMP	IRRIGATION	OUI	BRIQUES	BON	---	0,00	EXPLOITE
<b>167</b>	YOUCEF	215,250	258,250	50	sondé	---	IRRIG	---	---	---	---	---	SONDE
<b>168</b>	KADIRI ABD ELOUAHAB	215,450	251,900	70	ND=58,3	---	IRRIG+AEB	---	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>169</b>	EAC 1 AMRAOUI BOUABDELLAH	215,50	255,65	1,00	COMBLE	SANS	NON UTILISE	NON	NON	---	---	0,00	ABANDONNE
<b>170</b>	YAHIA	215,550	254,225	60	sondé	---	IRRIG	---	SONDE	---	---	---	EXPLOITE
<b>171</b>	BENDENNOUN EL HADJ	215,60	260,60	13,9	11,1	ELECTRIQUE	DOM.	NON	BRIQUES	BON	---	0,2	MOULIN
<b>172</b>	EAC 1 BENROUKIA LAID	215,62	256,00	28,70	25,1	SANS	NON UTILISE	NON	PIERRES	MAUVAIS	---	0,00	ABANDONNE
<b>173</b>	EAC 5 BOUDAUD KADDOUR	216,00	257,50	1,00	COMBLE	SANS	NON UTILISE	NON	NON	---	1,80	0,00	ABANDONNE
<b>174</b>	EAC 5 DAOUDI BEN ALI	216,32	258,15	25,50	20	GMP	IRRIGATION	NON	NON	---	---	0,00	EXPLOITE
<b>175</b>	EAC 5 DAOUDI BELKACEM	216,50	258,25	23,30	22,7	SANS	NON UTILISE	OUI	BRIQUES	BON	---	0,00	ABANDONNE
<b>176</b>	FERME ABANDONNEE	216,55	254,45	23,10	SEC	SANS	NON UTILISE	NON	PIERRES	BON	1,50	1,15	ABANDONNE
<b>177</b>	EAC 5 DAOUDI BELKACEM	216,60	258,05	22,80	COMBLE	SANS	NON UTILISE	NON	PIERRES	BON	1,80	0,80	ABANDONNE
<b>178</b>	ABDELKADER	216,700	257,075	50	sondé	---	IRRIG	---	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>179</b>	EAC N° 8 BENDIM MOHAMED	217,40	258,45	22,30	SEC	SANS	NON UTILISE	NON	NON	---	1,80	0,90	ABANDONNE

