

République Algérienne Démocratique Et Populaire

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Université Bad ji Mokhtar- Annaba

Faculté Des Sciences De La Terre

Département De Géologie



جامعة باجي مختار عنابة

كلية علوم الأرض

قسم الجيولوجيا

## THÈSE

Présentée par :

**Mohammed BENDJERAD**

En vue de l'obtention du diplôme de

**DOCTORAT 3<sup>ème</sup> Cycle**

Option : Hydrogéologie

**Thème**

**APPROCHE METHODOLOGIQUE POUR LA  
PROTECTION DES EAUX DU BASSIN VERSANT  
OUED ABDI (MASSIFS DES AURES)**

**DIRECTEURS DE THÈSE :**

Mr. N. Bougherira	Professeur	Univ. Badji Mokhtar-Annaba	Directeur
Mr. H. Chaffai	Professeur	Univ. Badji Mokhtar-Annaba	Co- Directeur

**DEVANT LE JURY:**

Mr. A. Hani	Professeur.	Univ. Badji Mokhtar-Annaba	Président
Mme. N. Sedrati	Professeur	Univ. Badji Mokhtar-Annaba	Examineur
Mr. H. Khelfaoui	M C A.	Univ. 20Aout 1955-Skikda	Examineur
Mr. N. Guezgouz	M C A.	Univ. Mohamed-Cherif Messaadia- Soukahras	Examineur

**Année Universitaire : 2023-2024**

## *Dédicace*

*Je dédie cette thèse de fin d'études à l'esprit de mon père Bachir  
bendjerad, qui m'a motivé et voulait que j'obtienne un doctorat. Il m'a  
également recommandé de continuer à chercher des connaissances et  
d'apprécier les scientifiques et mes professeurs parmi lesquels mon  
professeur respecté, Chaffai. H et aussi mon professeur  
Bougherira. N*

*À ma très chère mère*

*A mes frères et sœurs*

*À toute ma famille*

*Et à tous les chercheurs assidus*

## ***Remerciements***

Je remercie الله تعالى pour ses bénédictions sur nous, et il mérite plus d'être remercié, et nous le louons, le Tout-Puissant, avec beaucoup de remerciements

Mes sincères remerciements :

A tous ceux qui ont aidés de près ou loin à la réalisation de ce travail.

Tous les enseignants qui ont contribué à notre formation du primaire jusqu'au cycle universitaire.

Je remercie mes chers encadreurs, Le Professeur Chaffai.H et le professeur Bougherira.N pour la Patience, le soutien, l'aide et ses précieux conseils.

Ainsi mes remerciements aux membres du jury,

Je tiens à exprimer ma gratitude au Laboratoire des Ressources en Eau et du Développement Durable (REDD) de la Direction Générale de la Recherche Scientifique et du Développement Technologique (DGRSDT), ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique pour sa contribution à la réalisation de cette étude.

Enfin, un grand merci tout spécial à ma famille, à mes parents qui me Permis de poursuivre mes études, ainsi qu'à tous mes amis qui m'ont toujours soutenu et encouragé au cours des années jusqu'à la finalisation de nos études.

**Merci à tous...**

## Résumé

---

L'Oued Abdi est le nom d'un bassin versant qui fait partie de la chaîne des Aurès dans l'Atlas du Sahara oriental, au nord-est de l'Algérie. Le bassin versant est caractérisé par une superficie de 692 km<sup>2</sup>, un périmètre d'environ 192 km.

Le bassin d'étude est considéré comme une zone d'activité agricole importante pour les agriculteurs de la région, car cette activité s'étend le long de la vallée, siège des plaines alluviales, connues pour la fertilité de leurs terres.

Les paysans dépendent de l'arrosage de leurs vergers sur les eaux souterraines superficielle de l'aquifère alluviale, ainsi que sur les eaux souterraines profondes de l'aquifère fissuré.

La majorité des eaux de la zone d'étude appartient à deux grandes faciès chimiques suivantes ; eaux des bicarbonatées calcique et sulfatées calcique ; le premier provient des calcaires et le second provient des formations gypseuses du Lutétien. Cela confirme notre conviction que l'eau des forages ou des sources appartiennent aux aquifères uniques ou aquifères interconnectés, ou c'est-à-dire qu'il s'agit d'un système multicouche fissuré.

Afin d'extraire les limites de protection des eaux du bassin versant oued Abdi ; qui contient deux aquifères très important alluvionnaire et fissuré ; dans la première nous avons appliqué la méthode de wyssling et la méthode de Disco dans la deuxième , les méthodes précédentes ont été appliquées en fonction de la nature géologique de la roche réservoir.

Des zones de protection avec des priorités spécifiques devraient être formées dans lesquelles diverses sources de pollution sont interdites, selon le degré de leur dangerosité pour les eaux souterraines, selon la nature géologique de l'aquifère. La sécurité des sources d'eau, qui est la base de la vie, est une nécessité absolue et doit être protégée de tous les dangers.

**Mots-clés :** protection des eaux, bassin versant oued Abdi, méthode de Wyssling, Méthode de DISCO,

## ملخص

يقع مستجمع المياه واد عبدي في جبال الاوراس في سلسلة الأطلس الصحراوي الشرقي شمال شرق الجزائر تبلغ مساحة المستجمع حوالي 692 كم<sup>2</sup> ومحيطها حوالي 192 كم.

يعتبر حوض الدراسة منطقة ذات نشاط فلاحى مهم بالنسبة لفلاحى المنطقة بحيث ينتشر هذا النشاط على طول الوادى موضع السهول الغرينية التى تعرف بخصوبة تربتها.

يعتمد الفلاحون فى سقى بساتينهم على المياه الجوفية القريبة من السطح من طبقة المياه الغرينية وايضا المياه الجوفية العميقة المتواجدة فى المخزن الجوفى المتشقق.

تنتمى غالبية المياه فى منطقة الدراسة إلى وجهتين كيميائيتين رئيسيتين: ماء بيكربونات الكالسيوم ومياه كبريتات الكالسيوم؛ الأول يأتي من الحجر الجيري والثاني يأتي من تشكيلات الجبس اللوتيتية. وهذا يؤكد اعتقادنا بأن المياه من الينابيع والآبار تنتمى إلى نفس طبقات المياه الجوفية أو طبقات المياه الجوفية المتصلة، أو أنها نظام متشقق متعدد الطبقات.

من أجل استخراج حدود حماية المياه لمستجمع وادى عبدي؛ الذى يحتوى على طبقتين جوفيتين غرينية ومتشقة مهمتين جداً، فى الأولى قمنا بتطبيق طريقة Wyssling وطريقة DISCO فى الثانية، وقد تم تطبيق الطرق السابقة اعتماداً على الطبيعة الجيولوجية للصخر الخازن المياه.

يجب تشكيل مناطق حماية ذات أولويات محددة يحظر فيها وضع مصادر التلوث المختلفة وفقاً لدرجة خطورتها على المياه الجوفية حسب الطبيعة الجيولوجية للمخزن الجوفى. إن سلامة مصادر المياه، التى تعتبر أساس الحياة، ضرورة حتمية ويجب حمايتها من جميع المخاطر.

**الكلمات المفتاحية:** حماية المياه، مستجمع مياه وادى عبدي، DISCO، طريقة Wyssling .



## Abstract

---

The Oued Abdi watershed is located in the Aurès chain in the Atlas of the Eastern Sahara in northeastern Algeria. The watershed is characterized by an area of 692 km<sup>2</sup>, a perimeter of about 192 km,

The study basin is considered an area with important agricultural activity for the farmers of the region, as this activity spreads along the valley, the location of the alluvial plains, which are known for the fertility of their land.

Farmers depend on watering their orchards on groundwater close to the surface from the alluvial water layer, as well as deep groundwater in the cracked aquifer

The majority of the waters in the study area belong to the following two major chemical facies; calcium bicarbonate water and calcium sulphate water; the first comes from limestone and the second comes from the gypsum formations of the Lutetian. This confirms our belief that water from springs and boreholes belong to the same aquifers or connecting aquifers, or that is, it is a fissured multi-layered system.

In order to extract the water protection limits of the Wadi Abdi watershed; which contains two very important alluvial and fissured aquifers; in the first we applied the Wyssling method and the Disco method in the second, the previous methods were applied depending on the geological nature of the reservoir rock.

Protection zones with specific priorities should be formed in which various sources of pollution are prohibited, according to the degree of their danger to groundwater, according to the geological nature of the aquifer. The safety of water sources, which is the basis of life, is an absolute necessity and must be protected from all dangers.

**Keywords:** water protection, wadi abdi watershed, Wyssling method. method of DISCO,

# Sommaire

	Page
Dédécace .....	i
Remerciement .....	ii
Résumé .....	iii
ملخص .....	iv
Abstract.....	v
Sommaire .....	vi
Liste des figures.....	xi
Liste des tableaux .....	xiv
Introduction Générale .....	01
<b>Première Partie :</b>	
Chapitre 1 : Généralité.....	6-23
Chapitre 2 : Contexte géologique.....	26-45
Chapitre 3 : Hydroclimatologie .....	47-65
<b>Deuxième Partie :</b>	
Chapitre 4 : Aperçu géophysique .....	68-81
Chapitre 5 : hydrogéologie .....	83-101
Chapitre 6 : hydrodynamique.....	103-118
Chapitre 7 : hydrochimie .....	120-143
<b>Troisième Partie :</b>	
Chapitre 8 : Evaluation de la pollution et de la vulnérabilité .....	146-148
Chapitre 9 : détermination des périmètres de protection.....	150-171
Conclusion Générale .....	173-175
Références Bibliographiques .....	176-178
<b>Annexes</b>	
Introduction Générale .....	01
<b>Première Partie</b>	
<b>Chapitre 1 : Généralité</b>	
<b>1 Généralité :</b> .....	<b>6</b>
1.1 Situation géographique : .....	6
1.2 Description géomorphologique .....	8
1.2.1 Les paramètres morphométriques : .....	9
1.2.1.1 Les paramètres géométriques : .....	9
1.2.1.1.1 La surface du bassin : 699.32 km <sup>2</sup> .....	9
1.2.1.1.2 Le périmètre du bassin : 192.995 km .....	9
1.2.1.2 La Morphologie / Forme : .....	9
1.2.1.2.1 L'indice de forme (kc) de GRAVELUIS : .....	9
1.2.1.2.2 Le rectangle équivalent : .....	9
1.2.1.3 La topographie / Relief : .....	11
1.2.1.3.1 Hypsométrie : .....	11
1.2.1.3.2 La pente topographique : .....	15
1.2.1.4 Le réseau hydrographique .....	19
1.2.1.5 Synthèse des caractéristiques de bassin étudié .....	22
1.2.1.6 Le couvert végétal et l'aspects des pentes .....	23
<b>Chapitre 2 : Contexte géologique</b>	
<b>2 Contexte géologique :</b> .....	<b>27</b>
2.1 Introduction : .....	27
2.2 Géologie du Nord Algérien : .....	27
2.2.1 Le Domaine Interne ou Les Kabyldes : .....	27

2.2.2	Le Domaine médian ou les flyschs :.....	27
2.2.3	Le Domaines externe :.....	27
2.3	<i>GEOLOGIE DU MASSIF DES AURES ET DE LA ZONE D'ETUDE</i> :.....	31
2.3.1	Les unités lithostratigraphiques de la zone d'étude présentes sont comme suit :.....	33
2.3.1.1	TRIAS :.....	33
2.3.1.2	JURASSIQUE :.....	34
2.3.1.3	LE CRETACE :.....	34
2.3.1.4	TERTIAIRE :.....	36
2.4	<i>LA TECTONIQUE</i> :.....	38
2.4.1	ANALYSE SRUCTURALE DE L'ATLAS SAHARIEN :.....	38
2.4.2	ANALYSE SRUCTURALE DES AURES :.....	39
2.4.3	ANNALYSE STRUCTURALE DE LA ZONE D'ETUDE :.....	40
2.5	<i>Analyse lineamentaire</i> :.....	45
2.6	<i>Conclusion</i> :.....	46
<b>Chapitre 3 : Hydroclimatologie</b>		
<b>3</b>	<b>Hydroclimatologie</b> :.....	<b>48</b>
3.1	<i>INTRODUCTION</i> .....	48
3.2	<i>Les paramètres climatiques</i> :.....	49
3.2.1	Les précipitations :.....	49
3.2.1.1	Variations mensuelles des précipitations (Tab. 2 et Fig. 2) :.....	49
3.2.1.2	Variation saisonnières des précipitations (Tab. 2 et Fig. 2) :.....	50
3.2.1.3	Variation de la pluviométrie moyennes annuelle (Fig. 3, 4) :.....	52
3.2.1.4	Coefficient pluviométrique (fig.5) :.....	53
3.2.2	Les Températures (Tab. 6 et Fig. 17) :.....	54
3.2.2.1	Variation moyenne mensuelle de la température :.....	54
3.2.2.2	Diagramme pluviothermique (Tab. 7 et Fig. 18) :.....	55
3.2.3	Les vent (Tab. 9) :.....	57
3.2.4	La neige :.....	58
3.2.5	Calcul de L'indice d'aridité DE <i>MARTONE</i> (1923). (Tab. 10) :.....	59
3.3	<i>Calcule des paramètres du bilan hydrique</i> :.....	60
3.3.1	Etude de l'évapotranspiration (Tab. 11) :.....	60
3.3.2	Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) :.....	61
3.3.3	Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR) :.....	61
3.4	<i>Bilan hydrologique</i> :.....	65
3.4.1	Calcul du ruissellement (R) :.....	66
3.4.2	Calcul de l'infiltration (I) :.....	66
3.5	<i>CONCLUSION</i> .....	66
<b>Deuxième Partie :</b>		
<b>Chapitre 4 : Aperçu géophysique</b>		
<b>4</b>	<b>Géophysique</b> :.....	<b>70</b>
4.1	<i>INTRODUCTION</i> .....	70
4.2	<i>INTERPRETATION DES COUPES GEOELECTRIQUES</i> .....	70
4.3	<i>SYNCLINAL DE BOUZINA</i> .....	71
4.3.1	Coupes transversales (1,2 et 3).....	71
4.3.2	Coupes transversales (4,5,6 et7) PL 7 et 8.....	72
4.3.3	Coupes longitudinales (8 et 9).....	74
4.3.4	Coupes longitudinales (10, 11,12 et 13).....	75
4.3.5	carte en isobathes du toit des calcaires du Landénien :.....	77
4.3.6	carte en isobathes du toit des calcaires du Maestrichtien :.....	78

4.4	<i>VALLEE DE OUED ABDI</i> .....	79
4.4.1	Coupes Transversales (21, 22, et 26) : .....	79
4.4.2	Coupes transversales (23,24 et25) : .....	80
4.4.3	Coupes longitudinales (14,15 ,16 ,17 et 1t8) : .....	81
4.4.4	coupe longitudinale et transversales de Nara (19, 20 et27) : .....	82
4.5	<i>Conclusion</i> : .....	83
<b>Chapitre 5 : hydrogéologie</b>		
<b>5</b>	<b>Hydrogeologie</b> .....	<b>85</b>
5.1	<i>INTRODUCTION</i> .....	85
5.2	<i>La nappe phréatique du Quaternaire</i> : .....	87
5.3	<i>La nappe phréatique du Miocène Continental</i> : .....	87
5.4	<i>La nappe de l'Eocène</i> : .....	87
5.4.1	Nappe du lutétien (EOCENE MOYENNE) : .....	87
5.4.2	Nappe du Landénien (EOCENE INFERIEUR) : .....	88
5.5	<i>La nappe du Maestrichtien</i> : .....	88
5.6	<i>La nappe du Turonien</i> : .....	88
5.7	<i>La nappe de l'Albo-Aptien</i> : .....	88
5.8	<i>La nappe du Néocomien</i> : .....	88
5.9	<i>STRUCTURE ET GEOMETRIE DES RESERVOIRS</i> .....	89
5.10	<i>STRUCTURE HYDROGEOLOGIQUE DE BOUZINA</i> .....	90
5.10.1	AQUIFERE DE L'EOCENE (Nummulitique marin) .....	90
5.10.1.1	Aquifère du Lutétien.....	90
5.10.1.2	Aquifère du Landénien .....	90
5.10.2	AQUIFERE DU MAESTRICHTIEN .....	91
5.11	<i>LES SOURCES</i> : .....	93
5.12	<i>STRUCTURE HYDROGEOLOGI DE OUED ABDI ET NARA</i> .....	94
5.12.1	Structure D'oued Abdi.....	94
5.12.2	Structure de NARA.....	98
5.12.3	Structure de TIGHERGHAR : .....	99
5.13	<i>Interprétation des cartes piézométriques</i> .....	102
5.13.1	Nappe alluvionnaire : .....	102
5.13.2	Nappe des fissures : .....	103
<b>Chapitre 6 : hydrodynamique</b>		
<b>6</b>	<b>Hydrodynamique</b> .....	<b>105</b>
6.1	<i>Introduction</i> : .....	105
6.2	- <i>Essai de pompage au niveau du forage d'Ouled Azouz</i> .....	106
6.2.1	L'essai de la décente .....	108
6.2.2	L'essai de la remontée.....	109
6.3	- <i>Essai de pompage au niveau du forage Taghit</i> .....	110
6.3.1	L'essai de la décente .....	112
6.3.2	L'essai de la remontée.....	113
6.4	- <i>Essai de pompage au niveau du forage de Chir</i> .....	114
6.4.1	L'essai de la décente .....	115
6.5	- <i>Essai de pompage au niveau du forage de Chelma (Menaâ)</i> : .....	116
6.5.1	L'essai de la décente .....	118

6.5.2	L'essai de la remontée.....	119
6.6	Conclusion :.....	120
<b>Chapitre 7 : hydrochimie</b>		
<b>7</b>	<b>hydrochimie.....</b>	<b>122</b>
7.1	Introduction:.....	122
7.2	Les points de prélèvement et d'échantillonnage (Fig. 29) :.....	122
7.3	Origine des eaux :.....	122
7.4	Etude des paramètres physiques et chimiques : .....	123
7.4.1	Paramètres physiques :.....	123
7.4.1.1	Potentiel hydrogène pH :.....	123
7.4.1.2	Conductivité électrique :.....	124
7.4.1.3	Résidus secs :.....	125
7.4.2	Paramètres chimique .....	126
7.4.2.1	Statistique élémentaire :.....	126
7.4.2.2	-Faciès chimique des eaux : Afin de déterminer dans l'eau analysée les éléments les plus dominantes.....	127
7.4.2.2.1	Apports des rapports : $Ca^{++} / Na^{+} SO_4^{-} / HCO_3^{-}$ :.....	127
7.4.2.2.2	Durov Diagram .....	128
7.4.2.2.3	Digrame de piper.....	129
7.4.2.2.4	Diagramme de Scholler-Berkaloff :.....	130
7.4.2.2.5	Diagramme de Sttif .....	132
7.4.2.2.6	Carte de Sttif.....	133
7.4.2.3	Mécanismes contrôlant le chimisme des eaux souterraines.....	133
7.4.2.3.1	Diagramme de Gibbs.....	133
7.4.2.4	Aptitude des eaux à l'irrigation :.....	134
7.4.2.4.1	Classifications des eaux destinées à l'irrigation :.....	134
7.4.2.5	Calssification des Paramètres et l'origine chimiques :.....	135
7.4.2.5.1	Eléments chimiques majeurs .....	136
7.5	Analyse statistique des paramètres et éléments chimiques :.....	137
7.5.1	Analyse en Composantes Principales (ACP).....	137
7.6	Origines de la minéralisation :.....	140
7.6.1	Le rapport binaire $(Ca+Mg+HCO_3)/ (Na+Cl+SO_4)$ vs CE .....	140
7.6.2	Le rapport binaire du $(Ca+2+ Mg+2)-(Na+ K+)$ vs $HCO_3^{-} - (SO_4^{-2} + Cl^{-})$ .....	140
7.6.3	Relations $Ca^{++} - SO_4^{-}$ et $Ca^{++} - HCO_3^{-}$ .....	141
7.6.4	Relations $Mg^{++} - HCO_3^{-}$ :.....	142
7.6.5	Les éléments $Na^{+} - Cl^{-}$ :.....	143
7.6.6	Détermination de l'indice d'échange de base par le graphe $Mg/ (HCO_3+SO_4) = f (Na/Cl)$ .....	143
7.6.7	Les éléments $Cl^{-} -SO_4^{-}$ :.....	144
7.7	Conclusion :.....	145
<b>Troisième Partie :</b>		
<b>Chapitre 8 : Evaluation de la pollution et de la vulnérabilité</b>		
<b>8</b>	<b>Evaluation de la pollution et de la vulnérabilité :.....</b>	<b>146</b>
8.1	Introduction :.....	146
8.2	Concept de vulnérabilité :.....	146
8.3	Les types de la vulnérabilité :.....	147
8.3.1	La vulnérabilité intrinsèque :.....	147
8.3.2	La vulnérabilité spécifique :.....	147
8.4	Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité :.....	147
<b>Chapitre 9 : détermination des périmètres de protection</b>		

<b>9 Détermination des périmètres de protection.....</b>	<b>150</b>
9.1 Introduction :.....	150
9.2 Les types des périmètres de protection des puits.....	150
9.2.1 Périmètre de protection immédiate (PPI) .....	150
9.2.2 Périmètre de protection rapprochée (PPR) .....	150
9.2.3 Périmètre de protection éloigné (PPE) .....	151
9.3 Approche méthodologique pour la protection des aquifères :.....	151
9.3.1 Introduction :.....	151
9.3.2 Méthodologie :.....	151
9.3.3 Définition des Approches et des méthodes utilisées : .....	152
9.3.3.1 Approche Empirique : .....	152
9.3.3.2 Méthode géométrique .....	152
9.3.3.3 Approche hydrodynamique .....	152
9.3.3.4 Méthode De Wyssling .....	153
9.3.3.5 Approche cartographique .....	153
9.3.3.6 La méthode Disco.....	154
9.4 Evaluation de Vulnérabilité et détermination des périmètres de protection de l'aquifère alluvionnaire : .....	154
9.4.1 introduction : .....	154
9.4.2 Evaluation hydrogéologique : .....	154
9.4.3 Estimations de la Vulnérabilité et calcul des Isochrones : .....	158
9.4.4 Estimations de Vulnérabilité: .....	159
9.4.5 Calcule et détermination des Isochrones des puits implantés dans l'aquifère alluvionnaire :.....	160
9.4.6 Conclusion : .....	162
9.5 Evaluation du Vulnérabilité et détermination des zones de protection pour l'aquifère Fissuré : .....	162
9.5.1 Introduction :.....	162
9.5.2 Classification hydrogéologique des aquifères consolidées(fissurées) :.....	163
9.5.3 Cartographie de la vulnérabilité et délimitation des zones de protection dans les aquifères très hétérogènes :.....	164
9.5.3.1 Définition et objectifs .....	164
9.5.3.2 Evaluation et classification des Paramètres :.....	164
9.5.3.2.1 paramètre « discontinuités ».....	165
9.5.3.2.2 paramètre de couverture protectrice : .....	166
9.5.3.2.3 Le facteur de protection intermédiaire : .....	168
9.5.3.2.4 Ruissellement et facteur de protection finale « F ». .....	169
9.5.3.2.5 Délimitation de la zone de protection :.....	171
9.5.4 Conclusion.....	172
<b>CONCLUSION GENERAL :.....</b>	<b>173</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>176</b>
<b>ANNEXE.....</b>	<b>179</b>

## Liste des figures

<i>Figure 1: Carte de situation géographique de bassin versant Oued Abdi</i>	7
<i>Figure 2: La carte géomorphologique en 3D de bassin versant Oued Abdi</i>	8
<i>Figure 3: Rectangle équivalent</i>	11
<i>Figure 4: Carte hypsométrique</i>	12
<i>Figure 5: Hypsogram et courbe hypsométrique</i>	13
<i>Figure 6 : Carte hydrographique (Ordre d'écoulement selon la classification de STRAHLER )</i>	20
<i>Figure 7: Carte d'indice de végétation (NDVI)</i>	25
<i>Figure 8: Carte d'aspects des pentes</i>	25
<i>Figure 9: Carte géologique de l'Algérie 2ème édition 1951-1952, Service de la carte géologique.</i>	30
<i>Figure 10: (a) Carte des principales unités géologique de la Méditerranée Occidentale (Selon Durand-Delga 1969). (b) Les différentes unités géologiques des Maghrébides (Domzig 2006).</i>	30
<i>Figure 11: Carte géologique de l'Aurès. D'après la carte géologique de l'Algérie 2ème édition dressée par Deleau. P, et Laffitte, 1951.</i>	32
<i>Figure 12: Carte géologique du Bassin versant Oued Abdi réalisée par M. Bendjerad. (Source : Extrait de l'esquisse géologique de l'Aurès par (R. Laffitte 1939).)</i>	33
<i>Figure 13: Esquisse géologique et tectonique (d'après Guiraud 1973) source : (Adel Mekaoussi 2012)</i>	39
<i>Figure 14: Schéma structural du massif de l'Aurès. (D'après Guiraud. R, 1973)</i>	40
<i>Figure 15: coupe géologique (d'après Guiraud. R, 1973).</i>	40
<i>Figure 16: coupe effectuée sur la rive droite d'Oued Tassrift (ABCHICHE 1999).</i>	41
<i>Figure 17: Coupe effectuée à Chir : faille normale décrochant affectant les séries Albo- Aptiennes (ABCHICHE 1999), source( BAALA FATIMA, 2012).</i>	41
<i>Figure 18: coupe géologique de Bried à Dj Bouss (ABCHICHE 1999) source ( Adel Mekaoussi 2012)</i>	42
<i>Figure 19: coupe Effectuée en remontant la rive de l'Oued Nirdi vers Ain Zina (ABCHICHE 1999).</i>	42
<i>Figure 20: Coupe Effectuée Au Niveau De La Rive Droite De L'Oued Du Vieux Bouzina (ABCHICHE 1999).</i>	43
<i>Figure 21: coupe géologique à D.J. Azreg (d'après Guiraud. R, 1973).</i>	43
<i>Figure 22: La Coupe géologique effectuer à Nara (ABCHICHE 1999).</i>	44
<i>Figure 23: Coupe dans le secteur de Branis entre Dj. Teniet El Riah et Oued Lafteh. (Mohamed CHEBBAH 2007)</i>	45
<i>Figure 24: Rosaces Directionnelles Qualitative et Quantitative des Linéaments</i>	46
<i>Figure 25: Variation des précipitations moyennes mensuelles, Stations Theniet El Abed /Bouzina Mena /Djemourah (1990-2020).</i>	49
<i>Figure 26: Variation interannuelle des précipitations, Stations Theniet El Abed /Bouzina/ Mena /Djemourah (1990-2020).</i>	50
<i>Figure 27: Carte des précipitations moyenne annuelle du Bassin Versant de L'oued Abdi, Stations Theniet El Abed /Bouzina/Mena /Djemourah (1990-2020).</i>	51
<i>Figure 28: Variation des précipitations moyennes saisonnières, Stations Theniet El Abed /Bouzina/Mena /Djemourah (1990-2020).</i>	52
<i>Figure 29: Variation des précipitations moyennes annuelle, Stations Theniet El Abed /Bouzina Mena /Djemourah (1990-2020).</i>	52
<i>Figure 30: Carte des moyennes pluviales, Stations Theniet El Abed /Bouzina /Mena /Djemourah (1990-2020).</i>	53
<i>Figure 31: Variation du coefficient pluviométrique, Stations Theniet El Abed /Bouzina Mena /Djemourah (1990-2020)</i>	54

Figure 32:Variation des Températures moyennes mensuelles, Stations Theniet El Abed /Bouzina/Menaa /Djemourah (1990-2020).....	55
Figure 33:Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls ( $P=2T$ ), Stations Theniet El Abed /Bouzina/Menaa /Djemourah (1990-2020). ....	57
Figure 34:La vitesse moyenne mensuelle des vents(m/s), Stations Theniet El Abed /Bouzina/Menaa /Djemourah (1990-2020).....	58
Figure 35:photo de Neige à Tidjedad .....	58
Figure 36:Carte d'indice d'aridité annuelle selon la classification de MARTONE (1923). (Stations Theniet El Abed /Bouzina/Menaa /Djemourah (1990-2020)).....	60
Figure 37:Moyenne pluriannuelle des éléments climatiques et des paramètres du bilan hydrique. ....	64
Figure 38:Emplacement des sondages électriques dans le bassin versant de l'Oued Abdi (ENAGEO, 1998).....	71
Figure 39:Coupes géologiques transversales (1, 2 et3) PL 5. (ENAGEO, 1998).....	72
Figure 40:Coupes géologiques transversales (4, 5,6 et7) PL 7 et 8. (ENAGEO, 1998). ....	74
Figure 41:Coupes géologiques Longitudinale (8,9) PL 5. (ENAGEO, 1998) (modifier par bendjerad. M,2023). ....	75
Figure 42: Coupes géologiques Longitudinales (10 , 11,12 et 13) PL 6. (ENAGEO, 1998). ....	77
Figure 43:Carte en isobathes du toit des calcaires du Landénien dans la vallée de Bouzina (ENAGEO, 1998).....	78
Figure 44:Carte en isobathes du toit des calcaires du Maestrichtien dans la vallée de Bouzina (ENAGEO, 1998).....	79
Figure 45:Coupes géologiques transversales (21,22 et 26) PL 2et 3. (ENAGEO, 1998). ....	80
Figure 46:Coupes géologiques transversales (23,24 et 25) PL 2et 3. (ENAGEO, 1998). ....	81
Figure 47:Coupes géologiques Longitudinales (14,15,16,) PL 2 (ENAGEO, 1998). ....	81
Figure 48:Coupes géologiques Longitudinales (17 et 18) PL 4. (ENAGEO, 1998). ....	82
Figure 49:Coupes géologiques Longitudinales (17 et 18) PL 4. (ENAGEO, 1998). ....	82
Figure 50:La Coupe Lithostratigraphiques de L'anticlinale de Djebel El-Azreg Etablie par M. BEDROUNE 1998, Modifie par M. BENDJERAD 2021. ....	86
Figure 51:Bloc diagramme schématique dans la région d'étude Etablir par M. BEDROUNE 1998, Modifie par M. BENDJERAD 2021. ....	89
Figure 52:Logs lithologiques des Sondages de NERDI et Tidjedad (DHW) .....	92
Figure 53:Logs lithologiques des Sondages de Ali Oyaha et Tagoust.....	92
Figure 54:Schéma De Fonctionnement Des Sources De Tabgha (ABCHICHE.1999).....	93
Figure 55:Logs lithologiques des Sondages Theniet el Abed, Draa Taga, Baali Ouled Azouz. ....	95
Figure 56:Logs lithologiques des Sondages de chelma, chir2 et Nouader.....	96
Figure 57:Logs lithologiques des Sondages de Menaa, Ariche 1et2. ....	97
Figure 58:Logs lithologiques des Sondages de Braid et Ourhanime.....	97
Figure 59:Logs lithologiques des Sondages NARA 1 et 2.....	99
Figure 60:Logs lithologiques des Sondages TIGHERGHAR et AMENTANE. ....	100
Figure 61:carte hydrogéologique de l'Oued Abdi.....	101
Figure 62:carte piézométrique de la nappe alluvionnaire.....	102
Figure 63:Carte piézométrique de la nappe des fissures.....	103
Figure 64: Pompage d'essai : Graphe de la descente /remontée (forage d' Ouled Azouz). ....	108
Figure 65: Pompage d'essai : Droite de la descente du forage d'Ouled Azouz.....	108
Figure 66: Pompage d'essai : Droite de la remontée du forage d'Ouled Azouz.....	109
Figure 67:Pompage d'essai : Graphe de la descente /remontée (forage de Taghit).....	112
Figure 68:Pompage d'essai : Droite de la descente (forage de Taghit).....	112
Figure 69:Pompage d'essai : Droite de la remontée du (forage de Taghit).....	113
Figure 70:Pompage d'essai : Droite de la descente (forage de Chir).....	115
Figure 71:Pompage d'essai : Graphe de la descente /remontée (forage de Chir).....	117
Figure 72.:Pompage d'essai : Droite de la descente (forage de Chelma).....	118

Figure 73: Pompage d'essai : Droite de la remontée du (forage de Chelma).....	119
Figure 74: Graphe des potentiels hydrique (pH).....	124
Figure 75: Classification de degré de minéralisation à partir de la conductivité électrique .....	125
Figure 76: Graphe des résidus secs .....	126
Figure 77: Moyennes des éléments majeurs .....	127
Figure 78: Faciès chimiques de la nappe des fissuré. ....	127
Figure 79: digramme de Durov des eaux de la nappe des Fissures .....	129
Figure 80: Digramme de piper des eaux de la nappe des Fissures .....	130
Figure 81: Diagramme de Scholler-Berkaloff des eaux de la nappe des Fissures .....	131
Figure 82: diagramme de Sttif des eaux de la nappe des Fissures .....	132
Figure 83: carte de Sttif des eaux de la nappe des Fissures .....	133
Figure 84: Diagramme de Gibbs : 1- Evaporation et précipitation (10000-1000), 2- Dominance de la dissolution de roches (1000-100), 3- Dominance de la précipitation (100-10).....	134
Figure 86 : Diagramme du SAR (Forages).....	135
Figure 86: Diagramme du SAR (sources).....	135
Figure 87 : Analyse des variables dans le plan factoriel F1-F2.....	139
Figure 88: Analyse des variables dans le plan factoriel F1-F3.....	139
Figure 89: Représentation graphique $(Ca+Mg+HCO_3) / (Na+Cl+SO_4)$ vs CE dans la nappe des Fissures .....	140
Figure 90: Représentation graphique $(Ca^{2+} + Mg^{2+}) - (Na + K)$ vs $HCO_3^-$ ( $SO_4^{2-} + Cl^-$ ) dans la nappe des Fissures .....	141
Figure 91: Relation entre $Ca^{2+}$ et $SO_4^{2-}$ dans la nappe des Fissures. ....	142
Figure 92: Relation entre $Ca^{++}$ et $HCO_3^-$ dans la nappe des Fissures .....	142
Figure 93: Origines du Magnésium dans la nappe des Fissures.....	143
Figure 94: Origines du sodium dans la nappe des Fissures.....	143
Le graphique montre l'indice d'échange de base (Figure 95) met en évidence, trois cas : .....	143
Figure 96: Graphique $Mg / (HCO_3 + SO_4) = f(Na/Cl)$ . ....	144
Figure 97: Variations des chlorures et des sulfates en fonction de la conductivité.....	144
Figure 98: Évaluation systématique.....	152
Figure 99: Les isochrones par la Méthode de Wyssling .....	153
Figure 100: Logigramme d'évaluation de la vulnérabilité dans les zones fissuré.....	154
Figure 101: Carte hydrogéologique de l'oued Abdi.....	155
Figure 102: La Coupe Lithostratigraphiques de L'anticlinale de Djebel El-Azreg Etablir par M. BEDROUNE 1998.....	156
Figure 103: graph de Test du Perméabilité .....	157
Figure 104: The alluvial piezometric map .....	157
Figure 105: Logigramme d'évaluation de vulnérabilité par la méthode de Wyssling.....	159
Figure 106: Détermination de la zone d'appel et des isochrones des puits (l'aquifère alluvionnaire).....	161
Figure 107: La carte piézométrique alluviale avec les isochrones 50, 100, 200 jours.....	161
Figure 108: Classification des Aquifères selon la nature de la roche .....	164
Figure 109: carte de paramètre des discontinuités.....	166
Figure 110: carte du couverture protectrice.....	168
Figure 111: Carte du facteur de protection intermédiaire.....	169
Figure 112: Carte du facture de protection final "F" .....	170
Figure 113: delineation of groundwater protection zones with the DISCO method.....	172

## Liste des tableaux

<i>Tableau 1:Longueur partielle .....</i>	<i>10</i>
<i>Tableau 2:Nombres d'élévations.....</i>	<i>12</i>
<i>Tableau 3:Résumé statistique.....</i>	<i>12</i>
<i>Tableau 4:Tableau des fréquences.....</i>	<i>13</i>
<i>Tableau 5:Nature du relief selon la dénivelée spécifique (Ds) par l'ORSTOM.....</i>	<i>17</i>
<i>Tableau 6:Détermination de l'indice de pente de ROCHE IP(B. V. d'oued Abdi).....</i>	<i>18</i>
<i>Tableau 7: Classification du réseau hydrographique selon la méthode de STRAHLER .....</i>	<i>20</i>
<i>Tableau 8: Synthétise les principales caractéristiques de bassin versant de l'oued Abdi .....</i>	<i>22</i>
<i>Tableau 9:Cordonnées géographiques des stations météorologiques choisis .....</i>	<i>48</i>
<i>Tableau 10:Précipitations moyennes mensuelles en mm. (Stations Theniet El Abed /Bouzina Mena</i> <i>/Djemourah (1990-2020)).....</i>	<i>49</i>
<i>Tableau 11:: Répartition saisonnière des précipitations, Stations Theniet El Abed /Bouzina/ Mena</i> <i>/Djemourah (1990-2020).....</i>	<i>50</i>
<i>Tableau 12:Température moyenne mensuelle, Stations Theniet El Abed /Bouzina/ Mena</i> <i>/Djemourah (1990-2020).....</i>	<i>54</i>
<i>Tableau 13:Températures et précipitations moyennes mensuelles .....</i>	<i>56</i>
<i>Tableau 14:La vitesse moyenne mensuelle des vents(m/s), Stations Theniet El Abed /Bouzina/Mena</i> <i>/Djemourah (1990-2020).....</i>	<i>57</i>
<i>Tableau 15:Indice d'aridité annuelle.....</i>	<i>59</i>
<i>Tableau 16:calcul de l'ETR annuelle par la méthode de TURC.....</i>	<i>62</i>
<i>Tableau 17:Calcul des paramètres du bilan hydrique (Stations : Theniet El Abed, Bouzina, Mena</i> <i>, Djemourah (1990-2020)). .....</i>	<i>63</i>
<i>Tableau 18:calcul de ruissellement et de l'infiltration en mm. ....</i>	<i>66</i>
<i>Tableau 19:: les différentes longueurs des sondages électriques dans les stations de Bouzina et Menâa.</i> <i>.....</i>	<i>70</i>
<i>Tableau 20:descriptions des coupes transversales (1,2 et 3).....</i>	<i>72</i>
<i>Tableau 21:descriptions des coupes transversales (4,5,6 et 7).....</i>	<i>73</i>
<i>Tableau 22:descriptions des coupes longitudinales (8 et 9) .....</i>	<i>74</i>
<i>Tableau 23:descriptions des coupes longitudinales (10, 11,12 et 13). .....</i>	<i>75</i>
<i>Tableau 24:descriptions des coupes longitudinales (21, 22, et 26). .....</i>	<i>79</i>
<i>Tableau 25:descriptions des coupes longitudinales (23, 24, et 25). .....</i>	<i>80</i>
<i>Tableau 26:descriptions des coupes longitudinales (14, 15, 16,17et 1t8). .....</i>	<i>81</i>
<i>Tableau 27: descriptions des coupes longitudinales (19,20 et 27). .....</i>	<i>82</i>
<i>Tableau 28. Pompage d'essai en régime transitoire - Descente et remontée (forage d'Ouled Azouz).</i> <i>.....</i>	<i>107</i>
<i>Tableau 29:Pompage d'essai en régime transitoire - Descente et remontée (forage de Taghit). .....</i>	<i>110</i>
<i>Tableau 30:Les données d'essai de pompage du forage de Chir.....</i>	<i>114</i>
<i>Tableau 31:Les données d'essai de pompage du forage de Chelma (Mena</i> <i>) .....</i>	<i>116</i>
<i>Tableau 32:Caractéristiques statistiques des éléments chimique majeurs .....</i>	<i>126</i>
<i>Tableau 33:Eléments chimiques majeurs.....</i>	<i>136</i>
<i>Tableau 34:Matrice de corrélation des éléments physico-chimiques. ....</i>	<i>137</i>
<i>Tableau 35: tableau des paramètres de l'Aquifère et calcul des Isochrones par la méthode de Wyssling.</i> <i>.....</i>	<i>160</i>
<i>Tableau 36:paramètre de couverture protectrice .....</i>	<i>166</i>
<i>Table 37: Évaluation du paramètre Couverture de protectrice dans la zone d'étude.....</i>	<i>167</i>
<i>Tableaux 38 : Combinaison des paramètres discontinuités et Couverture de protection.....</i>	<i>168</i>
<i>Tableau 39:détermination de l'extension des surfaces vulnérable lors de la prise en compte du</i> <i>ruissellement.....</i>	<i>170</i>

# ***Introduction Générale***

## **Introduction Générale**

---

Le bassin d'Oued Abdi se trouve dans le Massif de l'Aurès à l'Atlas saharien orientale dans le nord-est de l'Algérie.

L'Atlas saharien orientale est une chaîne des montagnes intracontinentale de direction NE -SO formée des terrains plissés lors de l'orogénèse alpine. Il est situé entre les hautes plaines au nord-est et la plateforme saharienne au sud-est de l'Algérie .

L'Aurès est un des massifs de l'Atlas saharien orientale, qui culmine à 2326 m Au Djebel Chelia, "avec L'Aurès apparaît le bastion le plus original et le plus isolé de tout l'Atlas Saharien. C'est un massif constitué de longs monts SW-NE séparés par de larges et profondes vallées où se concentre la vie agricole" (J.L. Ballais 1984).

L'Aurès est découpé des vallées parallèles et profondes (Oued Abdi et Oued Labiod), il est limité au Nord par la plaine de Timgad, vers l'Est par les monts de Nememcha, au Sud par la plaine saharienne, et à l'Ouest l'Aurès s'abaisse progressivement vers le bassin du Hodna et son annexe le bassin de l'Outaya.

Le bassin versant d'Oued Abdi Caractérisée par un relief montagneux et une forme allongée de direction NE – SO, la partie nord-est entrant dans le cadre administratif de l'État de Batna, et la partie sud-ouest entrant dans le cadre administratif de l'État de Biskra, Il fait partie d'un grand bassin Hydrographique de Chott Melrhir.

Chott Melrhir est un vaste complexe Hydrographique de mares et de lacs salés saisonniers et de mares d'eau douce représentatifs des milieux sahariens arides et hyperarides. Pendant la saison des pluies hivernale, le lac est alimenté par plusieurs oueds (cours d'eau temporaires), coulant essentiellement depuis le nord parmi ces oueds l'Oued Abdi.

L'Oued Abdi prend naissance dans les monts du Djebel Boueyzmarene à 1964 m d'altitude, du Djebel Boutelaghemine à 2178 m et du Djebel Bou Ouli à 1897 m, et coule sur une longueur de 82,19 km. La forme de notre bassin versant se définit par une superficie de 699.32 km<sup>2</sup>, un périmètre de 193 km et une pente moyenne de 22,55 m/km.

La majorité de l'activité agricole et les activités anthropiques concentrent sur les côtés et les bords de l'extension longitudinale d'Oued Abdi où il y a la plupart des sources et la majorité des forages et puits sont implantés, Cette activité avec ses différentes dimensions, affecte d'une manière ou d'une autre sur les ressources d'eau que ce soit souterrain ou superficiel.

L'agriculture moderne qui est basé sur les engrais et les pesticides a commencé à se répandre largement, quant à l'expansion démographique et l'activité humaine c'est la plus grande obsession surtout en ce qui concerne les fosses septiques et les bassins de décantation aléatoire et les réseaux et rejets d'assainissement qui est rejeté directement à l'oued ; on sait que les vallées de Chott Melrhir sont des cours d'eau temporaires, avec les changements climatiques et la sécheresse ces dernières années, l'écoulement et le mouvement de l'eau dans la vallée diminué et presque inexistant dans les mois chauds, donc la stagnation des eaux dans l'oued, pratiquement il ya une infiltration des polluants vers les nappes souterraines surtout la nappe phréatique La plus exposés et la plus vulnérable et sensible à la pollution, Les ressources d'eau (puits, forages, sources naturelles) dans le bassin est menacée par la pollution, c'est ce qui nous fait et nous exige une approche méthodologique pour la protection des eaux de bassin versant Oued Abi.

Le but recherché par la présente étude est de limiter les risques de pollution de l'eau captée. En établir un périmètre de protection autour d'un captage d'eau potable (source ou puit forage) après avoir déterminé les zones les plus sensibles et vulnérables et calculé les isochrones par la méthode de WYSSLING pour la nappe poreuse, quant aux nappes des fissures, la méthode de DISCO est utilisée pour déterminer leurs limites de protection.

L'approche basée essentiellement sur l'utilisation des méthodes mentionné précédemment en employant les dernières techniques de systèmes d'information géographique, afin d'afficher les résultats de haute présentation pour d'être bien compris par tous ceux qui aspirent à la science et à la connaissance.

Notre étude basée essentiellement sur le plan de trois partis avec neuf chapitre ; après le premier consternant la généralité nous avons évalué la géologie, la géophysique, l'hydrogéologie, l'hydrodynamique, et l'Hydrochimie, de la région d'études Ensuite, nous avons également évalué la vulnérabilité des aquifères étudié et puis déterminer les périmètres et les aires de protection.

# **Première Partie :**

*Chapitre 1 : Généralité*

*Chapitre 2 : Contexte géologique*

*Chapitre 3 : hydroclimatologie*

# ***Chapitre 1 : Généralité***

## 1 Généralité :

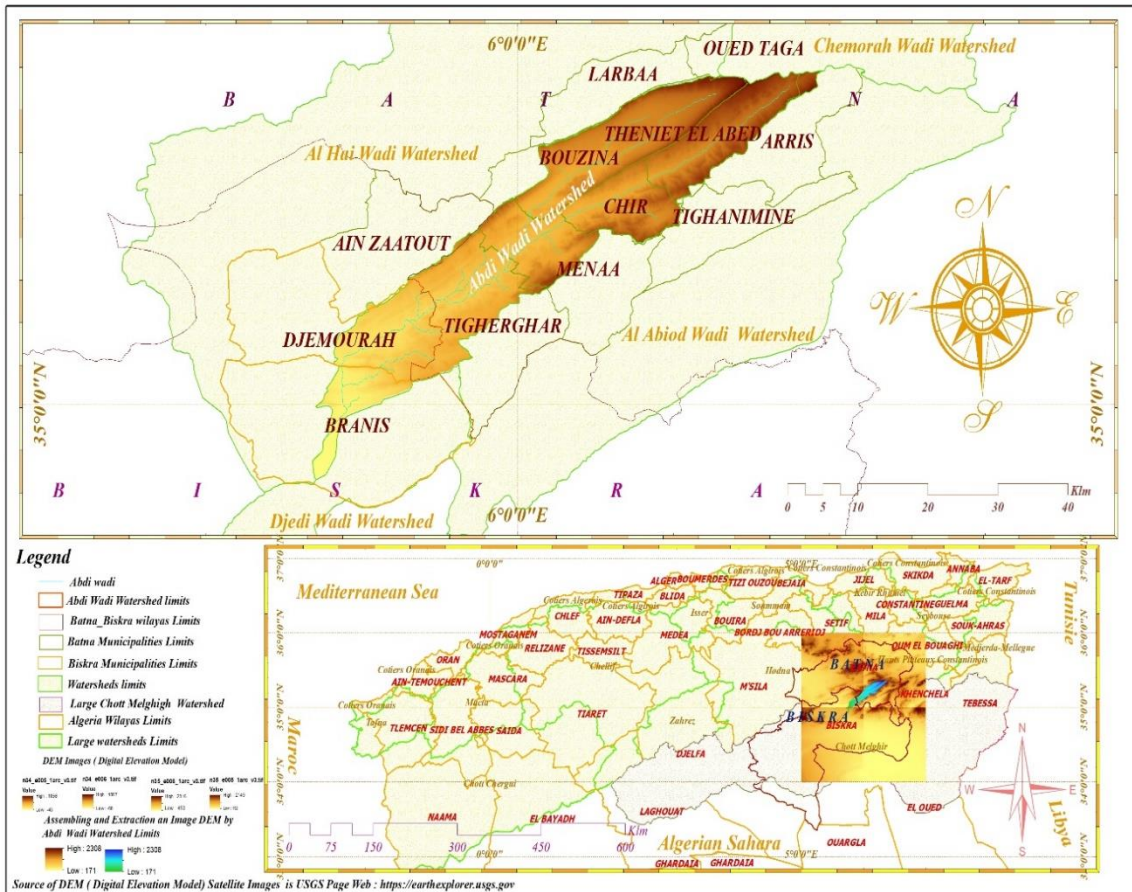
### 1.1 Situation géographique :

Le bassin versant d'Oued Abdi est se trouvé dans le Massif de l'Aurès à l'Atlas saharien orientale dans le nord-est de l'Algérie, Elle est Caractérisée par un relief montagneux et une forme allongée de direction NE-SO la partie nord-est entrer dans le cadre administratif de l'État de Batna par les communes Bouzina, Theniet El Abed, Chir, Menaâ, Tigherghar et la partie sud-ouest entrer dans le cadre administratif de l'État de Biskra par les communes Djemourah et Branis.

Le bassin versant d'Oued Abdi couvre une superficie d'environ 699.32 km<sup>2</sup> et un périmètre de 193 km. Se trouve entre les latitudes 34° 92'39'' et 35° 35'81'' Nord, et les longitudes 5° 74'80'' et 6° 38'38'' Est, Il fait partie d'un grand bassin Hydrographique de Chott Melrhir.

Il est limité :

- Administrativement au :
  - NE par la commune d'Oued Taga,
  - NO par la commune de Iarbaa et Ain zaatout,
  - SE par la commune de Arris et Tighanimine,
  - SO par la commune de Branis.
- Hydrographiquement au :
  - NE par le bassin versant d'Oued Chemorah,
  - NO par le bassin versant d'Oued El Hai Biskra,
  - SE par le bassin versant d'Oued El Labiod,
  - SO par le bassin versant d'Oued Djedi Biskra.



**Figure 1: Carte de situation géographique de bassin versant Oued Abdi**  
**Description géomorphologique**

L'Aurès représente comme une limite géomorphologique entre le Sud et le Nord d'Algérie dans la bordure méridionale orientale du domaine atlasique plissé.

Le bassin versant d'Oued Abdi Caractérisée par un relief montagneux et une forme allongée de direction NE-SO formée des terrains plissés.

La géomorphologie de la zone d'étude montre que l'origine du Oued Abdi commence dans les montagnes de Jabal Al Mahmal à une altitude de 2321 m., le deuxième plus haut sommet de montagne des Aurès et du Dj Bouyezmarena à 1964 m, du Djebel Boutelaghemine et du Djebel Bou Oli successivement à 2178 m 1897 m, l'oued traverser entre les grands reliefs de Djebel Azreg à 1937 m au sud et Djebel Bous à 1750 m au Nord et afflue sur une longueur de 82,19 km jusqu'à l'aval au point le plus bas à une altitude de 171 m, ce point représente une retournement géomorphologique où la fin des Aurès et le début du Sahara , la pente moyenne de bassin versant est 22,55 m/km.

1.2 Description géomorphologique

Visualisation en 3D :

A partir du modèle 3D du terrain en peut observer deux types de relief :

- Un relief élevé entre 1200 m et 2300 m d'altitude dans la partie Nord du bassin versant et

Constitue les montagnes et leurs piémonts, l'altitude maximale atteint 2321 m du Dj. El Mahmel.

- Des reliefs peu élevés entre 171 m et 1000 m d'altitude présenté par les vallées et les plaines

Alluviales à haut potentiel agronomique, l'altitude minimale est égale à 171 dans l'aval au branis.

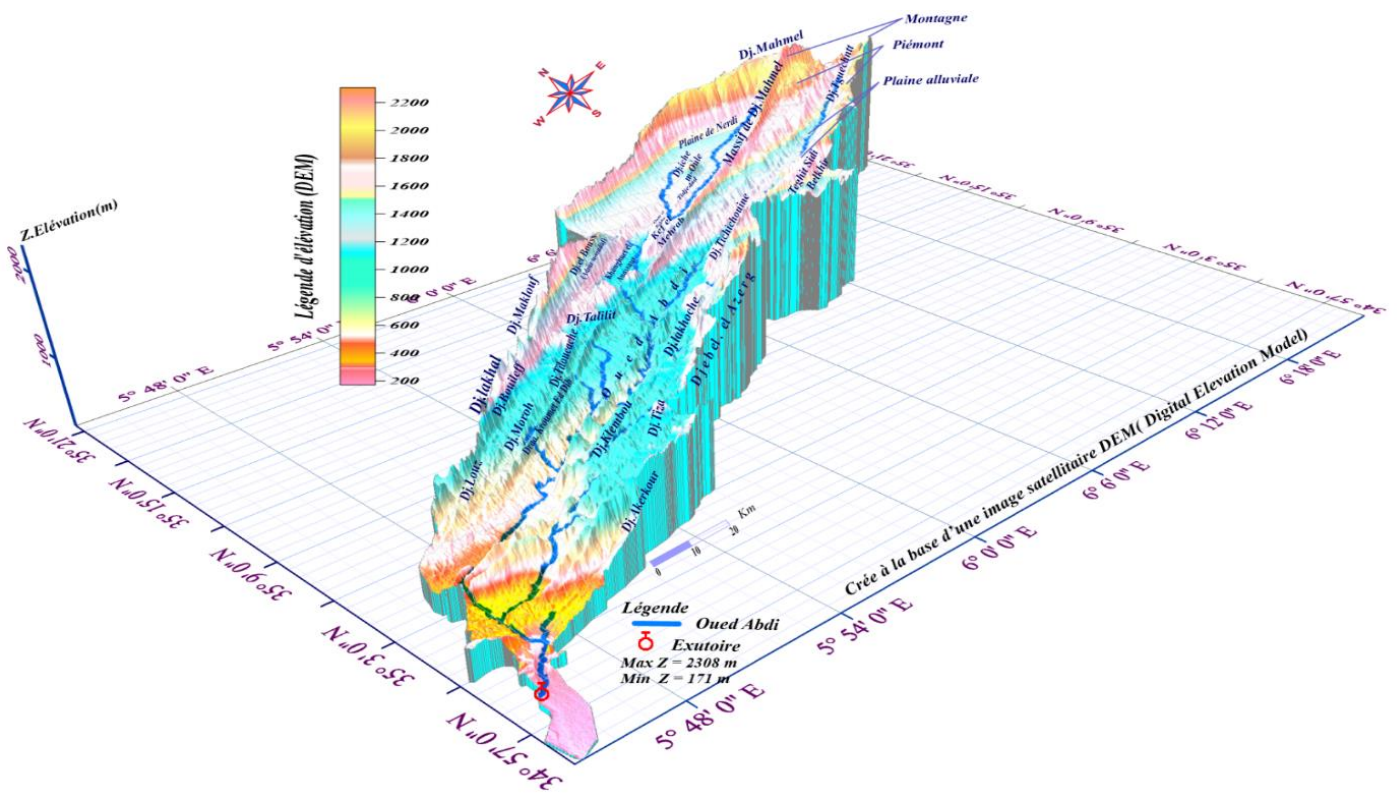


Figure 2: La carte géomorphologique en 3D de bassin versant Oued Abdi

## 1.2.1 Les paramètres morphométriques :

### 1.2.1.1 Les paramètres géométriques :

Détermination des caractéristiques géométriques faites par un logiciel arc Gis 10.4.

#### 1.2.1.1.1 La surface du bassin : 699.32 km<sup>2</sup>

#### 1.2.1.1.2 Le périmètre du bassin : 192.995 km

### 1.2.1.2 La Morphologie / Forme :

#### 1.2.1.2.1 L'indice de forme (Kc) de GRAVELUIS :

est un indicateur qui mesure la forme du bassin versant en comparant le périmètre du bassin à celui d'un cercle de même surface. Il est calculé en divisant le périmètre du bassin par la racine carrée de sa surface et est exprimé par la formule :

$$K_c = P/\sqrt{A} \cdot 0.28 = 2.04 \quad (1)$$

**A** : superficie du bassin versant en km<sup>2</sup>.

**P** : périmètre du bassin versant en km.

Si  $K \leq 1,12$  : bassin en forme circulaire.

Si  $K = 1,12$  : bassin de forme carrée.

Si  $K > 1,12$  : bassin versant de forme allongée.

$$K_c = \frac{192.995}{\sqrt{699.32}} \cdot 0.28 = 2.04 > 1.12$$

Le bassin d'Oued Abdi, dont la valeur de  $K_c = 2.04$ , présente donc une forme allongée.

#### 1.2.1.2.2 Le rectangle équivalent :

Un rectangle équivalent est un rectangle qui a les mêmes caractéristiques que le bassin versant réel, à savoir le même périmètre, la même superficie et le même indice de compacité. Les courbes de niveaux sont représentées par des droites parallèles aux petits côtés du rectangle (ROCHE 1963).

Le périmètre est défini par (eq. 2):

$$P = 2 * (L + l) \quad (2)$$

La superficie du rectangle équivalent égale (eq. 3) :

$$S = L * l \quad (3)$$

Où:  $L$  et  $l$  sont respectivement la Longueur et la largeur du rectangle équivalent [km].

**a. Longueur du rectangle équivalent ( $L$ ) :**

La longueur du rectangle équivalent est donnée par l'expression suivante (eq. 4) :

$$L = \frac{K_G * \sqrt{S}}{1,12} * \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{K_G} \right)^2} \right) = 87.96 \text{ km} \quad (4)$$

**b. Largeur du rectangle équivalent ( $l$ ) :**

La largeur du rectangle équivalent est obtenue par la relation suivante (eq. 5) :

$$l = \frac{K_G * \sqrt{S}}{1,12} * \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{K_G} \right)^2} \right) = 7.87 \text{ km} \quad (5)$$

**Tableau 1:Longueur partielle**

Classes (i)	Longueur partielle (km) = (Si% * 87,96) / 100
171-349	2.726122302
349-527	4.614639092
527-705	5.234318455
705-883	7.300788801
883-1061	11.2145681
1061-1240	12.13779077
1240-1418	14.97653505
1418-1596	14.43905738
1596-1774	8.772910831
1774-1952	4.403289238
1952-2130	1.695355383
2130-2308	0.444624594
	87.96

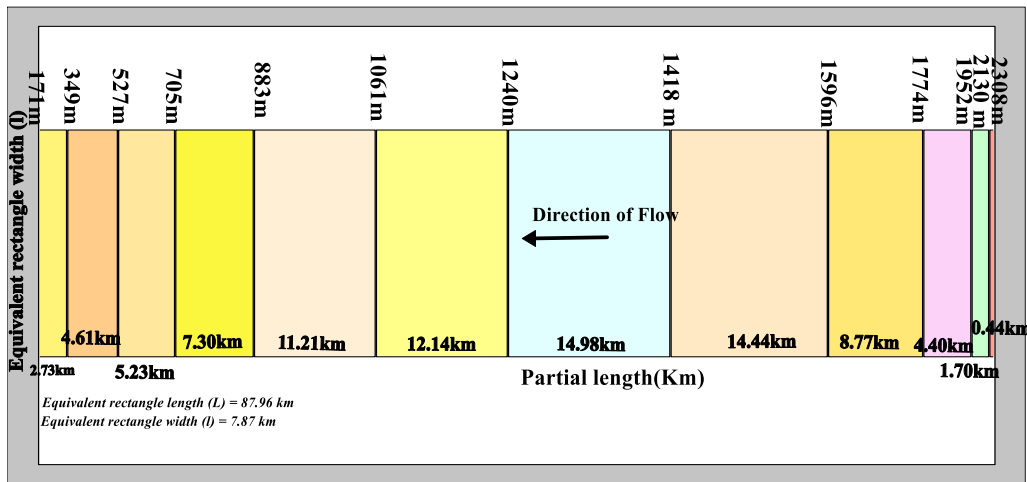


Figure 3:Rectangle équivalent

### 1.2.1.3 La topographie / Relief :

#### 1.2.1.3.1 Hypsométrie :

Le relief est un facteur essentiel pour comprendre le comportement hydrologique d'un bassin versant. La pente du bassin a une grande influence sur le ruissellement, l'infiltration et l'évaporation, ce qui affecte le régime d'écoulement

La courbe hypsométrique est un outil pratique pour comparer les différents bassins versants ou les sections d'un seul bassin versant. Elle donne la répartition des surfaces comprises entre les différentes courbes de niveau en fonction des altitudes correspondantes. Elle est représentée par des fractions cumulées des surfaces comprises entre deux courbes de niveau successives ( $C_i$  et  $C_{i-1}$ ) en%.

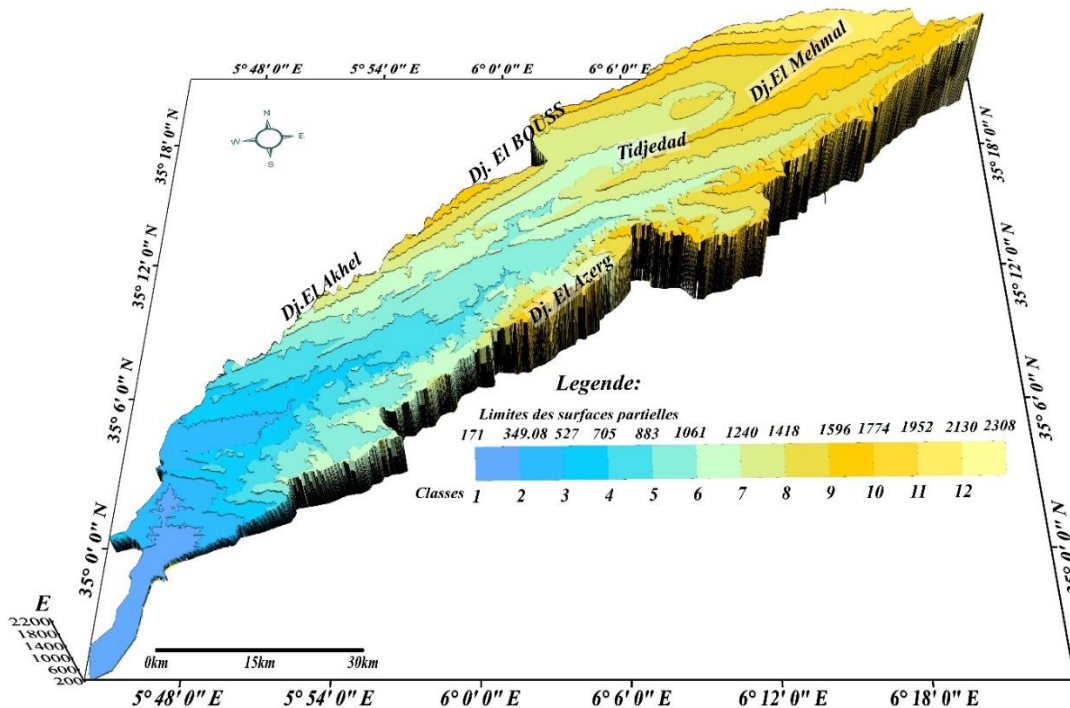
Nous avons utilisé un modèle numérique de terrain de type SRTM et d'une résolution d'un arc second avec un système d'information géographique (ArcGIS) pour délimiter les bassins versants et obtenir les fractions des surfaces comprises entre les différentes courbes de niveau. Les données relatives aux surfaces partielles, aux surfaces cumulées et aux altitudes du bassin versant ont été reportées dans le Tableau des fréquences. Ces informations nous ont permis de tracer la courbe hypsométrique du bassin versant

**Tableau 2: Nombres d'élévations**

Nombre	Élévation
1	171
2	172
..	..
.	.
2134 = N	2308

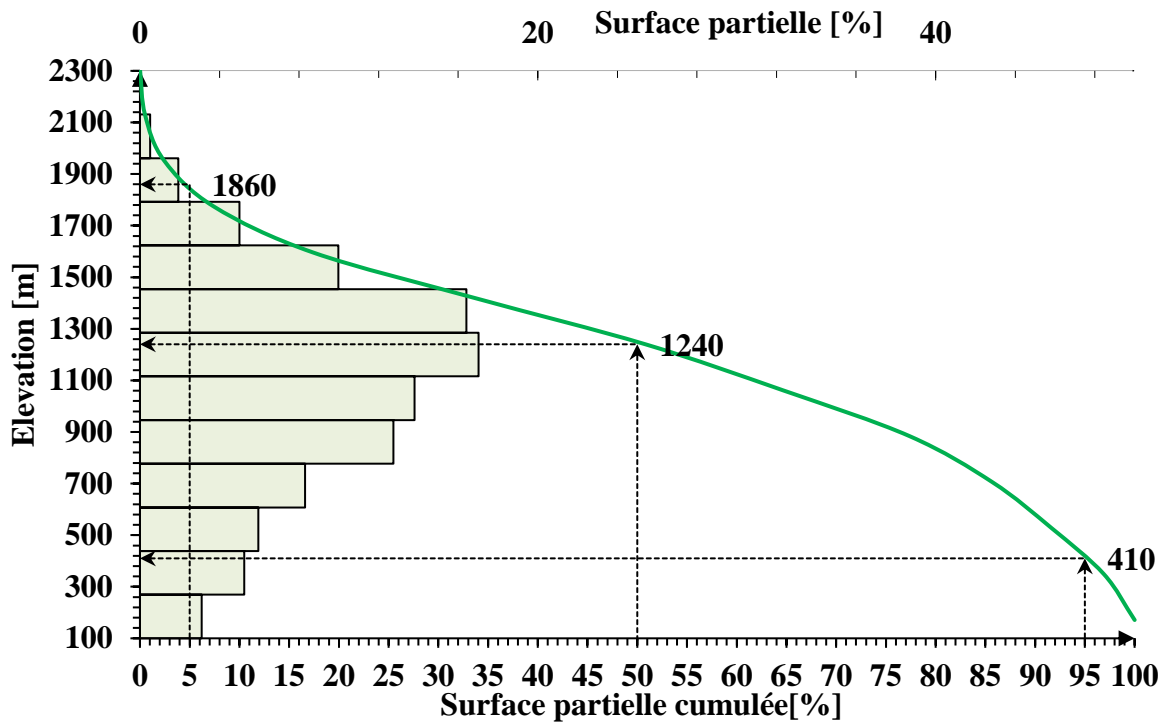
**Tableau 3: Résumé statistique**

<b>Taille:</b>	<b>N =</b>	<b>2134</b>
Nc = K (Sturges): $1 + \log_2(N)$ $= 1 + \ln(N)/\ln 2$	K = 12.05934446	12 classes
Maximum :	E max =	2308
Minimum :	E min =	171
Etendue :	E = Emax - Emin	2137
Intervalle de classe:	Ic = E/k	178.0833



**Figure 4: Carte hypsométrique**

Figure 5: Hypsogram et courbe hypsométrique



A partir de L'hypsogramme et la courbe hypsométrique se dessous on peut exporter les Altitudes caractéristiques : j

Tableau 4:Tableau des fréquences

N° des classes : k	Classe (i)	(Si) Surface partielle (km <sup>2</sup> )	Surface partielle cumulée (km <sup>2</sup> )	Surface partielle (%) (Si)	Surface partielle cumulée (%)	Hi (m) = (Hmax i-1 + Hmin i) / 2	$\bar{H}_i \cdot S_i$ (m*km <sup>2</sup> ) Pour calculer hmoy	Ic Dénivelé (m)
1	171-349	21.45	21.45	3.10	100.0	260.04	5577.21	178.08
2	349-527	36.31	57.75	5.25	96.91	438.13	15906.14	178.08
3	527-705	41.18	98.93	5.95	91.66	616.21	25375.62	178.08
4	705-883	57.44	156.37	8.30	85.71	794.29	45622.47	178.08
5	883-1061	88.23	244.60	12.75	77.41	972.38	85791.72	178.08
6	1061-1240	95.49	340.09	13.80	64.66	1150.46	109860.00	178.08
7	1240-1418	117.83	457.92	17.03	50.86	1328.54	156536.48	178.08
8	1418-1596	113.60	571.52	16.42	33.83	1506.63	171148.48	178.08
9	1596-1774	69.02	640.53	9.97	17.42	1684.71	116277.98	178.08
10	1774-1952	34.64	675.18	5.01	7.44	1862.79	64531.32	178.08
11	1952-2130	13.34	688.51	1.93	2.44	2040.88	27221.13	178.08
12	2130-2308	3.50	692.01	0.51	0.51	2218.96	7761.96	178.08
total	/	692.01	/	100	/	/	831610.53	

- a. **Altitude minimale ( $H_{\min}$ )** : L'altitude la plus basse du bassin versant est de 171 m, généralement à l'exutoire.
- b. **Altitude maximale ( $H_{\max}$ )** : Le point le plus élevé du bassin versant est situé à 2308 mètres d'altitude sur le sommet de Djebel El Mahmel, dans le bassin versant de l'oued Abdi.
- c. **Altitude à 95% de surface ( $H_{95\%}$ )** : En utilisant la courbe hypsométrique, l'altitude à 95% de la surface totale du bassin versant est de 410 m.
- d. **Altitude médiane ( $H_{50\%}$ )** : La courbe hypsométrique indique que l'altitude de 1240 m représente 50% de la surface totale du bassin versant.
- e. **Altitude à 5% de surface ( $H_{5\%}$ )** : La hauteur à laquelle se trouve le point d'abscisse 5% de la surface totale du bassin versant Oued Abdi est de 1860 m, selon la courbe hypsométrique.
- f. **Altitude moyenne ( $H_{\text{moy}}$ )** : L'altitude moyenne du bassin versant étudié est de 1202 m. Cette altitude moyenne est proche de l'altitude médiane lorsque l'hypsométrie du bassin versant présente une pente régulière. Pour calculer l'altitude moyenne, on utilise la formule suivante :

$$H_{\text{moy}} = \frac{1}{S} * \sum_{i=1}^n S_i * \left( \frac{H_i + H_{i-1}}{2} \right) \quad (6)$$

S Représente la surface totale du bassin versant (km<sup>2</sup>) ;

$S_i$  est la surface partielle entre les altitudes  $H_i$  et  $H_{i-1}$  (km<sup>2</sup>).

n est le nombre de courbes de niveau.

a. **Intégrale hypsométriques :**

L'intégrale hypsométrique (IH) est une mesure du volume actuel du relief qui n'a pas encore été consommé par l'érosion. Elle est proche de 0 pour les bassins versants très érodés (profil concave) et tend vers 1 pour les bassins très peu érodés (profil convexe). La valeur de l'intégrale hypsométrique peut être déterminée à l'aide de la relation (2) développée en 1971 par PIKE et WILSON (eq. 7) :

$$IH = \frac{H_{\text{moy}} - H_{\text{min}}}{H_{\text{max}} - H_{\text{min}}} \quad (7)$$

Une intégrale hypsométrique forte (supérieure à 0,60) associée à une courbe hypsométrique fortement convexe indique un stade de non-équilibre (jeunesse). Une intégrale hypsométrique moyenne (entre 0,35 et 0,60) avec une courbe hypsométrique concavo-convexe est le signe d'une phase d'équilibre (maturité). Une intégrale hypsométrique inférieure à 0,35 avec une courbe très concave est caractéristique du stade de fin maturité, également connu sous le nom de phase de monadnock (STRAHLER 1952).

La courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued Abdi, dont l'intégrale hypsométrique est de 0,49, indique que le relief initial a été consommé par l'érosion à hauteur d'environ la moitié. Le bassin est en équilibre, mais son potentiel érosif est modéré, ce qui signifie que sa morphologie s'altère à un rythme moyen.

#### 1.2.1.3.2 La pente topographique :

La pente est la mesure de l'inclinaison d'un terrain par rapport au plan horizontal. Elle est un facteur important dans le comportement hydrogéomorphologique d'un bassin, car elle détermine la capacité des terrains à ruisseler et la vitesse à laquelle les eaux de surface s'écoulent sous l'effet de la pesanteur

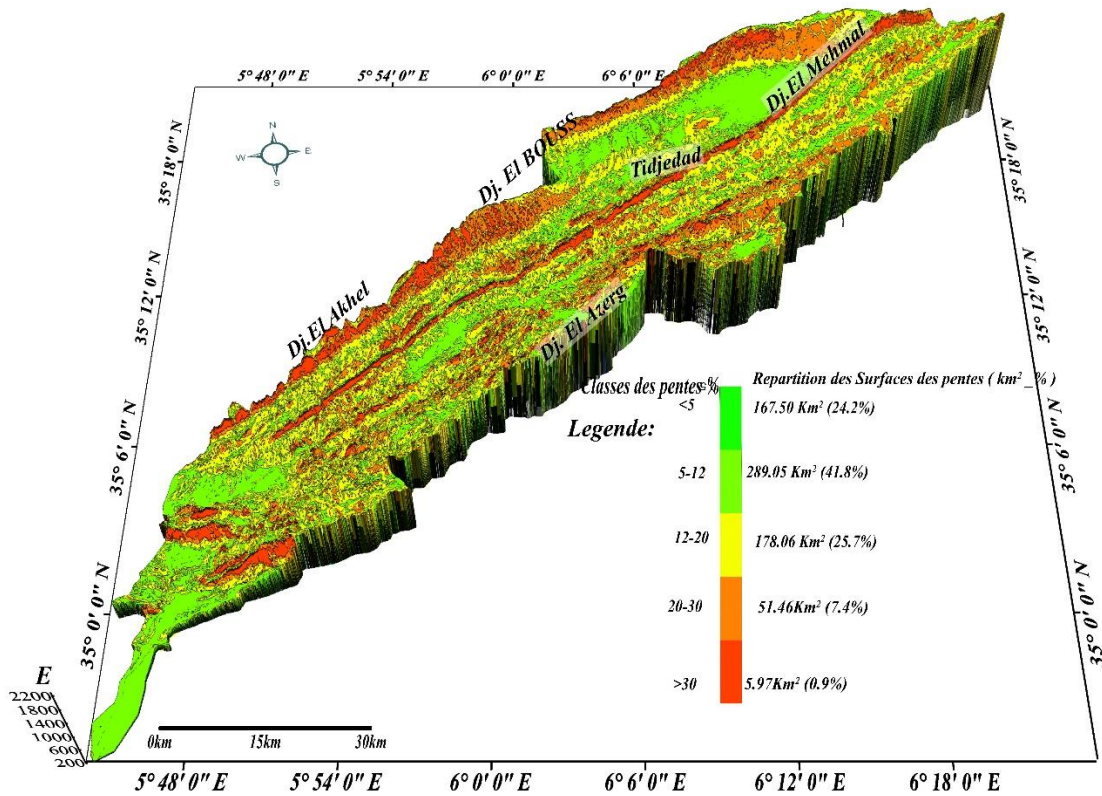


Figure 6 : Carte des pentes

a. Les indices de pente :

a.1. L'indice de pente moyen ( $I_p$  moy) :

Représenter comme un rapport entre la différence de hauteur du bassin versant et la longueur équivalente.

$$I_p \text{ moy} = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{L} = \frac{2308 - 171}{87.96} = 24.30 \text{ m/km} \quad (8)$$

a.2. Indice de pente global ( $I_g$ ) :

L'indice de pente global d'un bassin versant selon (DUBREUIL 1966), est défini comme étant le rapport entre la dénivelée D (altitude H(5%) - altitude H(95%)) et la longueur du rectangle équivalent L, soit (eq. 9) :

$$I_g = \frac{D}{L} = 16.48 \text{ m/km} \quad (9)$$

a.3. Dénivelée spécifique ( $D_s$ ) :

La dénivelée spécifique  $D_s$  est égale à l'indice de pente global ( $I_g$ ) multiplié par la racine carrée de la superficie totale du bassin versant ( $S$ ), soit :

$$D_s = I_g * \sqrt{S} \quad (10)$$

Le service hydrologique de l'O.R.S.T.O.M. a établi une subdivision en sept classes de nature du relief selon la dénivelée spécifique ( $D_s$ ) (tableau 5). Cette classification, qui ne tient pas compte de la superficie du bassin versant, est applicable à tout bassin quel que soit sa superficie.

$$D_s = I_g * \sqrt{S} \quad (11)$$

Le service hydrologique de l'O.R.S.T.O.M. a établi une subdivision en sept classes de nature du relief selon la dénivelée spécifique ( $D_s$ ) (tableau 5). Cette classification, qui ne tient pas compte de la superficie du bassin versant, est applicable à tout bassin quel que soit sa superficie.

**Tableau 5: Nature du relief selon la dénivelée spécifique ( $D_s$ ) classes de l'ORSTOM.**

Classe	$D_s$ exprimé en [m]	type des reliefs
(R <sub>1</sub> )	(< 10)	Relief très faible
(R <sub>2</sub> )	(10 – 25)	Relief faible
(R <sub>3</sub> )	(25 – 50)	Relief assez faible
(R <sub>4</sub> )	(50 – 100)	Relief modéré
(R <sub>5</sub> )	(100 – 250)	Relief assez fort
(R <sub>6</sub> )	(250 – 500)	Relief fort
(R <sub>7</sub> )	(> 500)	Relief très fort

Le bassin de l'oued Abdi avec une dénivelée spécifique de 434 m ; donc appartient à la classe R<sub>6</sub> (250 m <  $D_s$  < 500 m), qui correspond à un relief fort.

## a.4. L'indice de pente de M. ROCHE (IP) :

L'indice  $I_p$ , proposé par M. ROCHE (1963), est un outil qui permet de comparer et de classer différents bassins entre eux et caractériser le régime d'un bassin hydrologique et. Il

représente est la somme pondérée des racines carrées des pentes mesurées sur le rectangle équivalent, calculée à partir des surfaces élémentaires existe entre les courbes de niveau  $C_i$  et  $C_{(i-1)}$ , on peut le calculé à l'aide de deux formules suivantes :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{i=1}^n \sqrt{a_i * I_c} = \frac{1}{\sqrt{87960}} * \sqrt{43.14} = 4.60 \text{ m/km} \text{ ou} \quad (12)$$

$$I_p = \sqrt{I_g / 0.8} = \sqrt{16.48 / 0.8} = 4.54 \text{ m/km} \quad \text{D'où :} \quad (13)$$

$I_g$  : Indice de pente globale

$L$  : Longueur du rectangle équivalent exprimée en km ;

$D_i = I_c$  : La déferéce d'altitude entre  $H_i$  et  $H_{i-1}$  exprimée en km

$a_i$  : surface

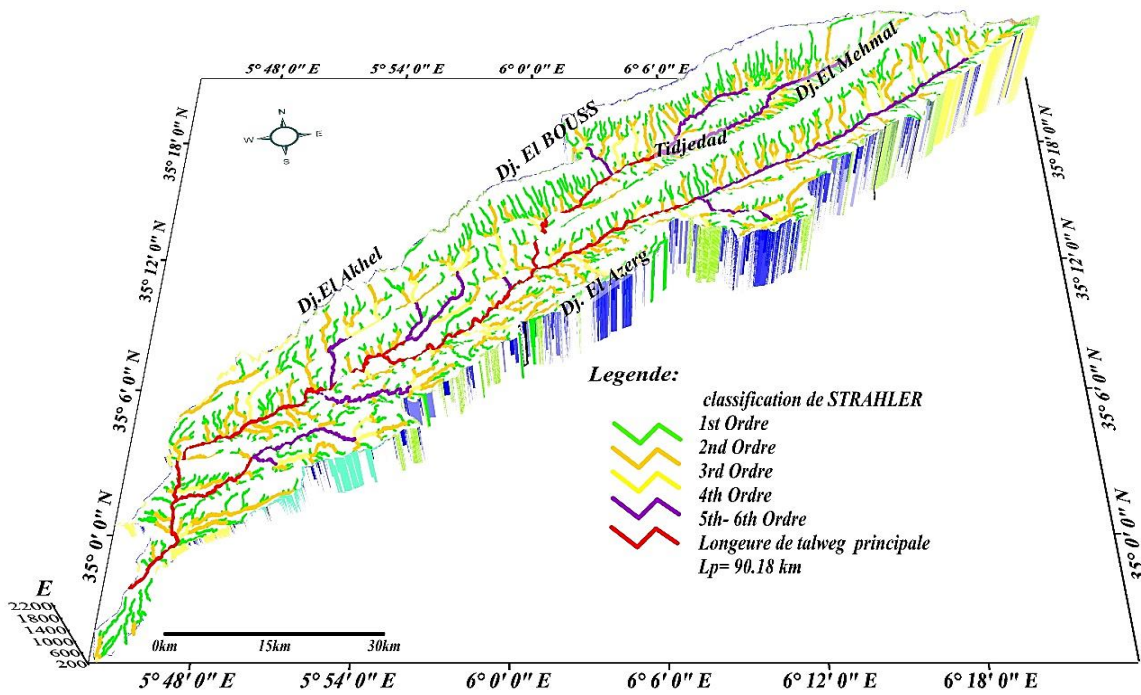
Tableau 6:Détermination de l'indice de pente de ROCHE IP(B. V. d'oued Abdi).

Classe(m)	$D_i$ [km]	$S_i$	$\sqrt{S_i * D_i}$	Classe	$D_i$ [km]	$S_i$	$\sqrt{S_i * D_i}$
171-349	0.178	0.031	0,074	1240-1418	0.178	0.170	0.174
349-527	0.178	0.052	0.097	1418-1596	0.178	0.164	0.171
527-705	0.178	0.060	0.103	1596-1774	0.178	0.100	0.133
705-883	0.178	0.083	0.122	1774-1952	0.178	0.050	0.094
883-1061	0.178	0.127	0.151	1952-2130	0.178	0.019	0.059
1061-1240	0.178	0.138	0.157	2130-2308	0.178	0.005	0.030
<b><math>I_p = 4.60 \text{ m/km}</math></b>							

#### 1.2.1.4 Le réseau hydrographique

Le réseau hydrographique représente la signature des pluies sur une terrain géologique à l'aide de plusieurs facteurs, tels que la nature des roches et la tectonique, le système hydrographique de bassin versant Oued Abdi composé de nombreux affluents et un effluent principale. Le réseau hydrographique d'Oued Abdi fait partie d'un réseau Hydro\_graphique de bassin Chott Melrhir. L'Oued Abdi drainée à partir de deux vallée parallèle Theniet El Abed et bouzina séparées par un anticlinal de bouzina que coule de Djebel El Mahmel à Tassrift, la vallée de Theniet El Abed et la vallée de bouzina S'unir à Menaa créent un effluent, s'appeler Oued Abdi qui continue à couler jusqu'à l'aval au branis. L'écoulement d'eau dans l'Oued Abdi se fait dans le sens NE-SO, il est temporaire lié aux pluies irrégulières du bassin versant.

Afin de déterminer les paramètres physiographiques du bassin Oued abdi, tels que la densité de drainage, la fréquence des talwegs élémentaires, le coefficient de torrentialité, les rapports de confluence et de longueurs des cours d'eau, le temps de concentration et la vitesse d'écoulement, une classification du réseau de drainage selon la hiérarchisation de STRAHLER (1957) a été effectuée à l'aide d'un modèle numérique de terrain (MNT) et d'un système d'information géographique (ArcGIS).



**Figure 6 :** Carte hydrographique (Ordre d'écoulement selon la classification de STRAHLER).

**Tableau 7:** Classification du réseau hydrographique selon la méthode de STRAHLER

Classes	N° _ talwegs	(L_Talwegs) [km]
1	3738	650.24
2	290	330.36
3	36	95.13
4	7	100.40
5 et 6	1	84.81
totale	4072	1260.93

**a. Densité de drainage ( $D_d$ ) :**

La densité de drainage est influencée par les conditions topographiques, géologiques-lithologiques (la perméabilité), climatiques et anthropiques. Elle reflète la dynamique du bassin versant, la stabilité du réseau hydrographique et le type d'écoulement en surface, également est

un indicateur important de la vulnérabilité d'un bassin versant à la pollution et à la sédimentation. Elle est utilisée pour évaluer la capacité d'un bassin versant à absorber et à éliminer les contaminants et les sédiments. Cette indicatrice définie comme étant la longueur totale de tous les cours d'eau ramenée à l'unité de surface, elle est étroitement liée à la longueur de l'écoulement superficiel (HORTON 1932 et 1945). Elle est exprimée par la formule suivante : (eq.13) :

$$D_d = \frac{1}{S} * \sum_{i=1}^n L_i \quad (14)$$

Avec :

- $D_d$  La densité de drainage [km/km<sup>2</sup>] ;  
 $L_i$  La longueur des cours d'eau [km] ;  
 $S$  La superficie du bassin versant [km<sup>2</sup>] ;  
 $i$  L'ordre d'écoulement de 1 à n.

Le réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Abdi a une longueur totale de 1260.93 km, et une densité de drainage de 1.82 km/km<sup>2</sup>.

**a. Coefficient de torrentialité ( $C_t$ ) :**

Le coefficient de torrentialité ( $C_t$ ), est un indicateur sans dimension qui reflète la nature de l'écoulement superficiel sur les versants du bassin. Il est déterminé par la géologie du substratum, la classe de pente et l'intensité de la pluie.

Un coefficient de torrentialité très élevé indique que la perméabilité du bassin est faible, les pentes sont très inclinées et les précipitations sont considérables. Ce coefficient est obtenu à l'aide de la formule suivante (eq. 14) :

$$C_t = F_1 * D_d \quad (15)$$

Avec :

- $T_c$  : Temps de concentration [heures] ;

S : Superficie du bassin versant [km<sup>2</sup>] ;

L : Longueur du talweg principal [km] ;

H<sub>min</sub> : Altitude minimale du bassin [m] ;

H<sub>moy</sub> : Altitude moyenne du bassin [m].

Le temps de concentration de ruissellement pour le bassin versant est de 9,36 heures, calculé en appliquant la formule précédente.

#### a- Vitesse d'écoulement (V) :

La vitesse moyenne d'écoulement des oueds par gravité est exprimée par la relation suivante (eq. 16) :

$$V = \frac{L}{T_c} \quad (16)$$

Où :

V : Vitesse d'écoulement [km/h] ; L : Longueur du talweg principal [km] ; T<sub>c</sub> : Temps de concentration [h].

Le cours d'eau principal du bassin versant de l'oued Abdi coule avec une vitesse moyenne de 2.53 m/s.

#### 1.2.1.5 Synthèse des caractéristiques de bassin étudié

Tableau 8: Synthétise les principales caractéristiques de bassin versant de l'oued Abdi

CARACTERISTIQUES5	SYMBOLE	UNITE	VALEURS
Superficie	S	km <sup>2</sup>	692
Périmètre	P	km	192
Talweg principal	-	-	Oued Abdi
Principaux affluents	-	-	Oued Bouzina Oued Taghit
Longueur du talweg principal	L	km	90.18

Altitudes	minimale	$H_{\min}$	m	171
	à 95% de surface	$H_{95\%}$	m	410
	médiane	$H_{50\%}$	m	1240
	moyenne	$H_{\text{moy}}$	m	1202
	à 5% de surface	$H_{5\%}$	m	1860
	maximale	$H_{\max}$	m	2308
Indice de Pente moyenne		$I_{p \text{ moy}}$	m/km	24.30
Indice de compacité		$K_G$	-	2.04
Rectangle équivalent	Longueur	L	km	87,96
	Largeur	l	km	7.87
Indice de pente de ROCHE		$I_p$	m/km	4.60
Indice de pente global		$I_g$	m/km	16,48
Dénivelée spécifique		$D_s$	m	434
Densité de drainage		$D_d$	Km/km <sup>2</sup>	1,82
Fréquence des talwegs élémentaires		$F_1$	Km <sup>-2</sup>	5.40
Coefficient de torrentialité		$C_t$	-	9,83
Temps de concentration		$T_c$	h	9.36
Vitesse d'écoulement		V	m/s	2.53

### 1.2.1.6 Le couvert végétal et l'aspects des pentes

La répartition des végétations dans le bassin versant d'Oued Abdi diversifié du nord-est au sud-ouest selon la différenciation des altitudes et les endroits où l'eau est concentrée, le verdissement est évident dans les monts nord-est où les forêts sont existées par ces diverses plantes comme les chênes, les genévriers et les thuriféraires, ces zones considérées comme des pâturages.

L'activité agricole se trouve sur les bords de l'extension longitudinale dans les plaines alluviales d'Oued Abdi où il y a la plupart des sources et la majorité des forages et puits sont implantés, la culture de céréales, comme le blé et l'orge apparaissent presque uniquement dans le synclinale de bouzina. L'Arboricultures, spécialement la culture du pommier et l'abricotier est la principale activité, de plus, il y a des grenadiers, des raisins, des pêches, les amandiers, les noyers,

Les oasis sont le couvert forestier sur les côtes de l'oued dans la vallée basse au sud-ouest de bassin versant, la palmeraie est l'activité agricole prédominante de la région et s'intensifie vers le su. Les paysans de la région récemment, sont témoins et se plaignent du mauvais changement dans l'agriculture, de nombreux arbres sont flétri dans les Vergers.

L'activité agricole dans toute sa diversité est menacée à cause de la pollution domestique, Les rejets des eaux usées domestiques sont déversés sans traitement à l'oued, l'irrigation par l'Oued ou par des puits implantés dans la nappe phréatique peut faire la disparition de l'activité agricole. Pour cela les sources d'eau doivent être protégées.

Les valeurs négatives de NDVI (Figure 8) (valeurs approchant -1) correspondent à l'eau. Les valeurs proches de zéro (-0,1 à 0.1) correspondent généralement aux régions arides avec de la roche, du sable ou de la neige. Enfin, des valeurs positives et faibles représentent des arbustes et des pâturages (environ entre 0,2 et 0,4), tandis que les valeurs plus élevées indiquent les forêts Pluviales tempérées et tropicales (valeurs approchant 1).  
<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/>

La variation de l'orientation des pentes (Figure 9) a un effet évident sur la diversité de la production agricole et du couvert végétal. Les versants les plus exposés au soleil conviennent aux cultures tolérantes à la sécheresse, cela s'applique aux versants nord orientés au sud. Les versants moins exposés au soleil sont propices aux cultures hydriques, c'est le cas des versants sud-est orientés nord. Convient aux cultures qui ont besoin d'eau, cela s'applique aux pentes sud-est orientées au nord.

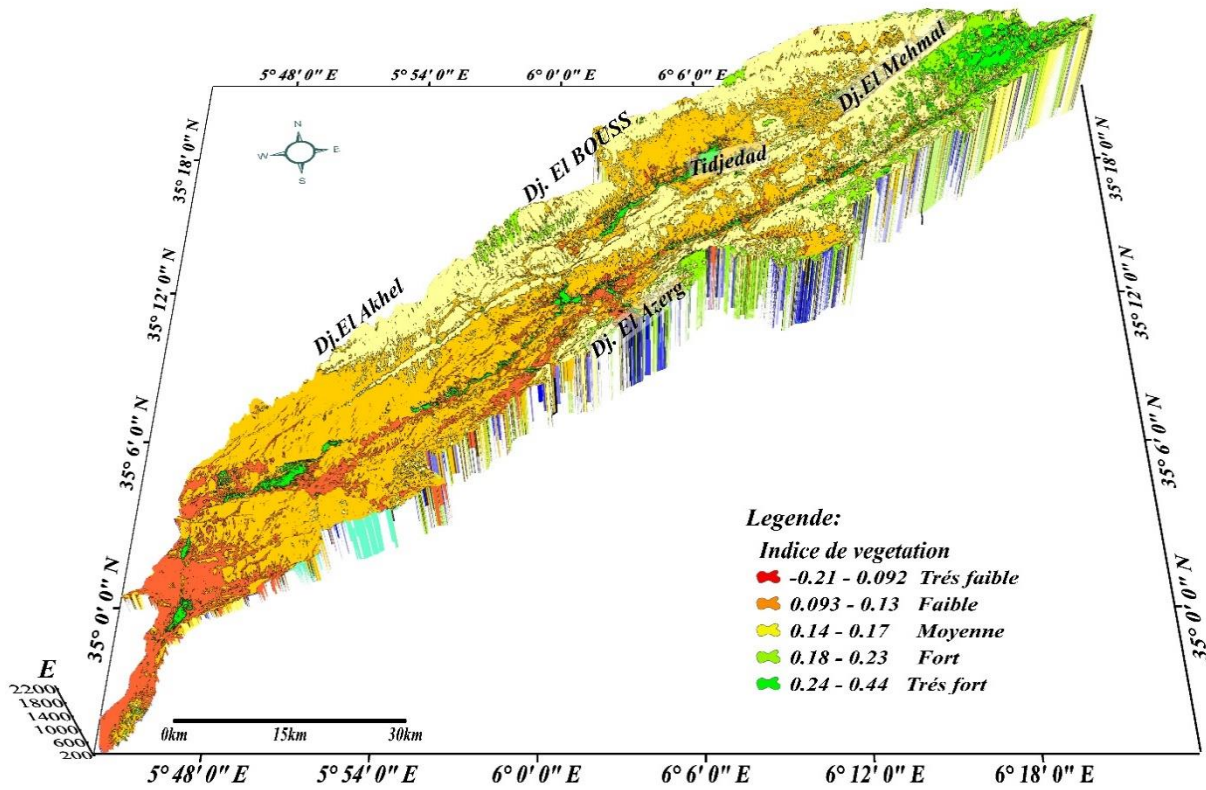


Figure 7: Carte d'indice de végétation (NDVI)

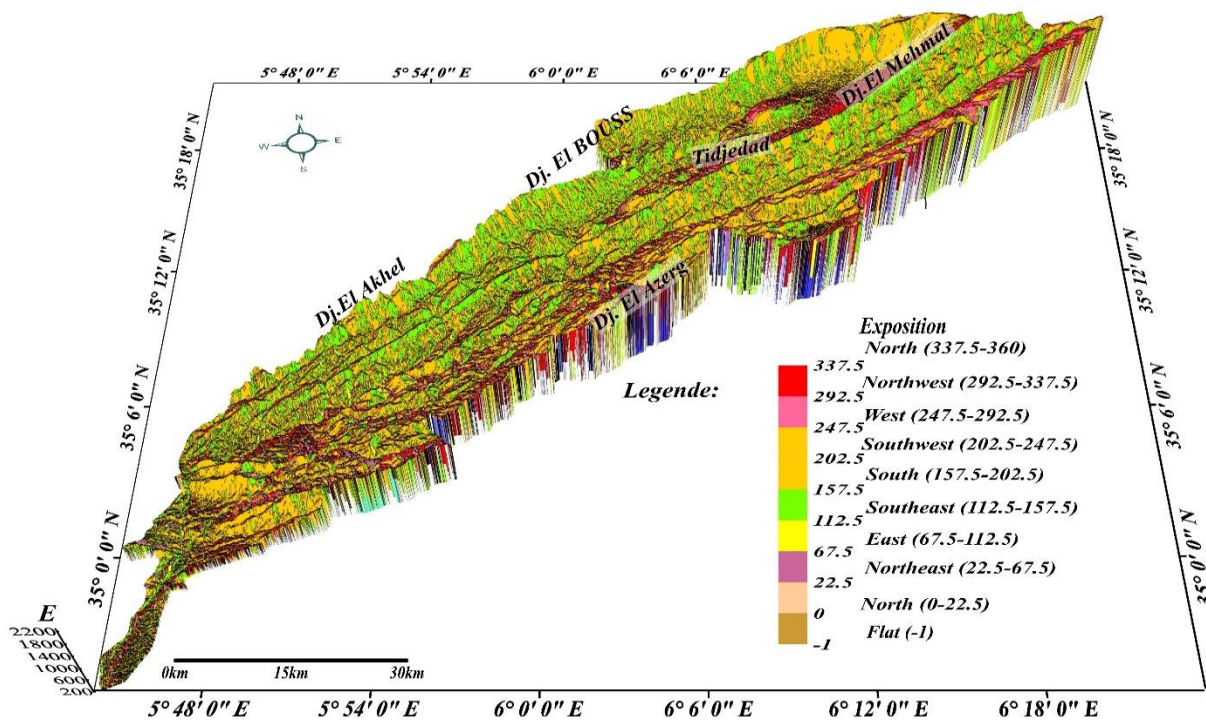


Figure 8: Carte d'aspects des pentes

***Chapitre 2 :***  
***Contexte géologique***

## **2 Contexte géologique :**

### **2.1 Introduction :**

La géologie permet d'identifier la nature lithologique des formations qui peuvent contenir des aquifères ainsi que les sens d'écoulement et les propriétés physico-chimiques qui ont une grande influence sur la qualité et la dynamique des eaux souterraines.

Dans le contexte de la géologie, nous nous appuyons sur des recherches précédentes par de (R. Laffitte 1939), Guiraud (1973, 1990), (Vila.J.M, 1980), (Wildi.W ,1983) et (HERKAT. M), (Abchiche. 1999) et sur des conclusions des recherches récentes (Rihani 2008),(Mekaoussi. A 2014), (Bou Abid 2013).

### **2.2 Géologie du Nord Algérien :**

Le nord de l'Algérie est constitué de diverses unités géologiques et structurales qui font partie de la chaîne alpine des Maghrébides, qui s'étend de Gibraltar à la Calabre (Durand-Delga, 1969).

La structure alpine du Nord Algérien est subdivisée en trois grands domaines du Nord au Sud :

#### **2.2.1 Le Domaine Interne ou Les Kabyliques :**

Les Kabyliques, qui sont des zones internes situées au nord du Tell, s'étendent d'Ouest en Est et comprennent le massif du Chenoua et d'Alger, la Grande Kabylie et la Petite Kabylie (Fig.11). Elles sont composées d'un socle métamorphique cristallophyllien Paléozoïque issu de la fragmentation de l'ALKaPeCa (Alboran, Kabyliques, Peloritain, Calabrais) et d'une dorsale Kabyle (ou chaîne calcaire Méso-Cénozoïque) qui est divisée en trois principales unités (interne, médiane et externe) (Durand Delga, 1969).

#### **2.2.2 Le Domaine médian ou les flyschs :**

Le Domaine des Flysch est caractérisé par trois séries : les séries mauritaniennes et massyliennes, qui sont typiquement formées de flyschs grésopélitiques du Crétacé inférieur, et les séries numidiennes, qui sont caractérisées par des grés micacés d'âge Oligo-Miocène, Cette série est disposée tectoniquement de manière discordante par rapport aux couches sédimentaires environnantes.

#### **2.2.3 Le Domaines externe :**

Le domaine externe du continent africain est une marge téthysienne qui se compose de trois séries différentes : les séries telliennes, les séries de l'avant-pays allochtones et les séries

autochtones.

✓ **Les séries telliennes**

Ces séries sont épaisses à dominante marneuse, issues du sillon tellien, s'étendent sur près de 100 km du Nord au Sud et soutiennent les Empilements « normaux » des flyschs. Elles ont été divisées par les phases tectoniques tertiaires en trois grandes unités, du Nord au Sud :

▪ **Les unités ultra-telliennes**, formées par des marno-calcaires clairs typiques du Crétacé inférieur, sont visibles à l'Est du méridien du Djebel Sidi Driss et s'étendent jusqu'au Kroumirie. Ces unités représentent le socle cristallin du Djebel Edough, le "massif cristallin externe » de l'Est de l'Algérie alpine.

▪ **Les unités telliennes**, sont des formations marneuses et marno-calcaires du Crétacé qui ne contiennent pas d'intercalations néritiques. Elles s'étendent sur une grande partie de la zone étudiée, allant des chaînons côtiers des Babor au piémont Nord des Monts du Hodna.

▪ **Les unités péni-telliennes et unités méridionales à nummulites** : Les unités péni-telliennes et méridionales à nummulites, caractérisées par un faciès néritique prépondérant, sont datées du Crétacé supérieur à l'Eocène. Ces séries présentent des similitudes avec l'unité néritique constantinoise et les unités Sud-sétifiennes, ces unités sont présentes dans plusieurs régions du massif de Chettaba, notamment le versant Nord du Djebel Zouaoui, l'Est du Djebel Grouz, le Nord du Djebel Kheneg et Djebel Akhal.

✓ **L'avant-pays allochtone ou « avant-pays parautochtones algéro-tunisiens » :**

Se compose de vastes panneaux carbonatés qui s'étendent de l'ensemble allochtone Sud-sétifiennes à la nappe néritique constantinoise et aux formations allochtones de type Sellaoua. Ces séries s'étendent du Trias Supérieur au Crétacé et à l'Eocène. À l'est de Guelma, les séries carbonatées sont remplacées par de vastes affleurements de Trias allochtone. Ces trois unités peuvent être résumées comme suit :

▪ **Les unités Sud-sétifiennes**, forment un grand amoncellement d'écailles limitées par des accidents qui cisaille une structure plissée antérieure. Ces séries mésozoïques ont un caractère « de plateforme subsidient » et sont situées au Nord-Ouest (Dj. Guergour et Dj. Annini), au Sud de Sétif (Dj. Zdimm, Dj. Youcef et Dj. Braou), sur la bordure Nord des Monts du Hodna (Dj. Sékrine, Dj. Kalaoun...) et au Nord des Monts de Bellezma (Dj. Zana, Dj. Mestaoua, Dj. Guedmane...)

▪ **L'unité néritique constantinoise**, Les séries carbonatées du Mésozoïque de l'unité

néritique constantinoise sont très épaisses, atteignant localement 2 000 m d'épaisseur cumulée. Elles chevauchent les écailles de Sellaoua et les unités Sud-sétifiennes, selon Vila.J.M. (1980). Les reliefs calcaires qui caractérisent les massifs de Tadjenanet, d'Oued Athmania, de Constantine, d'Ain M'lila, de Hammam Meskhoutine et de Guelma ont subi des déformations lors des phases tectoniques alpines, qui se sont manifestées par des cassures et des plissements à grand rayon de courbure.

▪ **Les unités de Sellaoua**, s'étendent d'une direction Sud-Ouest à Nord-Est dans les régions d'Ain M'lila, d'Ain Fakroun et d'Ain Babouche (Chebka Sellaoua). Elles s'étendent largement de Ksar Sbahi à Souk Ahras. Les faciès sont composés principalement de marnes et de marno-calcaires, allant du Valanginien à la fin du Maestrichtien. Les plissements remonteraient à l'Eocène supérieur, tandis que les écaillages et les chevauchements seraient datés du Tortonien. Les contacts de base des écailles sont injectés par des minéraux issus de l'évaporation.

### **Les formations autochtones et parautochtones ou « Atlas saharien : Monts du Hodna et Aurès » :**

Le Para Autochtone est caractérisé par un ensemble de structures sédimentaires d'âge Secondaire qui s'étendent de l'Ouest à l'Est. Ces structures comprennent des pays stables et des pays Autochtones plissés, ainsi que des séries sédimentaires Secondaires épaisses, telles que les monts de Hodna, Bellezma et les Aurès. Ce dernier est principalement composé de carbonate et est affecté par la tectonique de la phase atlasique.

Les formations autochtones sont caractérisées par des séries sédimentaires essentiellement carbonatées datant du Méso-cénozoïque, qui sont présentes sous forme de synclinaux et d'anticlinaux très plissés, hérités de la tectonique fini-éocène ou « phase atlasique » :

Les formations qui s'étendent du Hodna, de Bellezma et de l'Aurès, à la région d'Oum El Bouaghi et d'Ain Beida, aux Monts de Souk Ahras et plus au sud, à la vaste zone de diapirs représentée par les djebels d'El Ouasta, de Ouenza-Boukhadra, de Mesloula, etc., sont d'une grande homogénéité, allant du Lias au Crétacé moyen. À leur bordure septentrionale, on peut observer des séries géologiques bien définies.

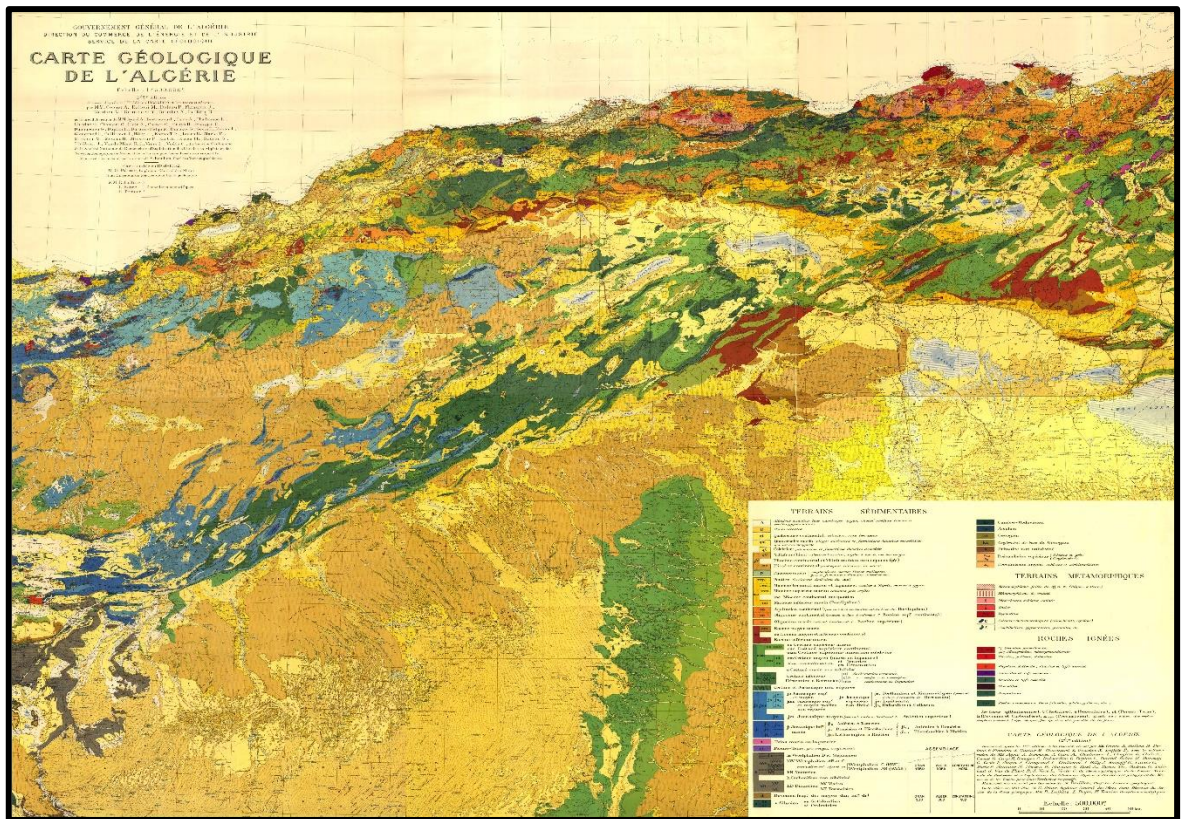


Figure 9: Carte géologique de l'Algérie 2ème édition 1951-1952, Service de la carte géologique.

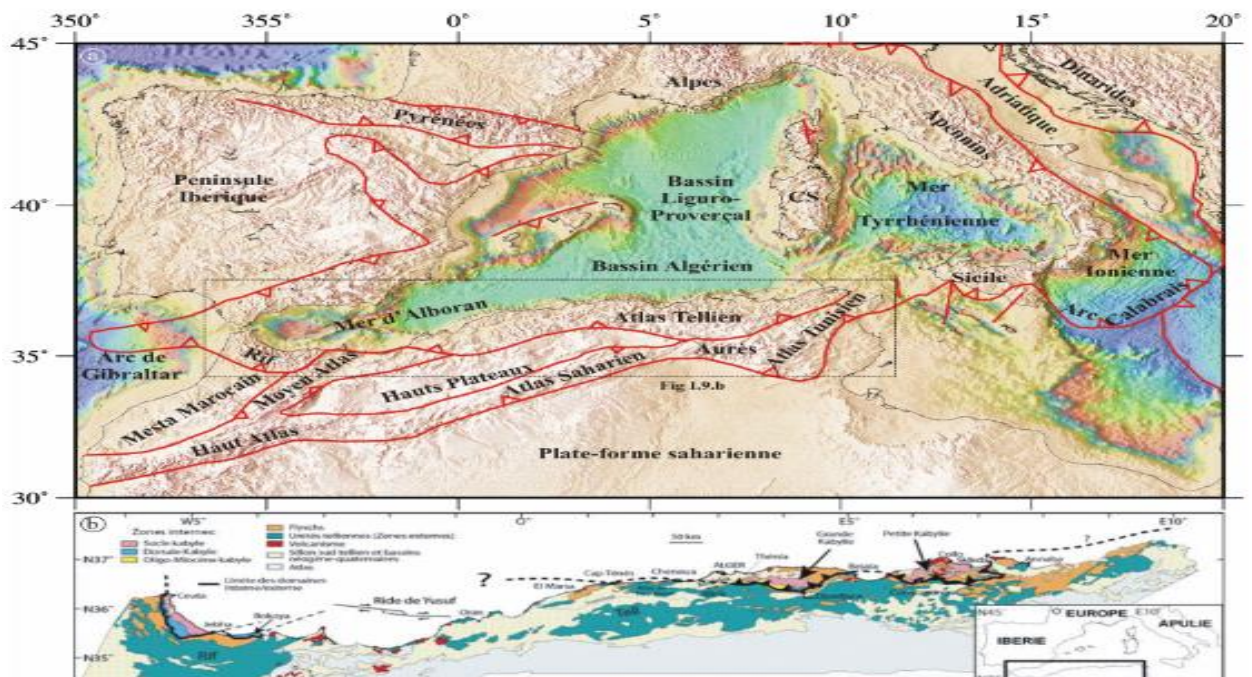


Figure 10: (a) Carte des principales unités géologiques de la Méditerranée Occidentale (Selon Durand-Delga 1969). (b) Les différentes unités géologiques des Maghrébides (Domzig 2006).

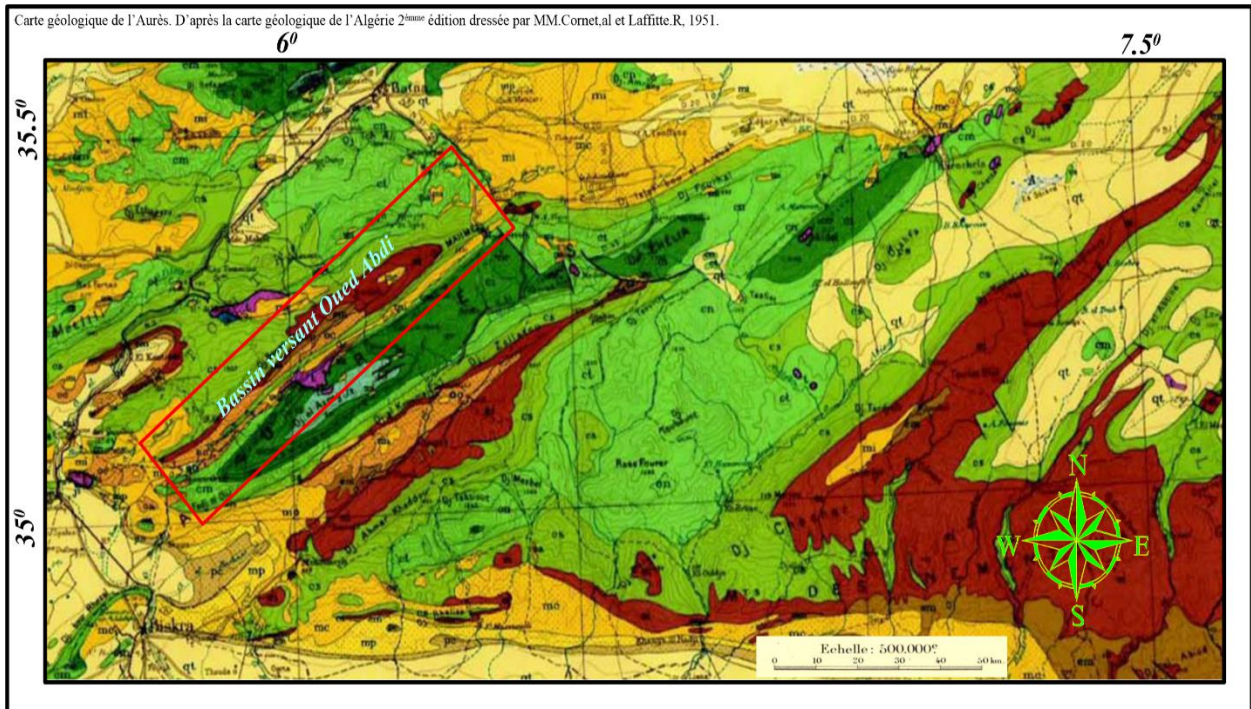
### 2.3 GEOLOGIE DU MASSIF DES AURES ET DE LA ZONE D'ETUDE :

Le massif des Aurès se trouve à l'extrémité orientale de la chaîne Atlasique, séparant ainsi les hautes plaines constantinoises du Sahara. Il est limité au nord par le front du chevauchement du Sud Sétifiennes, qui se caractérise par l'alignement des plis de Bélèzma, du Dj Sarif et du GUELLIF. De plus, le bassin du Néogène de Timgad s'étend le long d'une ligne qui va de Batna à Khenchela. Les monts du Nememcha forment une barrière naturelle qui s'étend sans interruption à l'est, à l'exception d'une baisse sensible des sommets qui ne dépassent pas 1800 m. Le plus haut sommet de ce massif se trouve à Dj Chélias, à Irfen'Keltoume, avec une altitude de 2326 m. Au sud, la plateforme saharienne est clairement délimitée par la flexure sud-atlantique. A l'Ouest, les bassins Néogène du Hodna et de son annexe EL-Outaya sont constitués de dépôts détritiques du Crétacé inférieur, d'argiles carbonatées du Crétacé supérieur et du Jurassique, ainsi que de sédiments carbonatés du Paléocène jusqu'à l'Eocène moyen, le Néogène est principalement composé de sédiments détritiques.

La zone d'étude (bassin versant de l'oued Abdi) est située au fond des Aurès. OÙ le Trias est situé près de Jabal Al-Azraq ; l'âge géologique le plus ancien des Aurès, et à partir de celui-ci commence la succession des formations géologiques jusqu'au Quaternaire.

Le synclinal dissymétrique très allongé montre, comme la plupart des structures des Aurès, une direction NE-SW. Il se suit depuis le bassin miocène d'El Outaya au SW, d'où il sort aux environs d'Aïn Sellet, jusqu'au bassin de Timgad, sous lequel il disparaît au NE.

Pour bien comprendre la géologie de la région, on a digitalisé la géologie de la région à partir de carte géologique de R. Laffitte (1939) (Figure13) ; à l'aide d'un SIG en utilisant les logiciels, ARGIS et Surfer.



**Figure 11: Carte géologique de l'Aurès. D'après la carte géologique de l'Algérie 2<sup>ème</sup> édition dressée par Deleau, P, et Laffitte, 1951.**

**Légende :**

- Quaternaire: qt éboulis; cônes de déjection torrentiels; alluvions anciennes et récentes.
- Pliocène pc poudingues.
- Pontien sup. mp sables grossiers, grès sableux bruns.
- Pontien inf me marnes, grès, sables rouges.
- Miocène inf. marin mi calcaires à lithothamnies; marnes; calcaires, grès molasses; sables; alternances de sables, marnes, grès et marnes rouges.
- Oligocène oc, oa marnes rouge à gypse, grès, conglomérats, brèches.
- Lutétien em marnes blanches avec bancs calcaires et gypseux, localement phosphates; dans la partie SE, calcaires à gypses, marnes noires.
- Landénien ei calcaires ma ssifs
- Paléocène ei marnes blanches, calcaires, localement gypses et phosphates. Dans la partie NW de la feuille (Danien+Paléocène).
- Danien cs marnes noires, localement phosphates.
- Maastrichtien cs calcaires; marnes noires ou marnes crayeuses.
- Campanien cs marnes noires, marnes crayeuses à la base, localement, gypses.
- Coniatien et Santonien cm marnes et calcaires.
- Turonien ct calcaires à Rudistes(récifs); calcaires et marnes(+Rudistes isolés)
- Cénomannien cn dolomies; calcaires(localement gypses); marnes et marno calcaires.
- Albien cie grés et marnes rouges, verts,...; marnes, calcaires, grés, flysch, localement phosphates.
- Aptien ci grés et marnes rouges, verts,...; calcaires, dolomies, marnes, grés.
- Barrémien cic grés, graviers, marnes rouges, verts,...; grés blancs; calcaires et calcaires gréseux.
- Hauterivien ci calcaires pisolithiques, calcaires gréseux, grés.
- Valanginien ci marnes à Ammonites pyriteuses, calcaires, grés.
- Portlandien et Berriasien js dolomies; calcaires et calcaires marneux.
- Kimméridgien sup. js marnes et calcaires marneux.
- Kimméridgien inf. js brèches calcaires.
- Toarcien js schistes.
- Lias inf. js dolomies généralement bréchoides.
- Trias t sel gemme; gypses, marnes, cargneules, sables dolomitiques.