<b>180</b>	BOUAKAZ MOKHTARIA	---	---	40,5	39,8	NON	IRR+ELEVAGE	NON	NON	---	1,8	0	FERME
<b>181</b>	SAYEH TAYEB	200,40	250,40	3,50	0,20	ELECTRIQUE	OVIN	NON	BRIQUES	BON	1,80	0,40	SONDE + 30 m
<b>182</b>	GHALOUZI BOUALEM	200,50	250,22	N,M	N,M	ELECTRIQUE	AVIC + OVIN	---	BRIQUES	---	---	---	PUITS SONDE
<b>183</b>	BOUTARAA HACHEMI	200,90	250,20	6,00	3,10	THERMIQUE	OVIN	NON	BRIQUES	BON	1,80	0,40	SONDE + 75 m
<b>184</b>	GHALOUZI ABDELRAHIM	200,92	250,05	5,90	3,90	THERMIQUE	AVIC. + OVIN	NON	BRIQUES	BON	1,80	0,60	SONDE + 78 m
<b>185</b>	CHADLI MILOUD	201,12	249,55	5,60	1,70	THERMIQUE	OVIN	NON	BRIQUES	BON	1,80	0,20	SONDE + 30 m
<b>186</b>	SAYEH ALI	201,90	251,95	3,70	2,30	ELECTRIQUE	AVICULTURE	OUI	NON	---	1,80	0,20	SONDE + 9 m
<b>187</b>	ABDEL ILAH BOUAZA	202,10	251,27	8,00	6,10	ELECTRIQUE	IRR + AVI + OVIN	NON	BRIQUES	BON	1,80	0,50	PUITS SONDE
<b>188</b>	ZERGA MOHAMED	202,30	251,20	5,70	4,80	ELECTRIQUE	IRR + AVI + OVIN	NON	BRIQUES	BON	1,80	0,30	PUITS SONDE
<b>189</b>	FIDGEL LARBI	202,55	252,55	3,00	1,20	SANS	NON UTILISE	NON	PARPAING	BON	1,5 X 1,5	0,00	SONDE + 93 m
<b>190</b>	FIDGEL LARBI	204,05	252,55	4,00	2,00	ELECTRIQUE	AVICULTURE	OUI	BRIQUES	BON	1,2 X 1,2	0,25	SONDE + 37 m
<b>191</b>	MEHIDA GHALEM	204,35	247,52	35,00	30,00	ELECTRIQUE	IRRIG. + ELEVAGE	NON	BRIQUES	BON	1,80	0,00	SONDE + 40 m
<b>192</b>	BAGHDADI HADJ ALI	206,60	256,55	4,00	1,10	SANS	DOM.	NON	BRIQUES	BON	1,80	0,00	PUITS SONDE
<b>193</b>	AID ABDELKADER	207,07	255,05	38,00	17,00	ELECTRIQUE	BOVIN	NON	BRIQUES	BON	1,80	0,00	SONDE + 91 m
<b>194</b>	OUZAID AHMED	209,02	256,80	6,40	3,60	NON	ABR + IRR	NON	---	---	---	---	EXPLOITE
<b>195</b>	EAC 5 DRE SI BRAHIM	209,75	254,80	9,4	NM	GMP	ABRV.	NON	NON	---	---	0	SONDE + ROM
<b>196</b>	OUZAA NOUR EDDINE	214,10	256,05	10,00	NM	ELECTRIQUE	IRRIGATION	NON	BRIQUES	BON	---	0,00	SONDE + 20 m
<b>197</b>	BELHOUARI HABIB	214,17	255,82	17,00	14	ELECTRIQUE	IRRIGATION	NON	BRIQUES	BON	---	0,00	SONDE + 19 m
<b>198</b>	EAC 6 BOUDA DJILLALI	215,17	258,32	8,80	8	GMP	IRRIGATION	OUI	BRIQUES	MOYEN	---	0,00	SONDE +

Nom de puits	T (°C)	pH	Cd (µS/cm)	TDS (mg/l)	RS (mg/l)	Turbidité (NTU)	Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)
<b>P1</b>	22	7,3	3120	1984	2096	2,0	123,03	42,89	452,8	17,15	360,5	304,8	648,94	7,44
<b>P2</b>	23	7,2	1678	1002	1103	0,3	54,22	66,94	200,79	9,17	222,6	159,84	300,6	9,92
<b>P3</b>	19	7	2762	2103	1987	0,5	196,1	75,56	295,8	6,78	396,5	700,8	388,72	11,78
<b>P4</b>	20	7,3	1806	1067	1114	3,1	43,08	43,93	233,91	9,17	251,93	116,64	344,7	8,68
<b>P5</b>	22	7,2	2948	2097	2005	0,466	225,12	83,64	352,82	13,16	374,54	640,8	450,85	12,4
<b>P6</b>	20	7,2	3230	2101	1969	0,794	159,24	140,9	324,99	6,78	299,51	403,68	682,66	15,5
<b>P7</b>	19	7,4	2790	2132	2204	0,351	279,06	48,3	288,9	11,17	331,84	704,64	408,96	18,6
<b>P8</b>	20	7,3	3389	2246	2119	0,8	171,81	116,45	394,91	7,98	301,95	337,44	836,73	22,94
<b>P9</b>	23	7	3273	2308	2276	19,7	211,15	146,65	355,81	13,16	339,77	820,8	440,91	4,96
<b>P10</b>	21	7,3	2721	1921	2061	6,4	184,03	115,12	241,96	11,17	479,46	572,64	304,94	28,52
<b>P11</b>	21	7,2	4813	3205	3282	2,3	160,13	235,02	464,83	9,17	511,79	1080	650,71	3,72
<b>P12</b>	19	7,2	2231	1454	1509	0,5	143,42	72,62	194,8	3,99	444,69	324	268,73	9,92
<b>P13</b>	21	7,1	4310	2612	2839	1,6	115,34	162,31	514,97	5,98	292,8	561,6	890,69	26,66
<b>P14</b>	20	7,2	2916	1928	1883	1,1	62,01	132,21	402,96	4,78	500,8	295,68	511,91	14,88
<b>P15</b>	20	7	3360	2401	2418	0,56	201,31	102,01	400,89	7,98	530,7	471,84	654,97	4,98
<b>P16</b>	21	7,3	2296	1548	1616	1,46	83,04	119,06	242,88	5,98	395,89	297,6	405,76	1,55