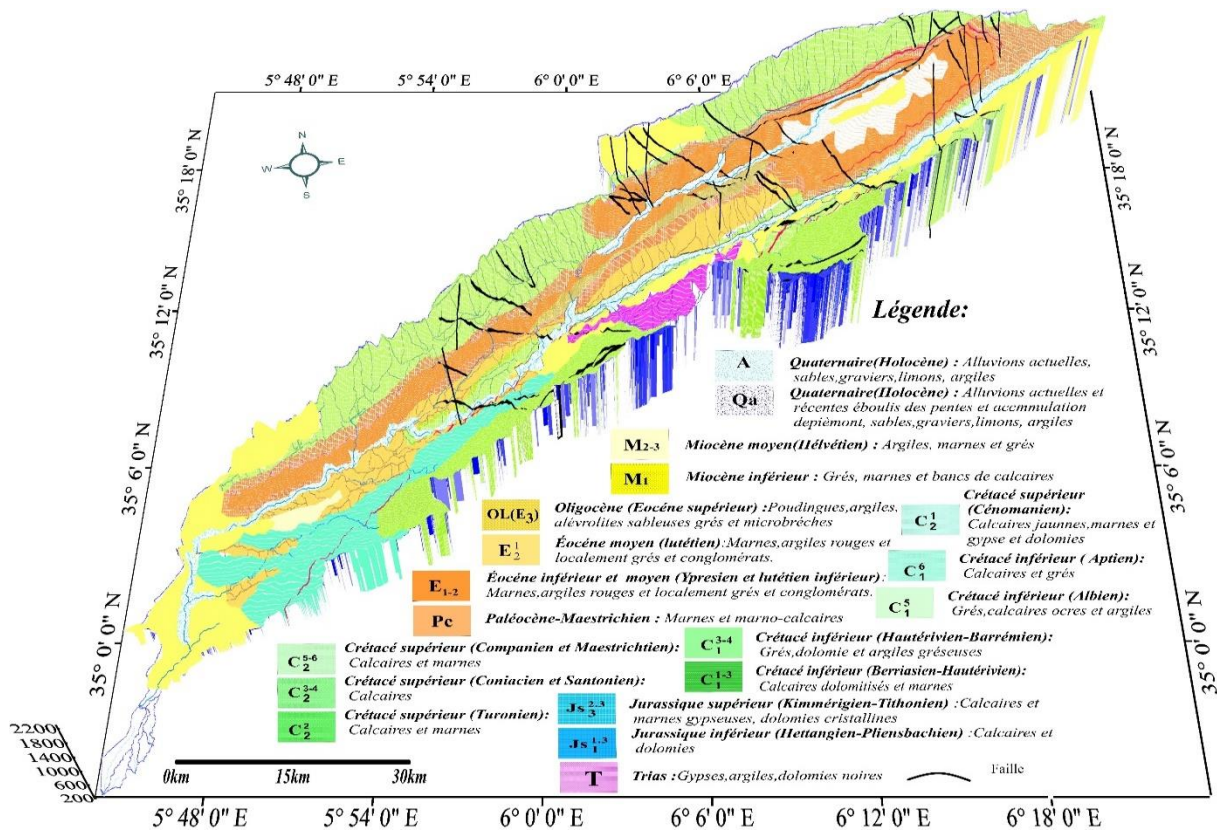


Figure 12: Carte géologique du Bassin versant Oued Abdi réalisée par M. Bendjerad. (Source : Extrait de l'esquisse géologique de l'Aurès par (R. Laffitte 1939).)

### 2.3.1 Les unités lithostratigraphiques de la zone d'étude présentes sont comme suit :

#### 2.3.1.1 TRIAS :

Dans la région des Aurès, le Trias est la formation la plus ancienne connue. Dans notre zone d'étude, il affleure en contact anormal dans la partie sud, à Menaa, Nara et au piedmont du flanc nord de l'anticlinal de Dj El Azreg.

À Menaa, les formations du Trias sont constituées d'argiles violacées et rouges, ainsi que de fines couches centimétriques de gypse, souvent fibreux. Parfois, des barres décimétriques de calcaire dolomitique sont associées à ces formations, qui pourraient être rattachées au Crétacé supérieure.

À Nara, les formations du Trias sont composées de gypses et de marnes bariolées, avec des niveaux de calcaire qui sont rattachés au Cénomanien. Au flanc nord de l'anticlinal de Dj El Azreg, le Trias vient en intrusion en contact direct avec des formations du Crétacé inférieur (M. Abchiche, 1999).

### 2.3.1.2 JURASSIQUE :

Il apparaît dans L'ensemble géologique de Dj El Azreg est composé de terrains très anciens, en position normale d'après les notices de R. Laffitte 1939. Ces terrains sont caractérisés par des carbonates (marno-calcaire) qui s'accumulent progressivement vers le sommet. La rareté des fossiles rend difficile la subdivision des terrains. Cependant, plusieurs étages été identifiés sont les suivants :

- Jurassique inférieur est visible au cœur de l'anticlinal de Dj Azreg, situé au sud-ouest de la vallée d'Oued Abdi. Les sous étages déterminés sont le Hettangien, le Pliensbachien et le Toarcien, qui comprennent des calcaires, des dolomies et faciès calcaireux au sommet de Dj El Azreg.
- Le Jurassique supérieur est visible dans le Dj. Azreg et se compose de quatre étages distincts : le Dogger, le Malm, le Kimméridgien et le Tithonien. Ces étages sont caractérisés par des calcaires à silex et dolomies, ainsi que des marnes gypseuses et dolomie cristallines. L'épaisseur totale de cette période géologique est estimée par Sonatrach.2000 à environ 900 mètres.

### 2.3.1.3 LE CRETACE :

Le Crétacé est présent dans la zone d'étude et se divise en deux séries. La première série, le Crétacé Inférieur, s'étend du Berriasien à l'Albien et a une épaisseur d'environ 2000 mètres. La seconde série, le Crétacé Supérieur, s'étend du Cénomaniens au Danien et a une épaisseur d'environ 3000 mètres.

- BERRIASIEN : présente avec la formation portlandienne se présente sous deux faciès distincts d'une épaisseur de 250 à 300 m, avec un passage latéral progressif et marqué entre eux au niveau de Dj El Azreg du Nord vers le Sud. Le faciès calcaro-marneux au NE est formé de calcaires en bancs siliceux blanchâtres violacés à radolaires et de marnes à Ammonites Pyriteuses, avec des intercalations de calcaires argileux et de calcaires pisolithiques à Brachiopodes, Lamellibranches, Polypiers et Echinodermes au sommet. D'après W. Klemenz 2005, le faciès dolomitique au SW du massif Aurésien est formé de dolomie azoïque à rares passées de calcaire et de marnes à Béliminites et forme en majeure partie le flanc sud de Dj El Azreg.
- VALANGINIEN : apparaît Au Nord-Ouest du village Oughanime caractérisé par des céphalopodes et des ammonites, dans une séquence de marnes jaune-verdâtre d'une

centaine de mètres d'épaisseur, de grés calcaireux à l'échelle métrique et de calcaires pisolithiques massifs d'une vingtaine de mètres d'épaisseur a été observée. Vers le sommet de la série, des calcaires gréseux avec des niveaux marneux sont visibles. Cet étage est caractérisé par des céphalopodes et des ammonites.

- HAUTERIVIEN : se localise dans le même endroit que le Valanginien, il débute par un enrichissement en bancs de calcaires gréseux d'échelle métrique et qui s'échelonne sur une dizaine de mètre d'épaisseur, puis la tendance gréseuse commence à devenir importante. Cet étage est caractérisé par la rareté des fossiles. ( W. Klemenz 2005) .
- BARREMIEN : affleure au sud de Menaâ (village Bried). Il est composé principalement de grés quartzitiques à l'échelle métrique, avec des intercalations de marnes, d'argiles rouges, des grés à base brechoïque, de calcaire, de marnes gréseuses et de dolomies massives. Par endroits, il ya des calcaires marneux ou gréseux, qui présentent souvent une stratification entrecroisée, ce qui indique une période régressive. (M. Abchiche 1999)
- L'APTIEN : selon les notices de R. Laffitte 1939, est bien représenté à Oughanime-Ouarka (au sud de Menaâ). Il est principalement constitué de grés, dont la limite inférieure est difficile à déterminer, jusqu'à ce que des bancs de calcaire de taille décimétrique à métrique avec des intercalations de marnes vertes tendres à orbitoline. La série s'étend sur une épaisseur d'environ 40 mètres et se termine par des bancs de grés à l'échelle métrique et des joints argileux décimétriques.
- L'ALBIEN : les notices de M. Abchiche 1999 confirmer sa présence à Dj El Azreg, à proximité d'Amentane, dans le sud-ouest de Menaâ. Elle est composée d'alternances de grès rouges et de marnes bigarrées, qui deviennent plus carbonatées vers le sommet. La limite supérieure de l'étage est visible de loin, car elle correspond à une rupture de pente du relief dans le flanc nord-ouest de l'anticlinal de Dj El-Azreg, que ce soit à Oughanime-Ouarka ou à Chir. L'épaisseur de la série est estimée à 400-500 mètres.
- CENOMANIEN : est très répandu le long de l'affleurement de l'Oued Abdi en amont de Béni Souik (vers Amentane). La série stratigraphique est estimée à environ 200 mètres d'épaisseur et se compose d'alternances de calcaires et marnes, de calcaires marneux indurés présentant des des plaquage d'huîtres. entre Ouarka et Menaâ, seule la partie inférieure de l'étage est visible, sous forme d'alternance de marnes et de calcaires. Plus loin, seules des marnes verdâtres sont présentes à ce niveau. À Chir et tout au long de la vallée d'Oued Abdi, le Cénomaniens présente une composition très uniforme, avec

des marnes peu fossilifères à la base, contenant des empreintes de céphalopodes, et des marnes et des calcaires vers le sommet.

- **TURONIEN** : forme une auréole régulière à la périphérie de l'anticlinal dj el Azreg, interrompue seulement vers le Sud-Ouest par le Trias de Menaâ, intrusif, l'Oligocène et le Miocène, transgressifs. Cette caractéristique est bien visible sur la carte établie par R.LAFFITE Au niveau de la vallée D'Oued Abdi, les couches calcaires du Turonien sont absentes vers le Nord Est, en direction de Menaâ, sous le Miocène. Lorsque l'étage réapparaît, à partir de Chir et surtout la rive droite de l'Oued Abdi, il est composé de marne, de calcaire marne et de calcaire, formant des bancs massifs d'environ 05 mètres d'épaisseur. Le Turonien est homogène, avec des marne à la base, des calcaire marneux et des calcaire au sommet, qui forment des corniches calcaires caractéristiques du paysage Atlasique.
- **SENONIEN** : il est difficile d'établir une limite précise entre le Coniacien, le Santonien et le Maestrichtien, car les localités types où ils affleurent sont très éloignées. De plus, les termes inférieurs des étages sont mal représentés dans les régions du Nord du Djebel Bous, du Sud du Djebel Mahmel et du Sud-Est de Tissidelt. Les marnes noires et les marnes crayeuses caractéristiques de la base de ces étages, décrites par R. Laffite (1939), n'ont pas pu être identifiées. Cependant, le Maestrichtien est facilement identifiable de part et d'autre du synclinal de Bouzina, où il forme des masses calcaires sur les crêtes du Djebel Bous et du Djebel Mahmel.

#### 2.3.1.4 TERTIAIRE :

Le tertiaire se trouve dans le massif des Aurès et est composé de calcaires avec des alternances de marnes. Il est distribué de manière irrégulière dans l'ouest du massif.

- **PALEOCENE** : est caractérisé par la présence des fossiles et des couches phosphatées de Danien. Dans le synclinal de Bouzina, une couche de 15 mètres d'épaisseur formée par des marnes et des calcaires granuleux du Paléocène est reconnue comme le Danien dans la coupe litho stratigraphique typique de Dj El Azreg. (A.Rihani 2008). Selon l'esquisse géologique de R Laffitte, Selon l'esquisse géologique de R Laffitte,

Les facies varient d'un endroit à un autre et se composent de deux séries Nummulitique bien distinctes ; une série marine à la base (Danien - Lutétien supérieur) et une série continentale au sommet (Eocène supérieur – Oligocène), La limite entre les deux séries se trouve à la partie supérieure du Lutétien, qui marque le début de la transgression miocène.

La série marine du nummulitique, s'étend de l'Eocène inférieur à l'Eocène moyen, Le Landénien est caractérisé par des calcaires massifs contenant des intercalations de niveaux argileux ou des marnes de couleur rouge. Le Lutétien commence par des argiles présentant des passées gypseuses d'échelle centimétrique, suivies de barres de calcaire d'échelle décimétrique, puis d'une alternance d'argile verte, de barres gypseuses d'échelle métrique et de barres calcaires allant de centimétrique à métrique. L'épaisseur totale de la série marine du Lutétien est d'au moins 100 mètres.

Le nummulitique continental, s'étend de l'Eocène supérieur à l'Oligocène, et se compose de dépôts rouges généralement grossiers qui peuvent se trouver dans deux contextes différents. D'une part, ils sont en concordance sur le Lutétien et le Burdigalien. D'autre part, ils sont en discordance sur tous les termes des séries plus anciennes, Dans le synclinal de Bouzina, Il ya une grande accumulation de couches rouges du nummulitique continental, sous les marnes rouges qui se trouvent au-dessus. Ces couches sont composées de poudingues très grossiers qui s'étendent sur une épaisseur de 100 mètres.

- OLIGOCENE :

Il est très bien identifié au Dj Tissidelt ; on note de bas en haut la succession litho stratigraphique suivante :

Les argiles et des marnes au environ d'une centaine de mètre d'épaisseur, au sein desquelles, on retrouve des passées latérales gypseuses d'échelle centimétrique. Les grès d'épaisseur métrique, des conglomérats et des poudingues très grossiers dont les éléments peuvent atteindre 30 à 50 cm de diamètre. Les grès conglomératique d'une trentaine de mètre d'épaisseur venant coiffer le sommet de Dj Tissidelt. (M.Abchiche 1999).

- MIOCENE : Dans la vallée de l'Oued Abdi et les dépressions du synclinal de Bouzina, le Miocène est représenté par de nombreux lambeaux. D'après les notices de R. Laffite (1939) ; Une succession de conglomérats à éléments empruntés, principalement du Trias, de galets, de marnes verdâtres et de calcaire d'échelle métrique se trouve au sommet de la série. En remontant le long de la rive de l'Oued Nirdi jusqu'à Ain Zina, on peut observer un remplissage de couches rougeâtres, principalement argileuses, qui ne peuvent pas être datées directement. Cependant, en raison de leur faciès, les rattache au Miocène continental, ce qui pourrait être la base de ces couches. Celles-ci sont surmontées par des grès, des sables bruns ou rouges et, au sommet, par des poudings

rouges. La série inférieure du synclinal de Bouzina a dû se former dans des dépressions similaires aux Chotts actuels, ce qui est confirmé par la présence de nombreux bancs de gypse dans les couches argileuses de base. Des apports intenses de sables et graviers ont été déposés au début de cette période, Ces apports ont été suivis par des poudings à la fin de la période, ce qui indique une érosion plus active, probablement due à l'accentuation du relief causée par les mouvements épirogéniques qui ont affecté le massif à ce moment-là.

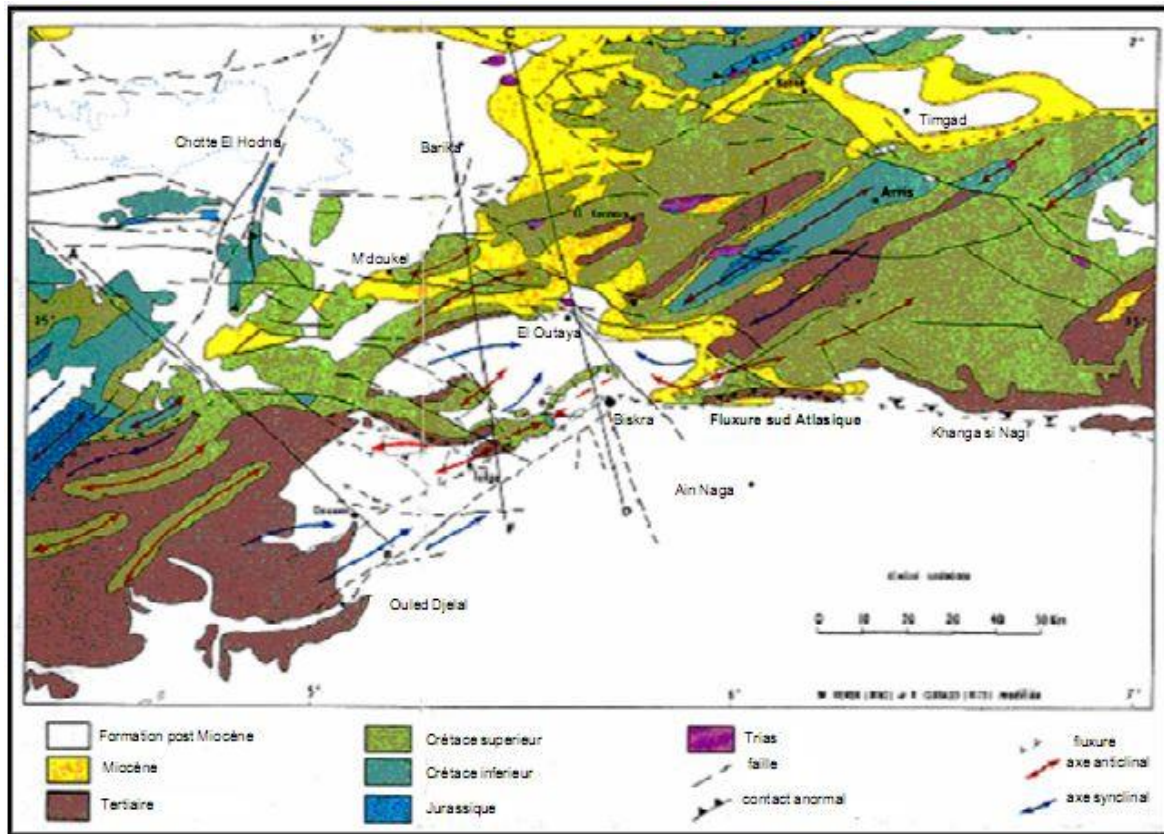
- **QUATERNAIRE** : Les terrains quaternaires sont des formations géologiques relativement récentes et peu répandues dans le centre du massif de l'Aurès. Ils sont principalement représentés par les éboulis qui se trouvent aux pieds des montagnes et les terrasses des oueds, qui sont des dépôts alluvionnaires. Des débris rocheux sont dispersés à la base des sommets des calcaires Maestrichtien, composés des éboulis qui peuvent atteindre des dizaines de mètres et recouvrant les marnes Campaniennes. Les terrasses, qui sont plus faibles dans le cœur de la vallée, ne dépassent généralement pas cinq mètre

## **2.4 LA TECTONIQUE :**

### **2.4.1 ANALYSE STRUCTURALE DE L'ATLAS SAHARIEN :**

Le bassin versant d'oued abdi appartient aux monts de l'Aurès, qui sont liée à l'Atlas Saharien. Les principaux plis et accidents se sont formés au cours des différentes phases tectoniques ; la phase Emsherienne qui débute à la fin du Turonien et se poursuit au Sénonien avec des plis de directions Est Ouest accompagnés de cassures Nord-Ouest, Nord Est, et la phase atlasique (pyrénéennes) qui se produit au Lutétien (Eocène moyen) ; caractérisée par des plis coffrés orientés NE-SW à ENE-WSW, les failles de direction E-W. NW- SE et WNW-ESE, la phase distensive oligo- miocene elle est postérieure à la déformation fini eocène qu'elle recoupe et antérieure à celles du langhien inférieur (Miocène moyen).

Cette phase est purement distensive et crée des grabens, tels celui d'El Madher- Dj. Bou Arif, la phase Miocène produit que de faibles déformations caractérisée par le redressement et la déformation des conglomérats du Tertiaire résultant de la phase Atlasique, la phase pliocène intéresse la fin du Pliocène avec des plis et les cassures sont le plus souvent orientés ENE-WSW, et quelques plis de direction EW, la phase quaternaire est distensive, elle est à l'origine des grabens subméridiens [Guiraud, 1990; Kazitani, 1986].



**Figure 13: Esquisse géologique et tectonique (d'après Guiraud 1973) source : (Adel Mekaoussi 2012)**

**2.4.2 ANALYSE STRUCTURALE DES AURES :**

La structure des Aurès, comme celle de l'Atlas Saharien, s'est formée au cours des phases ems-chérienne, atlasique, oligo-miocène, miocène, pliocène et quaternaire. Ces mouvements tectoniques syn-sédimentaires sont d'ailleurs responsables des nombreuses discordances surtout des couches tertiaires dans la vallée de Bouzina.

La plus importante de ces phases est la phase atlasique (phase pyrénéenne), qui s'est produite au Lutétien (Eocène moyen). Elle est marquée par un raccourcissement suivant un axe de direction N135-N150. Elle a produit des plis coiffés orientés NE-SW à ENE-WSW ainsi que des failles.

Les failles sont parfois parallèles à l'axe des plis mais la plupart sont obliques avec une direction EW, NW-SE et WNW-ESE. Le massif de l'Aurès constitue la partie orientale de la chaîne atlasique, appelée aussi Sud-Est constantinois. Ce massif est délimité; au nord par le front du chevauchement du constantinois repérable par l'alignement des plis de Belezma, de Dj. Sarif et du Dj. Guellif; au sud par la flexure saharienne, monoclinale à pendage sud, séparant la chaîne alpine au nord du domaine tabulaire saharien au Sud, à l'Ouest, en l'absence de limites naturelles, on considère conventionnellement que l'Atlas oriental se termine à l'extrémité NE

de l'anticlinal du Dj. Ez zerga. Cette zone correspond à l'endroit où la flexure saharienne change d'orientation, passant d'une direction E-W à une direction NE-SW, à l'Est par les monts de Tébessa. La chaîne atlasique orientale est dominée par le massif de l'Aurès dont l'altitude moyenne est de 1500 m atteint son point culminant au Dj. Chelia. (Ghandriche.A,1991).

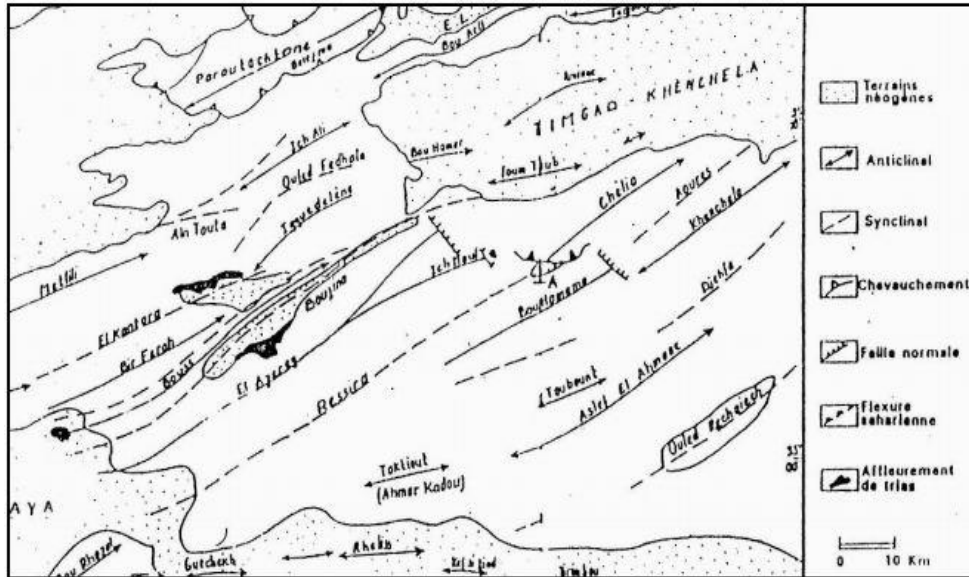


Figure 14:Schéma structural du massif de l'Aurès. (D'après Guiraud. R, 1973)

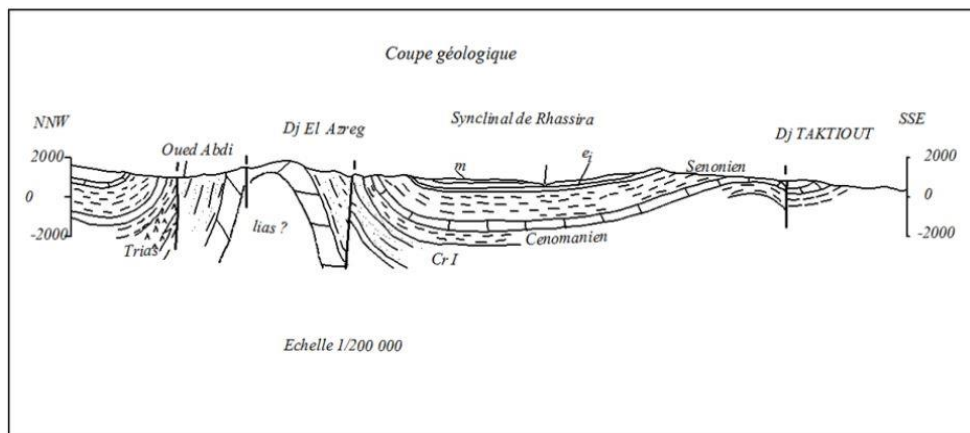


Figure 15:coupe géologique (d'après Guiraud. R, 1973).

### 2.4.3 ANALYSE STRUCTURALE DE LA ZONE D'ETUDE :

les cassures sont nombreuses dans le massif des Aurès et elles se répartissent très généralement suivant des directions voisine de Nord-Ouest-Sud Est (les plus fréquentes qu'on a observées dans la zone d'étude), Est ouest ou N60E décrits par GUIRAUD (1990) dans le cœur du Djebel El Azreg et plus à l'Est au niveau de Tighanimine, Tiroura et Ain Tdjera, mais également dans la région de Maafa- Arba et dans le synclinal de Bouzina au Nord Est et aussi dans le synclinale de Oued Abdi et la région de Ain Slat- Djemorah- Branis. La région nord-est de la zone d'étude est extrêmement accidentée

- **A Oued Tassarift** : En parcourant Oued Tassarift d'amont en aval, on a pu constater un décalage de l'assise basale du Maestrichtien et des séries antérieures (Fig16). Cet accident décrochant a une composante chevauchante, une direction Nord-Ouest -Sud Est, un regard vers le Nord et une vergence Sud.
- **A Chir** : Une autre fracture a été constatée à Chir, qui présentait un jeu normal et qui affectait principalement les formations Albo-Aptiennes. Cette cassure était orientée NNW (Fig.17).

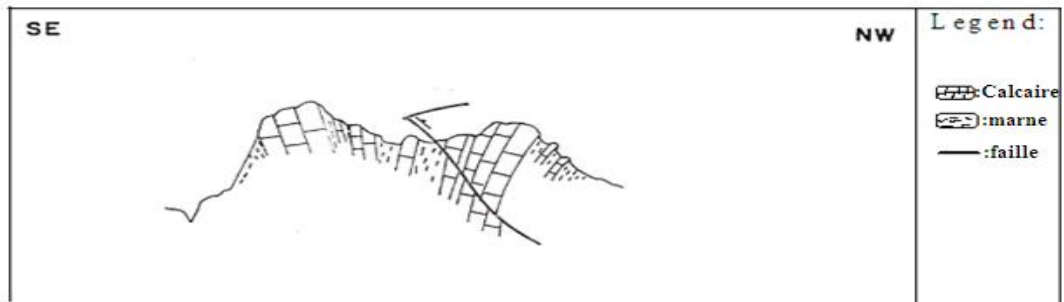


Figure 16: coupe effectuée sur la rive droite d'Oued Tassarift (ABCHICHE 1999).

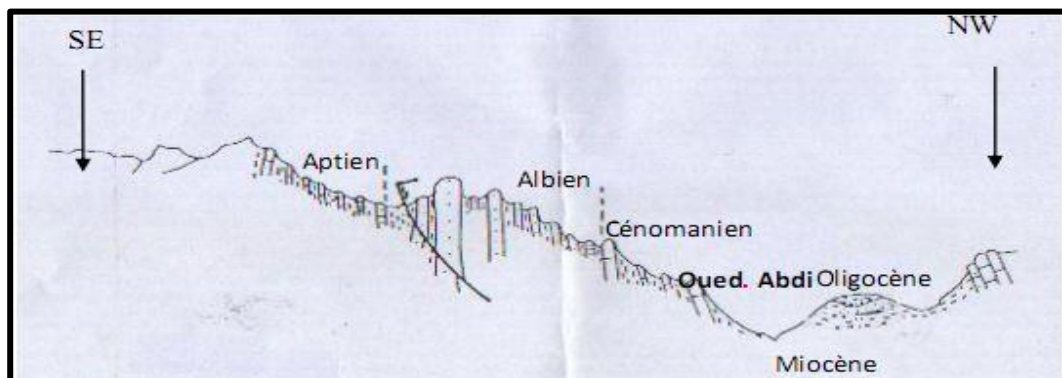


Figure 17: Coupe effectuée à Chir : faille normale décrochant affectant les séries Albo-Aptiennes (ABCHICHE 1999), source (BAALA FATIMA, 2012).

- A **Braied** : Une fracture a été constatée a Braied, qui affectait principalement les formations Barrémiennes et Hauteriviennes.et qui présentait un jeu normal.

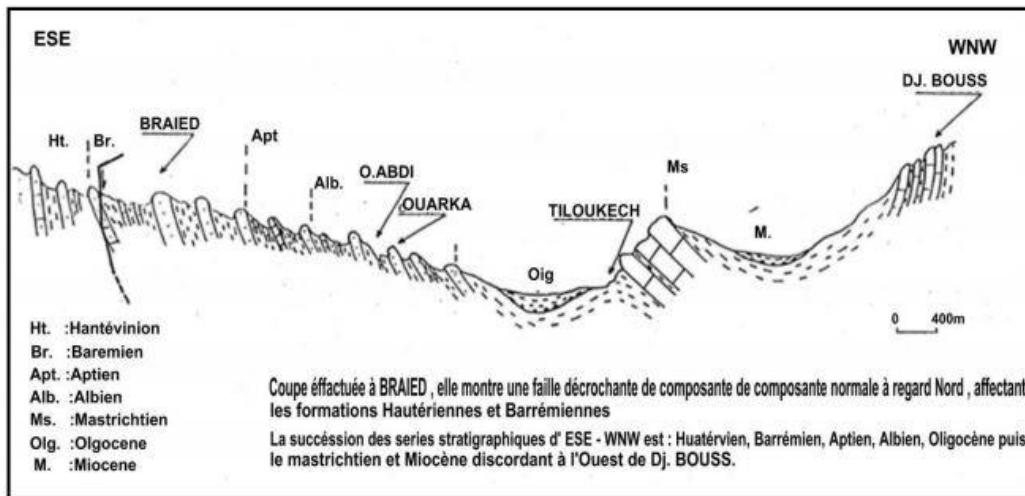


Figure 18: coupe géologique de Bried à Dj Bouss (ABCHICHE 1999) source ( Adel Mekaoussi 2012)

- A **Synclinal de Bouzina** : Dans ce synclinal très vaste, on peut observer les termes du Tertiaire. Il est caractérisé par la présence d'un anticlinal (Bouss) qui occupe les deux tiers SW de la zone centrale. Selon Laffitte.R (1939), il s'agirait d'un simple repli, mais il pourrait aussi correspondre à une signature d'un accident profond. Il est subdivisé en deux par un repli anticlinal où les calcaires du Maestrichtien sont redressés et forment les sommets du massif, et un repli synclinal adjacent au Sud à une altitude plus basse.

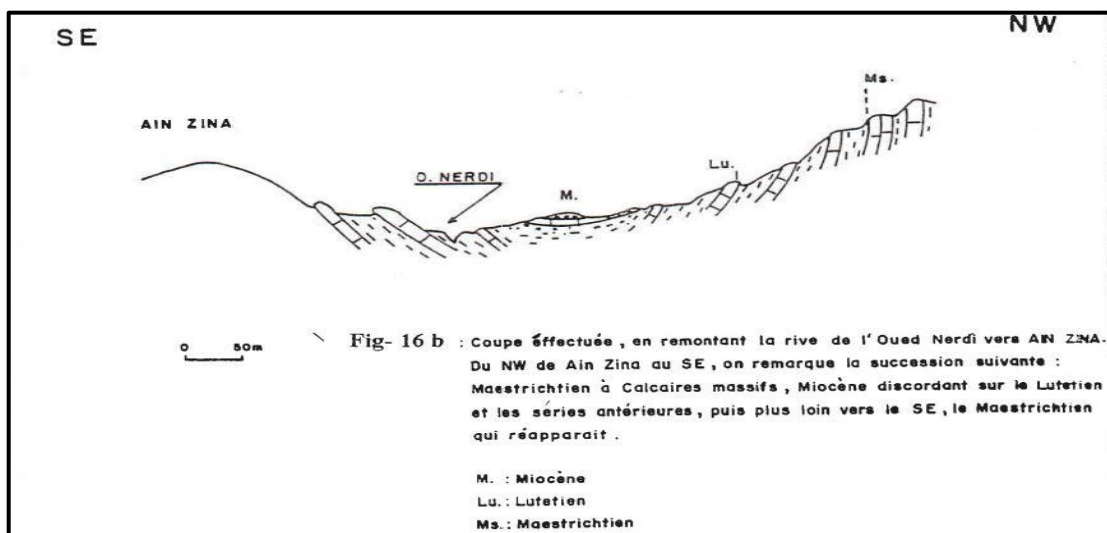
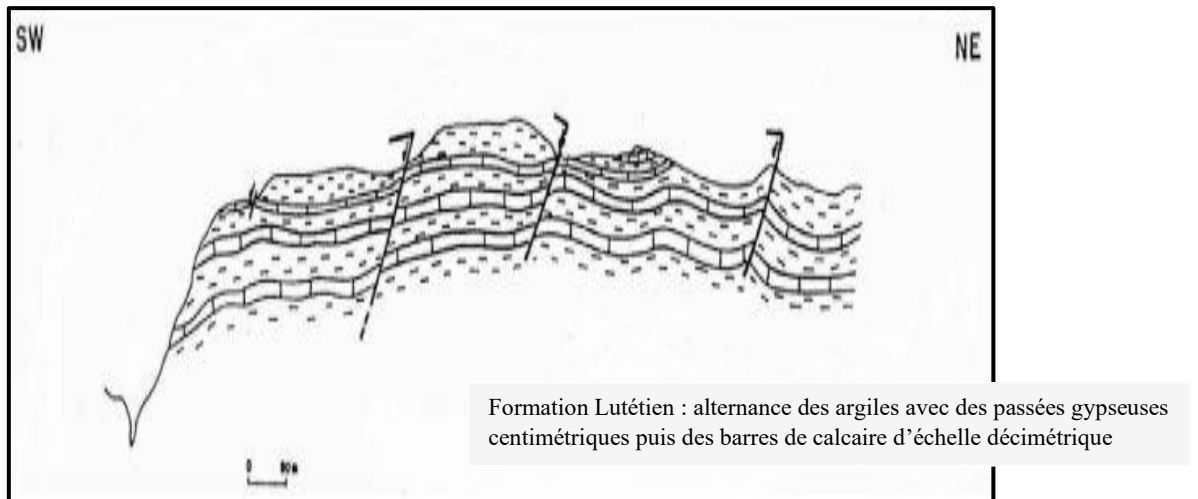
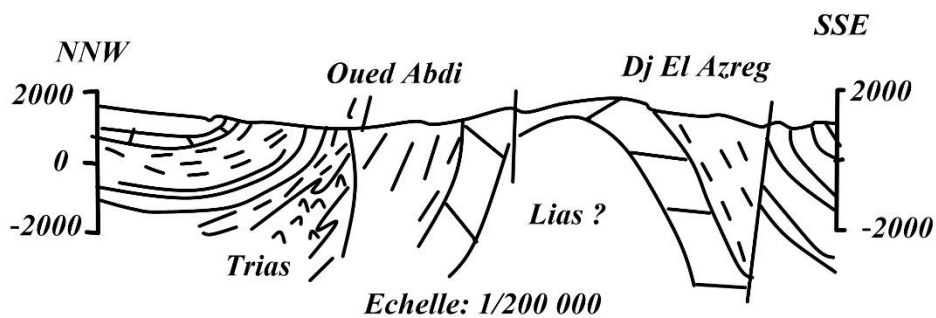


Figure 19:coupe Effectuée en remontant la rive de l'Oued Nirdi vers Ain Zina (ABCHICHE1999).



**Figure 20: Coupe Effectuée Au Niveau De La Rive Droite De L'Oued Du Vieux Bouzina (ABCHICHE1999).**

- A Djebel Lazregh :** Le périclinal S-O du Djebel El Azreg est composé de plusieurs sommets ouverts qui se trouvent dans le Crétacé supérieur (Turonien) et qui sont séparés par des synclinaux à cœur Oligo-miocène. Ces plis sont orientés sur les flancs de l'anticlinal de Djebel Lazregh, à proximité du bassin d'El Outaya. Les accidents de direction Nord130°-Nord140° (NW-SE) sont des failles obliques à l'axe anticlinal du Dj El Azreg. Ces failles transversales sont caractérisées par un décrochement dextre et un rejeu important sur le flanc Sud Est de l'anticlinal El Azreg.



**Figure 21::coupe géologique à D.J. Azreg (d'après Guiraud. R, 1973).**

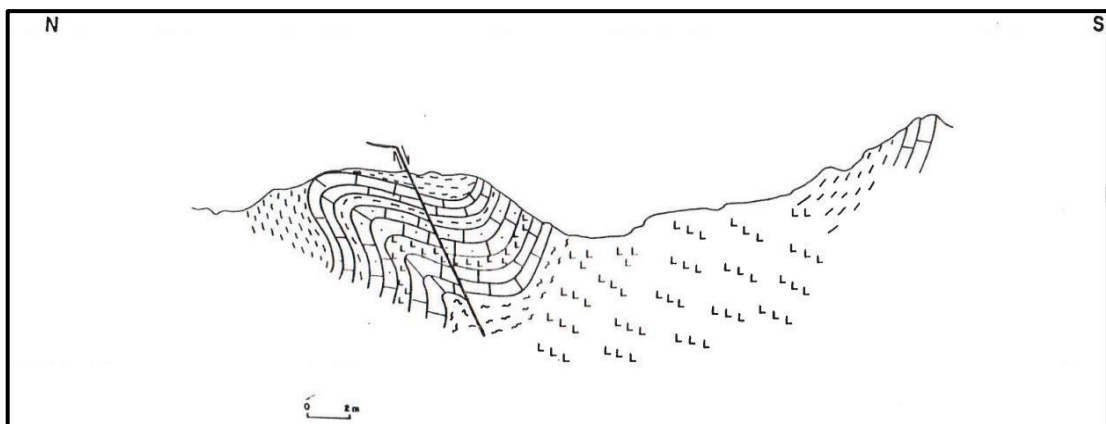
- **A Diapir De Menâa:** Au Nord-Ouest de Menâa, le Miocène recouvre le Trias et comprend un conglomérat de base qui incorpore de nombreux éléments provenant de celui-ci :

En s'approchant du flanc Nord-Ouest de l'anticlinal de Djebel Lazreg, qui surplombe la ville de Nara, on peut observer les formations lithologiques intrusives de Trias et en déduire sa cinématique de mise en place, car il est en contact direct avec les formations plissées du Barrémo -Aptien. Les plis redressés vers le Nord-Ouest. Dans les environs, en remontant une branche de l'Oued Nara, un accident important été observé, caractérisé par un jeu décrochant dextre de composante normale de direction NW- SE, bordé par le Trais.

La formation de Mena - Nara, de constitution lithologie argilo-gypsifère, est voisine de toutes les régions de l'Aurès et a été mise en place à l'âge du Miocène, pouvant remanier des éléments divers.

Le Trias montre ici son extension maximale au niveau des marnes cénomaniennes et sa mise en place est liée à l'interférence au niveau de Mena d'un grand décrochement Est Ouest, ainsi qu'à l'axe anticlinal de Lazreg et peut-être à une cassure transversale profonde.

La Coupe de Nara qui identifie le Trias argileux gypsifère est en contact avec le contacte barrémien aptien (calcaire gréseux) à pendages redressés de 600 075-0 sur le flanc de Dj Azreg. Les plis sont orientés avec des axes plongeants vers le Nord-Ouest.

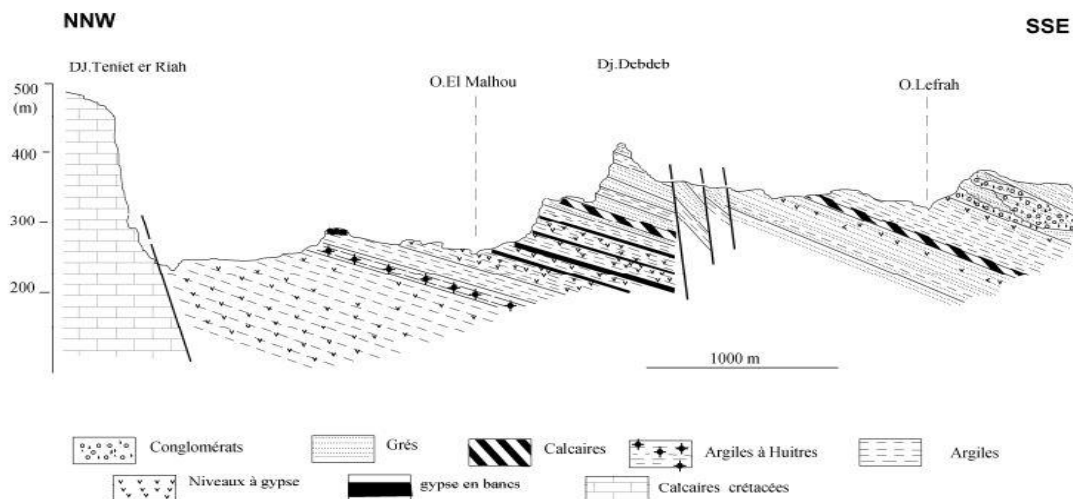


*Figure 22: La Coupe géologique effectuée à Nara (ABCHICHE 1999).*

- **A Branis :** La coupe a été prise à 2 Km au SE du village de Branis, entre Dj. Teniet er Riah et Oued Leftah, et s'étend vers le Nord-Sud. Cette région est particulièrement riche en termes géologiques, allant du Miocène de l'Aquitano-Burdigalien au Messinien.

Des caractéristiques pétrographiques distinctes sont visibles sur un substratum d'âge Crétacé supérieur bien individualisé, qui domine les reliefs (calcaires sénoniens très redressés formant Djebel Teniet er Riah). Ces ensembles pétrographiques plongent généralement faiblement vers le Sud-Est (10 à 12° SE).

La série Miocène évaporitique se compose d'ensembles argileux d'une épaisseur supérieure à 200 m, d'argilo-sulfatés (gypseux) d'une épaisseur supérieure à 100 m, de grès d'une épaisseur d'environ 250 m et de grés-conglomératiques qui commencent par un microconglomérat de base d'une épaisseur d'un mètre et se terminent par des grès et des conglomérats à galets. La série s'arrête complètement sous des argiles sableuses jaunâtres.

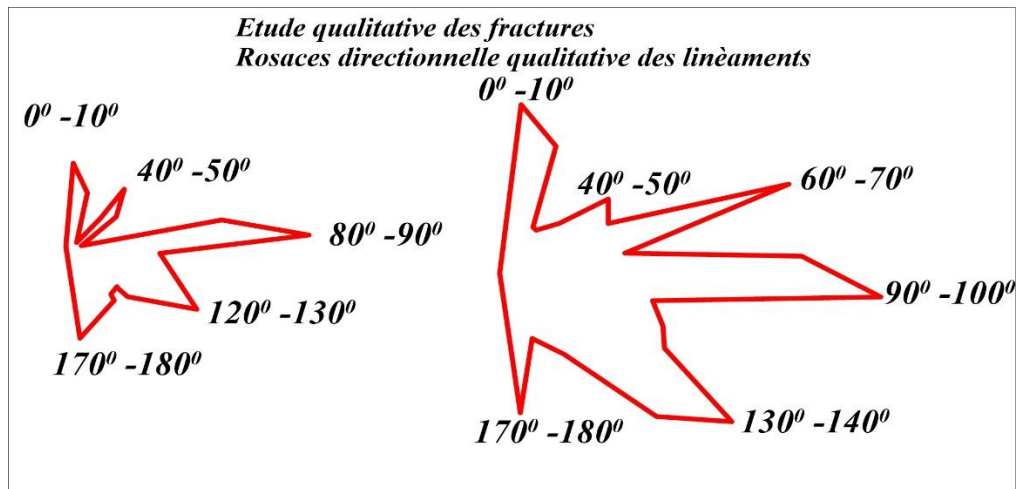


**Figure 23: Coupe dans le secteur de Branis entre Dj. Teniet El Riah et Oued Lafteh. (Mohamed CHEBBAH 2007)**

## 2.5 Analyse lineamentaire :

L'étude de Sonatrach menée en mai 1999 dans la région d'Oued Abdi a révélé une diversification des directions de fissuration. Quatre classes principales ont été identifiées : la classe A, de direction Nord-Sud (N000°- N010° classe), qui correspond à des failles décrochantes dextres dans le Djebel El Malou et au Sud-Est de Bouzina ; la classe B, de direction (NE-SW N050°- N060°), qui correspond à des accidents qui passent par Dj. Rherab et se prolongent au Sud-Ouest de Koudiat El Arar ; la classe C, de direction Est-Ouest (N090°- N 100°), qui correspond à des failles ou des décrochements sénestres pouvant probablement rejouer en dextre durant la phase Pyrénéenne ; et la classe D, de direction Nord-Ouest-Sud-Est (N 130°- N 140°), qui correspond à des accidents obliques à l'axe anticlinal du Djebel Azreg et qui sont

exclusivement des accidents transversaux avec un rejet important sur le flanc Sud-Est de l'anticlinal Dj El Azreg.



**Figure 24: Rosaces Directionnelles Qualitative et Quantitative des Linéaments**

## 2.6 Conclusion:

La chaîne de l'Atlas saharien est une chaîne montagneuse qui a été affectée par différentes phases orogéniques contribué à la formation des structures synclinale et anticlinales, s'étend à l'est jusqu'au massif des Aures. Ce massif est caractérisé par des dépôts carbonatés argileuses de jurassiques et crétacés, ainsi que des sédiments détritiques de crétacés et tertiaires.

La région d'étude présente une série stratigraphique s'étendant du Jurassique au Quaternaire, avec des formations aquifères potentielles telles que les carbonates du Jurassique supérieur, les grès du Crétacé inférieur, les carbonates du Turonien, les carbonates du Maestrichtien, les carbonates de l'Eocène inférieur, les grès et les conglomérats de l'Oligocène et du Miocène continental et les alluvions de Quaternaire.

***Chapitre 3:***  
***hydroclimatologie***

### 3 Hydroclimatologie :

#### 3.1 INTRODUCTION

L'étude climatique est extrêmement importante pour définir les caractéristiques hydroclimatologique qui contribuent à l'évaluation de l'alimentation des ressources hydriques et des réserves souterraines. Les paramètres les plus intéressants dans l'identification du régime d'écoulement sont les précipitations (P) et la température (T)..

La situation climatique de Oued Abdi est intéressante en raison de la diversité du climat, car elle varie progressivement du nord-est enneigé en hiver au sud-ouest très chaud en été.

Notre étude climatique sera basée sur des données climatiques téléchargées à travers du site Web de <https://app.climateengine.org/>, ClimateEngine.org est l'un des nombreux produits de recherche et d'application issus de partenariats entre le Desert Research Institute, l'Université de l'Idaho et Google pour la recherche universitaire.

‘nous avons créé l'application Climate Engine pour permettre aux utilisateurs de traiter et de visualiser rapidement les observations de la terre par satellite et les données météorologiques quadrillées pour la surveillance de l'environnement et d'améliorer l'alerte précoce en cas de sécheresse, d'incendie de forêt et de risque de mauvaise récolte. ‘ Traduit de l'anglais Sources : <http://climateengine.org/>

Nous avons sélectionné soigneusement quatre stations pour télécharger les informations afin de déterminer et d'étudier les caractéristiques climatiques du bassin versant d'Oued Abdi. Le tableau1 présente les coordonnées géographiques des stations des stations sélectionnées.

**Tableau 9:Cordonnées géographiques des stations météorologiques choisis**

Station	Longitude	Latitude	Altitude	Période d'observation
Theniet El Abbed	6°11'24"E	35°15'05"N	1310m	01/01/1990 - 01/01/2020
Bouzina	6°05'55"E	35°15'50"N	985m	
Menea	6°00'20"E	35°10'38"N	967m	
Djmourah	5°50'32"E	35°04'09"N	715m	

## 3.2 Les paramètres climatiques :

### 3.2.1 Les précipitations :

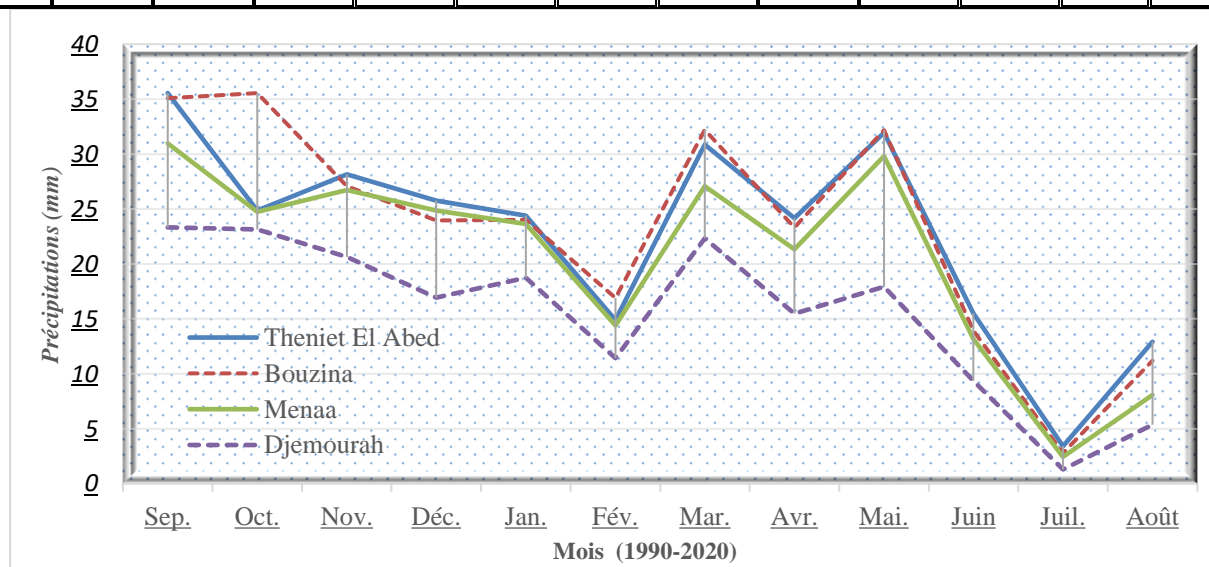
Les précipitations jouent un rôle primordial dans l'alimentation des réseaux hydrographiques d'une région ainsi que son système aquifère, en plus, elles forment un paramètre indispensable dans la réalisation d'un bilan hydrique. Elles représentent la totalité de la lame d'eau recueillie (pluies, neiges, grêles ou n'importe quelle forme de condensation).

#### 3.2.1.1 Variations mensuelles des précipitations (Tab. 2 et Fig. 2) :

La variation mensuelle de la précipitation pour la période de 1990 à 2020 est représentée dans le tableau suivant et la figure 2.

**Tableau 10: Précipitations moyennes mensuelles en mm. (Stations Theniet El Abed /Bouzina Mena /Djemourah (1990-2020))**

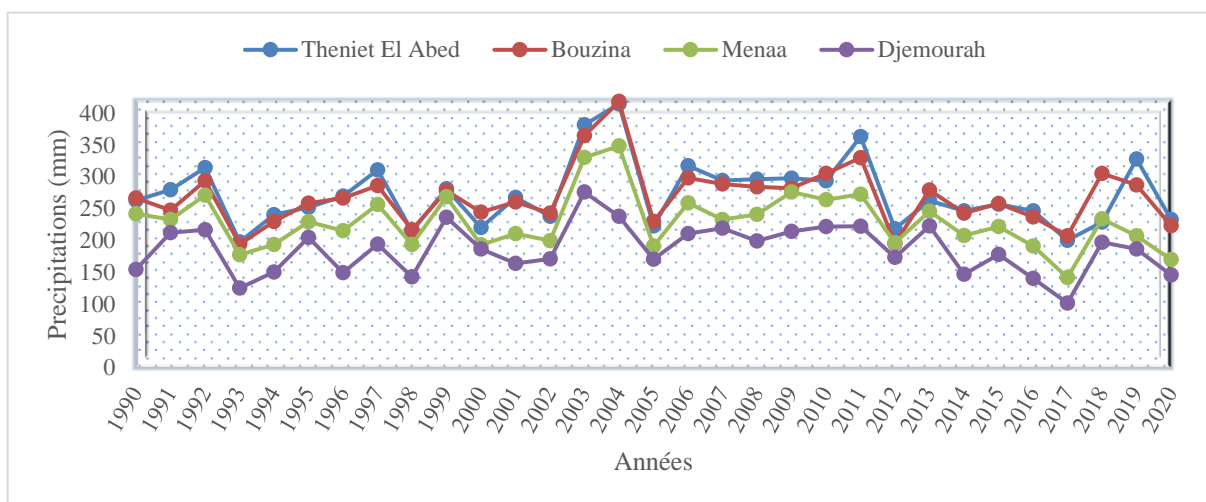
Station/ P(mm)	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Août.	Total.
<b>Th.El Abed</b>	35.55	24.85	28.14	25.76	24.4	14.91	30.87	24.17	31.95	15.52	3.41	12.93	272
<b>Bouzina</b>	35.08	35.55	27.08	23.95	24.02	16.91	32.19	23.31	32.17	13.94	2.79	11.2	278
<b>Mena</b>	30.97	24.75	26.72	24.86	23.65	14.41	27.09	21.35	29.81	13.18	2.44	8.09	247
<b>Djemourah</b>	23.33	23.15	20.64	16.93	18.75	11.44	22.34	15.47	17.93	9.36	1.3	5.37	186



**Figure 25: Variation des précipitations moyennes mensuelles, Stations Theniet El Abed /Bouzina Mena /Djemourah (1990-2020.)**

Les graphiques illustrés pendant la période de 1990-2020 à la figure 2 montrent que le mois le plus arrosé est le mois de septembre et le mois le moins arrosé est le mois de juillet où :

- Les stations de Theniet Al Abed et Bouzina a une pluviométrie mensuelle moyenne minimale, respectivement, 3.41mm, 2.79 mm en juillet et les précipitations mensuelles maximales moyennes sont de 35.55mm en septembre pour Theniet Al Abed et en octobre pour Bouzina.
- Les stations de Menaâ et Djemourah a une pluviométrie mensuelle moyenne minimale, respectivement, 2.44mm et 1.3mm en juillet et les précipitations mensuelles maximales moyennes sont de 30.97mm et 23.33mm en septembre.



**Figure 26: Variation interannuelle des précipitations, Stations Theniet El Abed /Bouzina/ Menaâ /Djemourah (1990-2020).**

**3.2.1.2 Variation saisonnières des précipitations (Tab. 2 et Fig. 2) :**

**Tableau 11:: Répartition saisonnière des précipitations, Stations Theniet El Abed /Bouzina/ Menaâ /Djemourah (1990-2020).**

saisons	Automne			Hiver			Printemps			Eté			Σ(T)
Station/ P(mm)	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Août.	
Theniet El Abed	35.55	24.85	28.14	25.76	24.4	14.91	30.87	24.17	31.95	15.52	3.41	12.93	272.46
	88.54			65.07			86.99			31.86			
Bouzina	35.08	35.55	27.08	23.95	24.02	16.91	32.19	23.31	32.17	13.94	2.79	11.2	278.19
	97.71			64.88			87.67			27.93			
Menaar	30.97	24.75	26.72	24.86	23.65	14.41	27.09	21.35	29.81	13.18	2.44	8.09	247.32
	82.44			62.92			78.25			23.71			
Djemourah	23.33	23.15	20.64	16.93	18.75	11.44	22.34	15.47	17.93	9.36	1.30	5.37	186.01
	67.12			47.12			55.74			16.03			

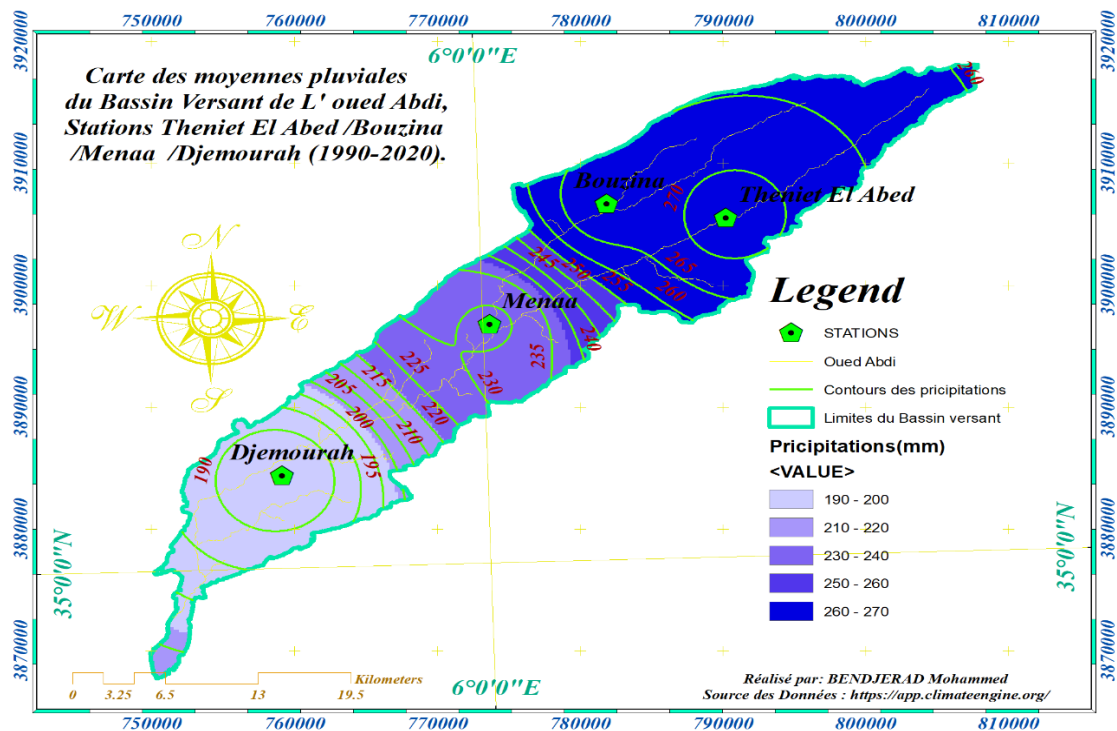
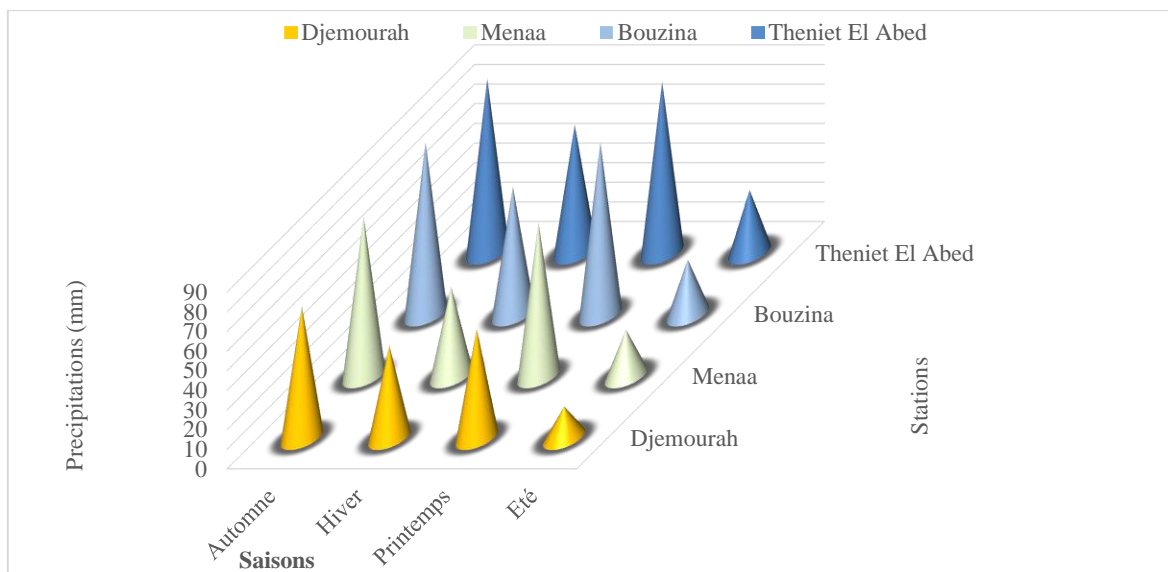


Figure 27: Carte des précipitations moyenne annuelle du Bassin Versant de L'oued Abdi, Stations Theniet El Abed /Bouzina/Menaar /Djemourah (1990-2020).