## ANNEXES 2

---

### CARTES DE LOCALISATION DES POINTS D'EAU DE LA PARTIE ORIENTALE DE LA PLAINE DE LA M'LETA

#### LEGENDE

Ⓜ PUIITS et son Numéro

# FORAGE et son Numéro

#### FOND TOPOGRAPHIQUE

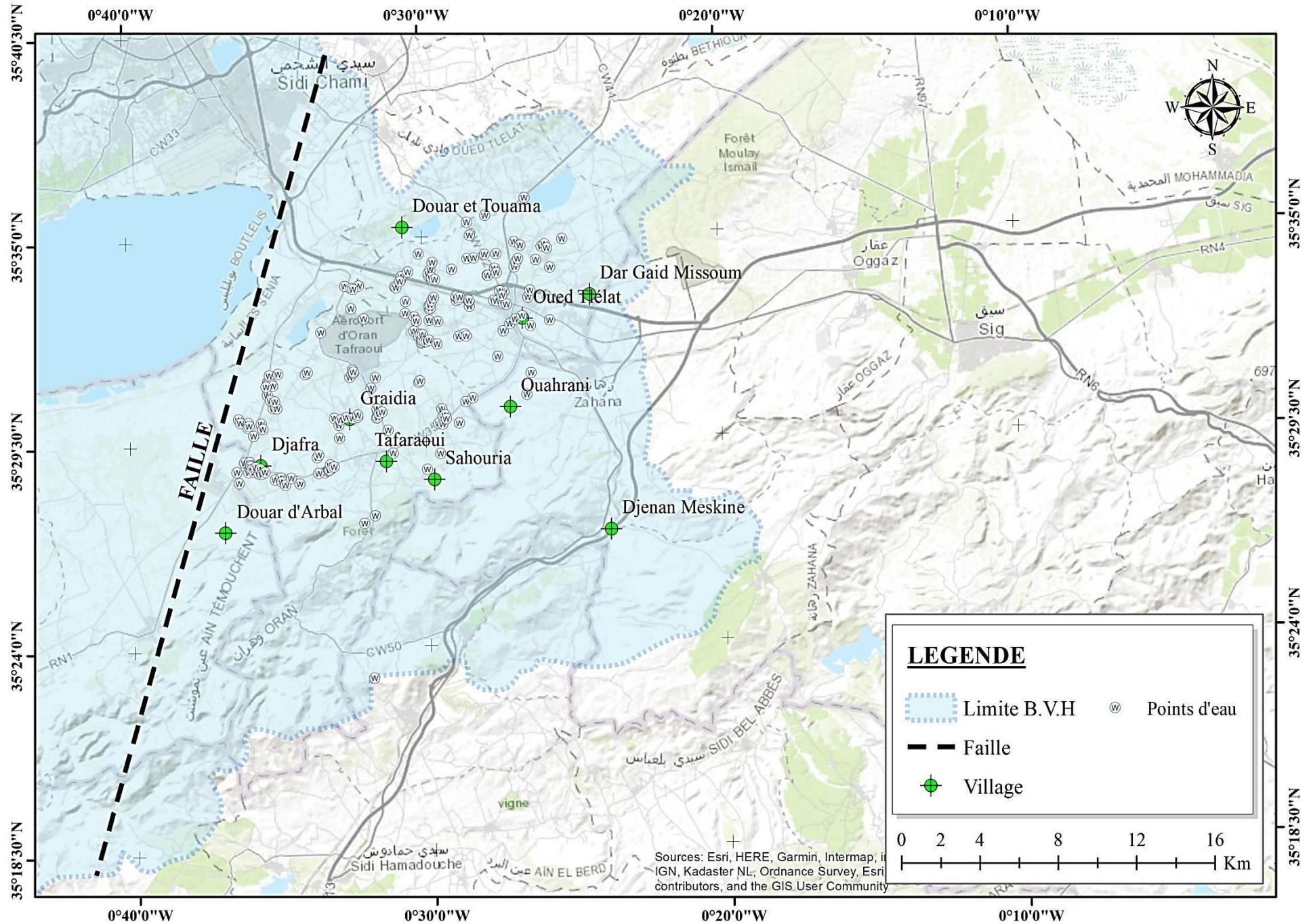
CARTE N°181	CARTE N°182
-------------	-------------