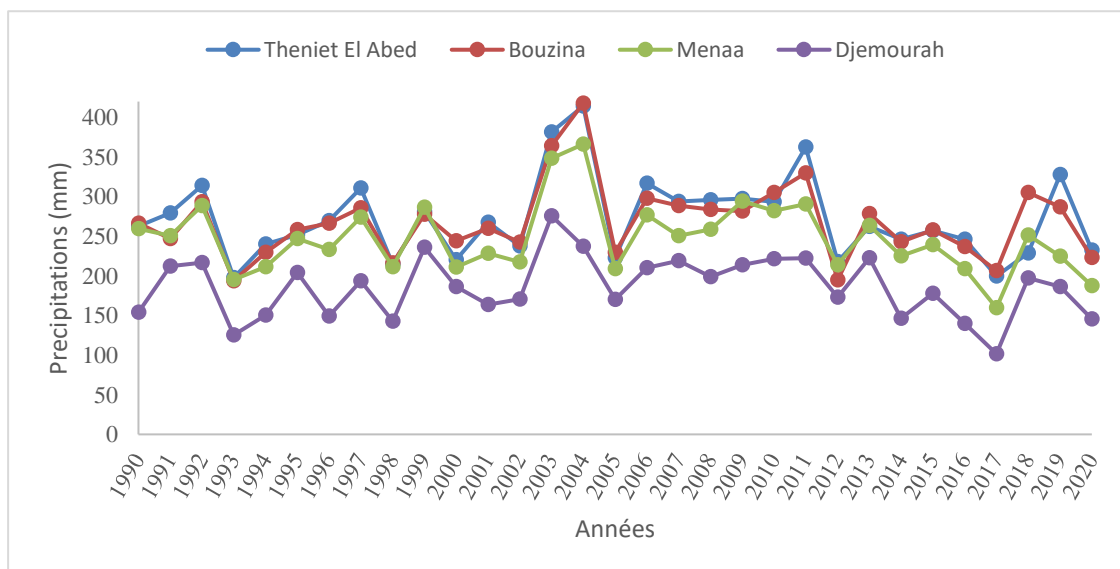


**Figure 28: Variation des précipitations moyennes saisonnières, Stations Theniet El Abed /Bouzina/Mena /Djemourah (1990-2020).**

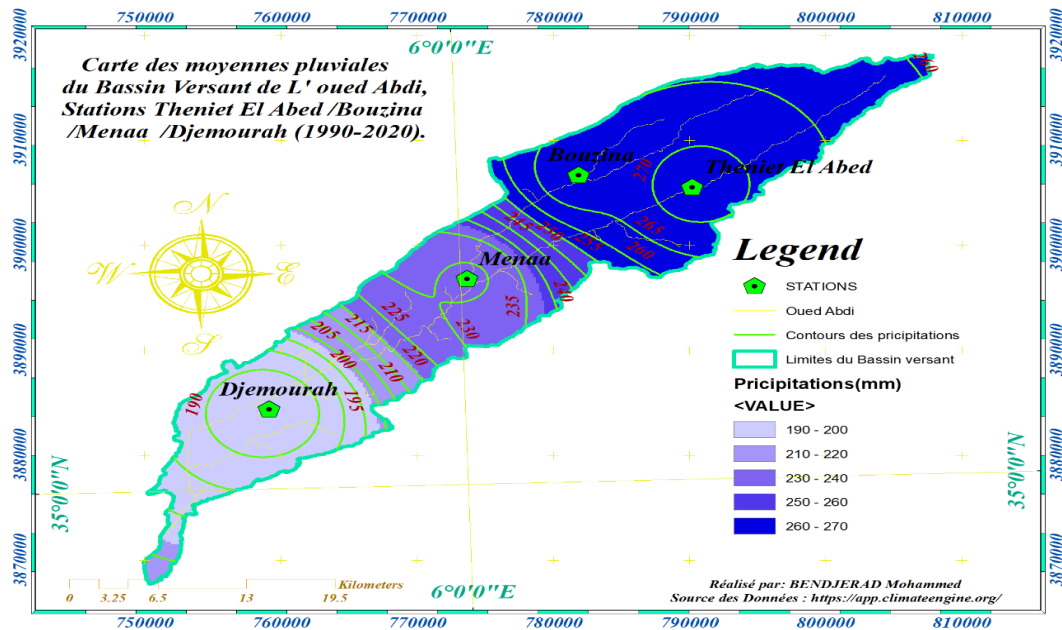
Le tableau2 et la figure2 montrent que la saison la plus humide est la saison d'automne et la saison la moins humide est l'été dans toutes les stations.

Il est également clair que les précipitations varient progressivement du nord au sud, où les pluies sont plus fortes dans les stations Theniet el Abed et Bozina, les précipitations modérées au milieu à la station de Mena et les pluies sont moins fortes à la station Djemourah.

**3.2.1.3 Variation de la pluviométrie moyennes annuelle (Fig. 3, 4) :**



**Figure 29: Variation des précipitations moyennes annuelle, Stations Theniet El Abed /Bouzina Mena /Djemourah (1990-2020).**



**Figure 30:Carte des moyennes pluviales, Stations Theniet El Abed /Bouzina /Mena /Djemourah(1990-2020).**

Les précipitations dans la zone d'étude changent du nord au sud, comme le montrent la carte des moyennes pluviales et la figure 3. Le maximum des précipitations a été observé dans le nord dans chacune des stations de Theniet el Abed avec 414,24 mm, Bouzina de 418 mm, et dans le centre par la station de Manaa avec 366 mm, les précipitations minimales ont été observées dans la station de Djemourah dans le côté sud avec 101 mm en 2017.

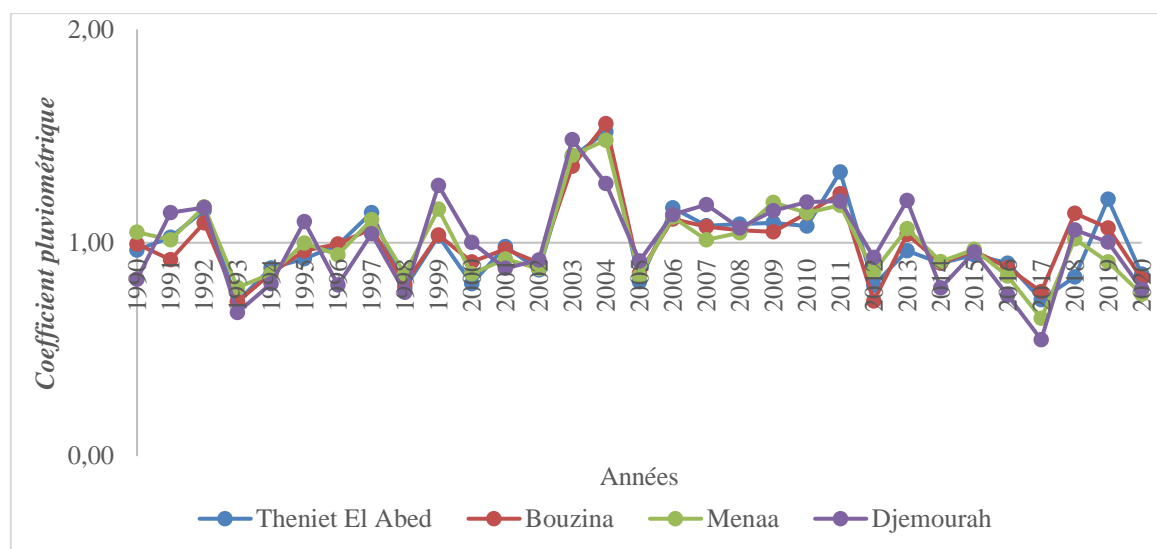
**3.2.1.4 Coefficient pluviométrique (fig.5) :**

Le coefficient pluviométrique annuel (Cpa) permet de déterminer les années excédentaires et déficitaires, Il est défini comme le rapport de la pluviométrie d'une année donnée à la pluviométrie moyenne de la période considérée :

$$H = Pa/Pm \tag{17}$$

H : coefficient pluviométrique, Pa : pluviométrie de l'année considérée (mm), Pm : pluviométrie moyenne annuelle d'une période donnée (mm).

Si  $H > 1$  : l'année est excédentaire,  $H < 1$  : l'année est déficitaire.



**Figure 31: Variation du coefficient pluviométrique, Stations Theniet El Abed /Bouzina Menaâ /Djemourah (1990-2020) .**

La figure de variation du coefficient pluviométrique pour la période d'observation de 30 ans dans la région d'étude représenté par ses quatre stations montre que la période des années qui connaît un très important excédent est comprise entre 2002 à 2005 et que la plus longue période de l'excédent est entre 2006-2011. Par contre les années avec le plus grand déficit respectivement 2017,1993,2012.

**3.2.2 Les Températures (Tab. 6 et Fig. 17) :**

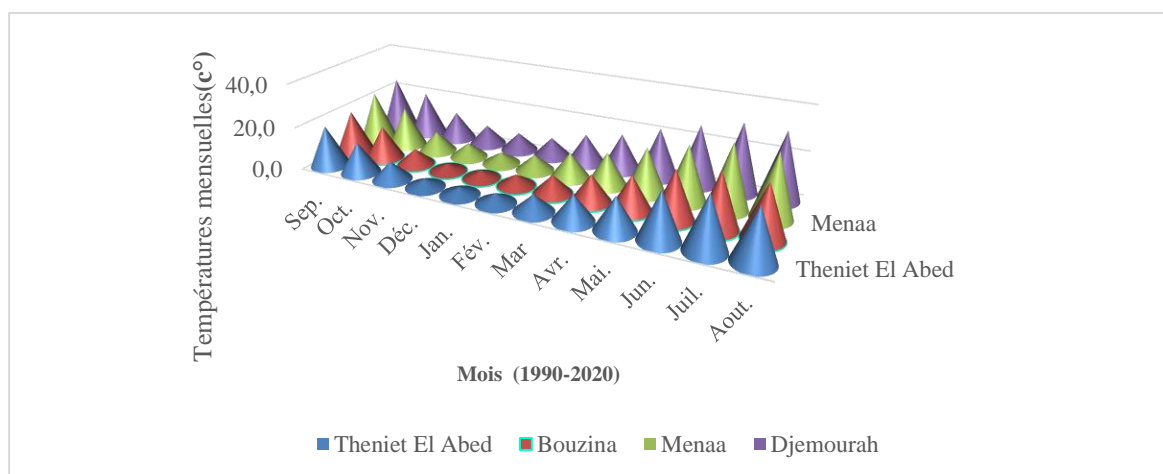
L'étude des températures est d'un grand intérêt, car elle permet de quantifier l'évaporation et par conséquent les conditions d'alimentation des aquifères profonds et la concentration des sels dissous dans leurs eaux.

**3.2.2.1 Variation moyenne mensuelle de la température :**

**Tableau 12: Température moyenne mensuelle, Stations Theniet El Abed /Bouzina/ Menaâ /Djemourah (1990-2020).**

Station/ Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Jun	Juil.	Aout	Moy (T)	
T(°c)	Max	26.3	20.6	13.9	8.6	8.5	10.1	14.0	18.9	22.3	29.4	32.9	31.5	19.7
	min	11.7	7.9	3.1	-0.7	-1.0	-0.8	1.7	4.8	7.6	13.2	15.1	14.7	6.4
	moy	19.0	14.2	8.5	3.9	3.8	4.6	7.9	11.9	15.0	21.3	24.0	23.1	13.1
T(°c)	Max	27.0	21.6	12.8	8.7	8.5	11.0	14.8	19.5	23.3	30.0	33.5	32.2	20.2

<b>Bz.</b>	min	12.8	9.1	2.1	-1.3	-0.6	-0.2	2.5	5.6	8.5	14.1	16.0	15.7	7.0
	moy	19.9	15.3	7.5	3.7	3.9	5.4	8.7	12.5	15.9	22.1	24.7	24.0	13.6
<b>T(°c)</b>	Max	29.7	24.6	14.6	11.7	10.9	12.8	18.3	21.7	27.9	32.5	37.3	36.3	23.2
<b>Ma.</b>	min	17.1	12.4	4.2	1.7	-0.3	2.1	5.3	8.5	13.6	17.9	21.6	21.4	10.5
	moy	23.4	18.5	9.4	6.7	5.3	7.4	11.8	15.1	20.8	25.2	29.5	28.9	16.8
<b>T(°c)</b>	Max	31.5	26.4	18.3	14.3	13.6	14.4	20.2	23.5	29.9	34.4	39.2	38.2	25.33
<b>Dj.</b>	min	18.7	14.1	7.7	4.1	3.0	3.4	6.9	10.1	15.4	19.7	23.5	23.2	12.48
	moy	25.1	20.2	13.0	9.2	8.3	8.9	13.6	16.8	22.6	27.1	31.3	30.7	18.90



**Figure 32: Variation des Températures moyennes mensuelles, Stations Theniet El Abed /Bouzina/Menaâ /Djemourah (1990-2020).**

Les graphiques illustrés pendant la période de 1990-2020 à la figure 5 montrent que les mois le plus chaude sont les mois de juillet et d’Août et les mois les moins chaude sont les mois de décembre et janvier.

Le maximum des températures a été observé en mois de juillet dans le sud de la région d’étude dans les stations de Djemourah avec 31.3 C° et de Menaâ avec 29.5C°, les températures moyenne minimales ont été observées dans les station de Theniet Al Abed avec 3.8 C° en janvier et Bouzina avec 3.7 C° en décembre

### 3.2.2.2 Diagramme pluviothermique (Tab. 7 et Fig. 18) :

La superposition de la courbe de précipitation et la courbe de température mensuelle

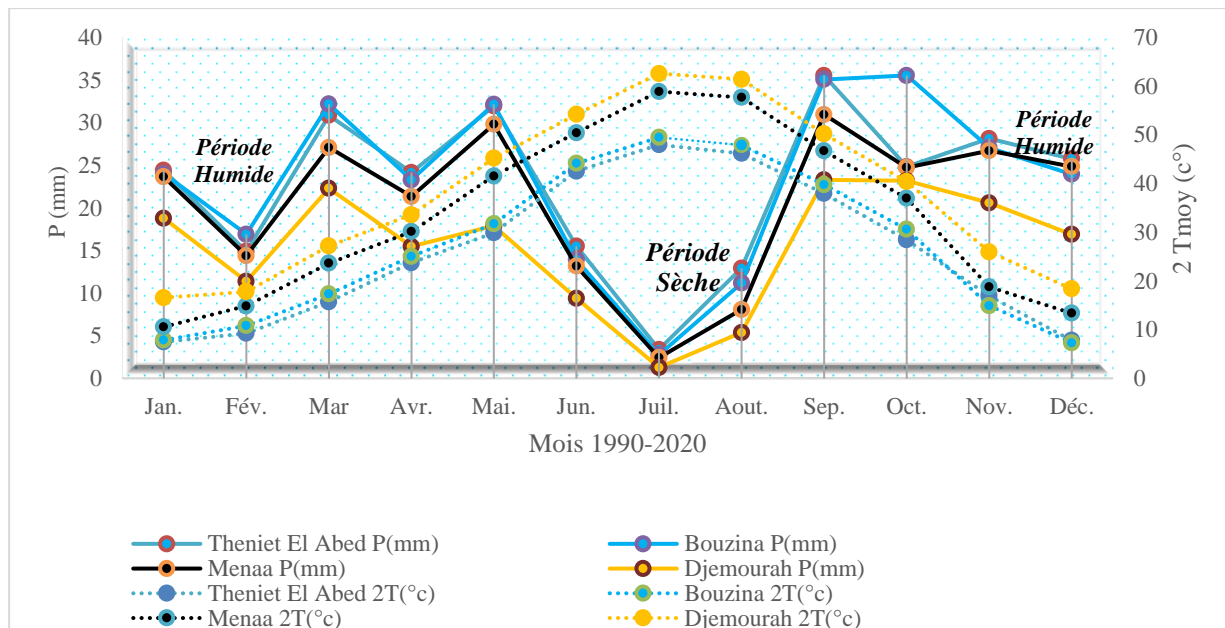
dans un même diagramme nous conduisons à l'établissement d'un diagramme qu'on appelle Ombrothermique.

Il désigne par le terme période sèche lorsque le total moyen de précipitation en (mm) d'une période donnée est inférieure ou égale au double de la température moyenne de la même période ( $P \text{ (mm)} \leq 2TC^\circ$ ).

Le tableau suivant représente les précipitations et températures moyennes mensuelles :

*Tableau 13:Températures et précipitations moyennes mensuelles*

Station /Mois		Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar	Avr.	Mai.	Jun.	Juil.	Aout.	Moy (T)
Th.	T(°c)	19.0	14.2	8.5	4.3	3.6	4.6	7.9	11.9	15.0	21.3	24.0	23.1	13.12
	P(mm)	35.6	24.9	28.1	25.8	24.4	14.9	30.9	24.2	32.0	15.5	3.4	12.9	22.72
Bz.	T(°c)	19.9	15.3	9.5	5.3	4.5	5.4	8.7	12.5	15.9	22.1	24.7	24.0	13.98
	P(mm)	35.1	25.6	27.1	24.0	24.0	16.9	32.2	23.3	32.2	13.9	2.8	11.2	22.36
Ma.	T(°c)	23.4	18.5	11.4	7.7	6.8	7.4	11.8	15.1	20.8	25.2	29.5	28.9	17.21
	P(mm)	31.0	24.8	25.7	17.9	15.7	12.4	27.1	21.4	29.8	13.2	2.4	8.1	19.13
Dj.	T(°c)	25.1	20.2	13.0	9.2	8.3	8.9	13.6	16.8	22.6	27.1	31.3	30.7	18.90
	P(mm)	23.3	23.2	20.6	16.9	18.8	11.4	22.3	15.5	17.9	9.4	1.3	5.4	15.50



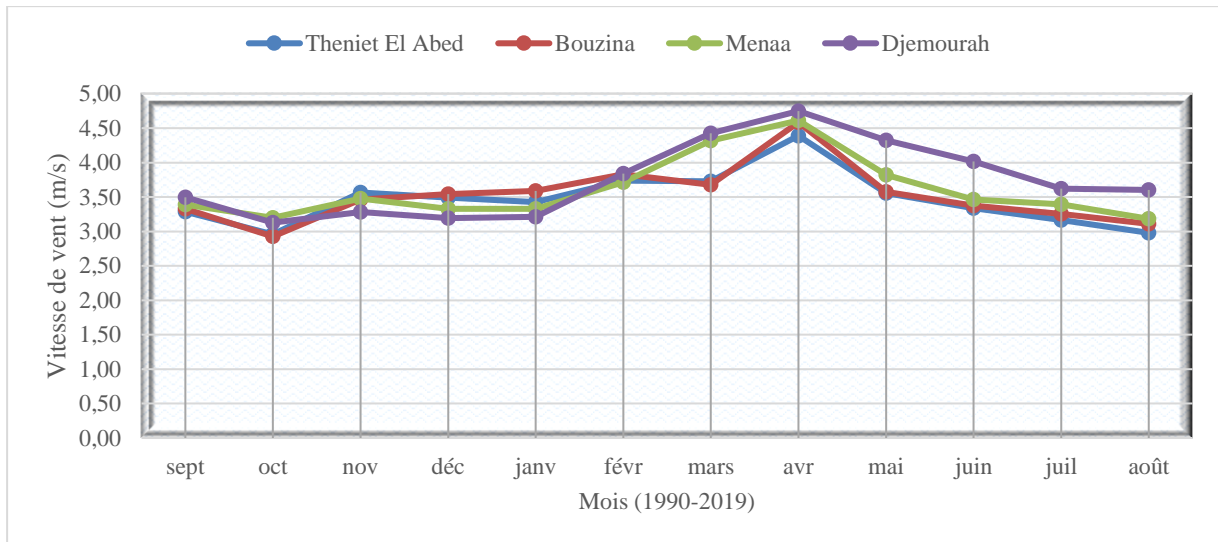
**Figure 33:Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls ( $P=2T$ ), Stations Theniet El Abed /Bouzina/Menaa /Djemourah (1990-2020).**

Pour la région d'étude, la période sèche s'étale du début de mois de Mai jusqu'à la fin d'Aout et une période humide qui s'étale au début de Septembre jusqu'à le mois de Mai au nord et jusqu'à le mois d'Avril au sud.

### 3.2.3 Les vent (Tab. 9) :

**Tableau 14:La vitesse moyenne mensuelle des vents(m/s), Stations Theniet El Abed /Bouzina/Menaa /Djemourah (1990-2020).**

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Moy.
<b>Th.</b>	3.29	2.96	3.57	3.49	3.43	3.74	3.73	4.39	3.56	3.34	3.16	2.98	3.43
<b>Bz</b>	3.33	2.93	3.46	3.54	3.59	3.83	3.68	4.59	3.58	3.38	3.26	3.11	3.59
<b>Ma.</b>	3.39	3.20	3.48	3.33	3.33	3.71	4.32	4.61	3.82	3.46	3.39	3.18	3.33
<b>Dj.</b>	3.50	3.13	3.29	3.20	3.22	3.84	4.43	4.75	4.33	4.02	3.62	3.60	3.22



**Figure 34: La vitesse moyenne mensuelle des vents (m/s), Stations Theniet El Abed /Bouzina/Menaâ /Djemourah (1990-2020).**

Le vent moyen dans la zone d'étude est d'environ 3.58 m/s, le maximum de vitesse de vent a été observé en mois d'Avril avec un moyen total de 4.58 m/s les de vitesse de vent moyenne minimales ont été observées en mois d'Octobre avec un moyen total de 3.05m/s.

**3.2.4 La neige :**

La neige qui tombe sur les montagnes d'oued Abdi constitue un important réservoir d'eau souterraine et de rivières. D'autre part, elle devient une contrainte pour les montagnards et les usagers de la route.



**Figure 35: photo de Neige à Tidjedad**

### 3.2.5 Calcul de L'indice d'aridité DE MARTONE (1923). (Tab. 10) :

L'indice d'aridité permet d'identifier le type de climat dominant, il dépend essentiellement de la précipitation moyenne annuelle et de la température moyenne annuelle. Il est défini par la formule et la classification suivante :

$$I = \frac{P}{T + 10} \quad \text{D'où :} \quad (18)$$

**P** : précipitations annuelles moyennes (mm).

**T** : températures annuelles moyennes (C°).

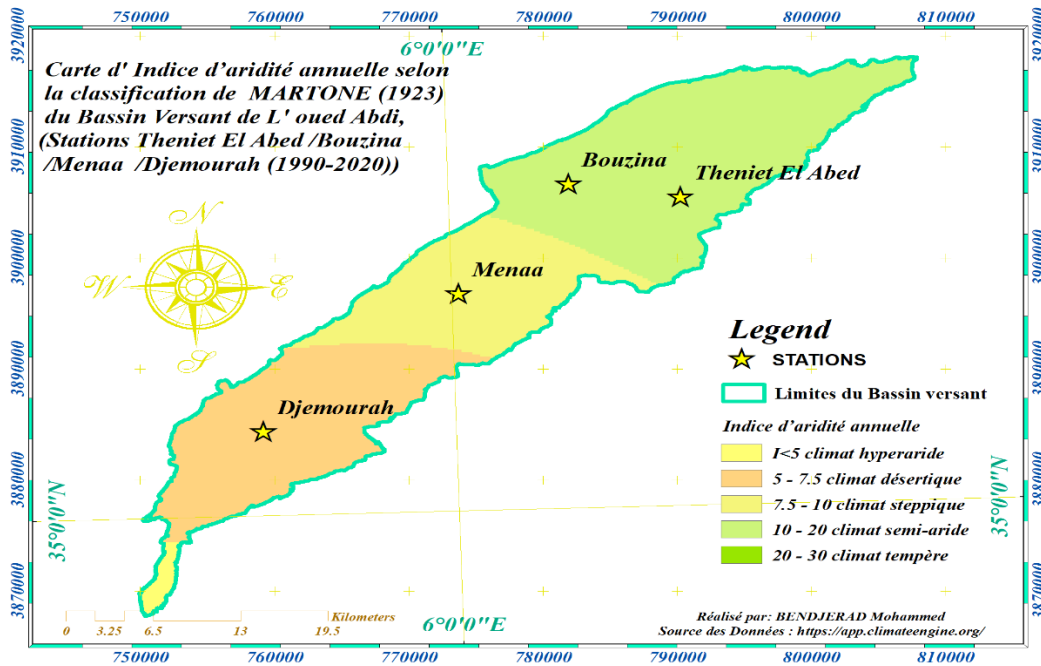
**Si  $I < 5$**  : climat hyperaride,  **$5 < I < 7,5$**  : climat désertique,  **$7,5 < I < 10$**  : climat steppique

**$10 < I < 20$** : climat semi-aride,  **$20 < I < 30$** : climat tempère.

Pour notre région l'indice d'aridité de DE Martonne est calculé pour la station, les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

**Tableau 15:Indice d'aridité annuelle.**

stations	Theniet el Abed	Bouzina	Mena	Djemourah
P(mm)	272.46	278.19	247.32	186.01
T(C°)	13.08	13.63	16.83	18.90
I	11.81	11.77	9.22	6.44



**Figure 36: Carte d'indice d'aridité annuelle selon la classification de MARTONE (1923). (Stations Theniet El Abed /Bouzina/Mena /Djemourah (1990-2020)).**

On peut classer la zone d'étude selon l'indice d'aridité MARTONE en quatre climats, un climat semi-aride au nord-est, un climat steppique au centre, un climat désertique au sud-ouest, et un climat très aride au sud à l'exutoire.

### 3.3 Calcule des paramètres du bilan hydrique :

Le bilan hydrique exprime le processus qui est une quantité d'eau arrivant au sol par précipitation ou neige avant de retourner à l'atmosphère.

L'établissement du bilan nous permet d'estimer la répartition des précipitations sur le terme suivant :

**ETR** : L'évapotranspiration réelle ; **R** : ruissellement ; **I** : infiltration ; **P** : précipitation.

L'expression générale du bilan est la suivante :

$$P = R + ETR + I \tag{19}$$

#### 3.3.1 Etude de l'évapotranspiration (Tab. 11) :

L'évapotranspiration est définie comme une restitution de l'eau sous forme de vapeur de la surface terrestre à l'atmosphère.

Cette notion englobe aussi bien la lame d'eau évaporée à partir du sol, ou celle transpirée par les plantes. Elle est donc un élément très important pour l'établissement du bilan hydrique et dépend de plusieurs paramètres : température, précipitation, humidité de l'air et couvert végétal.

### 3.3.2 Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) :

Il existe plusieurs formules empiriques pour calculer l'évapotranspiration potentielle, mais elles ne sont pas représentatives pour toutes les régions du monde, parce qu'elles doivent subir plusieurs corrections locales.

Selon THORNTHWAITE :

$$ETP_c = 16 \left( \frac{10 \times T}{I} \right)^a \times k \text{ en (mm)} \quad \text{Où :} \quad (20)$$

**ETP<sub>c</sub>** : Evapotranspiration mensuelle corrigé ; **T** : Température ; **I** : Indice thermique annuelle :

**I** =  $\sum i$  ; **i** : Indice thermique mensuelle, déterminer par l'expression :

$$i = \left( \frac{T}{5} \right)^{1.514} \quad (21)$$

**a** : coefficient calculé par la formule :

$$a = 1.6 \left( \frac{I}{100} \right) + 0.5 \quad (22)$$

**ETP** : Evapotranspiration potentielle non corrigée du temps.

**K** : facteur de correction qui dépend du temps, du mois et de l'altitude de lieu, par lequel on doit multiplier les valeurs de l'ETP pour obtenir les valeurs corrigées.

### 3.3.3 Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR) :

Les parties d'eau d'un sol atteignent l'ETP si le stock d'eau de la RFU lui est supérieur ou égal, en cas d'insuffisances, elles sont limitées à une quantité plus petite, cette limite est appelée l'évapotranspiration réelle (G CASTANY, 1967).

Cette estimation se fera à partir des formules de TURC et THORNTHWALTE.

○ *D'après TURK :*

➤ **Formule de TURK :**

$$ETR = \frac{p}{\sqrt{\left[0.9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2\right]}} \quad (23)$$

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

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

**T** : température moyenne annuelle (en °C).

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

*Tableau 16: calcul de l'ETR annuelle par la méthode de TURK.*

stations	Theniet el Abed	Bouzina	Mena	Djemourah
P(mm)	<i>272.46</i>	<i>278.19</i>	<i>247.32</i>	<i>186.01</i>
<b>L</b>	<i>738.64</i>	<i>767.58</i>	<i>959.33</i>	<i>1110.06</i>
T(°C)	<i>13.08</i>	<i>13.63</i>	<i>16.83</i>	<i>18.90</i>
<b>ETR</b>	<i>267.68</i>	<i>273.93</i>	<i>251.57</i>	<i>193.08</i>

○ *D'après THORNTHWAITE :*

On peut établir un bilan hydrique mensuel qui permet d'estimer pour chaque mois :

-l'évapotranspiration réelle (ETR).

-la réserve facilement utilisable (RFU). Pour notre région on prend RFU = 35 mm.

-le déficit agricole et l'excédent.

À partir des données de pluies mensuelles et l'ETP calculée par la formule de Thornthwaite (Tableaux 16) plusieurs cas peuvent être envisagés :

➤ **Si P > ETP ⇒ ETR = ETP** : Et s'il y a un excédent qui est (P – ETP), il va alimenter le RFU, le ruissellement et l'infiltration. Le surplus d'eau s'écoule à moitié dans les réseaux hydrographiques pendant le mois considéré M, et l'autre (écoulement souterrain) est reportée au mois suivant M+1.

➤ Si  $P < ETP \Rightarrow ETR=P$  : Plus toute ou partie de la RFU jusqu'à égale la valeur de l'ETP, si malgré l'apport de la RFU, l'ETR.

Il existe un déficit agricole  $D_a = ETP - ETR$ , ce dernier est sensiblement lié aux besoins en eau d'irrigation des cultures

**Tableau 17: Calcul des paramètres du bilan hydrique (Stations : Theniet El Abed, Bouzina, Mena, Djemourah (1990-2020)).**

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai.	Jun.	Juil.	Aou.	Σ	
<b>Theniet El Abed</b>	T(°c)	19	14.2	8.5	3.6	3.8	4.6	7.9	11.9	15	21.3	24	23.1	157
	i	7.55	4.86	2.23	0.61	0.66	0.88	2.00	3.72	5.28	8.97	10.7	10.1	57.6
	<b>I=57.65 a=1.42</b>													
	K	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	12.4
	ETPc	89.9	55.9	23.9	6.6	7.7	9.9	25.8	49.3	75.4	125	151	134	754
	P	35.6	24.9	28.1	25.8	24.4	14.9	30.9	24.2	32.0	15.5	3.4	12.9	272
	RFU	0.0	0.0	4.2	23.4	35.0	35.0	35.0	9.8	0.0	0.0	0.0	0.0	142
	ETR	35.6	24.9	23.9	6.6	7.7	9.9	25.8	49.3	41.8	15.5	3.4	12.9	257
	Def	54.3	31.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.7	110	148	121	497
Exc	0.0	0.0	0.0	0.0	5.1	5.0	5.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.2	
<b>Vérification</b>	$P = \sum ETR + \sum EX = 257 + 15.2 = 272$						$ETPc = \sum ETR + \sum DA = 257 + 497 = 754$							
<b>Bouzina</b>	T(°c)	19.9	15.3	7.5	3.67	3.94	5.4	8.7	12.5	15.9	22.1	24.7	24	164
	i	8.10	5.44	1.85	0.63	0.70	1.12	2.31	4.00	5.76	9.49	11.2	10.8	61.4
	<b>I=61.37 a=1.48</b>													
	ETPc	94.2	60.1	18.5	6.0	7.2	11.3	27.6	50.5	79.4	130	156	140	781
	P	35.1	35.6	27.1	24.0	24.0	16.9	32.2	23.3	32.2	13.9	2.8	11.2	278
	RFU	0.0	0.0	1.4	15.3	30.9	35.0	35.0	8.7	0.0	0.0	0.0	0.0	126
	ETR	35.1	35.6	18.5	6.0	7.2	11.3	27.6	50.5	40.0	13.9	2.8	11.2	259
	Def	59.1	24.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.4	116	153	129	522
Exc	0.0	0.0	0.0	0.0	8.3	5.7	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.5	
<b>Vérification</b>	$P = \sum ETR + \sum EX = 259.5 + 18.5 = 278$						$ETPc = \sum ETR + \sum DA = 259.5 + 522 = 781$							
<b>Mena</b>	T(°c)	23.4	18.5	9.4	6.7	5.3	7.4	11.8	15.1	20.8	25.2	29.5	28.9	202
	i	10.3	7.2	2.6	1.6	1.1	1.8	3.7	5.3	8.7	11.6	14.7	14.2	82.8
	<b>I=82.82 a=1.83</b>													
	ETPc	110	67.3	17.3	8.80	6.16	11.1	31.5	52.7	104	149	202	182	940
	P	30.9	24.8	26.7	24.9	23.7	14.4	27.0	21.4	29.8	13.2	2.44	8.09	247
	RFU	0.00	0.00	9.38	25.4	35.0	35.0	30.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	135
	ETR	30.9	24.8	17.3	8.80	6.16	11.1	31.5	52.7	29.8	13.2	2.44	8.09	236
Def	78.7	42.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.68	74.1	136	199	173	704	

	Exc	0.00	0.00	0.00	0.00	7.92	3.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.3
<b>Vérification</b>		$P = \sum ETR + \sum EX = 236 + 11.3 = 247$						$ETPc = \sum ETR + \sum DA = 236 + 704 = 940$						
<b>Djenouah</b>	<b>T(°c)</b>	25.1	20.2	13	9.2	8.3	8.9	13.6	16.8	22.6	27.1	31.3	30.7	227
	<b>i</b>	11.5	8.28	4.25	2.52	2.15	2.39	4.55	6.26	9.81	12.9	16.1	15.6	96
		<b>I=96.32 a=2.04</b>												
	<b>ETPc</b>	116	70.4	25.4	11.8	10.3	11.6	33.3	54.8	110	161	220	198	1023
	<b>P</b>	23.3	23.2	20.6	16.9	18.8	11.4	22.3	15.5	17.9	9.4	1.3	5.4	186
	<b>RFU</b>	0.0	0.0	0.0	5.1	13.6	13.5	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	35
	<b>ETR</b>	23.3	23.2	20.6	11.8	10.3	11.6	33.3	18.0	17.9	9.4	1.3	5.4	186
	<b>Def</b>	93.1	47.2	4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	36.8	92.5	152	219	192	837
	<b>Exc</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
<b>Vérification</b>		$P = \sum ETR + \sum EX = 186 + 0 = 186$						$ETPc = \sum ETR + \sum DA = 186 + 837 = 1023$						

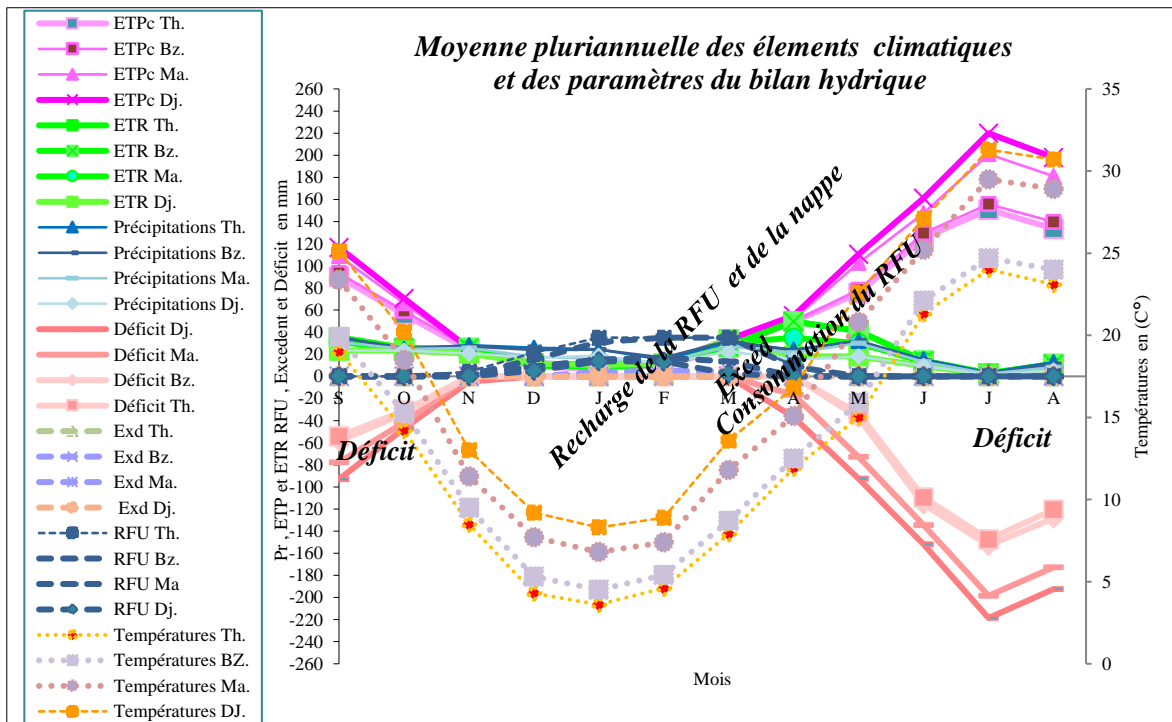


Figure 37: Moyenne pluriannuelle des éléments climatiques et des paramètres du bilan hydrique.

L'analyse du résultat obtenus dans le tableau et les graphes de figure 30 ci-dessus, on peut constater que :

Pour la station de T. Abed, ETR est de 257mm soit 94,48 % des précipitations, ETP est de 754mm elle est dépassé le double des précipitations, L'excédent a été enregistré de janvier à mars, avec un total de 15.2 mm, le déficit agricole remarquables avec une valeur maximale enregistrée au mois de juillet (148 mm) ; cela est dû à la température élevée et au manque de

*APPROCHE METHODOLOGIQUE POUR LA PROTECTION DES EAUX DU BASSIN VERSANT OUED ABDI (MASSIFS DES AURES)*

pluie, en conséquence, cela aura un impact sur le développement du couvert végétal de la zone (forêts notamment) ainsi que sur le rendement agricole local. Le RFU atteint son maximum dans les mois de janvier et continue jusqu'en mars, puis diminue jusqu'à l'épuisement complet en mai.

Pour la station de Bouzina ETP est de 781mm elle est dépassé le double des précipitations, ETR est de 259mm soit 93,16 % des précipitations, L'excédent a été enregistré de janvier à mars, avec un total de 18.5 mm, le déficit agricole remarquables avec une valeur maximale enregistrée au mois de juillet (153 mm), Le RFU atteint son maximum dans les mois de janvier et continue jusqu'en février, puis diminue jusqu'à l'épuisement complet en mai.

Pour la station de Mena, ETP est de 940mm elle est dépassé le triple des précipitations, ETR est de 236mm soit 95,55 % des précipitations, L'excédent a été enregistré à janvier et février, avec un total de 11.3 mm,

Le déficit agricole remarquables avec une valeur maximale enregistrée au mois de juillet (199mm), Le RFU atteint son maximum dans les mois de janvier et continue jusqu'en février, puis diminue jusqu'à l'épuisement complet en Avril.

Pour la station de Djemourah ETP est de 1023mm elle est Cinq fois plus élevé que les précipitations, ETR est de 186mm soit 100 % des précipitations, le déficit agricole remarquables avec une valeur maximale enregistrée au mois de juillet (219 mm), La région de Djemourah est considérée comme la région la plus pauvre en termes de précipitations et la plus chaude, là où il appartient au climat désertique, il profite des ruissèlements après la pluie sur le côté nord-est du lieu d'étude.

### 3.4 Bilan hydrologique :

Il exprime l'égalité des apports et des pertes évaluées sur de longues périodes.

$$P=R+ETR+I\pm\Delta W \quad \text{Où :} \quad (24)$$

R : le ruissellement de surface (mm).

P : hauteur des précipitations (mm).

E.T.R : l'évapotranspiration réelle (mm).

I : l'infiltration (mm), donc  $I=P-(R+ETR)$ .

W : la variation de réserve (mm). $\Delta$

### 3.4.1 Calcul du ruissellement (R) :

La loi de TIXERON-BERKALOFF (1960), nous permet d'estimer le ruissellement à partir de la précipitation moyenne annuelle et de l'ETP, calculée selon THORNTHWAITE. Elle concerne surtout les régions ayant un climat aride et semi-aride.

$$R = \frac{P^3}{3(ETP)^2} \quad (25)$$

Où :

**R** : ruissellement (en mm) ;

**P** : précipitation moyenne annuelle ;

**ETP** : calculée par THORNTHWAITE.

### 3.4.2 Calcul de l'infiltration (I) :

L'infiltration est calculée par la formule :

*Tableau 18:calcul de ruissellement et de l'infiltration en mm.*

stations	Theniet el Abed	Bouzina	Mena	Djemourah
<b>P(mm)</b>	272.46	278.19	247.32	186.01
<b>ETP</b>	754.32	781.42	940.42	1023.17
<b>R</b>	11.85	11.75	5.70	2.05
<b>P(%)</b>	4.35	4.22	2.31	1.10
<b>Ex</b>	15.18	18.47	11.26	0
<b>I</b>	3.33	6.72	5.56	-2.05
<b>I(%)</b>	1.223	2.415	2.248	0.000

## 3.5 CONCLUSION

L'analyse des paramètres climatiques observés sur 30 ans (1990/2020) à diverses stations nous a permis de conclure que :

- Le climat semi-aride au nord-est, steppique au centre, désertique au sud-ouest, et un climat hyperaride aride au sud à l'exutoire.

- Les précipitations moyennes annuelles pour les stations de T. Abed, Bouzina, Menâa et Djemourah sont : 272mm, 278 mm, 247mm, et 186mm successivement.
- Les température moyenne annuelles pour les stations de T. Abed, Bouzina, Menâa et Djemourah sont de l'ordre de : (13.06 °c, 13.62 °c, 16.82°c, 24.95 °c) successivement.
- L'évapotranspiration réelle pour les stations de T. Abed, Bouzina, Menâa, et Djemourah sont de l'ordre de : 257mm, 259mm, 236mm,186mm ce qui présente successivement (94,48 %, 93,16 %,95,55 %,100 %) des précipitations.
- Le bilan hydrique dans l'ensemble est déficitaire, mais il est excédentaire aux mois de janvier, février et mars dans les stations de nord T. Abed et Bouzina, aussi il est excédentaire aux mois de janvier, février au centre a stations de Menâa et totalement déficitaire au sud a Djemourah.
- Les ruissellements calculé pour les stations de T. Abed, Bouzina, Menâa, et Djemourah sont de :15.18mm,18.47mm,11.26mm,0mm ce qui présente successivement (4.35 %, 4.22 %,2.31 %,1.10 %) des précipitations.
- L'infiltration pour les stations de T. Abed, Bouzina, Menâa, et Djemourah sont de :3.33mm, 6.72mm, 5.56mm, 0mm ce qui présente successivement (1.22 %, 1.42 %,2.25 %,0 %) des précipitations.

Les précipitations et la neige contribuent directement à alimenter l'aquifère en plus d'autres sources indirectes par les calcaires fissurés. Et aussi l'alimentation de la nappe alluvionnaire à travers les ruissellements de la vallée.

# **Deuxième Partie :**

*Chapitre 4 : Aperçu géophysique*

*Chapitre 5: hydrogéologie*

*Chapitre 6: hydrodynamique*

*Chapitre 8 : hydrochimie*

***Chapitre 4:***  
***Aperçu géophysique***

## 4 Géophysique :

### 4.1 INTRODUCTION

En 1998, l'entreprise nationale de géophysique (E.N. A.G.O) a réalisé des études de prospection géoélectriques dans le bassin versant d'Oued Abdi à l'aide de la méthode de sondage électrique vertical. Cette méthode permet d'obtenir des informations indirectes sur le sous-sol en mesurant la résistivité apparente des formations traversées par un courant électrique continu injecté à partir de la surface du sol par l'intermédiaire d'un quadripôle AMNB de type Schlumberger.

La technique S.E.V consiste à mesurer la résistivité à des profondeurs croissantes en éloignant progressivement les électrodes d'émission A et B de part et d'autre du centre du dispositif. Cette étude comprend plus de 182 S.E.V répartis en séries suivants :

**Tableau 19:: les différentes longueurs des sondages électriques dans les stations de Bouzina et Menâa.**

	AB=5000m	AB=4000m	AB=3000m	AB=2000m	AB=1000m	Total
Bouzina	02	61	29	04	00	96
Menaâ	00	12	17	26	31	86
Total	02	73	46	30	31	182

### 4.2 INTERPRETATION DES COUPES GEOELECTRIQUES

Les sondages électriques menés ont permis de déterminer un total de 27 coupes géoélectriques et les cartes du toit du Landénien et du Maestrichtien du Synclinal de Bouzina. Des corrélations géologiques ont été établies en partenariat avec les géologues de Sonatrach Division Exploration Boumerdes et les Hydrogéologues de la Division Opérations Hassi-Messaoud.

La résistivité réelle a été interprétée pour une courbe de sondage électrique, et permet de trouver un modèle théorique caractérisé par un certain nombre de terrains ayant chacun une résistivité réelle et une épaisseur spécifique, à l'exception du dernier terrain appelé substratum (l'épaisseur est supposée infinie).

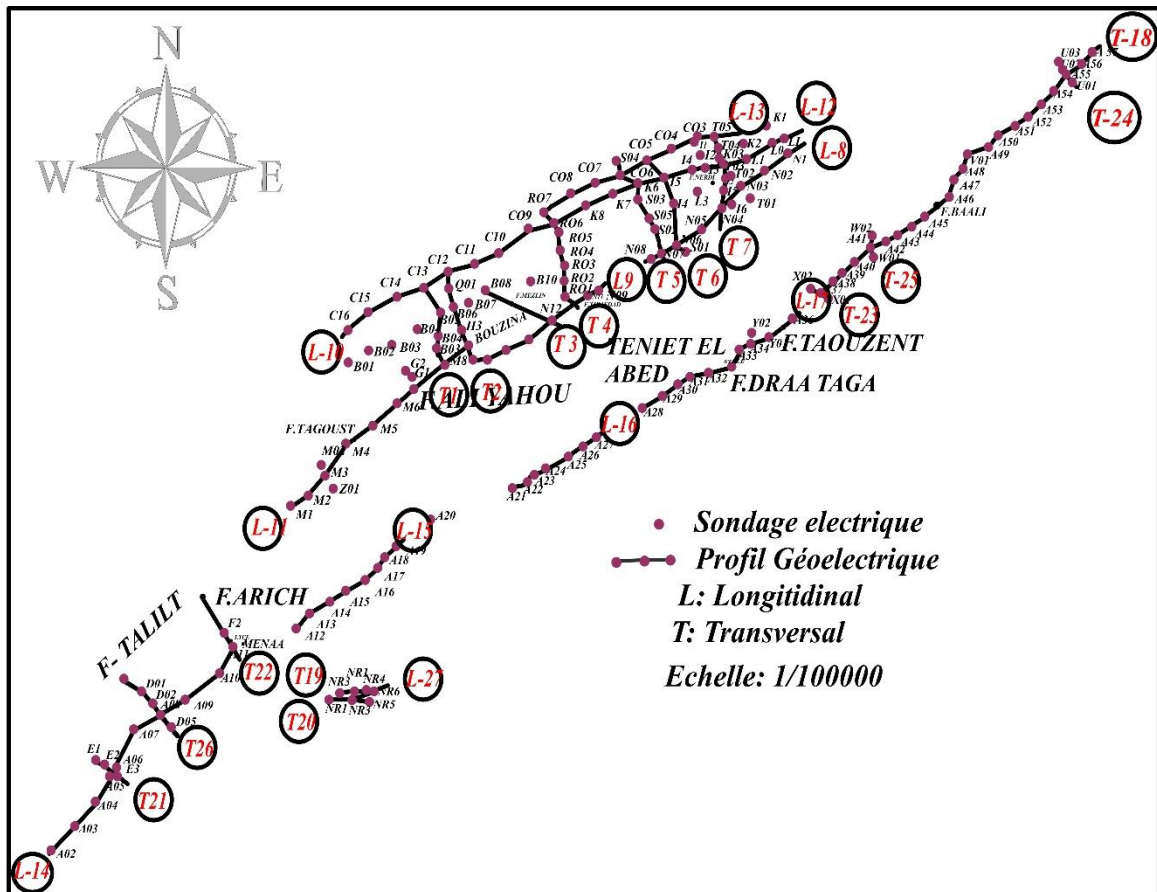


Figure 38: Emplacement des sondages électriques dans le bassin versant de l'Oued Abdi (ENAGEO, 1998).

### 4.3 SYNCLINAL DE BOUZINA

Les 13 coupes géoélectriques qui couvrent le synclinal de Bouzina sont réparties en 07 coupes transversales et 06 coupes longitudinales. Elles ont été réalisées sur toute la longueur du synclinal, allant du Tagoust au Sud-Ouest jusqu'à au plateau du Nirdi au Nord-Est.

#### 4.3.1 Coupes transversales (1,2 et 3)

Les coupes géoélectriques orientées Nord-Ouest, Sud-Est ont révélé plusieurs formations géologiques différentes comme suites :

Tableau 20: descriptions des coupes transversales (1,2 et 3)

	Résistivité	Epaisseur	Formations géologiques
Oligocène	Faible	50m sauf m8 atteint 140 m	Ce terrain est caractérisé par un marno-conglomérat discordant s'étendant sur toute la série sous-jacente
Lutétien	30 a 80 ohm - metre	Plus de 200 metres	Ce terrain caractérisé par marno calcaires, gypse et les gres .
Landénien	Moyenne de l'ordre de 150 ohm - mètre	Variable de 100 a 200 mètres.	Ce terrain est caractérisé par les calcaires avec des cassures.
Maestrichtien	Très résistant	De 100 a 200 mètres	Ce terrain est caractérisé par les calcaires, les sondages c12 et c13 ont révélé l'existence d'un sénonien inférieur, qui constitue la base de maestrichtien, le flanc nord-ouest de la série sédimentaire présente des pentes assez raides et est relativement droit. Des failles affectent la série sédimentaire depuis le maestrichtien jusqu'à l'oligocène.

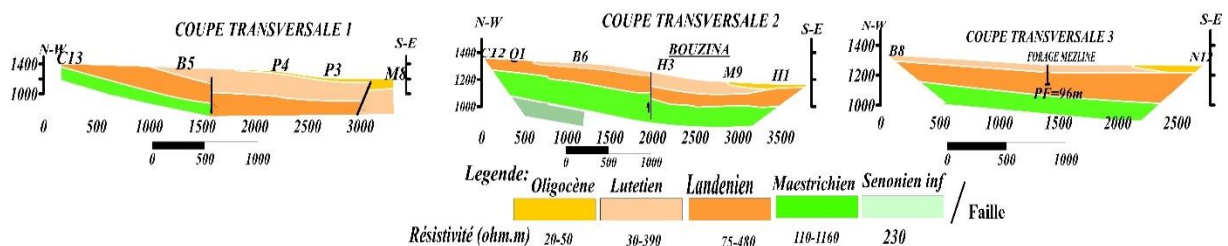


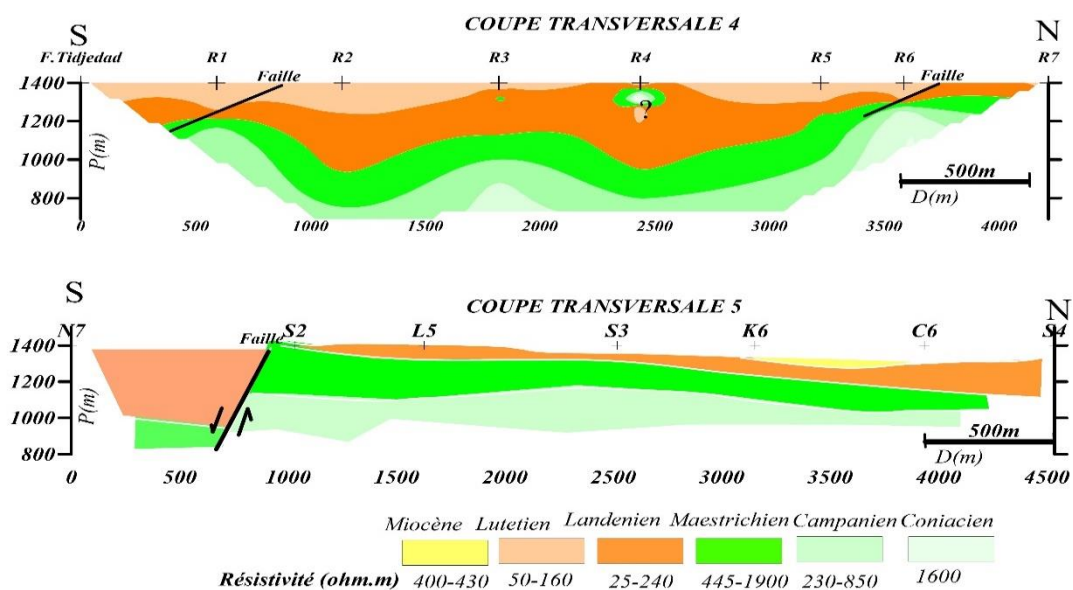
Figure 39: Coupes géologiques transversales (1, 2 et 3) PL 5. (ENAGEO, 1998)

#### 4.3.2 Coupes transversales (4,5,6 et 7) PL 7 et 8

Les coupes géoélectriques menées sur le Plateau du Nirdi, à Koudiat el Aarar, ont permis de découvrir les formations géologiques suivantes :

Tableau 21: descriptions des coupes transversales (4,5,6 et 7).

	Résistivité	Epaisseur	Formations géologiques
Miocène conducteur	Résistivité		
	Faible résistivité	50m	Ce terrain est caractérisé par un marno-calcaires, grés Reposant en discordance sur le Lutétien et le Landénien
Lutétien conducteur	Résistivité variable 20 à 95 Ohm-mètre	240 mètres	Ce terrain caractérisé par marno- calcaires, gypse et les grés .
Landénien	Très résistant	Atteindre 150m au sondage R2.	Ce terrain est caractérisé par les calcaires.
Maestrichtien	Très résistant	Atteindre 260 m au sondage S2	Ce terrain est caractérisé par les calcaires, les failles qui s'étendent dans une direction Nord Es- Sud-Ouest engendrent des rejets assez importants et peuvent atteindre 200 m



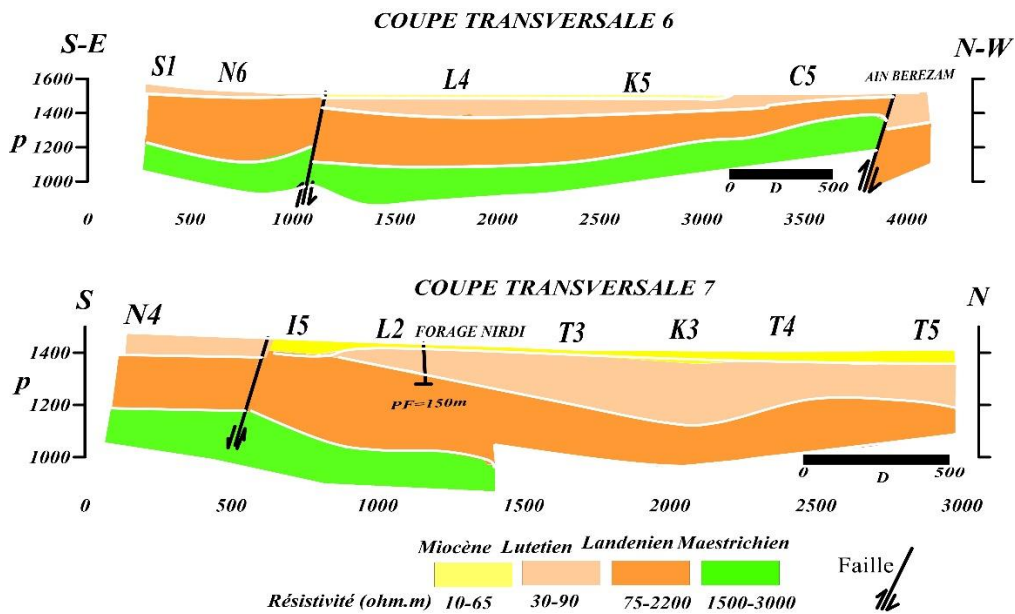


Figure 40: Coupes géologiques transversales (4, 5, 6 et 7) PL 7 et 8. (ENAGEO, 1998).

### 4.3.3 Coupes longitudinales (8 et 9)

Les coupes géoélectriques indiquent la présence des couches géologique d'orientation Sud-Ouest vers le Nord-Est comme la suivante :

Tableau 22: descriptions des coupes longitudinales (8 et 9)

	Résistivité	Epaisseur	Formations géologiques
Oligocène conducteur	15 à 55 Ohm-mètre	30m	Ce terrain est caractérisé par un marno-calcaires, grés, présent uniquement sur la coupe 9 dans la vallée de Bouzina du sondage H1 au Sondage N12
Lutétien conducteur	25-30 Ohm-mètre	Moins de 100 mètres	Ce terrain caractérisé par un marno- calcaires, gypse et les grés, dont l'épaisseur ne dépasse généralement pas une centaine de mètres. Cette faible épaisseur est probablement due à une érosion intense
Landénien	Très résistant atteindre 355 Ohm-mètre	Plus de 350m au sondage N8.	Ce terrain est caractérisé par marno- calcaires, On note que dans la vallée de l'Oued Bouzina (coupe 9), la résistance de Landénien est nettement plus faible que sur le plateau de Nirdi. Cela peut être dû à l'enrichissement du Landénien en matériaux argileux ou marneux.

Maestrichtien	Très résistant	Atteindre 260 m au sondage S2	Ce terrain est caractérisé par les calcaires, Le toit du Maestrichtien est caractérisé par une fracturation très prononcée, qui affecte également le Landénien, engendrent des rejets assez importants et peuvent atteindre à 100 mètres m
---------------	----------------	-------------------------------	--

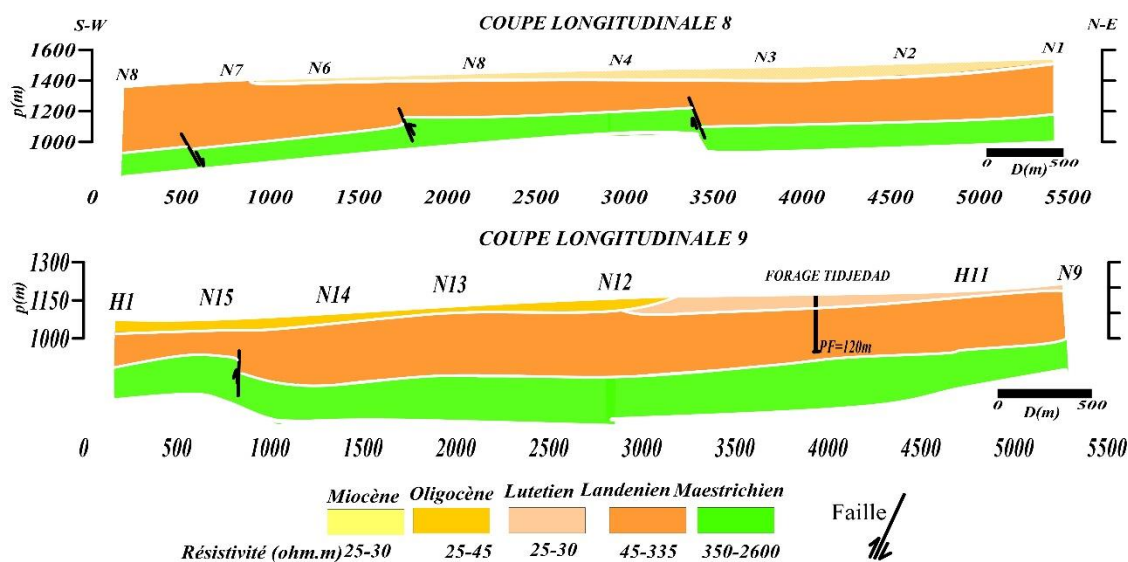


Figure 41: Coupes géologiques Longitudinale (8,9) PL 5. (ENAGEO, 1998) (modifier par bendjerad. M,2023).

#### 4.3.4 Coupes longitudinales (10, 11,12 et 13)

Les coupes géoélectriques ont permis de mettre en évidence différentes formations géologiques suivantes :

Tableau 23: descriptions des coupes longitudinales (10, 11,12 et 13).

Coupe Longitudinale 10				
Age Géologique	Lutétien	Landénien	Maestrichtien	Sénonien Inférieur
Résistivité	Disparu	Très Résistant 120-3000 Ohm- mètre	Très Résistant 350- 1990 Ohm-mètre	200-500 Ohm- mètre
Epaisseur		300 M	220 M	/
Formations Géologiques		Marno-Calcaires, Grés, présence des failles	Calcaires,	Calcaires Et Marnes

Coupe Longitudinale 11 (Sud de Tagoust - Bouzina)				
Age Géologique	Oligocène	Lutétien	Landénien	Maestrichtien
Résistivité Ohm-mètre	Faible 5-20	70-115	130-550	/
Epaisseur	50 à 150 m	300 mètres	130 mètres	/
Formations Géologiques	Les grès, conglomérats poudingues	grès, Marnes conglomérats sous l'effet de l'érosion	Marno-Calcaires, Grés, présence deux failles au Sud-Ouest, et au Nord Est	/
Coupe Longitudinale 12et 13 (Koudiet el Aarar sud C9- Nirdi Nord Est LL)				
Age Géologique	Miocène	Lutétien	Landénien	Maestrichtien
Résistivité Ohm-mètre	10	15-20	Très résistant atteindre 2100	Très résistant atteindre 2300
Epaisseur	15	/	100 mètres	/
Formations Géologiques	Miocène avec des grés et marnes discordant sur le Lutétien	Les formations sédimentaires du Lutétien, du Landénien et du Maestrichtien., recouvertes par du Miocène ou de l'Oligocène. La présence des failles formés un aquifère carbonatés multicouches fissurés dans la vallée de Bouzina.		

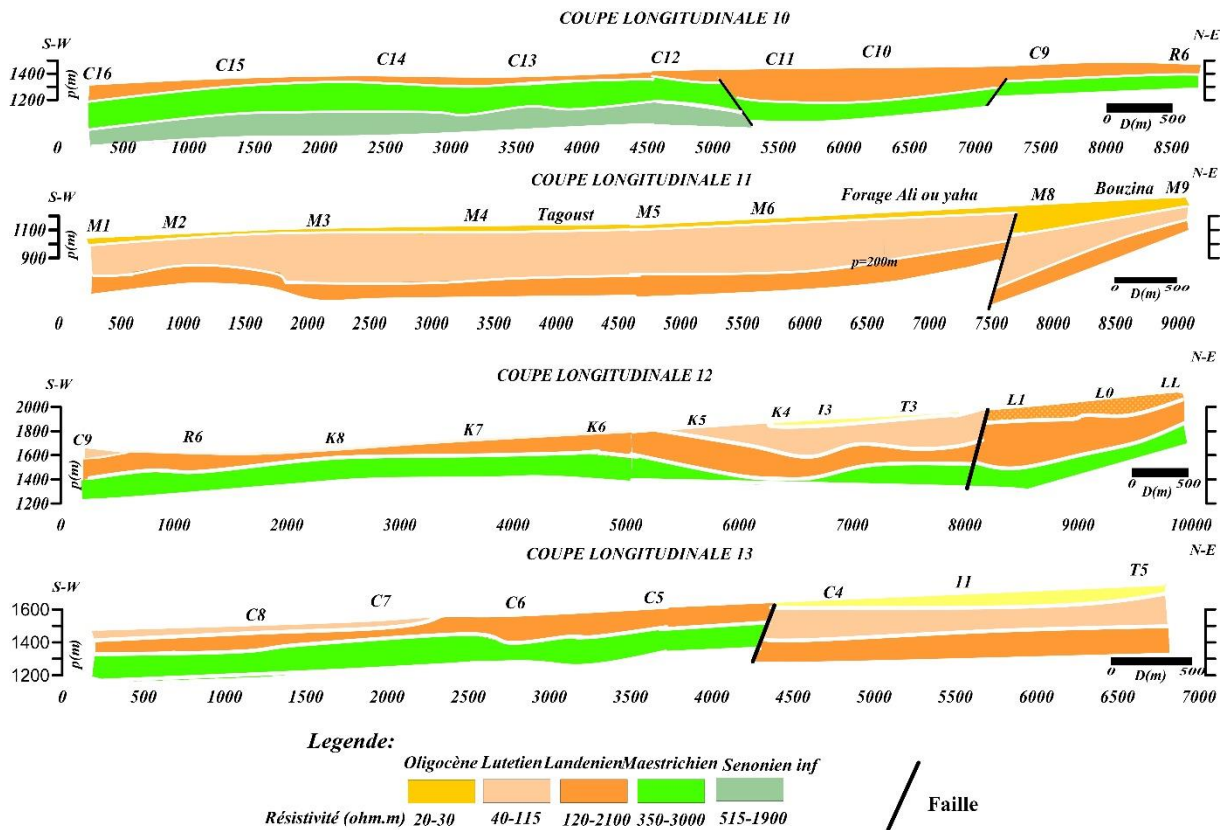


Figure 42: Coupes géologiques Longitudinales (10 , 11,12 et 13) PL 6. (ENAGEO, 1998).

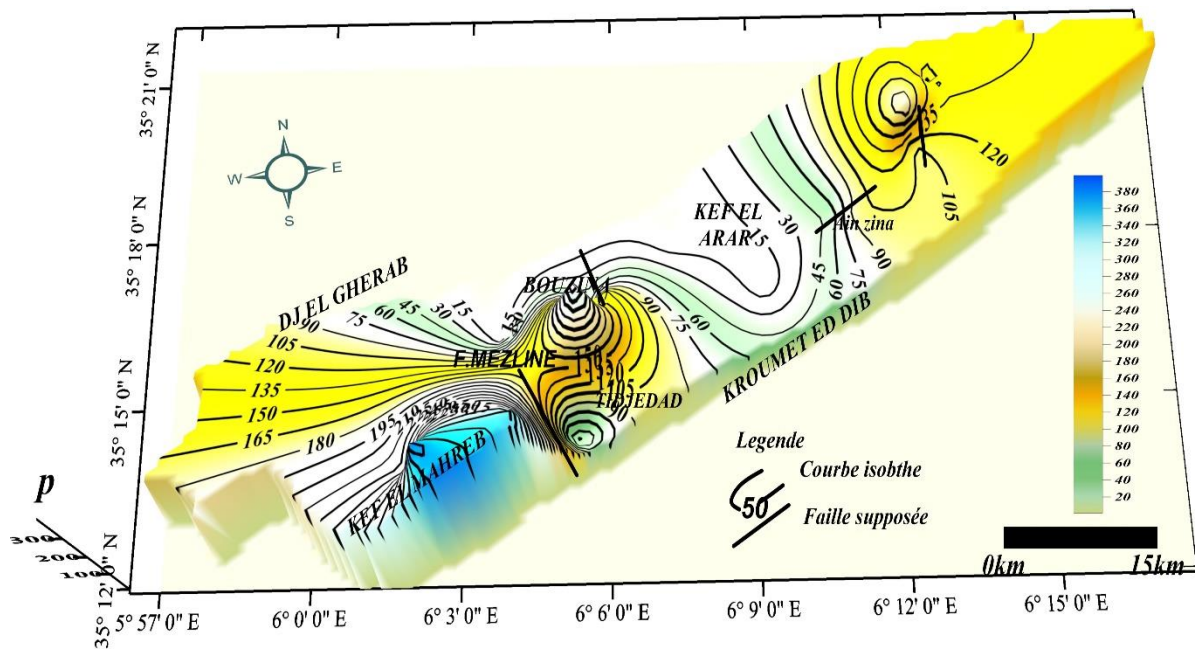
### 4.3.5 carte en isobathes du toit des calcaires du Landénien :

Sur cette carte en isobathes on observe deux structures synclinales d'axes Nord Est- Sud-Ouest, de part et d'autre de Koudiet El Arar qui correspond à son tour à une petite structure anticlinale.

La carte en isobathes permet de voir deux structures synclinales, qui s'étendent dans une direction Nord Est- Sud-Ouest, de chaque côté de Koudiet El Arar, qui est lui-même une petite structure anticlinale.

Le toit du Landénien s'étend à des profondeurs allant jusqu'à 200 mètres, leur affleurement présente comme une zone haute et domine ainsi les calcaires de Landénien plongent et allant jusqu'à 350 mètres aux environs de Tagoust, le Sud-Ouest de Bouzina.

Lors de cette prospection, de nombreuses failles ont été détectées, qui semblent apparaître sous forme de failles décrochantes et normales, avec des rejets considérables.



**Figure 43: Carte en isobathes du toit des calcaires du Landénien dans la vallée de Bouzina (ENAGEO, 1998)**

**4.3.6 carte en isobathes du toit des calcaires du Maestrichtien :**

La carte du toit des calcaires Maestrichtiens présente des structures similaires à celles des courbes isobathes du Landénien, notamment l'anticlinal de Koudiet El Arar séparés les deux synclinaux Nirdi et Bouzina.

Le toit des calcaires maestrichtiens est très profond à certains endroits. Au plateau du Nirdi, il atteint une profondeur de 350 mètres. Cependant, à Bouzina, il est estimé à environ 150 mètres et à Tagoust, il est encore plus profond et n'a pas été détecté par les sondages électriques.

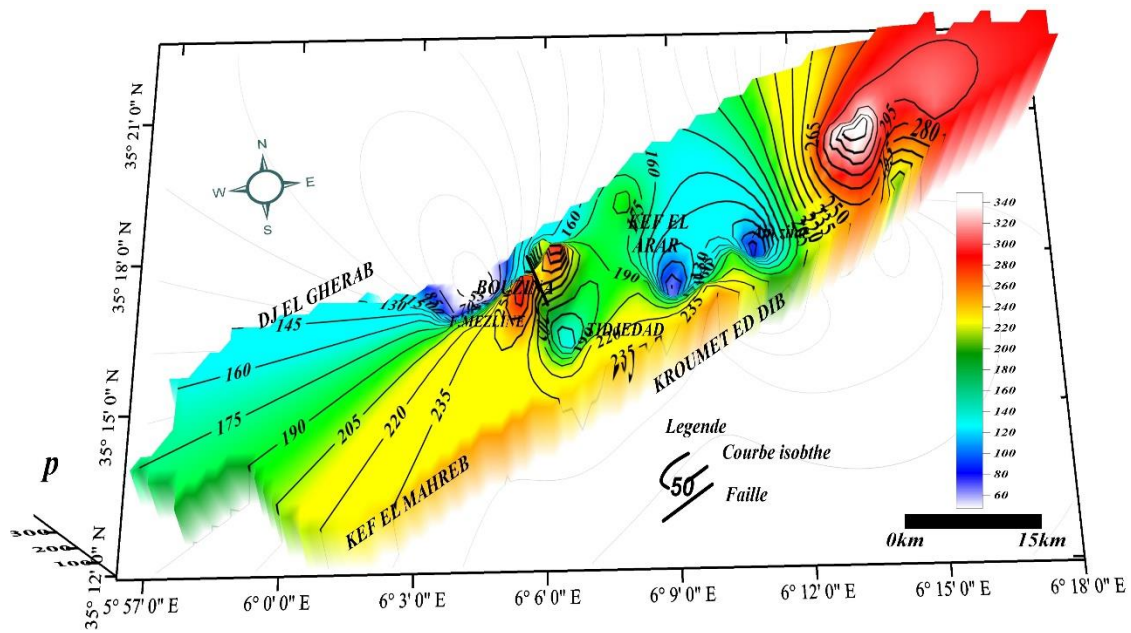


Figure 44: Carte en isobathes du toit des calcaires du Maestrichtien dans la vallée de Bouzina (ENAGEO, 1998).

#### 4.4 VALLEE DE OUED ABDI

La vallée de l'oued Abdi est prospectée par 14 autres coupes géoélectriques réparties en 07 Coupes transversales et 07 coupes longitudinales.

Des études géoélectriques supplémentaires ont été menées dans la vallée de l'oued Abdi, dans lequel 07 coupes transversales et 07 coupes longitudinales pour un total de 14 coupes couvrent la moyenne bassin versant de l'oued Abdi à Menâa à la haute vallée qui s'étend de Menâa à Nara et Tigherghar-Amentane jusqu'à Theniet Erssas.

##### 4.4.1 Coupes Transversales (21, 22, et 26) :

Ces coupes géoélectriques avec un orientations Nord-Ouest - Sud Est et localisées dans la moyenne d'Oued Abdi.

Tableau 24: descriptions des coupes longitudinales (21, 22, et 26).

La coupe transversale 21,22,26						
Age Géologique	Miocène	Oligocène	Maestrichtien	Turonien	Cénomaniens	Albien
Résistivité Ohm-mètre	Faible 60	75-280	300	500 - 1320	35	110

Épaisseur	/	80m	/	70 m	200m	/
Formations Géologiques	Le Miocène est caractérisé par des grès, des marnes et des blocs des calcaires discordants sur les grès, ainsi que des conglomérats de l'Oligocène (coupes 21 et 26). Les calcaires-marneux du Turonien sont très résistants et les pendages des formations de l'Oligocène, de l'Eocène, du Maestrichtien et du Campanien dans la coupe 22 sont très accentués vers le nord-ouest. La présence de failles indique une affectation et une fracturation du terrain.					

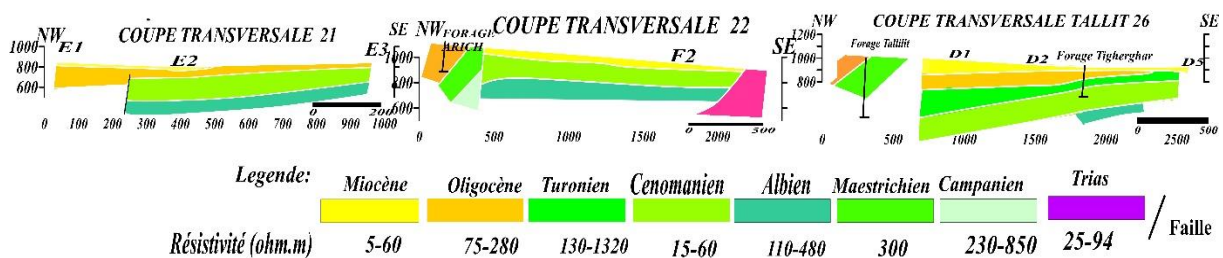


Figure 45: Coupes géologiques transversales (21, 22 et 26) PL 2 et 3. (ENAGEO, 1998).

4.4.2 Coupes transversales (23, 24 et 25) :

Ces coupes géoélectriques sont effectuées au Nord Est de Theniet El Abed exactement dans la haute vallée de l'oued Abdi

Tableau 25: descriptions des coupes longitudinales (23, 24, et 25).

La coupe transversale 23, 24 et 25					
Age Géologique	Miocène	Sénonien inférieur	Turonien	Cénomanien	Albien
Résistivité Ohm-mètre	Faible 45	Faible 35	165	20-55	100-700
Épaisseur	100m	250m	variable	250m	120m
Formations Géologiques	Les grès, les marnes et les blocs des calcaires du Miocène discordants sur les calcaires-marneux du Turonien (coupe 23), Ainsi discordants sur le sénonien inférieur (coupe 24), Sous le Turonien apparaît le Cénomanien, puis l'Albien. Les coupes caractérisées par l'existence des failles dans les sondages A37, A55, U2 et U3.				

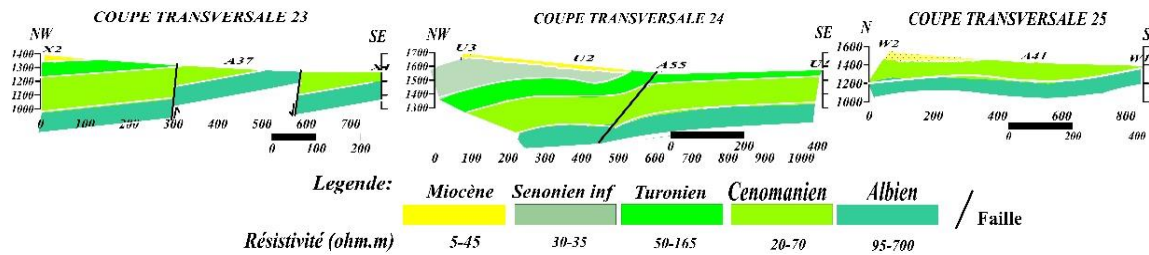


Figure 46: Coupes géologiques transversales (23, 24 et 25) PL 2 et 3. (ENAGEO, 1998).

4.4.3 Coupes longitudinales (14, 15, 16, 17 et 18) :

Les coupes géoélectriques au-dessous couvrent l’oued Abdi, depuis Amentane au Sud-Ouest jusqu’à Theniet ernessas au Nord Est ont mis en évidence les formations suivantes :

Tableau 26: descriptions des coupes longitudinales (14, 15, 16, 17 et 18).

La coupe Longitudinales (14, 15, 16, 17 et T18)					
Age Géologique	Miocène	Oligocène	Turonien	Cénomanien	Albien
Résistivité Ohm-mètre	Faible 85	70-360	530	Faible 5-50	60-1050
Epaisseur	100m	variable	/	200m	60-450m
Formations Géologiques	Les formations de l'Oligocène, du Cénomanien et de l'Albien sont en contact avec le Trias. Le Miocène discordant sur l'Oligocène ce qui lui même discordants sur le terrain sous-jacent. Les coupes caractérisées par l'existence des failles dans les sondages A4, A9, A42, A48, A52.				

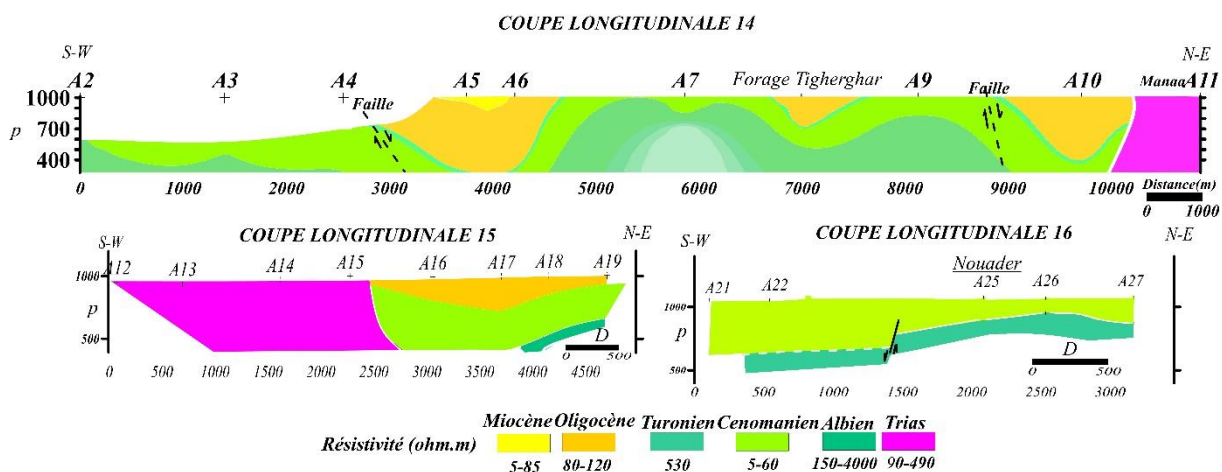


Figure 47: Coupes géologiques Longitudinales (14, 15, 16,) PL 2 (ENAGEO, 1998).

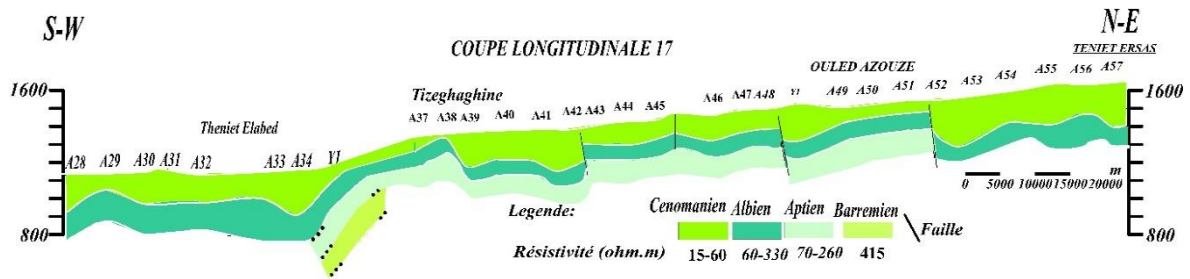


Figure 48: Coupes géologiques Longitudinales (17 et 18) PL 4. (ENAGEO, 1998).

4.4.4 coupe longitudinale et transversales de Nara (19, 20 et 27) :

Ces coupes longitudinales, 19 et 20 sont orientées Est-Ouest et traversent les forages Nara 1 et 2 ainsi que le forage Di fellah. Elles permettent de visualiser les différentes formations géologiques suivants :

Tableau 27: descriptions des coupes longitudinales (19,20 et 27).

La coupe Longitudinales (19, 20 et 27)		
	Résistivité Ohm-mètre	Epaisseur
Néocomien	1 <sup>er</sup> terrain 30 à 85	<100m
	2 <sup>eme</sup> terrain 150	200m
	3 <sup>eme</sup> terrain 15 à 70	300m
Formations Géologiques	Les trois terrains du Néocomien indifférenciées caractériser par les grès, les calcaires et les calcaires gréseux reposent sur les calcaires dolomitiques du Jurassique supérieur , La faille mise en évidence près de sondage NR6 (coupe27).	

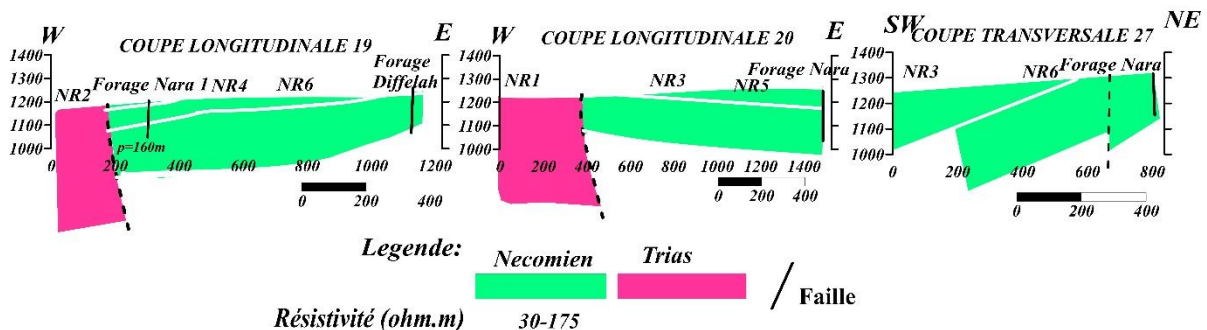


Figure 49: Coupes géologiques Longitudinales (17 et 18) PL 4. (ENAGEO, 1998).

**4.5 Conclusion :**

L'analyse des coupes géoélectriques nous a fourni des informations précieuses sur les caractéristiques géologiques et géophysiques du sous-sol. Cela nous a permis d'évaluer la qualité des enregistrements pour la plupart des sondages électriques, ainsi que de mieux comprendre les propriétés électriques des différentes couches géologiques du Miocène jusqu'au Jurassique par variation de résistance.

Les formations géologiques les plus susceptibles de contenir les aquifères potentiels à savoir :

- Les formations de l'Oligocène et du Miocène continental qui comprennent des grès et des conglomérats,
- Les formations de l'Eocène (Lutétien- Landénien), du Maestrichtien et du Turonien contiennent des calcaires,
- Les grès du Crétacé inférieur notamment les niveaux Albo-Aptien
- Les formations du Néocomien contiennent des grès, les calcaires et les calcaires gréseux,
- \*Les formations du Jurassique supérieur (Portlandien) caractérisé par les calcaires dolomitiques.

***Chapitre 5:***  
***Hydrogéologie***

## 5 Hydrogéologie

### 5.1 INTRODUCTION

L'étude géologique et géophysique a permis une bonne reconnaissance des différentes formations susceptibles d'être le siège d'un écoulement souterrain.

L'approche hydrogéologique a pour objectif de caractériser les différents aquifères et la mise en valeur des potentialités hydriques.

A la faveur de ces accidents et de la nature carbonatée des formations, le phénomène de karstification s'est bien développé dans la région et s'est accentué par la position topographique élevée de ces formations soumises à l'action corrosive des eaux météoriques et à des périodes d'enneigement non négligeables. Diverses formes de karstifications peuvent être observées sur les affleurements les dolines, les grottes et les griffons. Rihani (2008)

L'analyse de la coupe lithostratigraphiques (Fig-22) et des coupes géoélectriques nous ont permis de mettre en évidence sept (07) types de nappes dans la région d'étude :

- La nappe phréatique du Quaternaire
- La nappe phréatique du Miocène continental
- Les nappes de l'Eocène (Lutétien et Landénien)
- La nappe du Maestrichtien
- La nappe du Turonien
- La nappe de l'Albo-Aptien
- La nappe du Néocomien

ERE	SYSTEME	SOUS SYSTEME	ETAGE	EPAISSEUR MOYENNE(m)	LITHOLOGIE	DESCRIPTION GEOLOGIQUE	FORMATIONS HYDROGEOLOGIQUES	
TERTIAIRE	QUATERNAIRE			20		Alluvions, Aboullis	Aquifère	
	NEOGENE	PLIOCEN		600		Miocene sup et pliocène (Néogene Continontale: Assises continonteles comprenant Paudings Rouges au sommet	Imperméable	
		MIOCENE	INF	SUP	120			Miocen inf (Marin): - Marnes au sommet - Conglomerats et Calcaires à la base
	OLIGOCENE					Sédiments continentaux (Baudingues, Argiles, Sables, Grés..) Aquifère		
	PALEOGENE	EOCENE	SUP	250 à 300		Eocene sup.(serie continentale) - Couches rouges Numméltiques - Baudingues très grossieres au sommet - Marnes rouges à la base	Imperméable	
			INF MOY	150		Eocene inf et Moyen (série marine) Couches marno-calcaires intercallées de couches lacustres et des couches rouges continentales.	Aquifère	
		Paléocène		15		A bandance de dépôts des sédiments-couches lagunaires marnes -calcaires gréseux	Imperméable	
	SECONDAIRE	CRETACE	CRETACE SUPERIEUR	SENONIEN	360		Puissante masse de calcaires lithotaminés bryozoaires	Aquifère
				COMPAGNE	400		Marnes	Imperméable
				SUMMERE ET CONATRIEN	200 à 1000		Marnes, calcaires à Bryozoaires Marnes, calcaires à Echinides.	Imperméable
TURONNIEN				200 à 800		Façies calcaireux à rodistes au sud- Ouest du massif	Aquifère	
CENOMANIEN				500 à 800		Façies marneux au centre et vers l'est.	Imperméable	
CRETACE INFÉRIEUR			ALBIEN	400 à 500		Marnes et calcaires au sommet Marnes à la base	Imperméable	
			APTIEN	50		Façies calcaire (250-300m) au sommet	Aquifère multicouches	
			BARREMIEN	250 à 400		Alternance des grés et de marnes avec de minces bancs calcaires		
			NEOCOMIEN	100		Bancs calcaires à arbutoolins et Rudestes avec mince lits marneux , Grés, calcaires dolomitique au sommet		
			VALTERRIEN			bancs de calcaires marneux et marnes à la base		
MASTOCHIEN			Façies continental : Grés ,marnes rouges					
JURASSIQUE	JURASSIQUE SUPERIEUR	SUP	250		Façies clcairo-géseux au sud-ouest du massif	Aquifère multicouches		
		INF	150		Façies géseux et à degrés moindre dolomitique marneux calcaireux .			
	KIMMERIDGIEN	560		petits bancs de grés au ouvert sites puis de calcaire au sommet marnes riches en fossiles pyriteux à la base				
JURASSIQUE SUPERIEUR					Niveaux Carbonatés ( calcaires,marnes grossiers)			
JURASSIQUE SUPERIEUR					Deux Façies qui passent progressivement l'une à l'autre			
JURASSIQUE SUPERIEUR					Façies dolomitiques(Djebel Tikirchouine)			
JURASSIQUE SUPERIEUR					Façies calcaire-marneux			
JURASSIQUE SUPERIEUR					Marnes plus ou moins calcaireux devenant minces bancs calcaires au sommet			
JURASSIQUE SUPERIEUR					predominance de marnes avec de minces intercalations de calcaires et conglomérats.			

Figure 50:La Coupe Lithostratigraphiques de L'anticlinale de Djebel El-Azreg Etablie par M. BEDROUNE 1998, Modifie par M. BENDJERAD 2021.

## 5.2 La nappe phréatique du Quaternaire :

Elle est constituée par les dépôts alluvionnaires du quaternaire qui comblent les vallées d'Oued Abdi et de Bouzina Elle se localise généralement dans le lit d'oued au niveau de Chir, Menâa et Amentane, Djemourah et Branis (Oued Abdi) et Oued Nirdi, Tagoust (Bouzina).

La nappe phréatique du quaternaire exploitée généralement par des puits pour les besoins agricoles et domestiques. L'alimentation de la nappe se fait par infiltration directe à partir des précipitations. La nappe est affectée par la pollution de l'eau, rejets des eaux urbaines ; domestiques non épurés au niveau des centres urbains de Bouzina, Theniet El Abed, Chir, Chelma, Djemourah et Branis.

## 5.3 La nappe phréatique du Miocène Continental :

Cette nappe se localise uniquement sur la rive droite de l'Oued Abdi où on relève l'existence de nombreuses sources et puits d'eau exploités pour les besoins domestiques et agricoles. Les dépôts du Miocène reposent en discordance sur les séries marneuses imperméables du Sénonien inférieur et en contact anormal avec les formations calcaires du Maestrichtien au Nord-Ouest et du Turonien au Sud Est.

Ainsi, l'écoulement des eaux souterraines de cette nappe phréatique dans la région s'effectue en direction Sud-Est vers les formations carbonatées du Turonien où émergent les principales sources telles que celles de Ben Daou, Taferfa et Tafrent.

## 5.4 La nappe de l'Eocène :

Elles se localisent dans les formations carbonatées essentiellement du Landénien et les niveaux calcaire- marneux du Lutétien dans le synclinal de Bouzina.

### 5.4.1 Nappe du lutétien (EOCENE MOYENNE) :

Cette nappe est très développée au Sud-Ouest de la ville de Bouzina vers Tagoust où elle est exploitée par le forage d'eau Ali Youha. (Fig39, colonne lithostratigraphiques) Elle est caractérisée par une eau très chargée. Dans le plateau de Nirdi. L'interprétation géophysique met en évidence des formations géologiques conductrices qu'on a finalement attribuées au Lutétien, qui n'a pas, pourtant, été reconnu par R. Laffitte (1939) dans son l'ésquisse géologique à 1/200 00.

Les anciens travaux sont supposés que la phase d'érosion post Eocène n'aurait pas affecté totalement tout le Lutétien dans la partie septentrionale. Le forage d'eau Nirdi réalisé à 200 m de profondeur avec un débit faible (2 L/s) la supposition en présentant une colonne lithologique à tendance marneuse confortée.

#### **5.4.2 Nappe du Landénien (EOCENE INFÉRIEUR) :**

Cette nappe est localisée sur l'ensemble, de la vallée de Bouzina qui se présente sous forme d'une nappe artésienne au centre et captive sur les flancs de la structure synclinale. L'exploitation de cette nappe s'effectue actuellement par les forages d'eau de Tidjedad, Mezline et Tagoust. (Fig38.40 : colonnes lithostratigraphiques).

#### **5.5 La nappe du Maestrichtien :**

Elle est considérée la plus importante par son extension au niveau du synclinal de Bouzina et est constituée par une puissante couche de calcaire. L'aquifère du Maestrichtien, se présentant sous forme d'une nappe artésienne, n'est pas encore exploité dans la région de Bouzina.

Cependant, au niveau de la Daïra de Menâa, cette nappe est captée par le forage d'eau Tallilit à 500 m de profondeur et a donné naissance à la source de Tassrift sur le flanc Sud - Est du synclinal de Bouzina.

#### **5.6 La nappe du Turonien :**

Cette nappe est constituée par des calcaires localisés sur la rive droite de l'Oued Abdi. Elle se présente sous forme d'une nappe libre où prennent naissance les principales sources de la région.

#### **5.7 La nappe de l'Albo-Aptien :**

Elle est constituée par les niveaux calcaires à calcaires gréseux sous les formations marneuses du Cénomaniens. Elle se comporte comme une nappe libre et elle est exploitée actuellement par des forages d'eau implantés sur la rive gauche de l'oued Abdi allant d'Ait Azouz jusqu'à Chir.

#### **5.8 La nappe du Néocomien :**

Elle est composée par des grès de l'Hauteriviens et Valanginiens et elle est essentiellement exploitée dans la localité de Nara.

5.9 STRUCTURE ET GEOMETRIE DES RESERVOIRS

Les aquifères sont des systèmes hydrodynamiques caractérisés par leur configuration, leur Structure et leur comportement hydrodynamique (bloc diagramme schématique-Fig- 23).

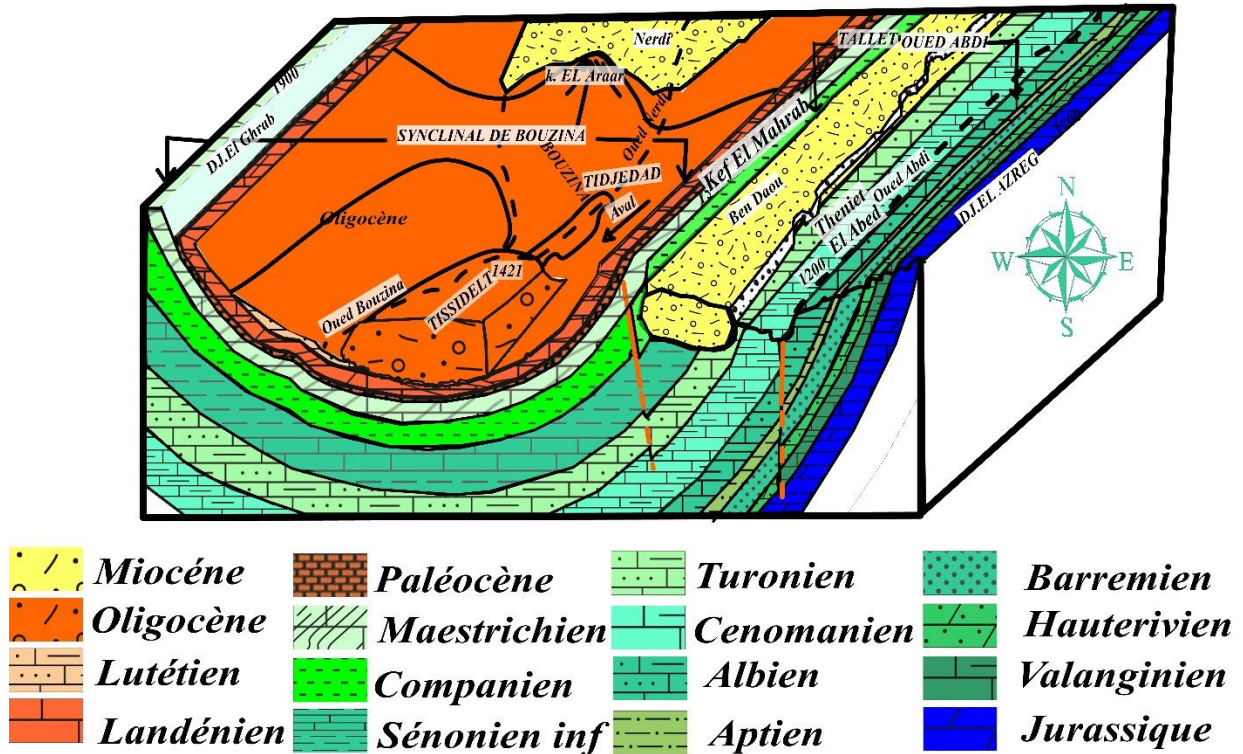


Figure 51: Bloc diagramme schématique dans la région d'étude Etabli par M. BEDROUNE 1998, Modifié par M. BENDJERAD 2021.

Le bloc c'est un modèle conceptuel représente la succession des formations hydrogéologique identifiant les Alluvions, cailloutis, éboulis de Quaternaire avec épaisseur de 15 à 20 mètre, et les calcaires, des grès, sable et poudingues de Miocène inférieur avec épaisseur de 80 mètre, et les calcaires de l'Eocène (Lutétien et Landénien) avec épaisseur de 150 mètre, les aquifères du crétacé supérieure par les calcaires fissuré du Maestrichien avec épaisseur de 360 mètre et du Turonien avec épaisseur de 200 mètre, Les grès du Crétacé inférieur et en particulier l'Albien des calcaires gréseux marneux d'une épaisseur de 110 mètre, et l'Aptien d'une épaisseur de 150 mètre, Les grès, les calcaires et les calcaires gréseux du Néocomien avec épaisseur de 100 mètre, ainsi que les accidents longitudinaux sur le long de l'oued Abdi.

## 5.10 STRUCTURE HYDROGEOLOGIQUE DE BOUZINA

### 5.10.1 AQUIFERE DE L'Eocene (Nummulitique marin)

#### 5.10.1.1 Aquifère du Lutétien

Dans la cuvette de Nirdi, l'aquifère du Lutétien présente une épaisseur très réduite sous l'effet de l'érosion post-Eocène. Sa puissance est en moyenne de 200 m au centre et va en diminuant jusqu'à disparition totale à la périphérie. Cet aquifère ne présente pas un grand intérêt hydrogéologique compte tenu de ces caractéristiques pétrophysiques défavorables dans cette région. En revanche, par contre à Tagoust, il est plus développé (300m), malheureusement son eau est de très mauvaise qualité chimique et impropre à la consommation.

#### 5.10.1.2 Aquifère du Landénien

En amont du bassin, la puissance des calcaires Landénien est de l'ordre de 250 à 300 m au centre de la cuvette de Nirdi. Cette épaisseur s'amincit vers la périphérie de la cuvette pour atteindre 100 m en moyenne. Par contre au centre du bassin, l'épaisseur est seulement de 150 m à Bouzina alors qu'en aval' elle atteint son maximum au niveau de l'axe synclinal.

##### a) Toit de l'aquifère :

Le toit de l'aquifère Landénien est constitué essentiellement de formations du Lutétien et Miocène L'épaisseur de recouvrement devient de plus en plus importante dans la partie méridionale du bassin à partir de Bouzina pour atteindre 300 m à Tagoust. Ces formations imperméables contribuent à la mise en charge de la nappe des calcaires Landénien.

La carte en isobathes du Landénien, établie par ENAGEO, montre l'allure générale du toit des calcaires formant deux cuvettes allongées selon un axe synclinal de direction NE / SW. Séparées par le bombement de Koudiet El Arar. Il est à noter l'existence de quelques fractures locales de faibles rejets.

##### b) Mur du réservoir Landénien

Le mur du réservoir calcaire est difficile à cerner du fait qu'aucun forage hydraulique ne l'a déjà reconnu et que cette méthode, en raison de la faible épaisseur des formations argileuses du paléocène (absence de contraste de résistivités) séparant les réservoirs Landénien et Maestrichtien, ne permet pas d'identifier. Par ailleurs à travers les informations acquises, on constate variation de faciès, en certains endroits, pour les formations de l'Eocène. Cette

hétérogénéité a compliqué l'interprétation lithostratigraphiques des formations du Lutétien et Maestrichtien Landénien.

### **5.10.2 AQUIFERE DU MAESTRICHTIEN**

#### **a) Structure du toit**

La carte en isobathes des calcaires du Maestrichtien montre les structures suivantes :

- Une cuvette dans la partie amont du bassin, allongée suivant un axe synclinal de direction Nord Est - Sud-Ouest.
- Une cuvette dans la zone de Bouzina, divisée en deux par un repli de direction NE - SW. Ce repli est l'allongement du bombement de Koudiet El Arar qui vient séparer les deux cuvettes considérées. Le toit des formations calcaires du Maestrichtien, à la périphérie du bombement, est reconnu à une profondeur de l'ordre de 50 m. Ce toit devient plus ou moins profond sur l'axe synclinal de direction NE/SW pour atteindre environ 400 m dans la partie centrale de Nirdi et 200 m à Bouzina.

#### **b) Mur du Maestrichtien**

La profondeur d'investigation par la prospection électrique a permis de mettre en évidence en quelques endroits à travers certaines coupes géoélectriques la présence d'un substratum imperméable, en l'occurrence les marnes du Campanien. Par exemple sur le profil n° 2 au niveau du sondage électrique (C12) la résistivité apparente de l'ordre de 1100 Ohm.m attribuée à la formation calcaire du Maestrichtien, se voit chuter à 230 au profit de la formation du Campanien.

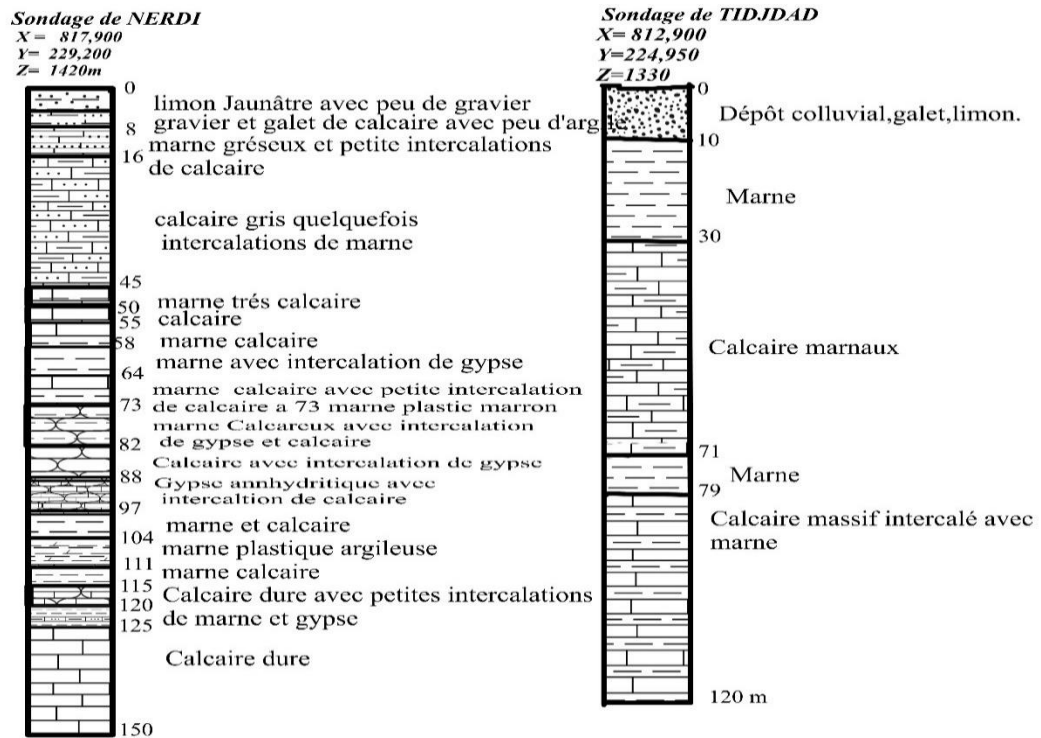


Figure 52: Logs lithologiques des Sondages de NERDI et Tidjedad (DHW)

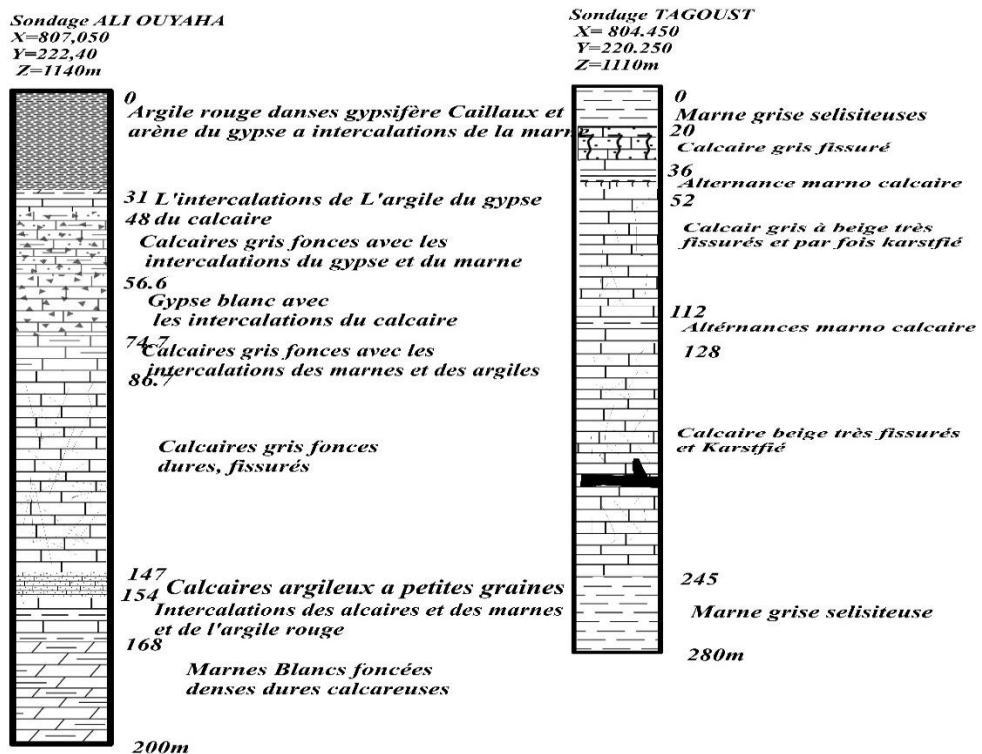


Figure 53: Logs lithologiques des Sondages de Ali Oyaha et Tagoust.

5.11 LES SOURCES :

Plusieurs sources émergentes dans le bassin d'oued de Bouzina. Ces sources peuvent être classées selon leur positionnement géographique en trois groupes :

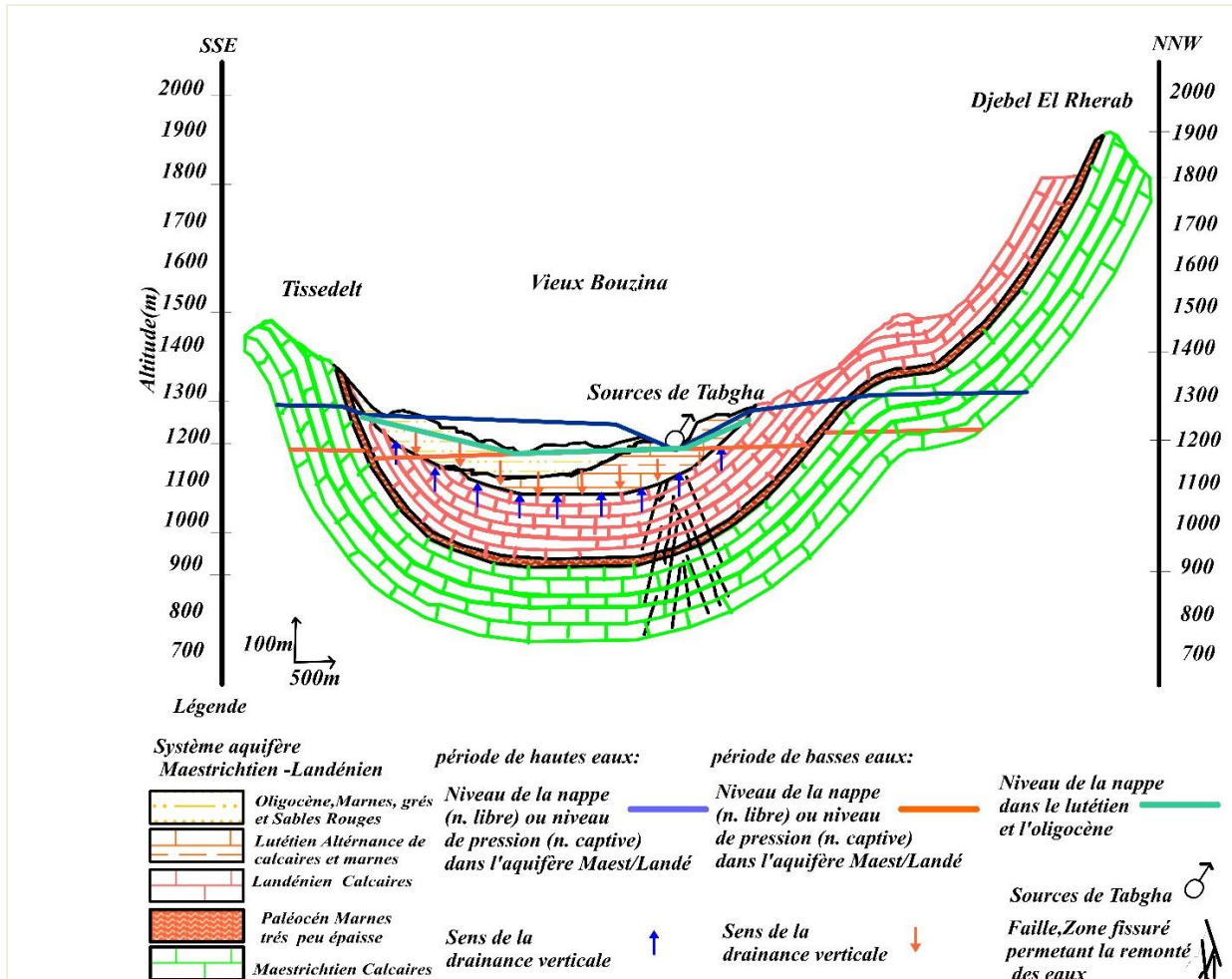


Figure 54: Schéma De Fonctionnement Des Sources De Tabgha (ABCHICHE.1999).

## 5.12 STRUCTURE HYDROGEOLOGI DE OUED ABDI ET NARA

### 5.12.1 Structure D'oued Abdi

La prospection profondeur du toit des électrique le long de l'oued Abdi avait pour objectif de déterminer des formations aquifères en l'occurrence les grès calcaireux de l'Albien.

#### a) Toit de l'aquifère :

Les coupes géoélectriques interprétatives selon le profil de l'Oued ont permis de relever les caractéristiques suivantes : Le recouvrement conducteur en surface est attribué aux marnes du cénomanien. Sa résistivité varie entre 5 et 60 Ohm.m le long du profil SE A2 à SE A10, son épaisseur est de l'ordre de 100 m mais qui atteint 200 m, sous les formations de l'Oligo- miocène à Tigherghar.

Il est interrompu par la remontée du Trias à Menâa et réapparaît en surface en gardant son épaisseur jusqu'au SE A 53 où elle se voit multiplier pour atteindre 200 m à la fin du profil.

La formation sous- jacente résistante. Tout au long du profil, attribuée au grès de l'Albien Sa résistivité varie entre 200 et 4000 Ohm.m à l'aval du profil (SE A1- SE A10), mais qui diminue à l'amont pour atteindre la fourchette 260-285 Ohm.m du profil (SE 425 à SE A57).

#### b) Mur du réservoir :

La profondeur d'investigation des sondages électriques n'a pas permis d'atteindre le mur de l'aquifère Albien, vu le pendage sub-vertical des couches géologiques correspondant au flanc Nord-Ouest de l'anticlinale de Djebel L'ezragh : à l'exception des sondages électriques, réalisés au niveau de Taouziert, où les formations interprétées sont été attribuées à l'Aptien.

La prospection électrique le long du profil Oued Abdi a permis de distinguer, du point de vue hydrogéologique, deux zones distinctes séparées l'une de l'autre par l'intrusion de la formation salifère du Trias à Menâa :

#### ❖ **En amont :**

Le toit du réservoir Albien est affecté d'une série de failles transversales pouvant constituer des zones d'écoulement des eaux souterraines. Il peut être atteint à une profondeur de l'ordre de 100 m sur le profil de l'Oued.

Les formations gréseuses de l'Albien sont homogènes et présentent des caractéristiques physiques favorables d'un aquifère semi-captif, mis en charge par le recouvrement marneux imperméable du Cénomanién.

❖ En aval :

La position géologique de la formation gréseuse de l'Albien au Sud du diapir triasique de Menâa et sa profondeur importante ne favorise pas la constitution d'un aquifère potentiel.