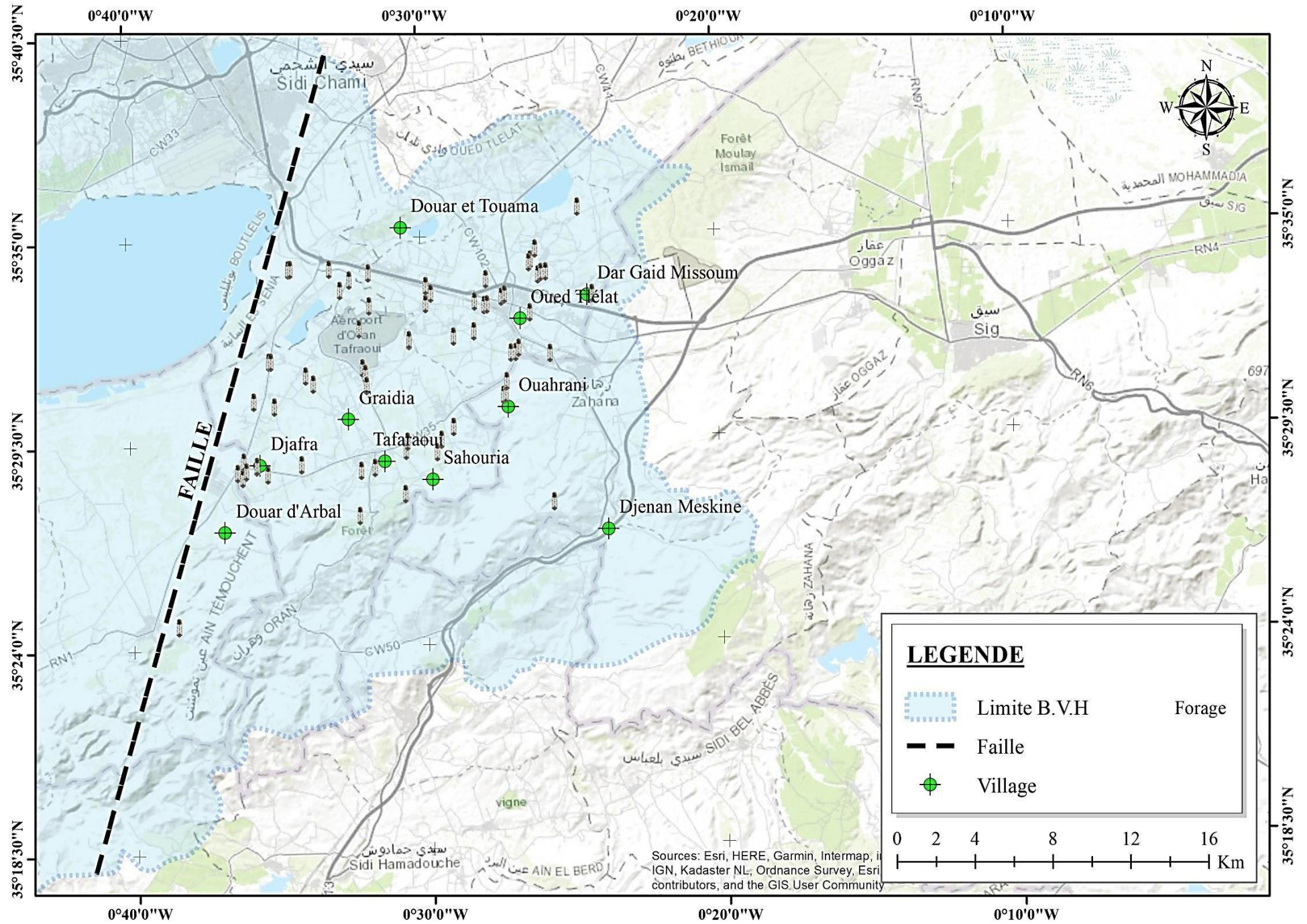
ECHELLE 1/50 000 émé

**CARTE N°1** – Carte de Localisation des Puits de la partie Orientale de la Plaine de la M'leta

**CARTE N°2** – Carte de Localisation des Forages de la partie Orientale de la Plaine de la M'leta

**CARTE N°3** – Carte de Localisation des Points d'Eau (Puits et Forages) de la Région de la Plaine de la M'leta





Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri contributors, and the GIS User Community