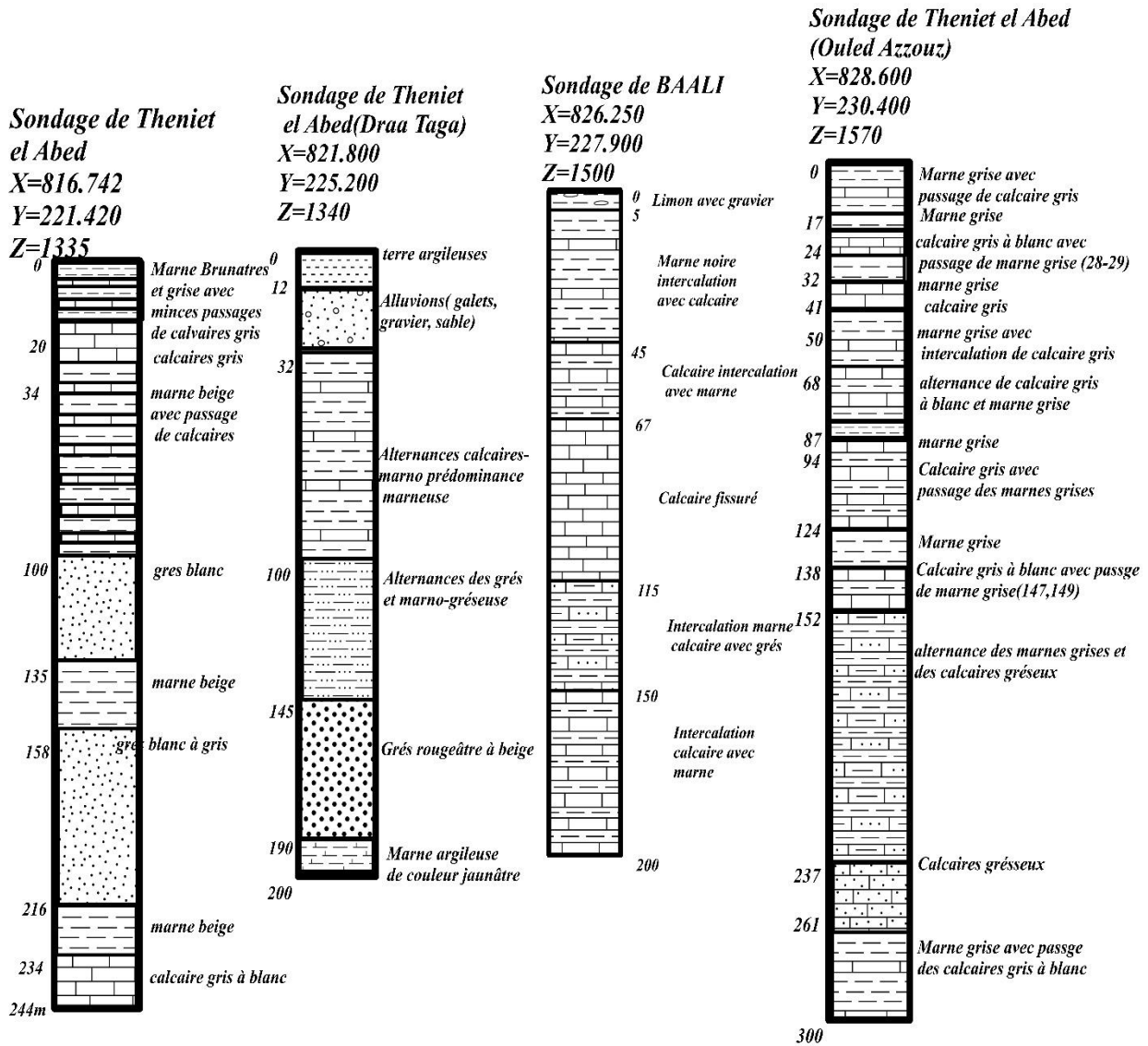


Figure 55: Logs lithologiques des Sondages Theniet el Abed, Draa Taga, Baali Ouled Azouz.

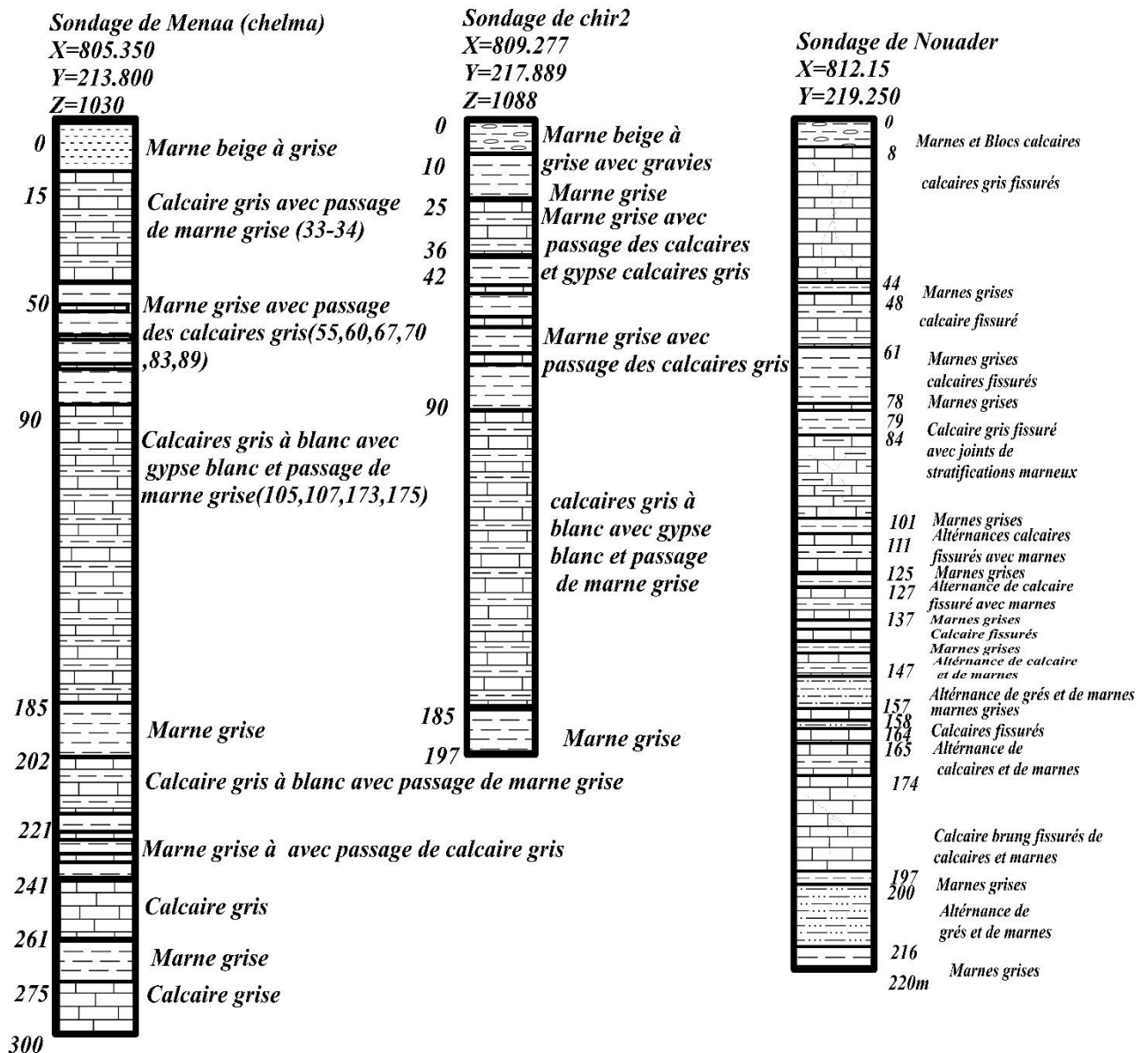


Figure 56: Logs lithologiques des Sondages de chelma, chir2 et Nouader

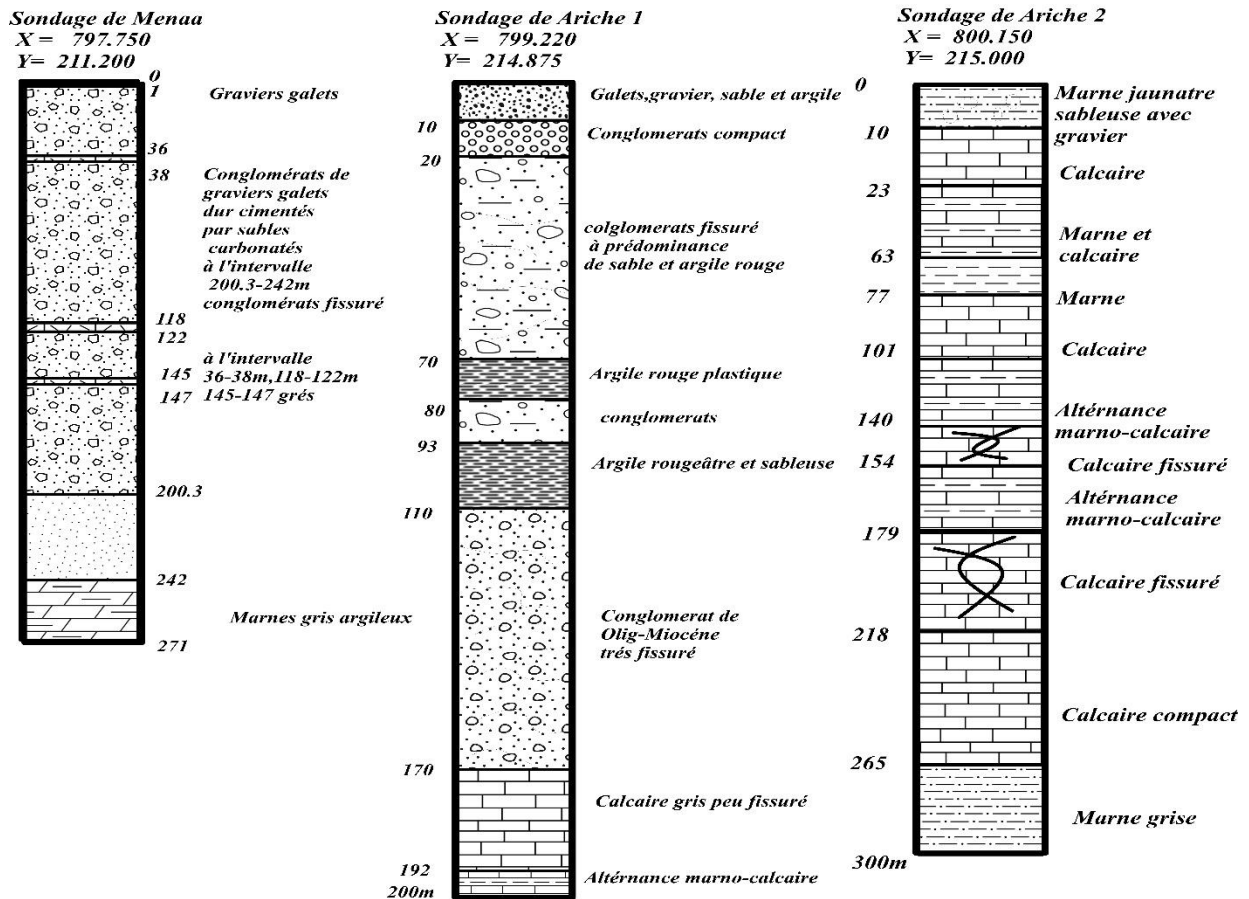


Figure 57: Logs lithologiques des Sondages de Menaa, Ariche 1 et 2.

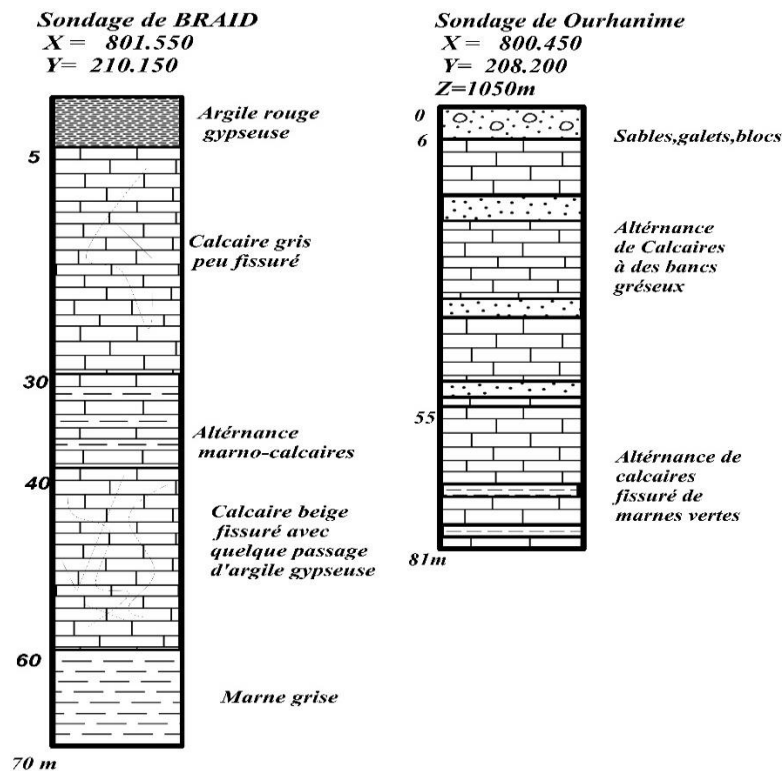


Figure 58: Logs lithologiques des Sondages de Braid et Ourhanime.

### 5.12.2 Structure de NARA

Les coupes géoélectriques interprétatives n° 19, 20, et 27 ont permis de renseigner sur les caractéristiques des formations hydrogéologiques suivantes :

Les formations grésos-marneuses attribuées au Néocomien indifférencié sont caractérisées par des résistivités variables entre 30 à 375 Ohm. m.

Ces formations hydrogéologiques investies à une profondeur de 400 m ne sont pas affectées par des accidents majeurs sauf une faille d'un faible rejet, de direction NS entre le sondage électrique R6 et le forage Draa Nara (f n° =2).

L'aquifère du Néocomien, exploité dans la région de Nara, présente des hétérogénéités latérales entraînant la réduction de la perméabilité. Ce réservoir est limité latéralement par les formations hétérogènes imperméables et les sels du Trias au Sud et à l'Ouest de la plaine.

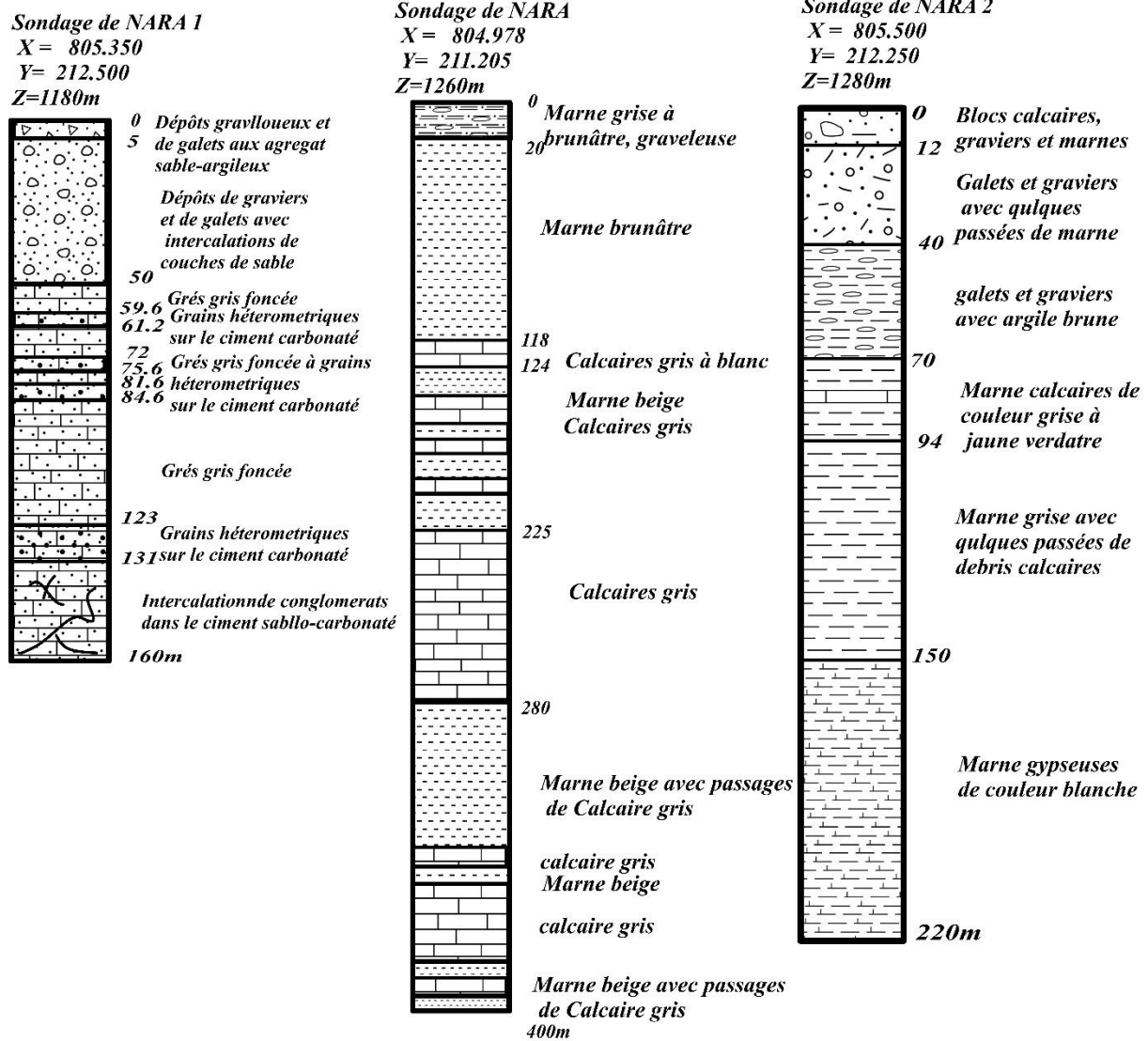


Figure 59: Logs lithologiques des Sondages NARA 1 et 2.

### 5.12.3 Structure de TIGHERGHAR :

La coupe géoélectrique transversale 26 (Tallilit) passe par le forage du même nom au Nord-Ouest et le forage de Tigherghar au Sud Est. Ont permis de renseigner sur les caractéristiques des formations hydrogéologiques suivantes :

Au forage Tallilit le sondage électrique étalon a mis en évidence le Paléocène et le Maestrichtien qui présentent des pendages très prononcés. Sur le reste de la coupe, du sondage D1 au D5, nous observons la succession des terrains suivants :

Le Miocène de faible résistivité est discordant sur l'Oligocène plus résistant, et Le Turonien résistant affiche une résistivité moyenne de 500 Ohm-mètre avec une épaisseur

moyenne de l'ordre de 70 mètres. Et enfin le Cénomanién conducteur et assez épais surmonte l'Albien dont seul le toit a été atteint par le sondage étalon de Tigherghar.

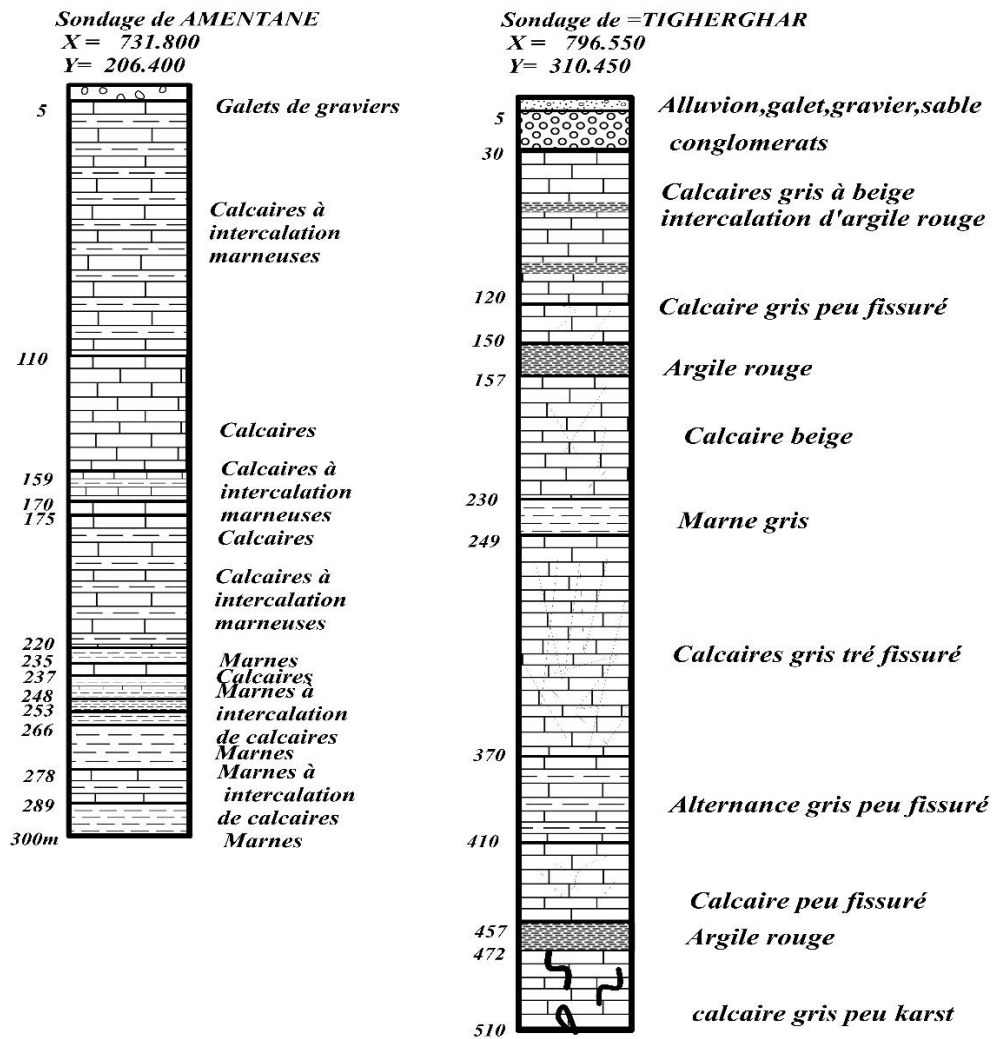


Figure 60: Logs lithologiques des Sondages TIGHERGHAR et AMENTANE.

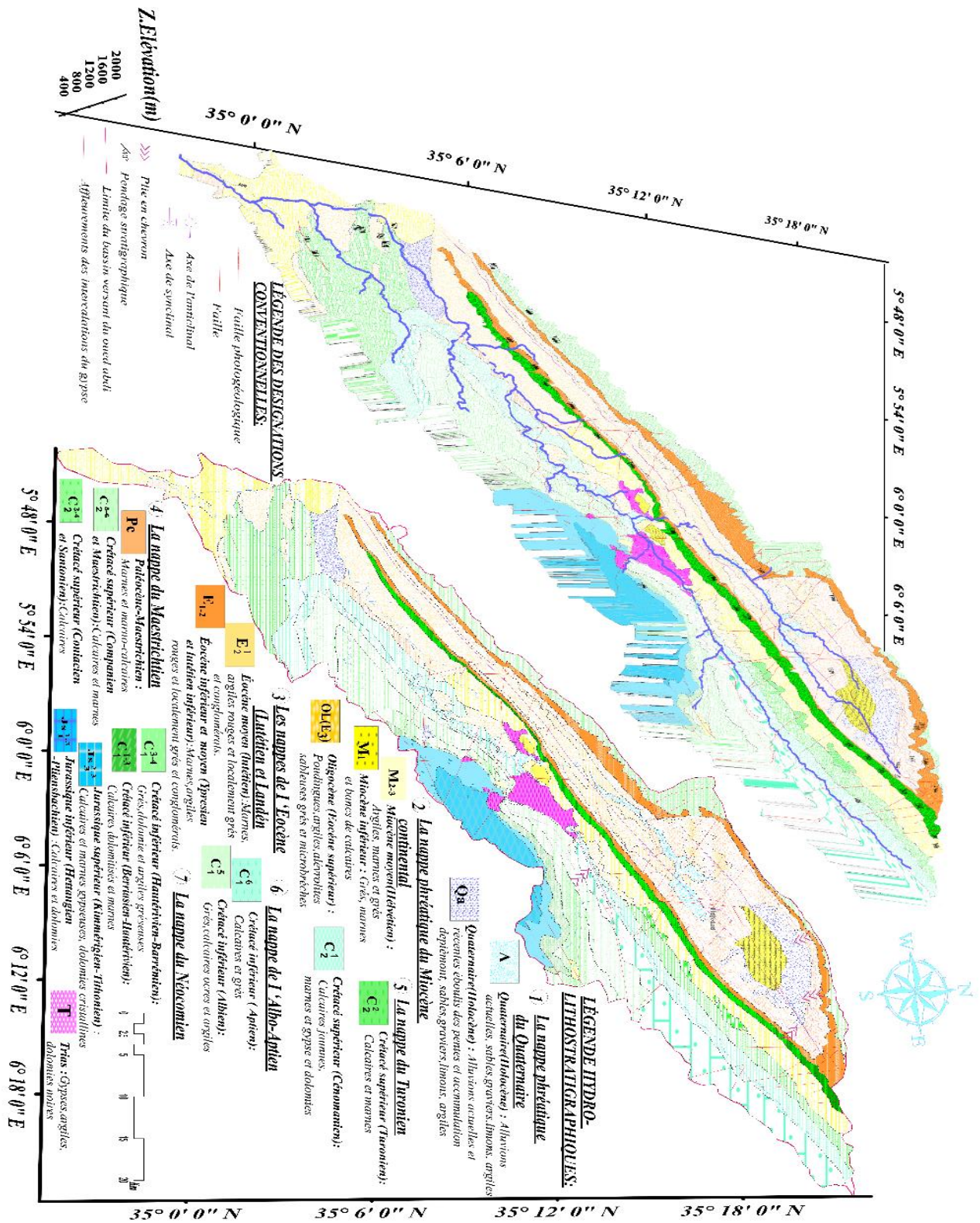


Figure 61: carte hydrogéologique de l'Oued Abdi.

### 5.13 Interprétation des cartes piézométriques

L'aperçu hydrogéologique de la région d'étude indique la présence de deux grands nappes superficielle alluvionnaire à l'extension horizontales discontinue et la nappe profonde des fissures d'un système multicouches.

#### 5.13.1 Nappe alluvionnaire :

La carte alluvionnaire traduit des niveaux piézométriques pendant la période des hautes eaux elle montre une surface inclinée et un écoulement se dirige en deux sens inverse vers les deux oueds Abdi et Bouzina de direction Nord -Est et Sud –Ouest ; où la plaine alluviale est située, les lignes de courant et le sens d'écoulement convergent vers l'exutoire. Donc la carte montre l'alimentation latéral par les calcaires fissurés qui bordent la plaine alluviale.

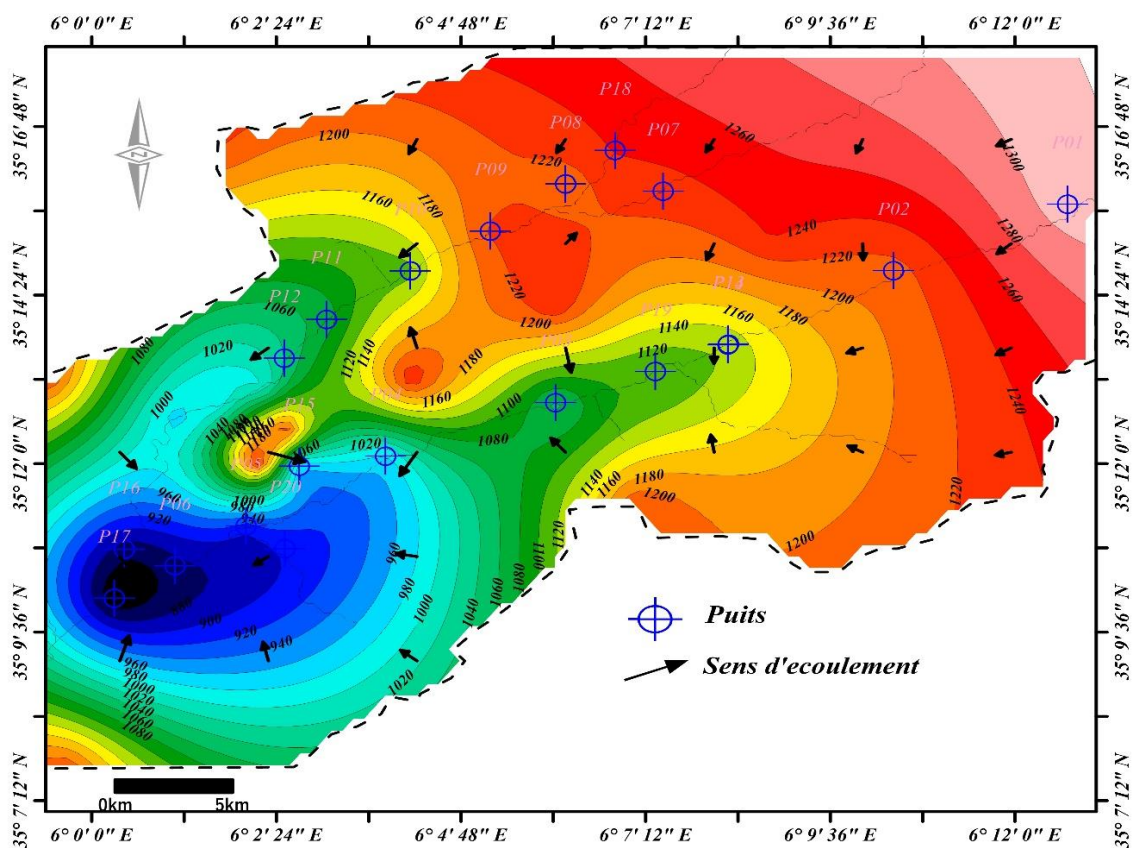


Figure 62:carte piézométrique de la nappe alluvionnaire

5.13.2 Nappe des fissures :

Pour l'établissement de la piézométrie de l'aquifère des fissures, (20) vingt forages ont été retenus (Tableau 27). Ils se positionnent le long du Synclinal d'oued abdi. La carte obtenue (Figure27), montre un écoulement des eaux souterraines qui se fait du nord-est vers le sud-ouest avec un gradient hydraulique de l'ordre de 2%. On distingue sur la carte trois zones de dépression, indiquant des zones de captage intensif, telles que les zones de Theniet l'Abed, Chir, Mena.

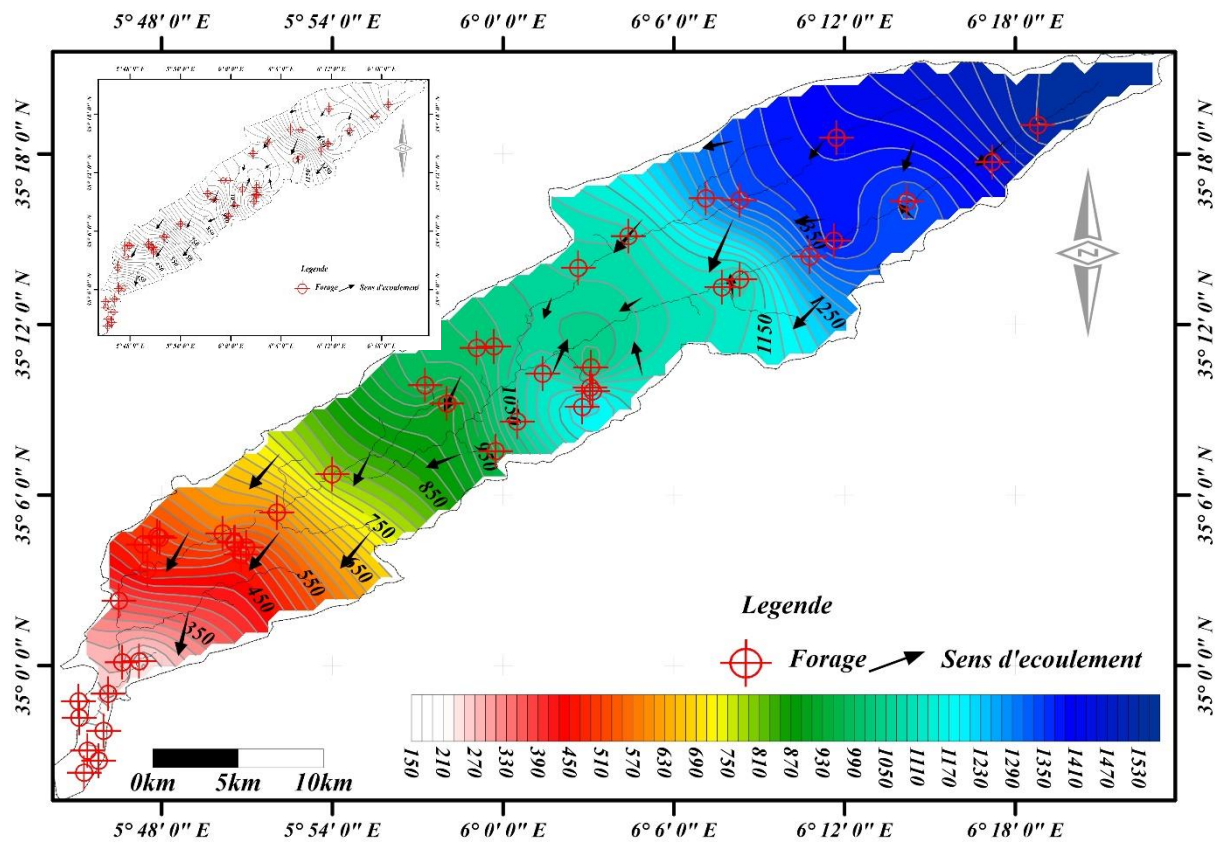


Figure 63: Carte piézométrique de la nappe des fissures

***Chapitre 6 :***  
***hydrodynamique***

## 6 Hydrodynamique

### 6.1 Introduction :

L'objectif de l'étude hydrodynamique est la détermination des propriétés de l'aquifère et mesurer l'effet direct de l'exploitation d'un forage sur l'aquifère.

Un pompage d'essai a deux buts principaux. Tout d'abord, on peut l'exécuter pour déterminer les caractéristiques hydrauliques d'un aquifère. C'est ce qu'on appelle souvent un "essai de nappe" mais on peut aussi exécuter un pompage d'essai pour obtenir des renseignements sur les caractéristiques du puits. (Pompages d'essai, ILRI Wageningen, 1973).

Les essais de pompage sont la méthode classique (et peut-être la seule) pour déterminer in situ les propriétés hydrauliques de l'aquifère, telles que la transmissivité et le coefficient d'emmagasinement, ou pour révéler la présence de limites hydrauliques (Guide pratique pour les essais de pompage de puits, CCIR Suisse, Septembre 2011).

Les types des essais de pompage sont ; l'essai par paliers et l'essai à débit constant et l'essai de remontée ; ce dernier fait après débrancher la pompe lorsque l'un des deux premiers essais sont terminés

Dans notre étude l'interprétation des pompages d'essai (l'essai à débit constant et l'essai de remontée) basé sur les méthodes graphiques d'approximation de la décente selon Jacob (1950) et de la remontée selon THEIS (1935), lesquelles basées sur les hypothèses suivantes :

- Le débit est supposé constant pendant toute la durée du pompage.
- La surface de la nappe est supposée horizontale.
- Le puits complet ou forage captant la nappe sur la totalité de son épaisseur est correctement développé et équipé
- L'écoulement est supposé laminaire et le milieu est homogène et isotrope
- L'aquifère est d'extension illimitée.

Les méthodes utilisées peuvent être résumées comme suit :

A/ Partie -1- lors de la décente ont utilisé l'expression suivante selon JACOB (1935) :

Un Américain JACOB (Université d'Utah) a explicité la fonction de puits en 1950 pour u

Suffisamment petit ( $u < 0,01$ ). Soit :  $t \gg$  longues ( $1/u > 100$ )

Dans la pratique, on utilisera la formule simplifiée de JACOB pour des durées de pompage suffisamment

$$s = 0,183 Q \log[(2,25 T t) / (r^2 S)] / T \quad (26)$$

Le calcul de T et S consiste à porter les valeurs du rabattement observé en fonction du logarithme du temps de pompage, à tracer la droite qui passe au mieux par ces points et relever sur le graphique.

$$T = 0,183 Q / c \quad (27)$$

$$S = 2,25 T t_0 / r^2 \quad (28)$$

Avec : c, pente de la droite (numériquement égale à l'augmentation de s par cycle logarithmique) ; et t<sub>0</sub>, temps correspondant à l'intersection de la droite avec l'axe s = 0.

B/ Partie -2- lors de la remontée ont utilisé l'expression suivante selon la méthode de remontée de THEIS (1935) :

$$S_r = \frac{0,183 \times Q}{t} \times \log \frac{t + t'}{t'} \quad (29)$$

Avec :

$\Delta r$  : Rabattement résiduel mesuré à un instant donné pendant la remontée, en mètre.

t: Temps écoulé depuis le début du pompage, en secondes.

t' : Temps écoulé depuis l'arrêt du pompage (temps de remontée)

Remarque : le coefficient d'emmagasinement n'apparaît pas dans cette expression, on ne peut donc pas le calculer lors de la remontée. (LES ESSAIS DE POMPAGE)

## **6.2 - Essai de pompage au niveau du forage d'Ouled Azouz**

Le forage est situé dans la partie Nord Est du bassin, juste à village d'Ouled Azouz, captant les calcaires du Crétacé moyen. L'essai de pompage est réalisé en 2006 sur trois phases sans piézomètres d'observation. La durée de pompage est de 24 heures Effectués en paliers de long durée d'un débits enchaînés, suivis de l'observation de la remontée durant 130mn. (Tableau 9).

- Coordonnées Lambert du forage : X = 828,600 Y= 230,400 Z= 1570

- Débit de pompage 8 l/s

- Niveau statique 11,5 m,

Les eaux ont une température de 20° C.

. Les données de l'essai sont les suivantes :

**Tableau 28. Pompage d'essai en régime transitoire - Descente et remontée (forage d'Ouled Azouz).**

Temps (s)	Profondeur d'eau (m)		Rabattement		Temps(s)	Profondeur d'eau (m)		Rabattement	
300	21.9		10.4		39600	81.5		70	
600	34.7		23.2		43200	81.5		70	
900	44.15		32.65		46800	81.5		70	
1200	50.5		39		50400	85.1		73.6	
1800	56.7		45.2		54000	85.1		73.6	
2400	59.3		47.8		57600	86.6		75.1	
3600	62.1		50.6		61200	86.6		75.1	
7200	66.2		54.7		64800	88.3		76.8	
10800	69		57.5		68400	88.3		76.8	
14400	71.15		59.65		72000	89.4		77.9	
18000	72.95		61.45		75600	90.5		79	
21600	74.9		63.4		79200	90.5		79	
25200	76.5		65		82800	91.85		80.35	
28800	78.3		66.8		85200	91.85		80.35	
32400	79.6		68.1		86400	92.3		80.8	
36000	80.7		69.2		Arrêt de pompage				
Observation de la remontée									
t (s)	t'	t/t'	P	remontée	t	t'	t/t'	P	remontée
86460	60	1441	92.3	76.5	88500	2100	42.14	32.3	18
86700	300	289	88	49.8	89400	3000	29.80	29.5	15.7
87000	600	145	61.3	37.9	90300	3900	23.15	27.2	13.8
87300	900	97	49.4	27.92	92400	6000	15.40	25.3	10.9
87600	1200	73	39.42	23.7	94200	7800	12.08	22.4	9.6
87900	1500	58.60	35.2	20.8	Arrêt de remonté				

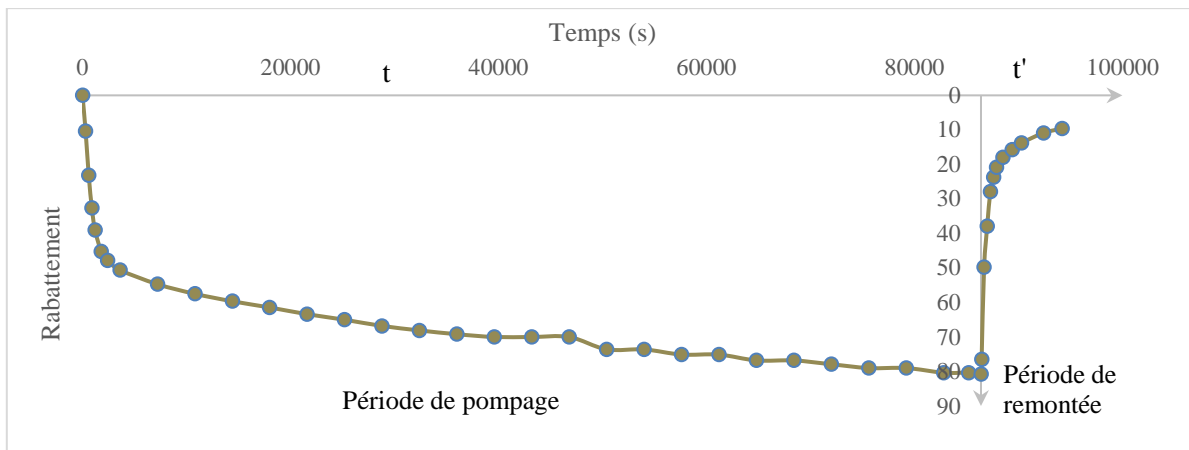


Figure 64: Pompage d'essai : Graphe de la décente /remontée (forage d' Ouled Azouz).

6.2.1 L'essai de la décente

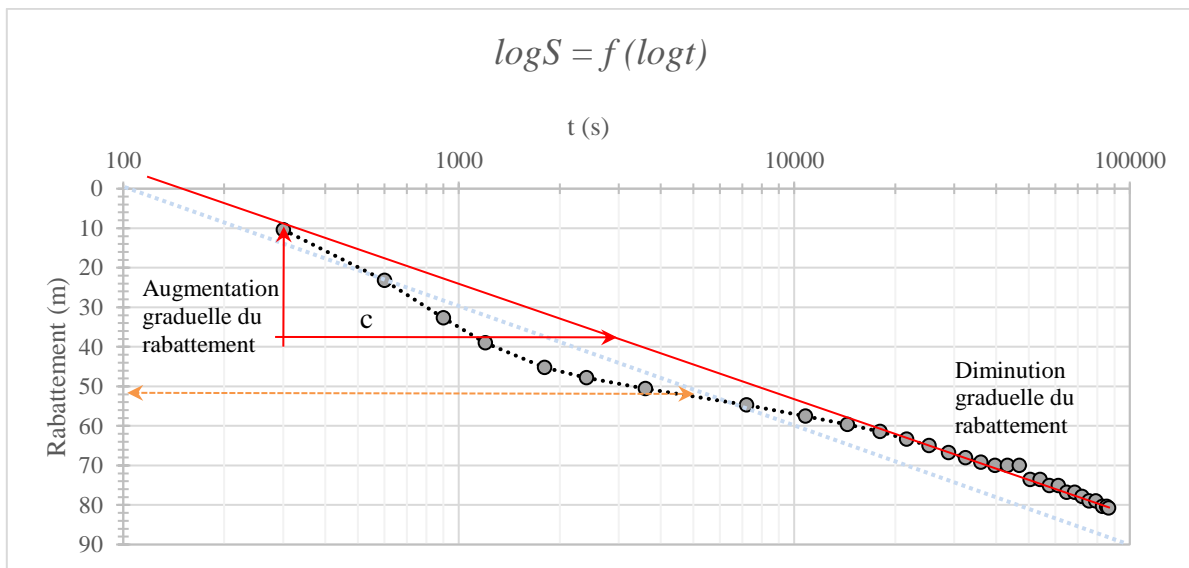


Figure 65: Pompage d'essai : Droite de la descente du forage d'Ouled Azouz

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

$$\text{est de : } T = \frac{0.183 \times Q}{C}$$

La première pente, sur le graphique « descente » donne :

$C = 37.5 - 10 = 27.5 \text{ m}$  ;  $Q$  : le débit de pompage = 12 l/s ce qui fait  $0.012 \text{ m}^3/\text{s}$ . donc

$$T = \frac{0.183 \times 0.012}{27.5} = 7.98545 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}.$$

La courbe montre deux tronçons graphiques, sur la première on remarque qu'il ya une augmentation graduelle du rabattement ce qu'indique que les caractéristiques de l'aquifère peu profondes sont moins bonnes loin et meilleures près du forage ; Cela peut être dû au fait d'un cône de dépression, ou que les parties peu profondes de l'aquifère et ou d'une fracture sont dénoyées.

La deuxième partie correspond à une diminution graduelle et régulière du rabattement en fonction du temps ce qui nous permet de tracer une droite de pente  $C = 27.5$ . Le calcul de la transmissivité donne :  $T = 7.98545 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ .

La diminution graduelle c'est un signe de l'infiltration ça veut dire que l'aquifère reçoit de l'eau d'une autre source, ou il ya une limite d'alimentation par les réserves de la nappe et peut aussi une drainance. Cette limite apparaît après 5000 secondes du démarrage de pompage.

(La transmissivité devrait être mesurée avec les données relevées avant l'apparition de l'infiltration. (CCIR Suisse, Septembre 2011)).

### 6.2.2 L'essai de la remontée

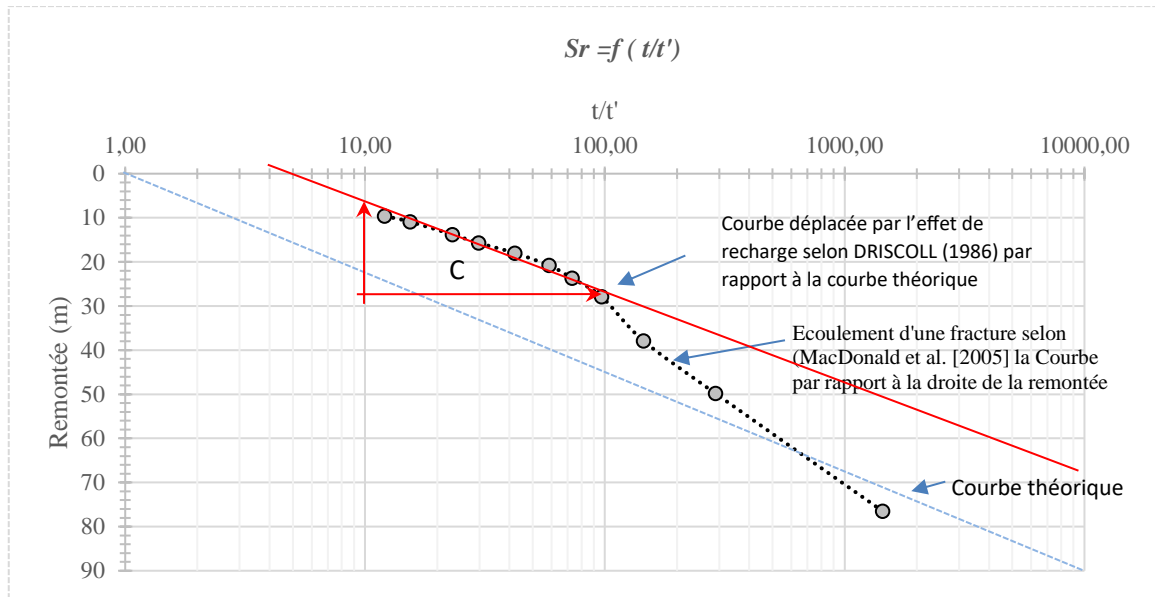


Figure 66: Pompage d'essai : Droite de la remontée du forage d'Ouled Azouz

L'équation de la remontée est comme suit :  $S_r = \frac{0.183 \times Q}{t} \times \log \frac{t + t'}{t'}$

- $S_r$  : est le rabattement résiduel mesuré instantanément après l'arrêt de pompage
- $t$  : temps écoulé depuis le début de pompage en secondes
- $t'$  : temps écoulé depuis l'arrêt de pompage.

$$C = 28 - 6 = 22 \text{ m} \quad T = \frac{0.183 \times 0.012}{22} = 9.98182 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}.$$

La courbe de la remontée met en évidence deux phases ; La première où la remontée est régulière traduisant une remontée normale de la nappe, la droite représentative a pour pente  $C=22$  d'où  $T = 9.98182 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ . La deuxième phase où la courbe présente une pente très grande. La valeur moyenne entre les deux valeurs de la transmissivité  $T = 8.98364 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ .

### 6.3 - Essai de pompage au niveau du forage Taghit

Le forage est situé dans la partie Sud Est du bassin, juste à village de Taghit, L'essai de pompage est réalisé en 28/09/2021 sur trois phases sans piézomètres d'observation. La durée de pompage est de 72 heures avec un débit de 4 l/s, suivis de l'observation de la remontée durant 2mn. (Tableau 10).

- Coordonnées Lambert du forage : X = 828,600 Y= 230,400 Z= 1570

- Débit de pompage 8 l/s

- Niveau statique 98 m,

Les eaux ont une température de 20° C.

Les données de l'essai sont les suivantes :

**Tableau 29: Pompage d'essai en régime transitoire - Descente et remontée (forage de Taghit).**

Temps (s)	Profondeur d'eau (m)	Rabat tement	Temps (s)	Profondeur d'eau (m)	Rabat tement	Temps(s)	Profondeur d'eau (m)	Rabat tement
300	98	1	61200	100.5	3.5	165600	102.2	5.2
600	98	1	64800	100.6	3.6	169200	102.2	5.2
900	98	1	68400	100.6	3.6	172800	102.34	5.34
1200	98	1	72000	100.7	3.7	176400	102.4	5.4
1500	98	1	75600	100.8	3.8	180000	102.5	5.5
1800	98	1	79200	100.8	3.8	183600	102.6	5.6
2400	98	1	82800	100.8	3.8	187200	102.7	5.7
3000	98	1	86400	100.85	3.85	190800	102.8	5.8
3600	97.6	0.6	90000	100.9	3.9	194400	102.9	5.9
4500	97.6	0.6	93600	100.9	3.9	198000	103	6
5400	97.6	0.6	97200	100.9	3.9	201600	103.1	6.1
6300	97.5	0.5	100800	100.95	3.95	205200	103.2	6.2
7200	97.4	0.4	104400	101	4	208800	103.3	6.3
9000	97.2	0.2	108000	101.15	4.15	212400	103.4	6.4
10800	97.2	0.2	111600	101.15	4.15	216000	103.48	6.48
14400	97.1	0.1	115200	101.2	4.2	219600	103.6	6.6
18000	97.7	0.7	118800	101.25	4.25	223200	103.7	6.7
21600	98.6	1.6	122400	101.3	4.3	226800	103.8	6.8

25200	98.5	1.5	126000	101.4	4.4	230400	103.9	6.9
28800	98.4	1.4	129600	101.5	4.5	234000	103.94	6.94
32400	98.3	1.3	133200	101.6	4.6	237600	104	7
36000	98.2	1.2	136800	101.6	4.6	241200	104.1	7.1
39600	98.1	1.1	140400	101.7	4.7	244800	104.2	7.2
43200	100	3	144000	101.7	4.7	248400	104.3	7.3
46800	100.1	3.1	147600	101.8	4.8	252000	104.3	7.3
50400	100.2	3.2	151200	101.85	4.85	255600	104.3	7.3
54000	100.3	3.3	154800	101.9	4.9	259200	104.3	7.3
57600	100.4	3.4	158400	102	5	Arrêt de pompage		

Observation de la remontée									
t (s)	t'	t/t'	P	remontée	t	t'	t/t'	P	remontée
259800	600	433.00	102.4	5.4	288000	28800	10.00	99.98	2.98
260100	900	289.00	102.3	5.3	291600	32400	9.00	99.87	2.87
260400	1200	217.00	102.1	5.1	295200	36000	8.20	99.5	2.5
260700	1500	173.80	101.9	4.9	298800	39600	7.55	98.8	1.8
261000	1800	145.00	101.95	4.95	302400	43200	7.00	98.8	1.8
261600	2400	109.00	101.8	4.8	306000	46800	6.54	98.75	1.75
262200	3000	87.40	101.7	4.7	309600	50400	6.14	98.7	1.7
262800	3600	73.00	101.67	4.67	313200	54000	5.80	98.65	1.65
263700	4500	58.60	101.64	4.64	316800	57600	5.50	98.5	1.5
264600	5400	49.00	101.61	4.61	320400	61200	5.24	98.4	1.4
265500	6300	42.14	101.58	4.58	324000	64800	5.00	98.3	1.3
266400	7200	37.00	101	4	327600	68400	4.79	98.3	1.3
268200	9000	29.80	101	4	331200	72000	4.60	98.3	1.3
270000	10800	25.00	101	4	334800	75600	4.43	98.2	1.2
273600	14400	19.00	100	3	338400	79200	4.27	98.15	1.15
277200	18000	15.40	100	3	342000	82800	4.13	98.15	1.15
280800	21600	13.00	99.98	2.98	345600	86400	4.00	98	1
284400	25200	11.29	99.98	2.98	Arrêt de remontée				

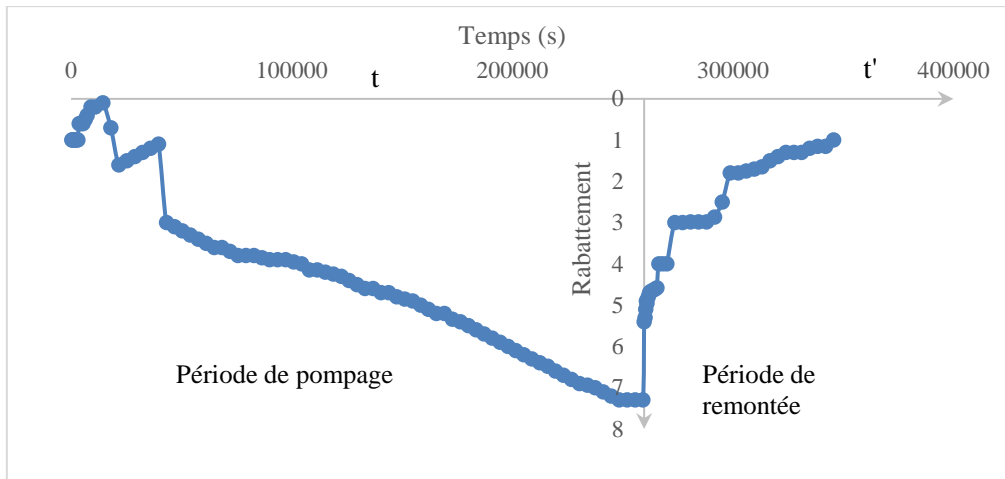


Figure 67: Pompage d'essai : Graphe de la descente /remontée (forage de Taghit).

### 6.3.1 L'essai de la descente

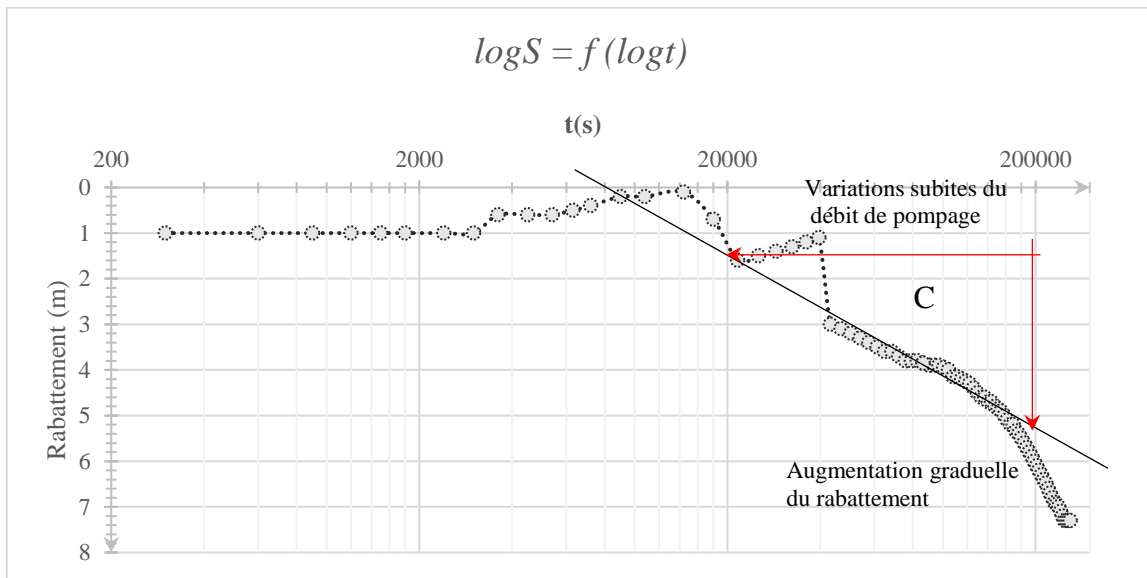


Figure 68: Pompage d'essai : Droite de la descente (forage de Taghit).

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

$$\text{est de : } T = \frac{0.183 \times Q}{C}$$

La première pente, sur le graphique « descente » donne :

$C = 5.2 - 1.6 = 3.6\text{m}$  ;  $Q$  : le débit de pompage = 4 l/s ce qui fait  $0.004\text{ m}^3/\text{s}$ . donc

$$T = \frac{0.183 \times 0.004}{3.6} = 2.03 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}.$$

La courbe montre qu'il ya une augmentation graduelle du rabattement ; cela peut être dû au fait d'un cône de dépression, ou que les parties peu profondes de l'aquifère et ou d'une fracture sont dénoyées.

La droite de pente C = 3.6 Le calcul de la transmissivité donne :  $T = 2.03 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ .

### 6.3.2 L'essai de la remontée

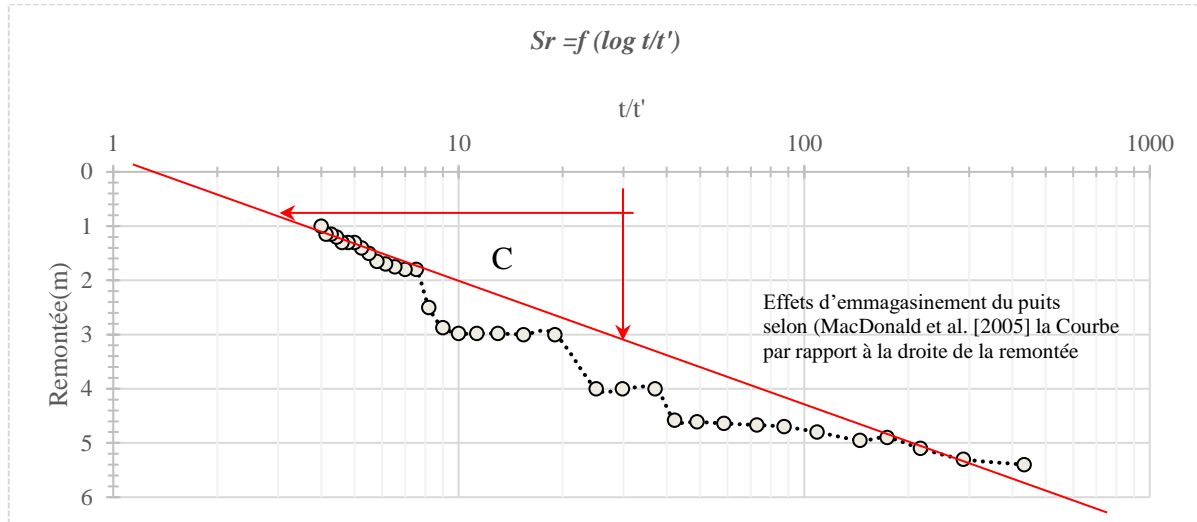


Figure 69: Pompage d'essai : Droite de la remontée du (forage de Taghit).

L'équation de la remonté est comme suit :  $Sr = \frac{0.183 \times Q}{t} \times \log \frac{t + t'}{t'}$

- Sr : est le rabattement résiduel mesuré instantanément après l'arrêt de pompage
- t : temps écoulé depuis le début de pompage en secondes
- t' : temps écoulé depuis l'arrêt de pompage.

$$C = 3.1 - 0.8 = 2.3 \quad T = \frac{0.183 \times 0.004}{2.3} = 3.18 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}.$$

En comparaison la Courbe par rapport à la droite de la remontée, La courbe de la remontée met en évidence un effets d'emmagasinement du puits selon (MacDonald et al. [2005] la droite représentative a pour pente C=2.3 d'où  $T = 3.18 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ . La valeur moyenne entre les deux valeurs de la transmissivité (décente /remontée)  $T = 2.2608 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ .

#### 6.4 - Essai de pompage au niveau du forage de Chir.

Le forage est situé dans la partie Sud Est de la route nationale N°87 au Sud-Ouest du siège de L'APC de Chir, l'essai de pompage est réalisé en deux phases sans piézomètres d'observation. La durée de pompage est de 90heures avec un débit de 6 l/s, (Tableau 11).

- Coordonnées Lambert du forage : X=809.277      Y=217.889      Z=1088

- Débit de pompage 6 l/s

- Niveau statique 41 m,

Les données de l'essai sont les suivantes :

**Tableau 30:Les données d'essai de pompage du forage de Chir.**

Temps (s)	Profondeur d'eau (m )	Rabat tement	Temps (s)	Profondeur d'eau (m )	Rabat tement	Temps(s)	Profondeur d'eau (m )	Rabat tement
3600	49.36	8.36	111600	50.54	9.54	219600	51.12	10.12
7200	49.39	8.39	115200	50.57	9.57	223200	51.13	10.13
10800	49.42	8.42	118800	50.6	9.6	226800	51.14	10.14
14400	49.45	8.45	122400	50.63	9.63	230400	51.15	10.15
18000	49.48	8.48	126000	50.67	9.67	234000	51.16	10.16
21600	49.51	8.51	129600	50.71	9.71	237600	51.17	10.17
25200	49.55	8.55	133200	50.74	9.74	241200	51.18	10.18
28800	49.58	8.58	136800	50.77	9.77	244800	51.19	10.19
32400	49.61	8.61	140400	50.8	9.8	248400	51.21	10.21
36000	49.64	8.64	144000	50.83	9.83	252000	51.23	10.23
39600	49.68	8.68	147600	50.85	9.85	255600	51.25	10.25
43200	49.7	8.7	151200	50.88	9.88	259200	51.27	10.27
46800	49.75	8.75	154800	50.9	9.9	262800	51.29	10.29
50400	49.8	8.8	158400	50.93	9.93	266400	51.3	10.3
54000	49.85	8.85	162000	50.9	9.9	270000	51.32	10.32
57600	49.9	8.9	165600	50.91	9.91	273600	51.33	10.33
61200	49.95	8.95	169200	50.92	9.92	277200	51.34	10.34
64800	50	9	172800	50.92	9.92	280800	51.35	10.35
68400	50.05	9.05	176400	50.93	9.93	284400	51.37	10.37

72000	50.1	9.1	180000	50.93	9.93	288000	51.38	10.38
75600	50.15	9.15	183600	50.94	9.94	291600	51.4	10.4
79200	50.2	9.2	187200	50.95	9.95	295200	51.4	10.4
82800	50.25	9.25	190800	50.96	9.96	298800	51.43	10.43
86400	50.3	9.3	194400	50.97	9.97	302400	51.44	10.44
90000	50.35	9.35	198000	50.98	9.98	306000	51.46	10.46
93600	50.4	9.4	201600	50.99	9.99	309600	51.47	10.47
97200	50.45	9.45	205200	51	10	313200	51.49	10.49
100800	50.5	9.5	208800	51.02	10.02	316800	51.51	10.51
104400	49.36	8.36	212400	51.04	10.04	320400	51.53	10.53
108000	49.39	8.39	216000	51.06	10.06	324000	51.55	10.55
Arrêt de pompage								

### 6.4.1 L'essai de la décente

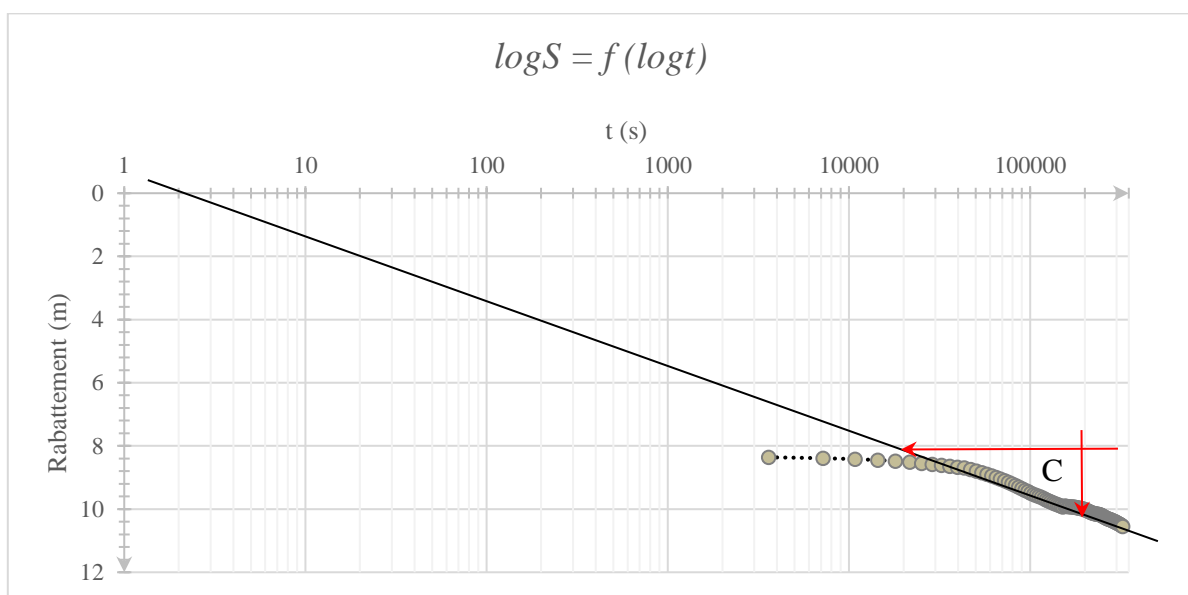


Figure 70: Pompage d'essai : Droite de la descente (forage de Chir).

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

$$\text{est de : } T = \frac{0.183 \times Q}{C}$$

La première pente, sur le graphique « descente » donne :

$C = 10.25 - 8.25 = 2\text{ m}$  ;  $Q$  : le débit de pompage = 4l/s ce qui fait 0.004 m<sup>3</sup>/s. donc

$$T = \frac{0.183 \times 0.004}{2} = 3.66 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}.$$

La courbe correspond à une augmentation régulière du rabattement en fonction du temps, ce qui nous permet de tracer une droite de pente  $C = 2$ . Le calcul de la transmissivité donne :

$$T = 3,66.10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

### 6.5 - Essai de pompage au niveau du forage de Chelma (Menaar) :

Un pompage d'essai a été exécuté au niveau de forage de Chelma est réalisé en deux phases à 2006 qui porte les coordonnées suivantes :

- Coordonnées Lambert du forage : X=805.350      Y=213.800      Z=1030m
- Débit de pompage 10 l/s
- Niveau statique 11.5 m,

Les données de l'essai sont les suivantes :

**Tableau 31: Les données d'essai de pompage du forage de Chelma (Menaar) .**

Temps (s)	Profondeur d'eau (m)	Rabattement	Temps(s)	Profondeur d'eau (m)	Rabattement
300	42	12.3	54000	49.43	19.73
600	45	15.3	57600	49.5	19.8
900	46.35	16.65	61200	49.58	19.88
1200	47.05	17.35	64800	49.64	19.94
1800	47.87	18.17	68400	49.72	20.02
2400	48.07	18.37	72000	49.79	20.09
3000	48.39	18.69	75600	49.86	20.16
3600	48.6	18.9	79200	49.91	20.21
7200	48.75	19.05	82800	49.98	20.28
10800	48.85	19.15	86400	50.06	20.36
14400	48.92	19.22	93600	50.25	20.55
18000	49.02	19.32	100800	50.35	20.65
21600	49.1	19.4	108000	50.42	20.72
25200	49.15	19.45	115200	50.45	20.75
28800	49.18	19.48	122400	50.48	20.78

32400	49.22	19.52	129600	50.62	20.92				
36000	49.25	19.55	136800	50.67	20.97				
39600	49.3	19.6	144000	50.71	21.01				
43200	49.33	19.63	151200	50.74	21.04				
46800	49.35	19.65	158400	50.85	21.15				
50400	49.4	19.7	165600	50.93	21.23				
Arrêt de pompage (Observation de la remontée)									
t (s)	t'	t/t'	P	remontée	t	t'	t/t'	P	remontée
180300	300	601.00	51	7.05	205200	25200	8.14	30.9	1.16
180600	600	301.00	36.75	4.98	208800	28800	7.25	30.86	1.14
180900	900	201.00	34.68	4.25	212400	32400	6.56	30.84	1.09
181200	1200	151.00	33.95	3.9	216000	36000	6.00	30.79	1.06
181800	1800	101.00	33.6	3.4	219600	39600	5.55	30.76	1.02
182400	2400	76.00	33.1	3.05	225000	45000	5.00	30.72	0.99
183000	3000	61.00	32.75	2.84	226800	46800	4.85	30.69	0.97
183600	3600	51.00	32.54	2.65	230400	50400	4.57	30.67	0.96
187200	7200	26.00	32.35	1.98	234000	54000	4.33	30.66	0.95
190800	10800	17.67	31.68	1.75	237600	57600	4.13	30.65	0.92
194400	14400	13.50	31.45	1.55	241200	61200	3.94	30.62	0.88
198000	18000	11.00	31.25	1.37	244800	64800	3.78	30.58	0.85
201600	21600	9.33	31.07	1.2	205200	Arrêt de remonté			

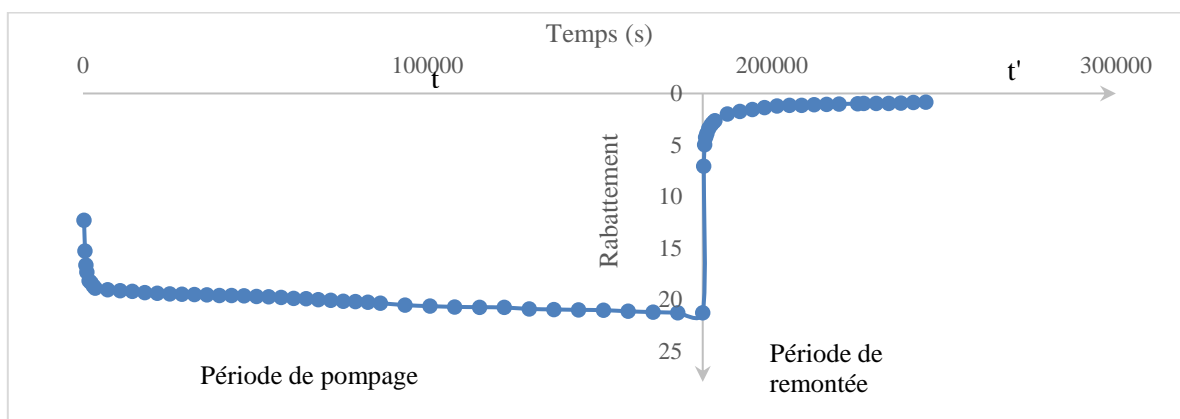
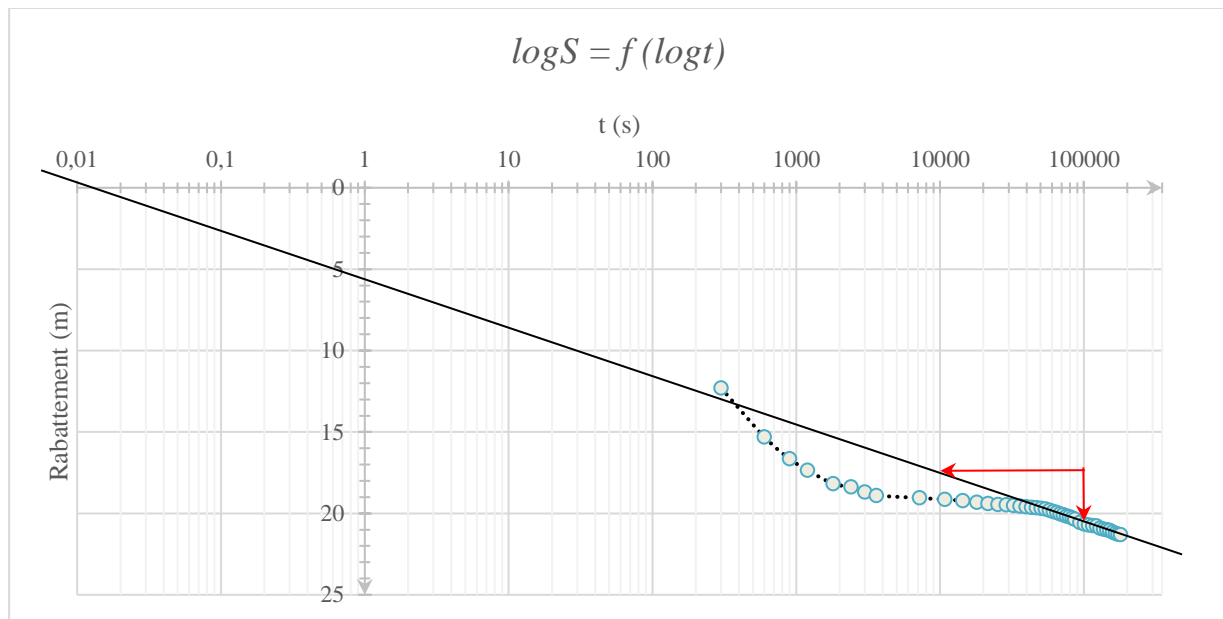


Figure 71: Pompage d'essai : Graphe de la décente /remontée (forage de Chir).

## 6.5.1 L'essai de la décente



**Figure 72::Pompage d'essai : Droite de la descente (forage de Chelma).**

Selon l'approximation de C. Jacob, mentionnée ci-dessus. La valeur de la transmissivité est de :  $T = \frac{0.183 \times Q}{C}$  La première pente, sur le graphique « descente » donne :

$C = 21 - 17.5 = 3.5 \text{ m}$  ;  $Q$  : le débit de pompage = 10 l/s ce qui fait  $0.01 \text{ m}^3/\text{s}$ . donc

$$T = \frac{0.183 \times 0.01}{3.5} = 5.23 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}.$$

La droite va être prise comme droite représentative d'une nappe illimitée, correspond à une augmentation régulière du rabattement en fonction du temps, ce qui nous permet de tracer une droite de pente  $C = 3.5$  Le calcul de la transmissivité donne :  $T = 5.23 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ .

## 6.5.2 L'essai de la remontée

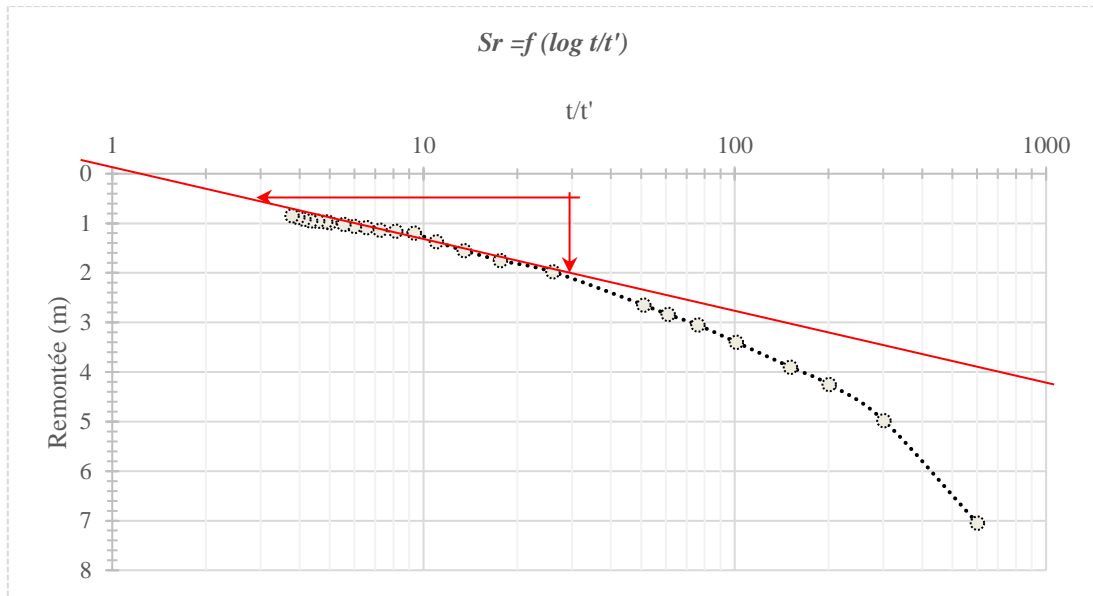


Figure 73: Pompage d'essai : Droite de la remontée du (forage de Chelma).

L'équation de la remontée est comme suit :  $Sr = \frac{0.183 \times Q}{t} \times \log \frac{t + t'}{t'}$

- Sr : est le rabattement résiduel mesuré instantanément après l'arrêt de pompage
- t : temps écoulé depuis le début de pompage en secondes
- t' : temps écoulé depuis l'arrêt de pompage.

$$C = 3.1 - 0.8 = 2.3 \text{ m} \quad T = \frac{0.183 \times 0.004}{2.3} = 3.18 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}.$$

En comparaison la Courbe par rapport à la droite de la remontée, La courbe de la remontée augmente ce qui met en évidence un effets d'infiltrations d'un autres aquifères selon (Mac Donald et al. [2005] la droite représentative a pour pente  $C=1.4$  d'où  $T= 1.31 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ .

La valeur moyenne entre les deux valeurs de la transmissivité (décente /remontée)

$$T = 9.15 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}.$$

**6.6 Conclusion :**

Généralement l'écoulement des eaux dans la nappe de surface et dans l'aquifère profond ; d'après les cartes piézométriques synthétiques de notre zone d'étude, se fait de direction Nord–Est vers le Sud-Ouest.

Les essais de pompages effectués au niveau de l'aquifère profond des calcaire et calcaire gréseux nous donnent des valeurs de transmissivité qui varie de  $10^{-5}$  à  $10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s.

***Chapitre 7 :***  
***Hydrochimie***

## 7 hydrochimie

### 7.1 Introduction:

L'hydrochimie a pour but d'étudier les relations de l'eau souterraine et superficielle avec l'environnement où elle se trouve. Les terrains naturels contiennent des sels plus ou moins solubles, certains minéraux s'altèrent au contact de l'eau. Ainsi le chimisme des eaux souterraines dépend essentiellement de la composition géologique des milieux traversés et du temps de séjours. Certaines minéraux et roches tels que les calcaires ( $\text{CaCO}_3$ ), l'anhydrite ( $\text{CaSO}_4$ ), le sel gemme ( $\text{NaCl}$ ) le gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) la dolomie ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), se dissolvent dans l'eau avec des coefficients de solubilité différents, L'oxydation se produit au contact air-eau prennent naissance des sulfures et d'autres oxydes ferreux ou manganés. Ainsi l'acide carbonique résultant de la dissolution du gaz carbonique provenant de l'atmosphère ou des sols .

Le sol dans les régions à climat semi-aride n'est pas assez développé pour jouer le rôle de producteur de gaz carbonique, agent principal dans le phénomène de dissolution des calcaires. Dès que l'eau de pluie pénètre dans le sol, elle se trouve en contact de différents gaz ayant une solubilité proche, tels que  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2$ , He,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_3$  (H. Schoeler, 1959).

La qualité chimique des eaux très importante pour étudier les des deux aquifères ; superficielles alluvionnaires et profond fissurés des systèmes calcaires multicouches du bassin versant d'Oued abdi.

### 7.2 Les points de prélèvement et d'échantillonnage (Fig. 29) :

Dans ce chapitre nous allons interpréter les données des analyses physicochimiques d'un aquifère fissurés, obtenu auprès des établissements hospitaliers pour l'année 2020/2021 dans le cadre du suivi de la qualité de l'eau physicochimiques et biologiques par les communes de la zone d'étude.

Les propriétés prises en compte sont physiques : Conductivité, résidu sec et le pH) et chimiques, ce sont les ions : les cations ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) et les anions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ).

### 7.3 Origine des eaux :

L'alimentation latéral par les calcaires fissurés qui bordent les plaines alluviale d'Oued abdi est très complexe et c'est la plus considérée ; par contre l'alimentation directe par les précipitations est faible.

- Les eaux des sources s'écoulent dans des formations identifiant les calcaires, des grès, sable et poudingues vers les Alluvions, cailloutis, éboulis, loutis de calcaires, grès, argiles et limons

de Mio-plio-quaternaire avec épaisseur de 15 à 20 mètre, dans certaines zones, il peut atteindre 80 m.

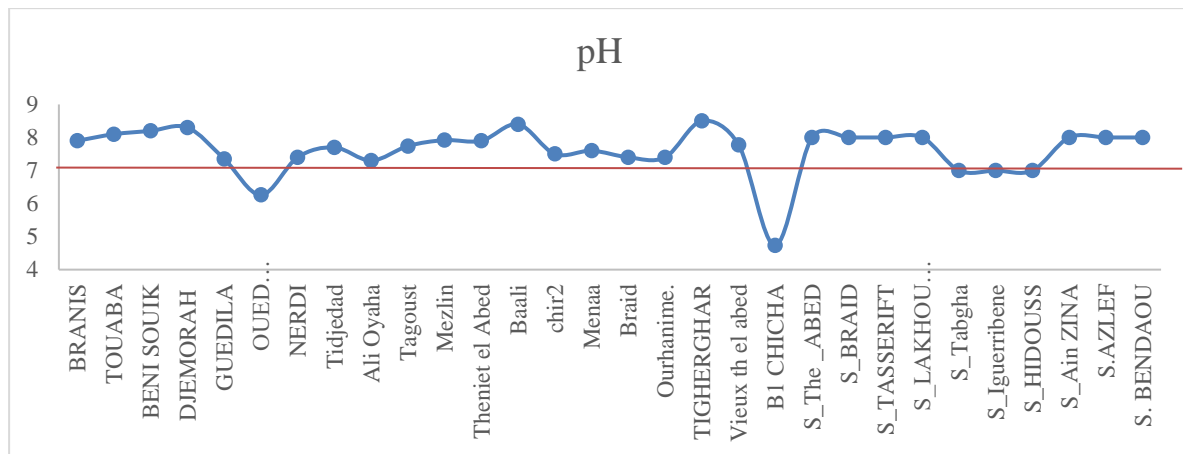
#### 7.4 Etude des paramètres physiques et chimiques :

##### 7.4.1 Paramètres physiques :

###### 7.4.1.1 Potentiel hydrogène pH :

Il s'agit d'un paramètre capital pour le calcul des équilibres thermodynamiques, c'est l'activité des ions d'hydrogène ( $H^+$ ) contenus dans l'eau (déterminant l'acidité ou la basicité d'une solution), Généralement les valeurs du pH augmentent pendant les périodes pluvieuses, cette augmentation peut être attribuée au gaz carbonique qui charge les eaux d'infiltration à travers les différentes couches du sol.

\*le graph du potentiel hydrique (pH) (**Fig. 1**), montre des valeurs variant entre 6.5 et 8.5 et que la plus parties des points d'eau sont dans les normes de la potabilité, sauf que au niveau de forage de CHICHA le pH inférieur à 7 ça peuvent provoquer une corrosion des canalisations.



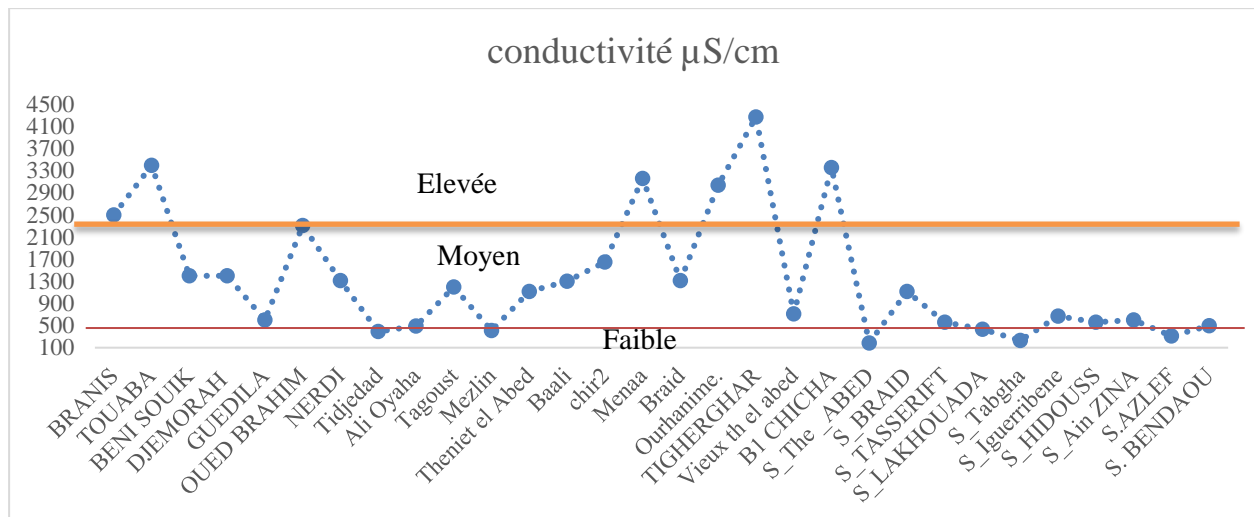
**Figure 74: Graphe des potentiels hydrique (pH).**

#### 7.4.1.2 Conductivité électrique :

La conductivité électrique permet d'évaluer de façon globale la teneur en sel dissous dans l'eau, c'est à dire la concentration totale de la nature des ions présentés dans l'eau.

La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau. Elle dépend avant tout de la nature géochimique des formations aquifères en particulier les substances rendues solubles par l'altération des roches, elle donne en plus une estimation proche de la minéralisation des eaux. La minéralisation accroît avec l'augmentation de la teneur de l'eau en sels dissous, sa variation est régie par plusieurs facteurs :

- évaporation importante liée à l'approximation de la surface
- temps de séjour et échange eaux -encaissants
- sens général d'écoulement de la nappe
- échange avec nappes adjacentes



**Figure 75: Classification de degré de minéralisation à partir de la conductivité électrique**

La conductivité oscille entre 186 µS/cm et 4275 µS/cm, les résultats montrent une élévation remarquable dans la partie centre du terrain (3300– 4100 µS/cm) et les zones Moyennement minéralisé sont localisées dans la partie Est et la partie sud du terrain à l’exception du certains forages au niveau de source Azlef, Lakhouada et Chicha ou le degré de minéralisation est très faible.

**7.4.1.3 Résidus secs :**

Le résidu sec fluctue entre 198 µs/cm et 3500 µs/cm, les valeurs élevées de résidu sec (>1500 mg/L) sont localisées dans la partie centrale et occidentale du terrain, notamment le forage ourhanime, il s’agit d’une eau riche en minéraux la plupart des valeurs sont intermédiaires comprises entre 500mg/L et 1500mg/L donc ne posent aucun problème et de bonne qualité.

Les valeurs inférieures à 500 mg/L sont peu minéralisées et donc de bonne qualité, et peuvent être utilisées sans précautions.

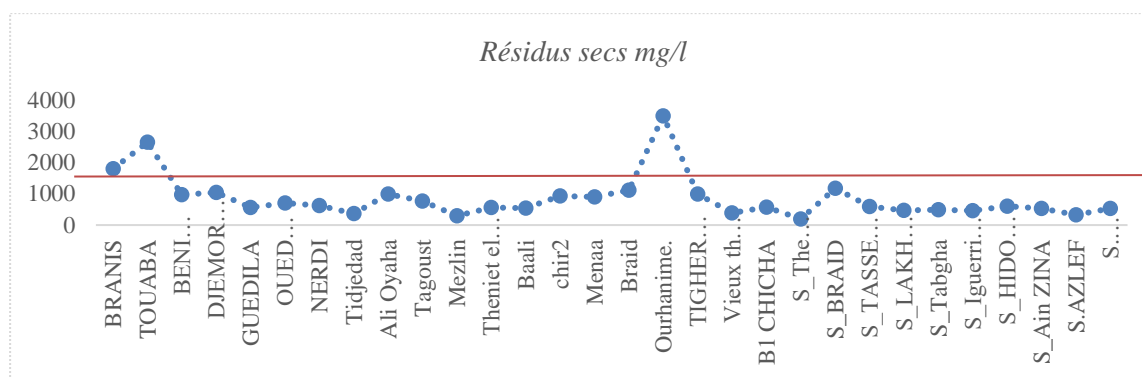


Figure 76: Graphe des résidus secs

### 7.4.2 Paramètres chimique

#### 7.4.2.1 Statistique élémentaire :

En calculant la moyenne et l'écart type de tous les éléments chimiques, ce qui nous permet de déterminer la relation entre ces éléments.

On concentre sur des échantillons d'aquifères profond des calcaires fissurés, d'après ce qui est montré le tableau 1et le fig. 3, on note respectivement que le Calcium, Sulfate, Bicarbonate, et le sodium présentent les valeurs moyennes les plus élevées.

Tableau 32: Caractéristiques statistiques des éléments chimique majeurs

Paramètre meq/l	HCO3-	Cl-	NO3-	rSO4--	Ca++	Mg++	Na+	K+
max	8.16	8.03	0.68	9.71	9.69	4.92	8.91	2.85
min	1.50	0.14	0.00	1.13	2.40	0.01	0.13	0.00
moyen	3.53	1.90	0.18	3.90	5.49	1.08	2.45	0.39
écart type	1.15	1.32	0.13	1.92	1.88	1.14	1.90	0.48

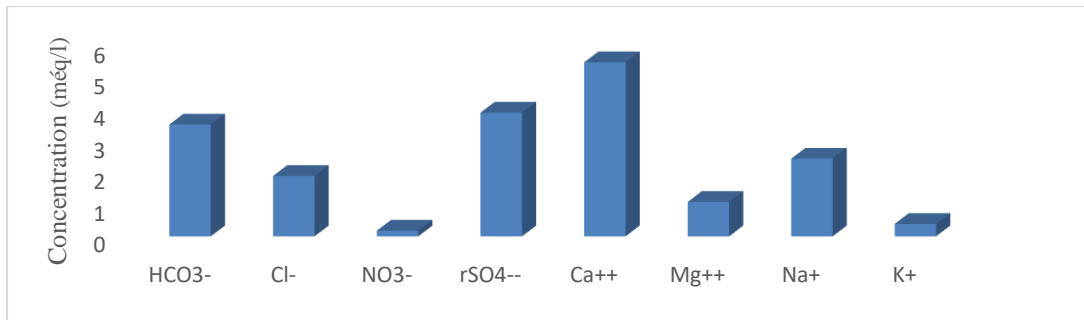


Figure 77: Moyennes des éléments majeurs

7.4.2.2 **-Faciès chimique des eaux :** Afin de déterminer dans l'eau analysée les éléments les plus dominantes.

7.4.2.2.1 **Apports des rapports : Ca<sup>++</sup> /Na<sup>+</sup> SO<sub>4</sub><sup>-</sup> /Hco<sub>3</sub><sup>-</sup> :**

Les familles identifiées à travers des apports des rapports (fig4) sont trois, chaque famille correspond à un faciès chimique. On note que les familles des faciès chimiques les plus dominantes sont soit sulfaté calcique, soit bicarbonaté calcique. De plus, les faciès chlorurés sodique et bicarbonaté magnésien chacun n'est représenté que par un seul point.

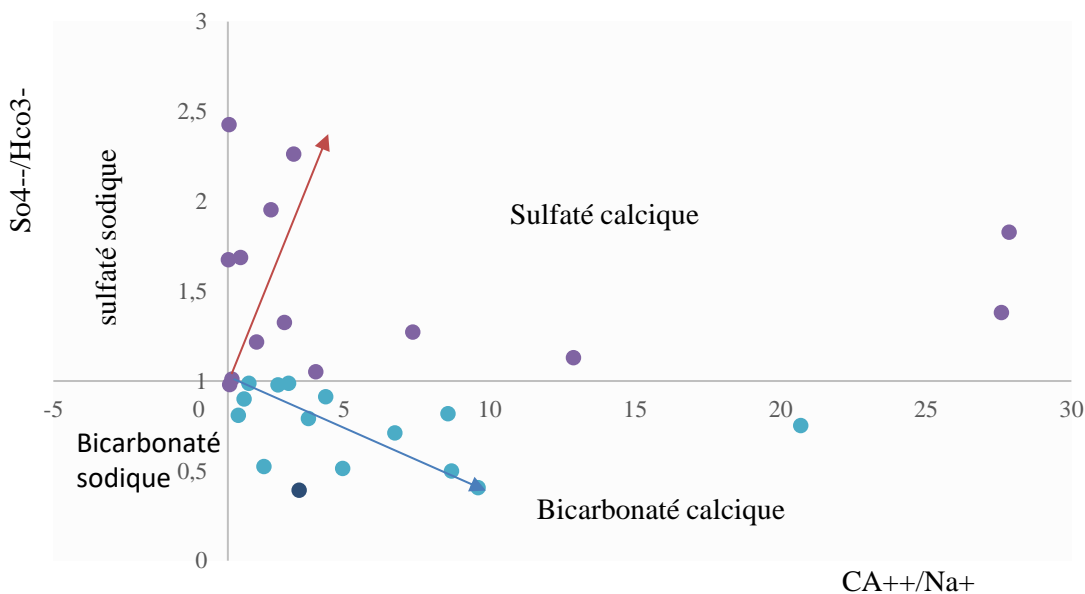


Figure 78: Faciès chimiques de la nappe des fissuré.

a) **Formule ionique des faciès chimique principale :**

Sulfaté calcique :  $r_{SO_4} > r_{HCO_3} > r_{Cl} > r_{NO_3} \quad r_{Ca^{++}} > r_{Na^+} > r_{K^+} > r_{Mg^{++}}$

Bicarbonaté calcique :  $r_{HCO_3} > r_{SO_4} > r_{Cl} > r_{NO_3} \quad r_{Ca^{++}} > r_{Na^+} > r_{K^+} > r_{Mg^{++}}$

**b) Formule ionique des faciès chimique secondaire :**

chlorurée sodique :  $rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rNO_3^-$   $rNa^+ > rCa^{2+} > rMg^{2+} > rK^+$

Bicarbonaté magnésien :  $rHCO_3^- > rSO_4^{2-} > rNO_3^- > rCl^-$   $rMg^{2+} > rCa^{2+} > rNa^+ > rK^+$

**7.4.2.2.2 Durov Diagram**

Diagramme de Durov des eaux souterraines indiquent les zones de types d'eau et les processus hydrogéochimiques possibles, Durov visualiser les ions majeurs dans deux graphiques ternaires (trilinéaires) qui forment une projection bidimensionnelle supplémentaire.

D'après le diagramme de Durov ci-dessous, qui nous permet de tirer cinq conclusions très importantes pour le comportement ionique dans la zone d'étude :

Les familles des faciès chimiques les plus dominantes sont sulfaté calcique, et bicarbonaté calcique Mélange et réactions inverses d'échange des cations ; dissolution de la calcite et du gypse ; mélanger des réactions des différentes origines ; infiltration des eaux de faciès Bicarbonaté calcique  $HCO_3^-_{Ca^{2+}}$ .

Tout cela confirme l'écoulements avec tous les échanges verticaux des eaux souterraines dans l'aquifère en se connectant à travers des fissures.

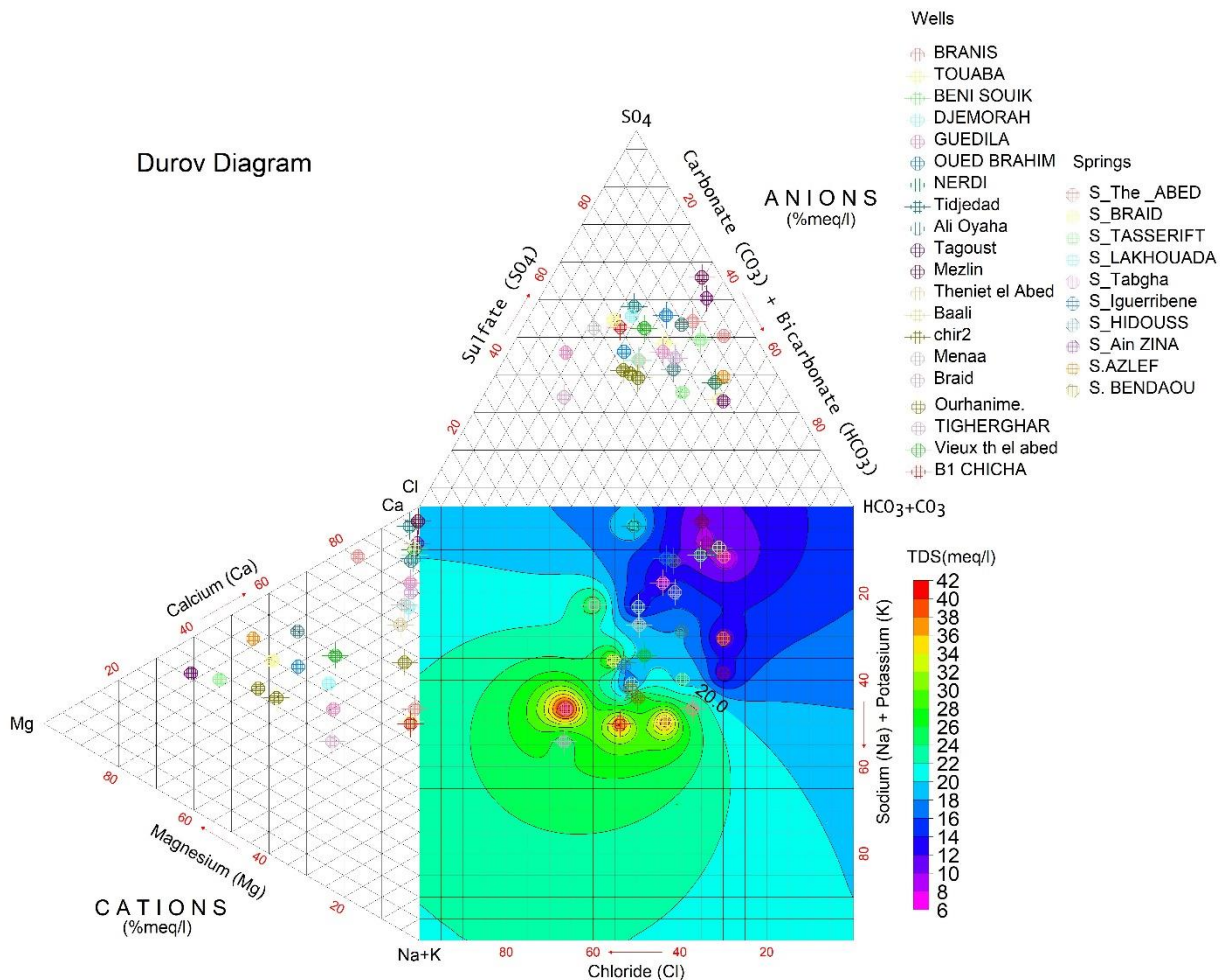
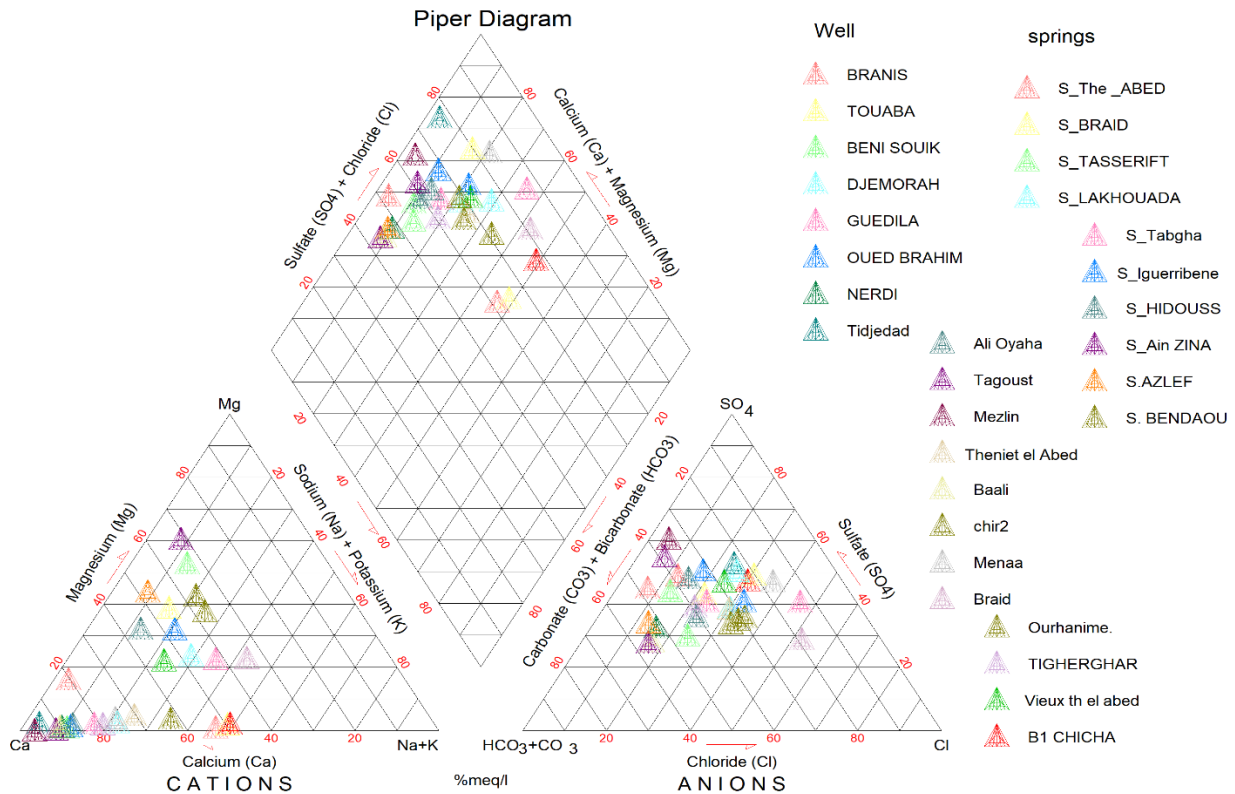


Figure 79: digramme de Durov des eaux de la nappe des Fissures

### 7.4.2.2.3 Digrame de piper

La représentation des points d'eau sur le diagramme de Piper, montre que la majorité des points se positionnent sur le pôle sulfaté et chloruré calcique et magnésien, et aussi certains échantillons qui se placent sur le pôle des Bicarbonaté calcique sauf que deux échantillons du Braid qui représente un Eau chlorurée sodique et Source de Ain zina avec un faciès Bicarbonaté magnésiennes .



**Figure 80: Digramme de piper des eaux de la nappe des Fissures**

**7.4.2.2.4 Diagramme de Scholler-Berkaloff :**

Le diagramme a été établi par H. SCHOELLER en 1932, et révisé par BERKALOFF en 1952, il est composé de sept échelles logarithmiques verticales correspondant aux principaux ions analysés dans l'eau.

Selon la représentation graphique des paramètres chimiques d'aquifère fissuré de la zone d'étude permet de distinguer (**Fig. 54**), les familles chimiques suivantes façies ; chimique principale ; Sulfaté calcique et Bicarbonaté calcique et les façies chimique secondaire chlorurée sodique et Bicarbonaté magnésie

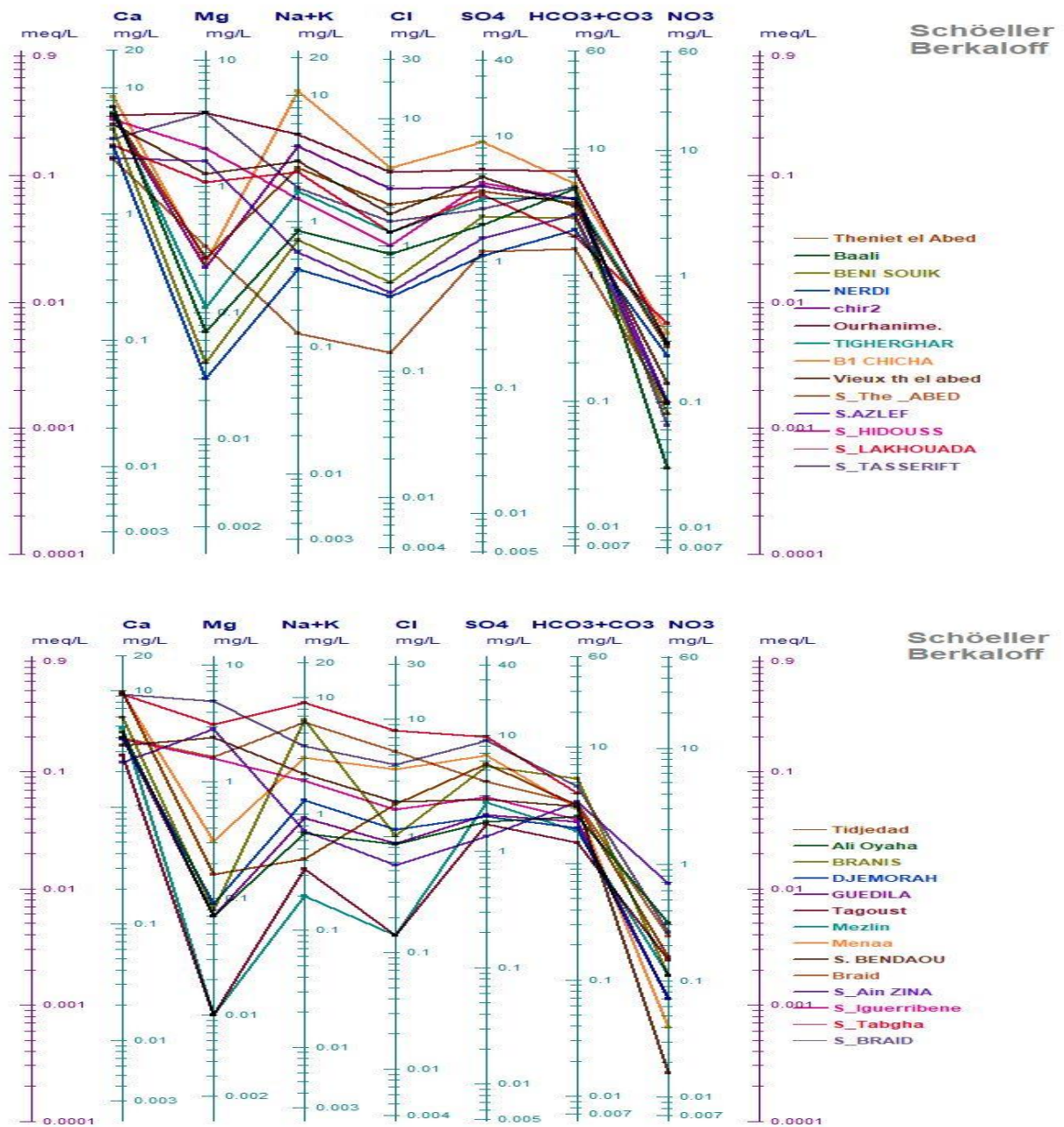


Figure 81: Diagramme de Scholler-Berkaloff des eaux de la nappe des Fissures

## 7.4.2.2.5 Diagramme de Stiff

C'est une représentation graphique, développée par H.A. Stiff en 1951. utilisé pour afficher la composition en ions majeurs des analyses chimiques. La forme polygonale est créée à partir de quatre axes horizontaux parallèles couvrant les deux côtés de l'axe vertical zéro. Les cations sont tracés en milliéquivalents par litre sur le côté gauche et les anions sur le côté droit.

L'objectif principal de modèle de stiff est de faire une comparaison visuelle rapide entre les analyses chimiques de différents points d'eaux. Donc selon le diagramme et la carte de stiff le cation, le plus commun dans tous les échantillons est le calcium  $Ca^{++}$  et pour les anions ; le sulfate  $SO_4^-$  et le bicarbonate  $HCO_3^-$  sont les plus souvent. Par conséquent, le faciès chimique prédominant dans le lieu d'études est sulfaté calcique et bicarbonaté calcique.

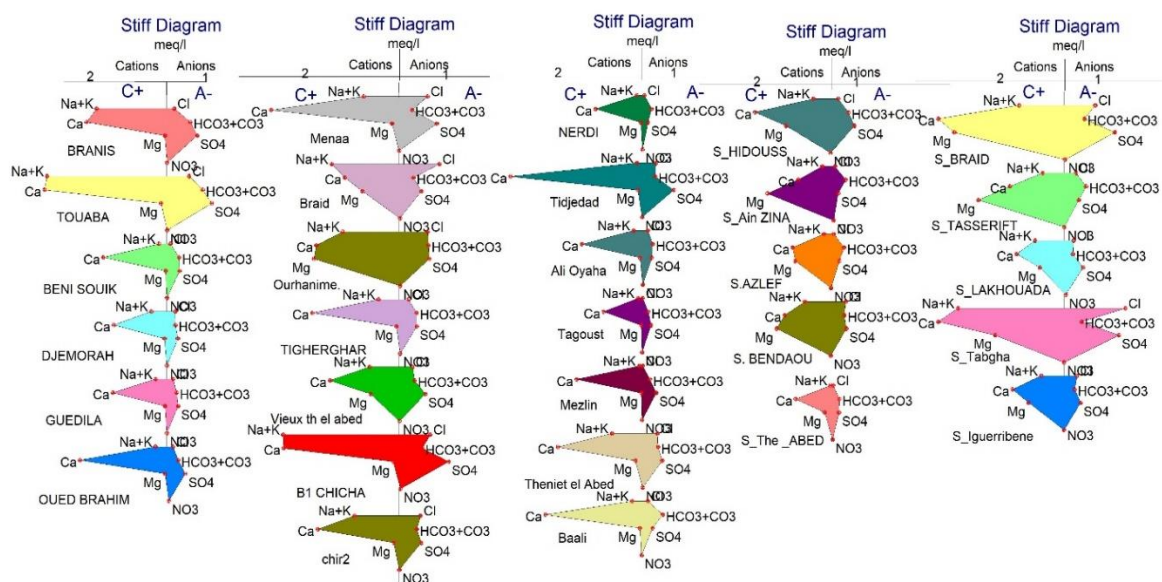
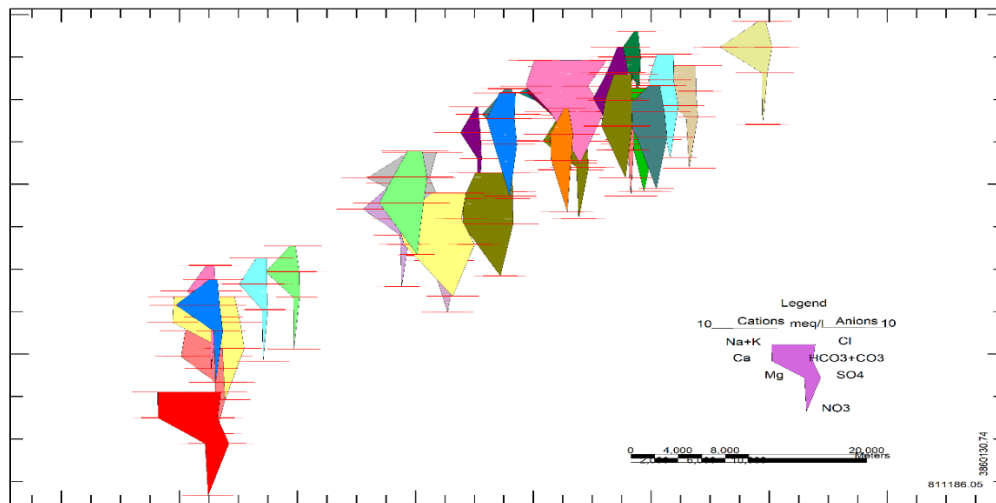


Figure 82: diagramme de Stiff des eaux de la nappe des Fissures

## 7.4.2.2.6 Carte de Sttiff

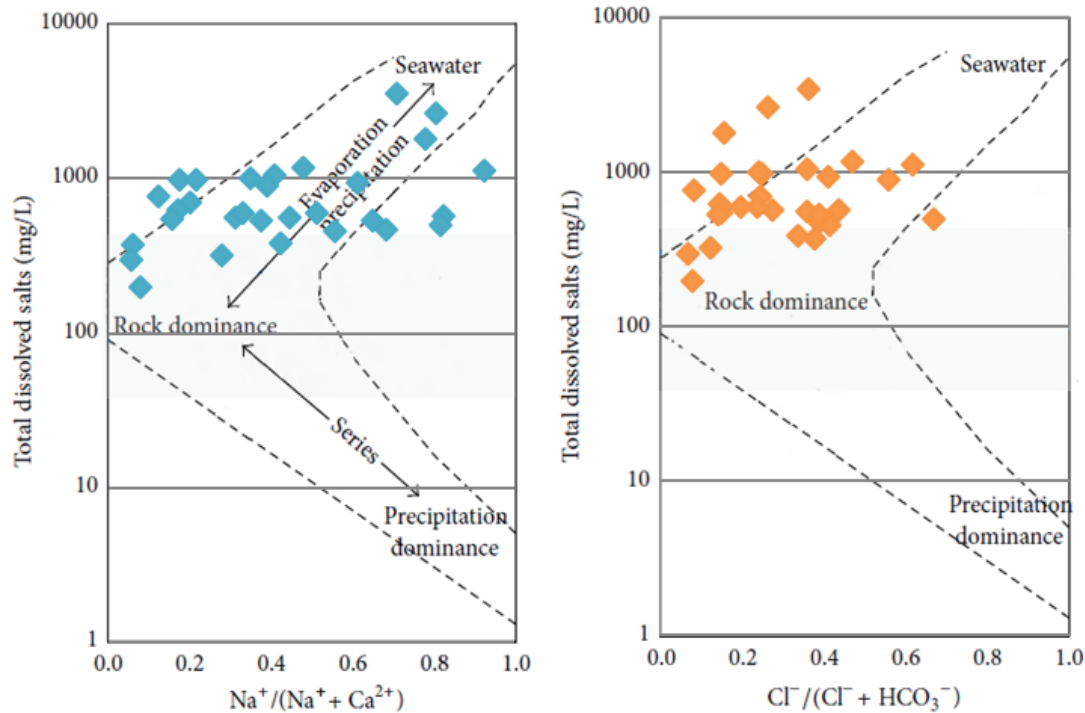


*Figure 83: carte de Stiff des eaux de la nappe des Fissures*

## 7.4.2.3 Mécanismes contrôlant le chimisme des eaux souterraines

## 7.4.2.3.1 Diagramme de Gibbs

Gibbs (1970) a proposé une méthode de diagramme dispersé pour obtenir un aperçu des processus hydrogéochimique, montrant trois mécanismes naturels importants qui contrôlent la chimie des ions majeurs dans les eaux souterraines, il a représenté une interaction entre l'eau, la roche, l'évaporation et les précipitations atmosphériques où, les concentrations de TDS ont été tracées selon les rapports de  $\text{Na} + \text{K} + / (\text{Na} + \text{K} + \text{Ca}^{2+})$  pour les cations et  $\text{Cl}^- / (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$  pour anions (Fig. 7) . On a été constaté que la majorité des échantillons prélevés dans l'aquifère sont dominés par la dissolution de la roche, ce qui reflète le rôle de ce phénomène dans la chimie de l'eau de l'aquifère.



**Figure 84: Diagramme de Gibbs : 1- Evaporation et précipitation (10000-1000), 2- Dominance de la dissolution de roches (1000-100), 3- Dominance de la précipitation (100-10).**

#### 7.4.2.4 Aptitude des eaux à l'irrigation :

##### 7.4.2.4.1 Classifications des eaux destinées à l'irrigation :

###### 7.4.2.4.1.1 Méthode du Sodium Absorption Ratio (SAR) :

Cette méthode fait intervenir le risque d'alcalinisation des sels. Le SAR est défini comme étant une mesure du pouvoir de remplacement des ions  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  par  $\text{Na}^+$  dans les argiles et les colloïdes. Il peut être estimé par la relation de Richard (1954) :

$$\text{SAR} = r \frac{rNa}{\sqrt{\frac{rCa+rMg}{2}}}$$

Où :  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$  : sont des concentrations exprimées en méq/l.

La combinaison du SAR et de la conductivité électrique de l'eau permet la classification de l'eau à l'irrigation selon les classes suivantes (**Fig. 8 et 9**) :

- Excellente (C1S1) qui comprend les eaux des deux forages et deux sources représentant 13.33 % des échantillons. Eau utilisable sans danger pour l'irrigation.

- Bonne (C2S1) qui comprend les eaux des six forages et six sources représentant 40% des échantillons. Eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes au sel, sur sols ayant une bonne perméabilité.
- Admissible (C3S1) qui englobe les eaux des dix forages et une source représentant 36.66% des échantillons ; ce classe Utilisable pour les plantes moyennement tolérantes à la salinité si le sol est bien drainé.
- Médiocre (C4S1) qui comprend l'eau des quatre forages représentant 10% des échantillons. eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.

On peut dire que la plus grande partie des eaux de la plaine sont acceptable (Bonne et admissible) et peuvent être exploitées pour l'irrigation.

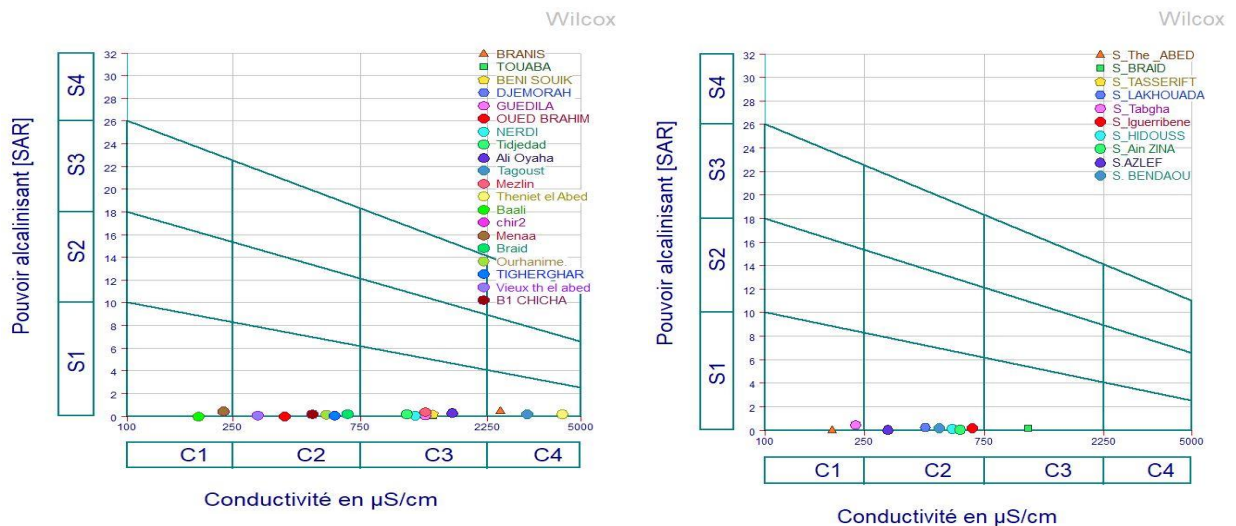


Figure 86 : Diagramme du SAR (Forages)

Figure 86: Diagramme du SAR (sources)

7.4.2.5 Classification des Paramètres et l'origine chimiques :

La nature des eaux dépend des roches traversées lors de leurs circulations dans les formations aquifères et du temps de séjour qui permet de s'enrichir en sels minéraux.

## 7.4.2.5.1 Eléments chimiques majeurs

Tableau 33:Eléments chimiques majeurs

Eléments	Origines	L'équation (Appelo & Postma, 1994)	Normes DZ	Concentration moyenne mg/l
<b>Calcium</b> Ca <sup>++</sup>	provient de dissolution des roches carbonatées (Ca CO <sub>3</sub> ), et formation gypsifères (Ca SO <sub>4</sub> , 2H <sub>2</sub> O)	Ca CO <sub>3</sub> = Ca <sup>2+</sup> +CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> Calcite: CaCO <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O <=> Ca <sup>2+</sup> + HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + OH Ca SO <sub>4</sub> , 2H <sub>2</sub> O = Ca <sup>2+</sup> + SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 2H <sub>2</sub> O	75-200 mg/l	220.149
<b>Magnésium</b> Mg <sup>++</sup>	liée de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium MgCO <sub>3</sub> et dolomite Ca Mg (CO <sub>3</sub> ).	MgCO <sub>3</sub> = Mg <sup>2+</sup> + CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> Dolomite: CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> + 2CO <sub>2</sub> (g) + 2H <sub>2</sub> O <=> Ca + Mg + 4HCO <sub>3</sub>	50-150 mg/l	26.244
<b>Chlorures</b> Cl <sup>-</sup> et le <b>sodium</b> Na <sup>+</sup>	provient principalement à la dissolution des minéraux salifères.	Halite: NaCl = Na <sup>+</sup> + Cl <sup>-</sup>	CL <sup>-</sup> : 200-500 mg/l Na <sup>+</sup> : 200 mg/l	67.45
<b>Potassium</b> K <sup>+</sup>	Provient de l'altération des argiles potassiques et Chlorure de Potassium et de la dissolution des engrais chimiques et même des évaporites	KCl → K <sup>+</sup> + Cl <sup>-</sup>	20 mg/l	15.249
<b>Sulfates</b> SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	liée à la dissolution des formations gypsifères - solubilité de calcium (CaSO <sub>4</sub> -4)	Gypse: CaSO <sub>4</sub> + 2H <sub>2</sub> O <=> Ca <sup>2+</sup> + SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 2H <sub>2</sub> O	200-400 mg/l	374.79

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- des eaux usées industrielles contents de l'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)</li> <li>- de l'utilisation des engrais chimiques</li> <li>- de la dégradation de la matière organique dans le sol</li> </ul>	$H_2SO_4 = H^+ + HSO_4^-$		
<b>Nitrates NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	liée à l'utilisation des engrais chimiques.	$NH_4NO_3 = NO_3^- + NH_4^+$	50 mg/l	11.16
<b>Bicarbonates HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	résultent de la dissolution des roches calcaires	$CaCO_3 = Ca^{2+} + CO_3^{2-}$  $CaCO_3 + H_2CO_3 = Ca^{2+} + 2HCO_3^-$		215.33

### 7.5 Analyse statistique des paramètres et éléments chimiques :

#### 7.5.1 Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'A.C.P est une des méthodes statistiques, efficace pour analyser et Visualiser les corrélations entre différentes variables

Cette méthode statistique permet de transformer les variables quantitatives initiales, toutes plus ou moins corrélées entre elles, en nouvelles variables quantitatives, non corrélées appelées composantes principales (Davis, 1984).

l'analyse en composantes principales (ACP) c'est un moyen efficace d'interprétation et de représentation des données chimiques relatives aux eaux souterraines et de surface. Love et al. (2004) .

On à appliquer la technique de L'A.C. P sur dix variables physicochimiques des eaux souterraines de la nappe des fissures dans la zone d'étude (tableau 2)

**Tableau 34:Matrice de corrélation des éléments physico-chimiques.**

Variables	PH	CE	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
PH	1.000	-0.180	-0.246	0.039	-0.400	-0.360	-0.068	-0.338	-0.383	-0.223

APPROCHE METHODOLOGIQUE POUR LA PROTECION DES EAUX DU BASSIN VERSANT OUED ABDI (MASSIFS DES AURES)

CE	-0.180	1.000	0.460	-0.224	0.443	0.521	0.547	0.205	0.380	0.201
Ca <sup>++</sup>	-0.246	0.460	1.000	0.047	0.575	0.375	0.551	0.610	0.853	-0.089
Mg <sup>++</sup>	0.039	-0.224	0.047	1.000	0.243	-0.145	0.324	0.447	0.317	0.056
Na <sup>+</sup>	-0.400	0.443	0.575	0.243	1.000	0.725	0.689	0.813	0.835	-0.034
K <sup>+</sup>	-0.360	0.521	0.375	-0.145	0.725	1.000	0.659	0.340	0.547	0.070
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0.068	0.547	0.551	0.324	0.689	0.659	1.000	0.428	0.601	0.001
Cl <sup>-</sup>	-0.338	0.205	0.610	0.447	0.813	0.340	0.428	1.000	0.806	-0.090
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	-0.383	0.380	0.853	0.317	0.835	0.547	0.601	0.806	1.000	-0.056
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0.223	0.201	-0.089	0.056	-0.034	0.070	0.001	-0.090	-0.056	1.000

La matrice de corrélation (Tab.2) indique que le SO<sub>4</sub><sup>--</sup> est très corrélée avec le Ca<sup>++</sup>, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, ( $r > 0,8$ ), liée à la dissolution des formations gypsifères, et en note que la conductivité est moyennement corrélée avec la plus parts des ions, et aussi il ya la forte corrélation entre Na et Cl ( $r = 0,835$ ) est liée à la dissolution de la halite par la présence des formations salifères.

Les variances exprimées est de 46,92% pour le facteur 1, 15,27% pour le facteur 2 et 11,81 pour le facteur 3. La projection des variables sur le plan factoriel (F1/F2) et (F1/F3) montre un regroupement des paramètres; qui ont grand teneurs sont Na<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> et SO<sub>4</sub><sup>--</sup>, CE, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> autour de l'axe factoriel F2 et f3 ce sont les variables qui participent le plus à la minéralisation due essentiellement à la dissolution des formations Sulfaté et carbonatées. en revanche sur les deux plan factoriel montre que les NO<sub>3</sub><sup>-</sup> et PH et (K<sup>+</sup> CE) dans plan (F1/F3) dont l'origine pourrait être due aux actions anthropiques liée à l'utilisation des engrais chimiques.

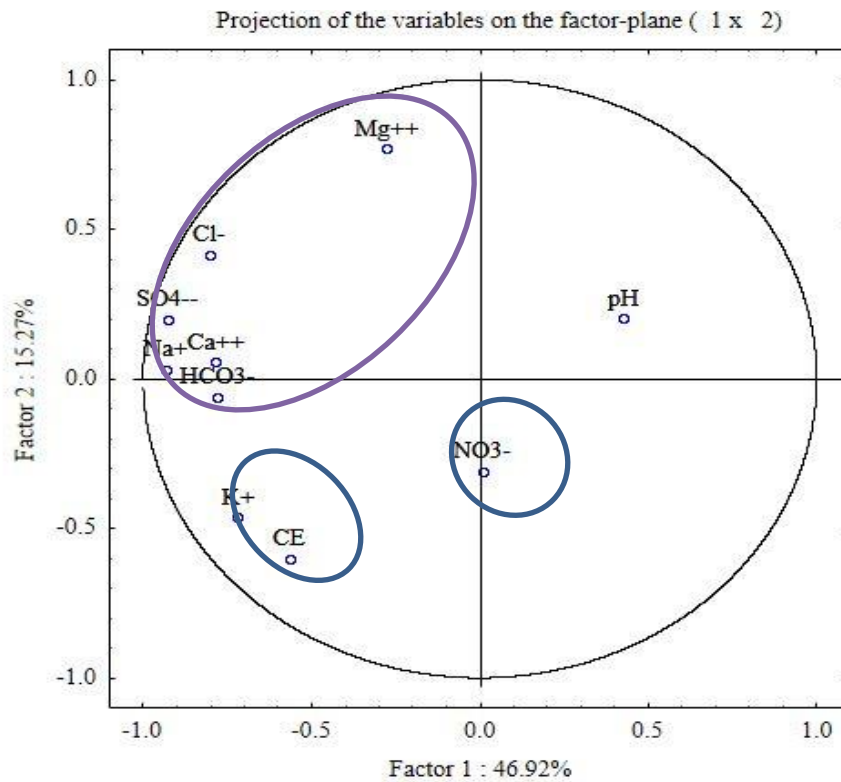


Figure 87 :Analyse des variables dans le plan factoriel F1-F2

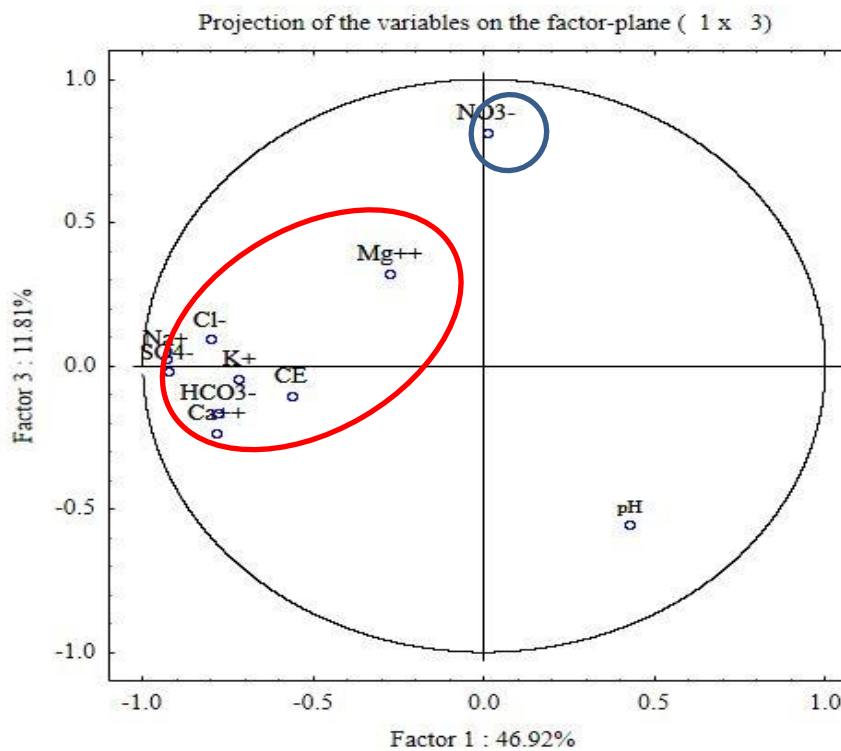


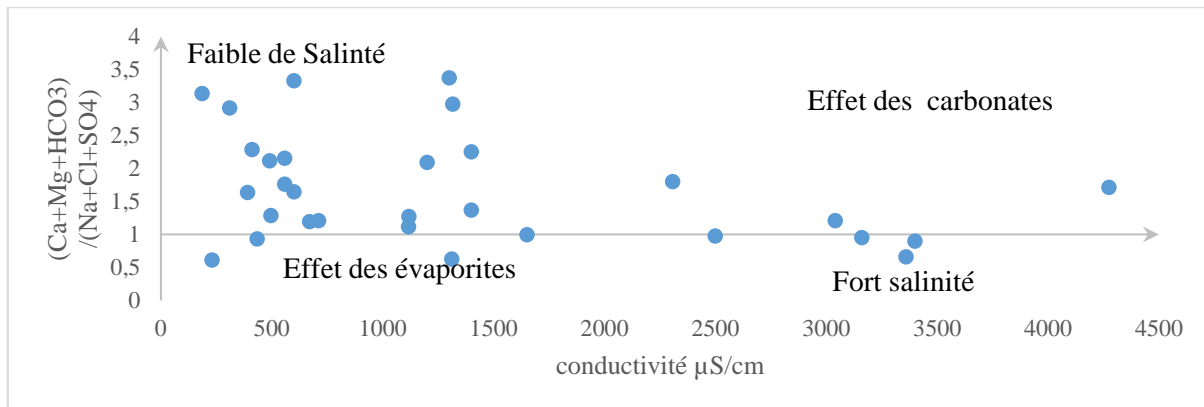
Figure 88:Analyse des variables dans le plan factoriel F1-F3

## 7.6 Origines de la minéralisation :

La différence de faciès chimique est liée à l'hétérogénéité des formations géologiques

### 7.6.1 Le rapport binaire $(Ca+Mg+HCO_3)/(Na+Cl+SO_4)$ vs CE

La représentation graphique  $(Ca+Mg+HCO_3)/(Na+Cl+SO_4)$  vs CE (Fig.VI.14), montre que la salinité des eaux de la région de oued Abdi est en liaison directe avec l'effet des évaporites pour la plus part des échantillons prélevés.



**Figure 89: Représentation graphique  $(Ca+Mg+HCO_3)/(Na+Cl+SO_4)$  vs CE dans la nappe des Fissures**

### 7.6.2 Le rapport binaire du $(Ca^{2+} + Mg^{2+}) - (Na + K)$ vs $HCO_3^- - (SO_4^{2-} + Cl^-)$

Le rapport binaire du  $(Ca^{2+} + Mg^{2+}) - (Na + K)$  vs  $HCO_3^- - (SO_4^{2-} + Cl^-)$  permet de classer les eaux en quatre groupes (Bounab.S et al, 2017 ; Chadha, 1999).

Groupe 1 : Eaux de recharge de type Ca-HCO<sub>3</sub>

Groupe 2 : Eaux avec un excès en Ca-Mg-Cl ayant subi un échange ionique inverse

Groupe 3 : Eaux salées riches en Na-Cl qui sont soit des eaux de mer soit ayant séjourné en contact avec des formations salées.

Groupe 4 : Eaux ayant subi un échange ionique Na - HCO<sub>3</sub>

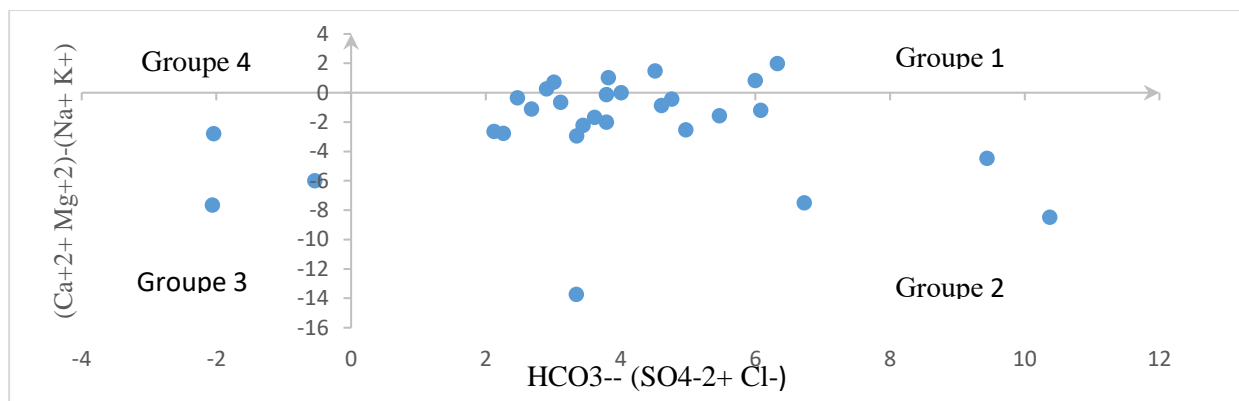
Cette classification permet de mieux comprendre l'évolution des différents processus hydrogéochimiques des eaux souterraines (Karmegam U. & al, 2010, Vandenbohede A. & al, 2010, Thilagavathi R.& al, 2012 , Djenba S. & al, 2015, Bounab.S et al, 2017 ),

Son application sur les eaux souterraines de l'Oued Abdi (Fig.VI.15), montre que la majorité des échantillons se trouve successivement dans le groupe 2, 1 et à moindre degré dans le groupe 3.

Le groupe 1 contient des échantillons d'eau, de type bicarbonaté calcique.

Ceux du groupe 2, sont des eaux caractérisées par un excès en  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  au détriment de  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$ . La présence de  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  est dû à l'altération des minéraux riches en  $\text{Ca}^{2+}$  autre que les carbonates probablement le gypse et/ou l'anhydrite.

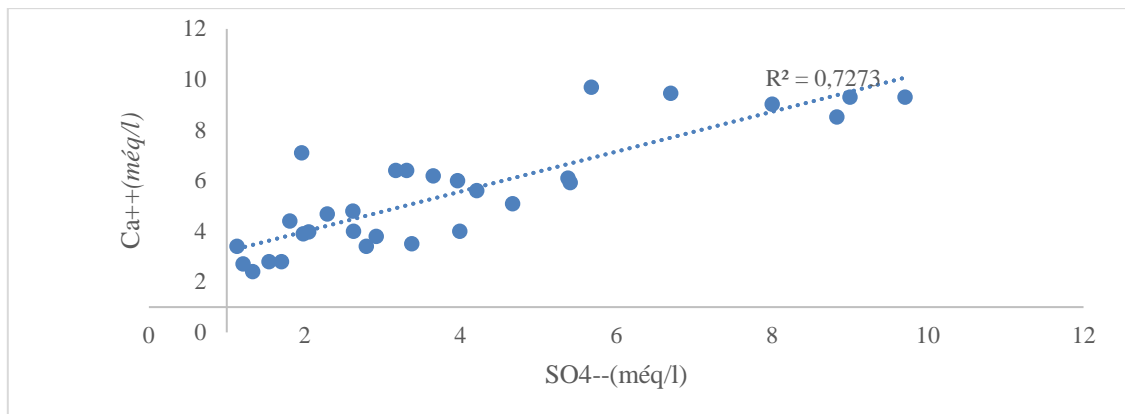
Les eaux du groupe 3, contient 3 échantillons un peu riches en  $\text{Na}^+\text{Cl}^-$ , correspondent à des eaux ont probablement subi un échange ionique ayant abouti à une libération de  $\text{Na}^+$ . Ce sont des eaux de type chloruré sodique.



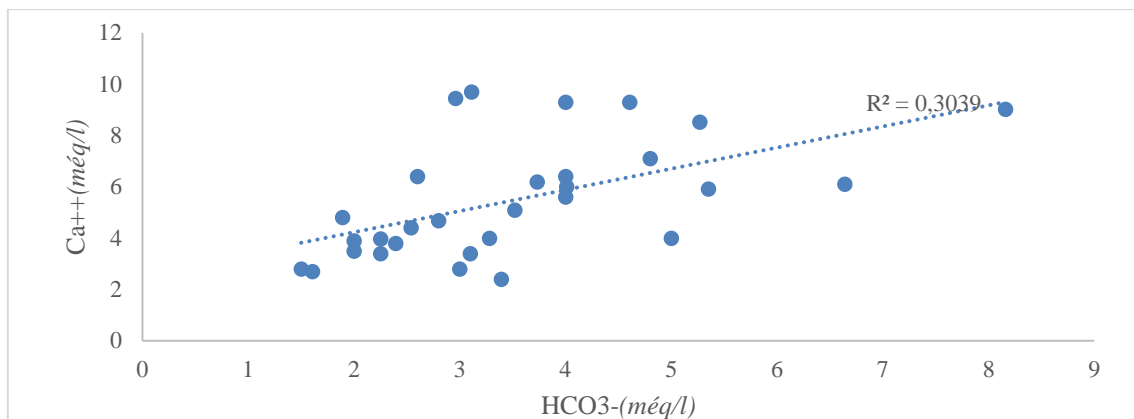
**Figure 90: Représentation graphique  $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) - (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$  vs  $\text{HCO}_3^{--} - (\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-)$  dans la nappe des Fissures**

### 7.6.3 Relations $\text{Ca}^{++} - \text{SO}_4^{--}$ et $\text{Ca}^{++} - \text{HCO}_3^-$

La participation des ions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{HCO}_3^-$  à la minéralisation totale des eaux indiquerait une éventuelle dissolution du gypse ce qui est confirmé par l'étroite corrélation entre les deux éléments  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  ( $R^2 = 0.73$ ) (Fig. 15), certains points ne sont pas alignés avec la droite, mettant en évidence d'autres origines on peut dire carbonaté, le figure du  $\text{Ca}^{++} - \text{HCO}_3^-$  montre que la majorité des points n'alignant pas la droite ce qui indiqué d'autres origines éventuelle sulfaté par contre les points alignant la droite indiqués l'origine carbonaté.



**Figure 91: Relation entre  $Ca^{2+}$  et  $SO_4^{2-}$  dans la nappe des Fissures.**



**Figure 92: Relation entre  $Ca^{++}$  et  $HCO_3^-$  dans la nappe des Fissures**

#### 7.6.4 Relations $Mg^{++}$ – $HCO_3^-$ :

Le graphe des Origines du Magnésium dans la nappe des fissures (fig.11) montre la présence de trois familles, une première caractérisée par un magnésium relativement élevé, la seconde mixte, Le plus commun c'est-à-dire liée à la présence des deux éléments et le troisième d'origine sulfaté qui est probablement avec le magnésium est issu des formations gypsifères présentes dans la région, il peut aussi s'agir de sulfate d'une autre origine anthropique.

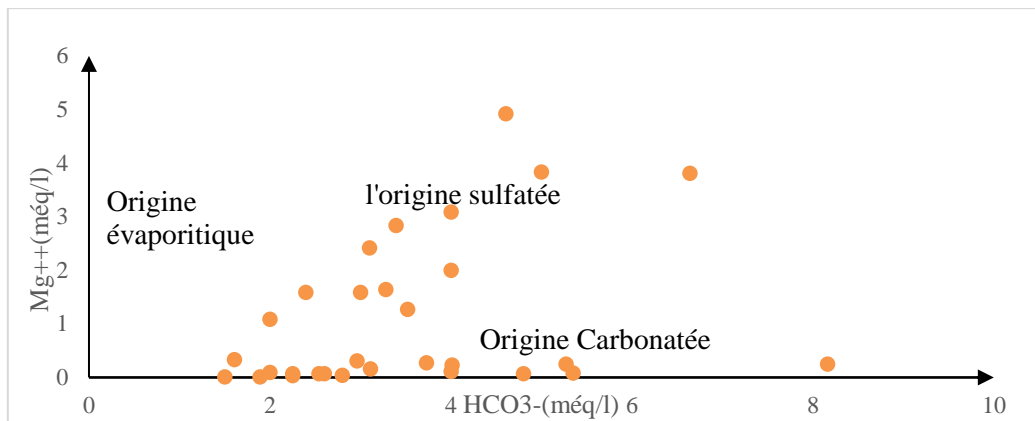


Figure 93: Origines du Magnésium dans la nappe des Fissures

### 7.6.5 Les éléments Na<sup>+</sup> - Cl<sup>-</sup> :

Le graphe montre les origines du sodium dans l'aquifère Fissuré (figure 12), donc l'évolution des chlorures en fonction du sodium, alignant la majorité des points ce qui indique la même origine des deux éléments. Cependant, certains points ne sont pas alignés avec la droite, mettant en évidence d'autres origines. Cela tend à confirmer, par exemple, l'échange sous-jacent qui se produit entre l'eau et le sol, ce dernier libérant Ca<sup>2+</sup> et captant Na<sup>+</sup>, entraînant des concentrations élevées de Na<sup>+</sup> dans l'eau.

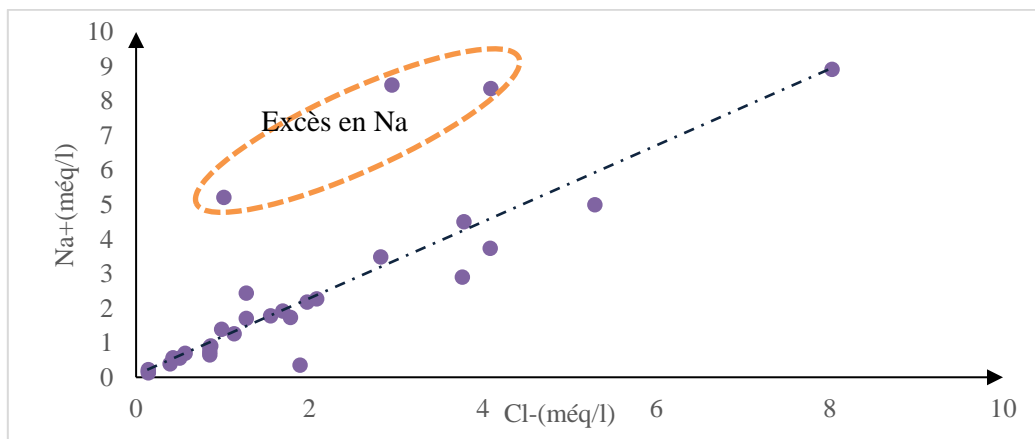


Figure 94: Origines du sodium dans la nappe des Fissures

### 7.6.6 Détermination de l'indice d'échange de base par le graphe $Mg / (HCO_3 + SO_4) = f(Na/Cl)$ .

Le graphique montre l'indice d'échange de base (Figure 95) met en évidence, trois cas :

Le premier cas caractérise une eau riche en sulfates et bicarbonates (rapport <1),

Le deuxième cas correspond à la région de mélange ou de transition, auquel cas il n'y a pas d'élément dominier.

Le troisième cas fait référence à l'échange de base entre l'eau et le sol.

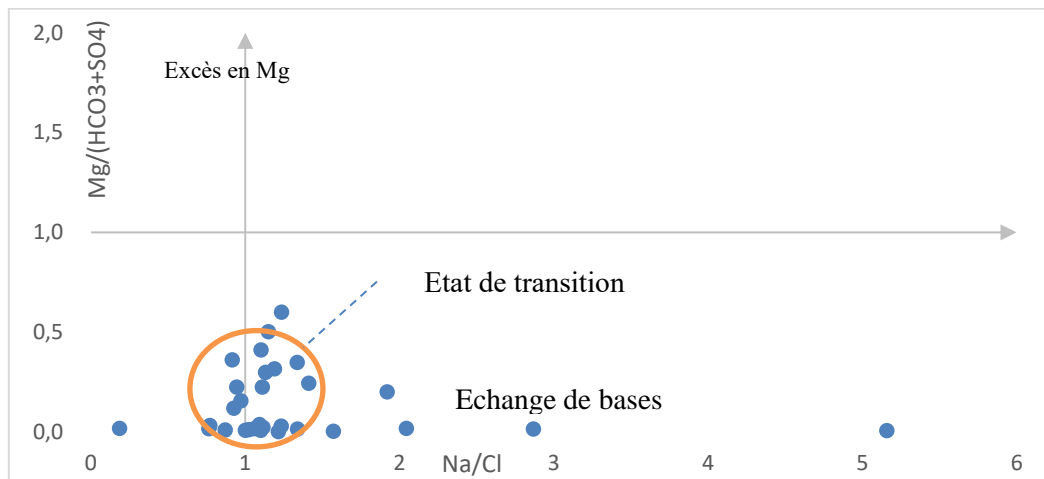


Figure 96: Graphique  $Mg/(HCO_3+SO_4) = f(Na/Cl)$ .

### 7.6.7 Les éléments $Cl^-/SO_4^{--}$ :

Le  $SO_4^{--}$  provient du gypse et éventuellement de la pollution anthropique, le  $Cl^-$  provient de la dissolution de l'halite et principalement à la dissolution des minéraux salifères, Le graphique résultant (Fig. 17) montre que les rapports sont pour la plupart inférieurs à l'unité, ce qui signifie que les sulfates dominent sur les chlorures cela indique que la salinité de l'eau est fortement affectée par les formations gypsifères influencent la minéralisation des eaux de l'aquifère.

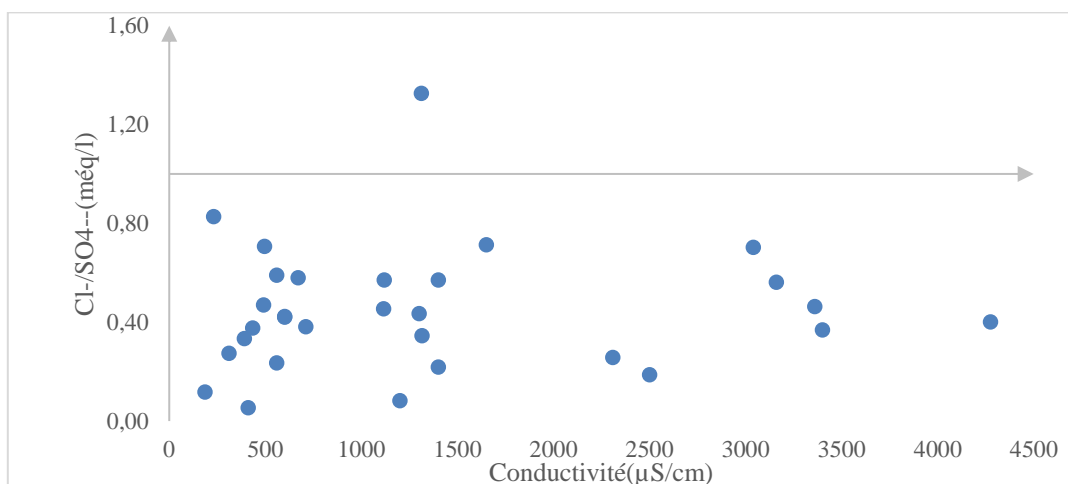


Figure 97: Variations des chlorures et des sulfates en fonction de la conductivité

**7.7 Conclusion :**

L'origine chimique de l'eau s'agit aux nature des couches géologiques traversées ou dans lesquelles l'eau souterraine se stabilise

Les graphiques d'hydrochimie réalisée a permis d'appréhender l'origine du chimisme des eaux souterraines et d'étudier la variabilité des résultats de minéralisation obtenus.

L'état de transition apparaît dominant vers l'échange de base enrichie en sodium. Un sodium plutôt élevé entraîne une diminution de la perméabilité du sol, Ainsi, la production agricole est affectée.

La majorité des eaux de la zone d'étude appartient à deux grandes faciès chimiques suivantes ; eaux bicarbonatées calcique et eaux sulfatées calcique ; le premier provient des calcaires et le second provient des formations gypseuses du Lutétien. Cela confirme notre conviction que l'eau des sources et des forages appartiennent aux mêmes aquifères ou aquifères communicants, ou c'est-à-dire qu'il s'agit d'un système multicouche fissuré.

# **Troisième Partie :**

*Chapitre 8 : Evaluation de la pollution et de la vulnérabilité*

*Chapitre 9 : détermination des périmètres de protection*

***Chapitre 8 :***  
***Evaluation de la pollution et de***  
***la vulnérabilité***

**8 Evaluation de la pollution et de la vulnérabilité :****8.1 Introduction :**

Les nappes d'eau sont vulnérables à une variété de menaces, notamment la pollution, la sécheresse et l'utilisation excessive. La pollution des nappes d'eau peut provenir de sources naturelles ou anthropiques, telles que les rejets industriels, les engrais agricoles et les déchets domestiques. La sécheresse est un autre facteur qui peut affecter la qualité et la quantité d'eau disponible dans une nappe phréatique, Les pompages excessifs peuvent également provoquer des changements chimiques et biologiques dans les eaux souterraines, ce qui peut avoir des conséquences négatives sur l'environnement.

La protection des eaux souterraines est une responsabilité partagée entre les gouvernements, les organismes de réglementation et les citoyens. Les gouvernements doivent élaborer des lois et des règlements pour protéger les eaux souterraines et veiller à ce que ces lois soient respectées. Les organismes de réglementation doivent surveiller l'utilisation des eaux souterraines et prendre des mesures pour s'assurer que les eaux souterraines sont protégées contre la pollution. Les citoyens peuvent contribuer en étudiant la vulnérabilité des eaux souterraines et en prenant des mesures pour réduire leur impact sur l'environnement.

**8.2 Concept de vulnérabilité :**

Sensibilité de l'aquifères à la pollution qui pénètre à travers l'eau. Cette pollution peut être engendrée par une source ponctuelle (ex. décharge, cimetière, rejet d'eau usée brute domestique ou industrielle, etc.), linéaire (pipeline, réseau d'eau usée, réseau de drainage agricole, etc.) ou diffuse (engrais chimiques, pesticides, herbicides, épandage des eaux usées domestiques, etc.).

La définition d'Albinet et Margat 1970 a été l'une des premières reconnue et généralement utilisée : la vulnérabilité d'un aquifère est la possibilité qu'un contaminant de percoler et de diffuser depuis la surface jusqu'au réservoir d'eau dans des conditions naturelles (BRGM/RP-55332-FR Mai 2007).

En 1982 G CASTANY définissait la vulnérabilité des nappes à la pollution comme leur sensibilité aux différents facteurs de contaminations à partir de la surface du sol. Elle étudie les possibilités de propagation des polluants dans l'espace souterrain. Elle est en premier lieu liée à l'autoépuration naturelle du sol, donc à la présence de conditions indispensables à son action. En second lieu, elle est favorisée par la circulation de l'eau.

**8.3 Les types de la vulnérabilité :**

Les méthodes d'estimation de la vulnérabilité sont très nombreuses, dans la littérature, on distingue deux types de vulnérabilité ; la vulnérabilité intrinsèque et la vulnérabilité spécifique (Schnebelen et al, 2002) :

**8.3.1 La vulnérabilité intrinsèque :**

C'est le terme utilisé pour représenter les caractéristiques du milieu naturel qui détermine la sensibilité des eaux souterraines à la pollution par les activités humaines. Elle ne tient compte que des facteurs physiques influençant le mouvement d'un polluant vers la nappe (Landreau. 1996 ; in Cazaux. 2007 ; Schnebelen., et al. 2002).

**8.3.2 La vulnérabilité spécifique :**

C'est le terme utilisé pour définir la vulnérabilité d'une eau souterraine à un polluant particulier ou à un groupe de polluants. Elle prend en compte les propriétés des polluants et leurs relations avec les divers composants de la vulnérabilité intrinsèque (KACHI, 2007 ; Schnebelen., et al. 2002 ; in Bézèlgues., et al. 2002).

**8.4 Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité :**

Des nombreuses méthodes utilisées pour la caractérisation de la vulnérabilité à la pollution et d'évaluation de cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines comme ; EPIK et RISKE sont spécifiques du milieu karstique, GOD, Minnesota, SINTACS, SI sont spécifiques du milieu poreux, DRASTIC c'est la plus utilisé considéré comme une méthode standard multi critères dans l'élaboration des cartes de vulnérabilité intrinsèque, la méthode de Wyssling pour un aquifère homogène et ou faiblement hétérogène, et la méthode de cartographie de vulnérabilité de DISCO utilisée pour un aquifère discontinu fissuré très hétérogène.

Dans ce chapitre en à basé sur deux méthodes, la méthode des Isochrones de Wyssling pour les endroits d'un système aquifère homogène et partiellement fissurée à petite échelle et la méthode de cartographie de vulnérabilité DISCO pour un système aquifère discontinu fissuré très hétérogène à grande échelle, afin d'évaluation la vulnérabilité et aussi détermination des périmètres de protection.

Méthode de Wyssling permet de calculer les caractéristiques de la zone d'alimentation et celles les périmètres de protection intermédiaires, rapprochées, éloignés, en quelques points particuliers de la nappe, entourant le captage à protéger.

Méthode de DISCO a été élaboré par Pochon et Zwahlen, en 2003 pour la délimitation des zones de protection des eaux souterraines en milieu fissuré sur le territoire de la Suisse.

Dans cette partie, nous nous sommes concentrés sur l'évaluation de la vulnérabilité à l'aide d'un système d'information géographique SIG, puis établir des limites et des zones de protection en fonction du degré de pollution .

***Chapitre 9 :***  
***Détermination des périmètres***  
***de protection***

## 9 Détermination des périmètres de protection

### 9.1 Introduction :

Les périmètres de protection sont des espaces qui sont mis en place pour protéger l'environnement et les espèces sauvages. Les périmètres de protection peuvent également comprendre des mesures de gestion des populations, des mesures de rétablissement des écosystèmes et des mesures visant à réduire l'impact des activités humaines sur l'environnement.

La détermination des périmètres de protection des puits est essentielle pour assurer la qualité de l'eau. Les périmètres de protection sont utilisés pour empêcher la pollution des eaux souterraines en limitant ou en interdisant certaines activités dans et autour des puits. Ces activités peuvent inclure les épandages d'engrais et de produits chimiques, le drainage des sols, les travaux de forage et les activités industrielles. Les périmètres de protection sont déterminés en fonction de la nature des activités et des risques associés. Les périmètres de protection sont généralement définis en mètres et peuvent aller jusqu'à plusieurs centaines de mètres.

### 9.2 Les types des périmètres de protection des puits

#### 9.2.1 Périmètre de protection immédiate (PPI)

Le périmètre de protection immédiate est un espace autour d'un puits qui exige des contrôles stricts pour garantir la sécurité des personnes qui y travaillent et le maintien de la qualité de l'eau souterraine. Il se compose généralement d'une zone située à moins de 30 mètres autour du puits et doit être délimitée par une clôture. Les matériaux, produits chimiques ou autres sources de pollution susceptibles de contaminer le puits ne doivent pas être autorisés dans ce périmètre, ça veut dire tout ce qui cause un danger direct ou indirect pour les puits est interdit dans cette zone.

#### 9.2.2 Périmètre de protection rapprochée (PPR)

Le périmètre de protection rapproché est un périmètre qui entoure à une certaine distance le puits et comprend le terrain dans un rayon allant jusqu'à une centaine de mètres. Ce périmètre est conçu pour fournir une barrière physique supplémentaire contre les intrusions et pour assurer la sécurité des puits. Toutes les activités de forage qui affecteraient la partie extérieure de l'aquifère, telles que les activités minières et les carrières, ou le creuser d'autres puits, sont interdits

### **9.2.3 Périmètre de protection éloigné (PPE)**

Le périmètre de protection éloigné est un périmètre qui couvre une zone plus large autour du puits, est conçu pour empêcher la contamination des eaux souterraines à partir d'une source potentielle à grande distance du puits. Il peut inclure toutes les activités impliquant des engrais, des produits chimiques, des déchets ou des matières dangereuses qui sont à plus de 500 mètres du puits, dans cette zone les activités industrielles sont interdites, et aussi de certaines formes de pollution, telles que les décharges publiques, et autres polluants dangereux, le but de délimitation de ces périmètres de protection pour protéger les puits, at ainsi protéger l'eau de la pollution , afin de préserver la santé et sécurité des organismes vivants.

## **9.3 Approche méthodologique pour la protection des aquifères :**

### **9.3.1 Introduction :**

Les principales ressources en eau souterraine dans l'oued Abdi sont situées dans le réservoir alluvionnaire et fissurées, les roches fissurées sont également des aquifères intéressants., qui se caractérise par la présence des grandes sources, Ces sources sont généralement des poches d'eau situées dans des fissures rocheuses ou des cavités souterraines, peuvent fournir une variété d'eaux, allant des eaux riches en minéraux sont des eaux plus pures. L'eau de réservoir alluvionnaire est exploitée par des puits et l'eau de réservoir fissurées par des forages de différentes profondeurs.

On distingue d'une manière générale dans la zone d'étude deux types d'aquifères :

- ✓ Aquifère non consolidé
  - Aquifères en roches meubles (poreux) (alluvionnaire)
- ✓ Aquifère consolidées(fissurées)
  - Aquifères Poreux partiellement fissuré
  - Aquifères Fissuré partiellement poreux
  - Aquifères en roches fissurées.

### **9.3.2 Méthodologie :**

Cette partie est consacrée à la présentation des méthodes appropriées utilisées pour protéger les eaux souterraines après l'évaluation de la vulnérabilité ; Ces méthodes sont font partie des méthodes internationales utilisées pour l'évaluation systématique selon les caractéristiques géologique et hydrogéologique afin de protéger les eaux souterraines de toute forme de contamination.

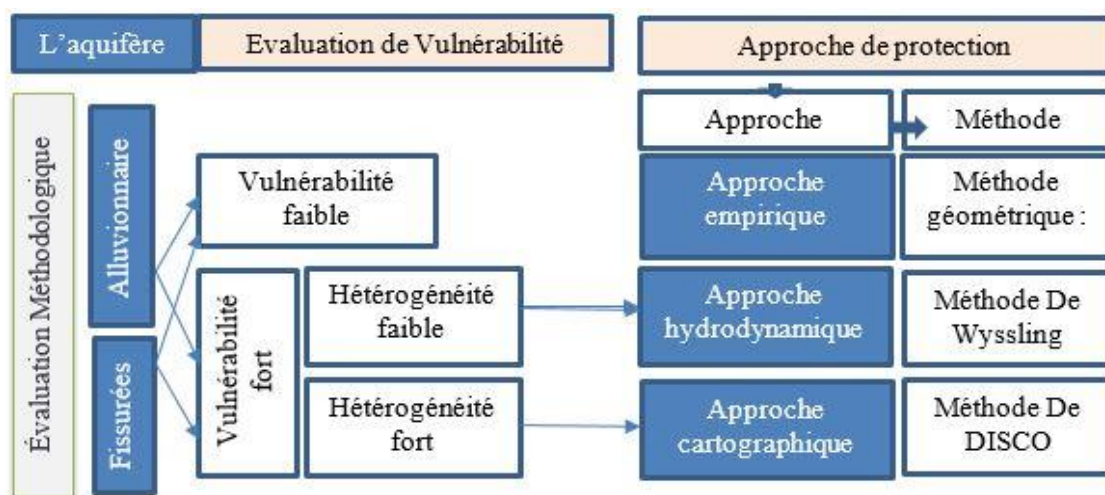


Figure 98:Évaluation systématique

### 9.3.3 Définition des Approches et des méthodes utilisées :

#### 9.3.3.1 Approche Empirique :

Est une approche de recherche simple se concentre sur l'observation et l'estimation des périmètres de protection, Par exemple, Méthode géométrique

#### 9.3.3.2 Méthode géométrique

Cette méthode aide à protéger les captages d'eau. Est une méthode utilisée pour délimiter les zones de protection autour des captages d'eau. Consiste à définir un rayon fixe autour du captage à protéger, quelle que soit la nature lithologique de l'aquifère et le contexte hydrogéologique. le rayon des périmètre de protection varier de quelques dizaines et centaine de mètres à quelques kilomètres selon les types des périmètres ; immédiate (PPI), rapprochée (PPR) , éloignée (PPE).

#### 9.3.3.3 Approche hydrodynamique

C'est une approche de protection utilisée par étudier le mouvement des eaux souterraines et leurs effets sur les structures environnantes. Les isochrones sont calculé afin de crée les périmètres de protection donc cette approche se concentre sur les données hydrodynamiques et hydrogéologique de l'aquifère tell que le gradient Hydraulique, Perméabilité, porosité, transmissivité, débit, Direction d'écoulement, de nombreuses méthodes sont utilisées dans cette approche, y compris les méthodes volumiques, analytiques, numériques et Méthode de Wyssling. Cette dernière a fait partie de l'objet de nos recherches sur lequel on s'est concentré pour définir les limites de la protection.

### 9.3.3.4 Méthode De Wyssling

La méthode de Wyssling (1979) permet d'établir Les isochrones comme des ellipses, dans le sens d'écoulement de la nappe selon les distances amont et aval et le temps de transfert.

Les isochrones sont définies après la détermination de la zone d'appel par calculée la largeur du front d'appel  $B$ , la largeur du front d'appel à la hauteur du captage  $B'$ , et  $x_0$ , le rayon d'appel successivement selon les formules suivantes ( $B=Q/ T.i$ ), ( $B'=B/2$ ), ( $X_0 = Q/2\Pi.T.i$ ).

La Grandeur intermédiaire pour  $t = 50, 100$  et  $200$  jours déterminées à l'aide du formule  $L(t) = K.i.t/w$ , la distance aval ( $S_u$ ) et amont ( $S_o$ ) du captage depuis le puits jusqu'à la distance correspondant au temps  $t$  souhaité sont identifiées à partir de la formule  $S_o$  ou  $S_u = (\pm L + \sqrt{L(L+8x_0)})/2$ .

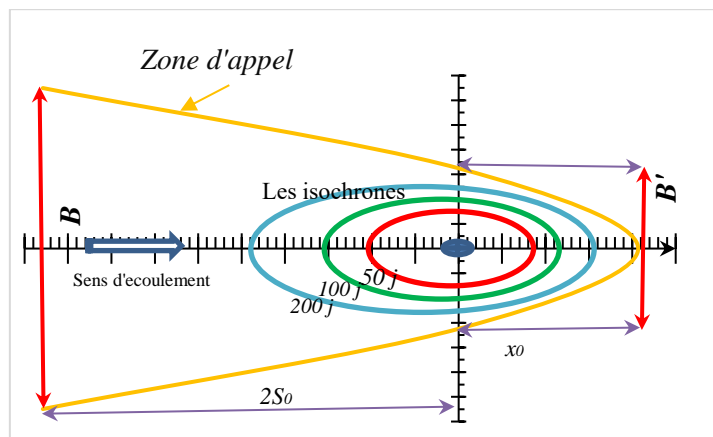


Figure 99: Les isochrones par la Méthode de Wyssling

### 9.3.3.5 Approche cartographique

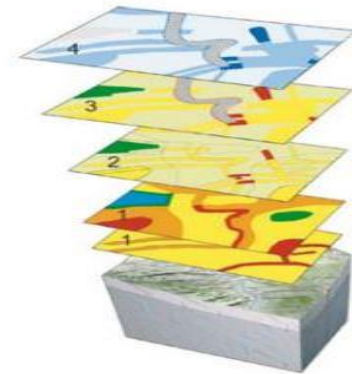
C'est une approche qualitative s'appuie sur l'examen des couverture terrestre (sol et zone non saturée), aussi consiste à analyser les faciès lithologiques des terrains et la forme de la surface piézométrique de la nappe et les conditions aux limites naturelles de l'aquifère capté afin de délimiter les zones de protection, en particulier sa zone d'alimentation. L'utilisation de systèmes d'information géographique avec des méthodes cartographiques est nécessaire pour modéliser et représenter la sensibilité et ainsi déterminer les zones de protection des eaux.

La méthode cartographique la plus adaptée à l'analyse de la nature géologique des aquifères de la région d'étude afin d'évaluer la vulnérabilité et aussi de déterminer les limites de protection des aquifères est la méthode Disco

### 9.3.3.6 La méthode Disco

La méthode DISCO est une méthode cartographique multiparamètre utilisée dans les aquifères extrêmement hétérogènes permet de déterminer les limites de protection après avoir évalué la vulnérabilité. Elle est basée sur l'analyse de la nature géologique, les discontinuités, la couverture protectrice, les processus de ruissellement et la topographie des pentes. Cette méthode créée et appliquée par Alain Pochon, les étapes qu'il a suivies sont :

- 1- Détermination des paramètres discontinuités (D) et couverture protectrice (P)
- 2- Calcul du facteur de protection intermédiaire  $F_{int} = 2 \cdot D + P$
- 3- La détermination de paramètre « ruissellement » et Calcul du facteur de protection final (F)
- 4- Délimitation des zones de protection



*Figure 100: Logigramme d'évaluation de la vulnérabilité dans les zones fissurées*

## 9.4 Evaluation de Vulnérabilité et détermination des périmètres de protection de l'aquifère alluvionnaire :

### 9.4.1 introduction :

Nos recherches visent à protéger les puits intégrés dans l'aquifère alluviales, considéré comme un aquifère proche de la surface et très vulnérable à la pollution en raison de ses propriétés hydrogéologiques uniques telles que la perméabilité et la porosité.

La méthode de Wyssling a été utilisée pour évaluer la vulnérabilité d'un puits à la pollution et identifier les isochrones. Pour ce faire, on a d'abord déterminé les limites de la zone d'appel, qui ressemblait à une ellipse, en calculant la largeur du front d'appel B, la largeur du front d'appel à hauteur du captage. Ensuite, on a déterminé les limites de protection immédiate, rapprochée et éloignée, définies selon les temps de 50 jours, 100 jours et 200 jours respectivement.

### 9.4.2 Evaluation hydrogéologique :

La nappe phréatique du quaternaire se trouve généralement dans le lit des oueds à Abdi et Bouzina. Une succession des formations hydrogéologiques a été identifiée, allant des

alluvions, des galets et des éboulis quaternaires d'une épaisseur de 15 à 20 mètres, aux alluvions, grès, aux sables et aux boudins du Miocène inférieur d'une épaisseur de 80 mètres.

L'aquifère alluvionnaire avec une hétérogénéité très faible et plus au moins homogène, alimentée par l'infiltration directe des précipitations et est exploitée par des puits pour les besoins agricoles et domestiques. Malheureusement, la nappe est affectée par la pollution de l'eau, notamment par les rejets des eaux urbaines et domestiques non épurées provenant des centres urbains de Bouzina, Theniet El Abed, Chir, Chelma, Djemourah et Branis.

Pour déterminer les périmètres de protection immédiate, rapproché et éloigné, il est nécessaire de connaître le sens et d'écoulement et le gradient hydraulique, la géométrie, la perméabilité et la porosité efficace de l'aquifère. Ces informations sont obtenues à partir d'études hydrogéologiques et de tests de pompage ou de traçage. Une fois ces données recueillies, la méthode de Wyssling peut être utilisée pour calculer les isochrones et déterminer les périmètres de protection.

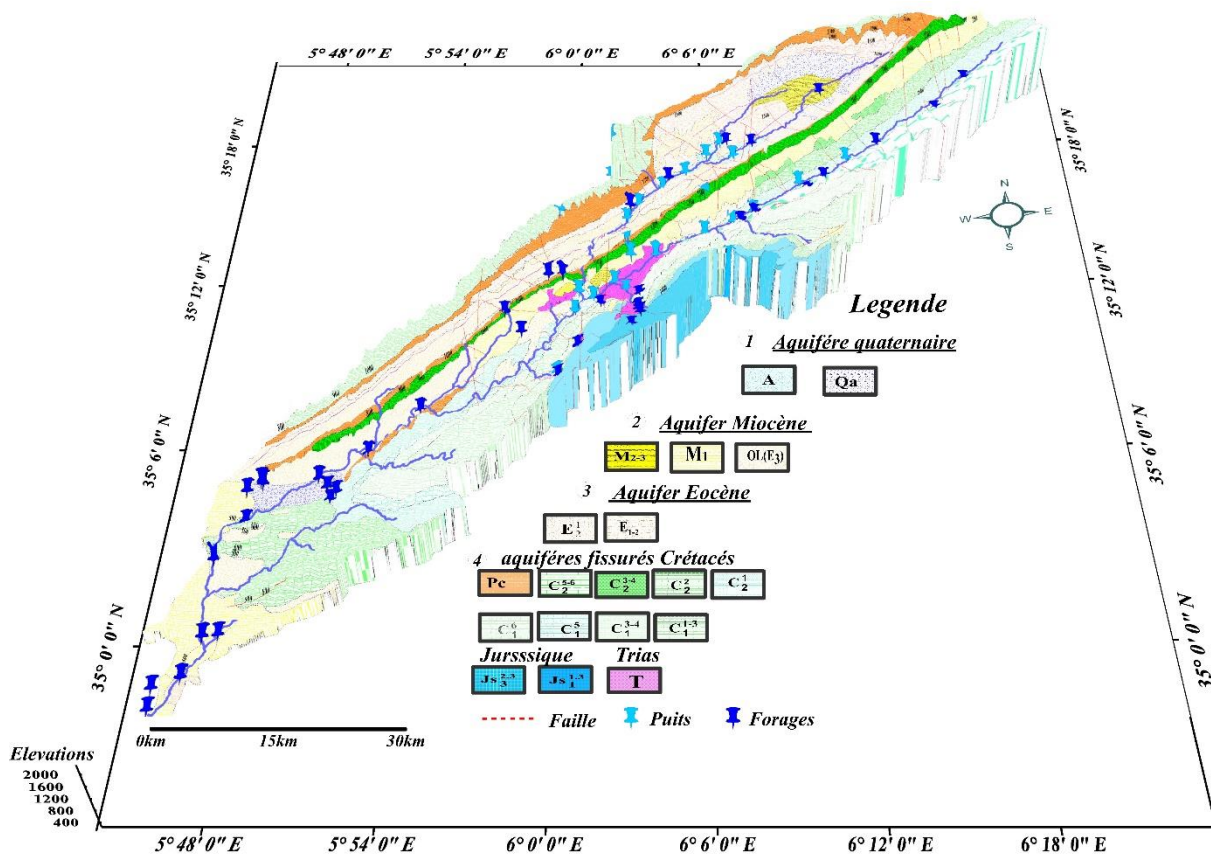


Figure 101: Carte hydrogéologique de l'oued Abdi (Réalisé par: M. bendjerad 2024).

La Coupe Lithostratigraphiques de L'anticlinale de Djebel El-Azreg Etabli par M. BEDROUNE 1998, montre que l'épaisseur de La nappe phréatique du Quaternaire est 20 m, constituée par les dépôts alluvionnaires qui comblent les vallées d'Oued Abdi et de Bouzina Elle se localise généralement dans le lit d'oued, La nappe phréatique du quaternaire exploitée généralement par des puits et la nappe de miocène par de nombreuses sources et puits, pour les besoins agricoles et domestiques.

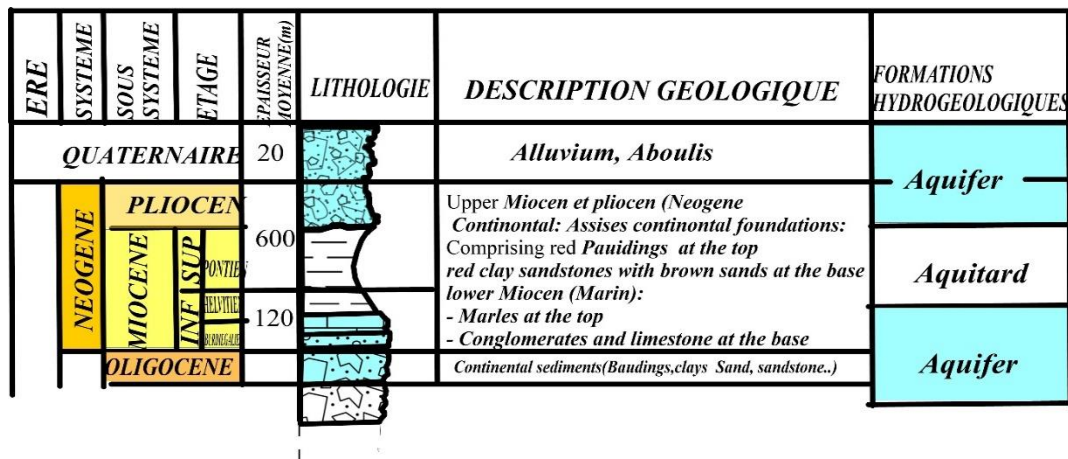


Figure 102:La Coupe Lithostratigraphiques de L'anticlinale de Djebel El-Azreg Etabli par M. BEDROUNE 1998

Des essais physiques, mécaniques sont exécutés au laboratoire du barrage de bouzina sur des échantillons prélevés des sondages et des puits situés au site de barrage et dans la zone d'emprunte. Le (f04) sondage vertical rencontrent jusqu'à 10,1 m sont des alluvions grossières (limons sableux, sables et galets, parfois blocs), vient ensuite une alternance de conglomérats avec des lits de sables argileux rougeâtres. Le sondage vertical (f 05) rencontre jusqu'à 15m des conglomérats (conglomérats 90%, argiles 10%).

La perméabilité moyenne de l'aquifère alluvionnaires décrire selon le laboratoire de barrage bouzina réalisés à 2 et 3 m de profondeur dans les colluvions de couverture, ont donné des valeurs de perméabilité  $1,4 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ .

La transmissivité calculée d'après loi darcy  $T=k*b$  ; b c'est un 'épaisseur de l'aquifère ( $1.4E-05 \text{ m/s} * 20\text{m}$ ) est égale  $2.08E-04 \text{ m}^2/\text{s}$ .

La porosité identifiée au laboratoire selon les échantillons du certain sondage sont nettement plus poreux appartient au la zone d'aquifère (moyenne 6.06 %).

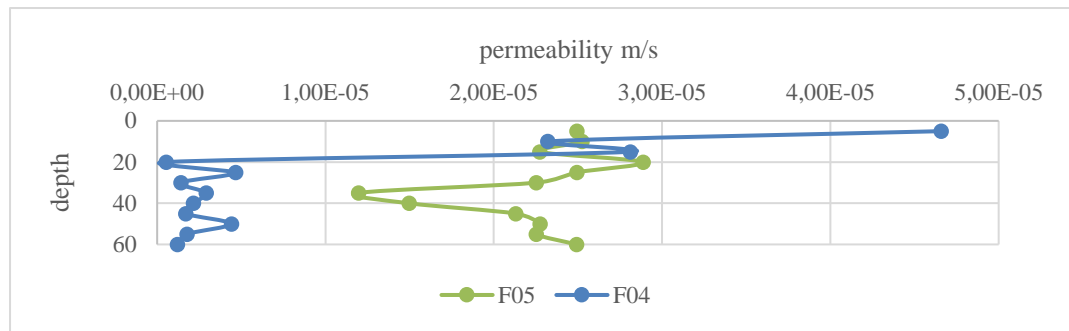


Figure 103:graph de Test du Perméabilité

La carte alluvionnaire traduit des niveaux piézométriques pendant la période des hautes eaux elle montre une surface inclinée et un écoulement se dirige en deux sens inverse vers les deux oueds Abdi et Bouzina de direction Nord -Est et Sud –Ouest ; où la plaine alluviale est située, les lignes de courant et le sens d’écoulement convergent vers l’exutoire. La carte piézométrique montre que Le gradient hydraulique est égale 0.022.  $I = dh/l = (1100-920) / 8076=0.022$

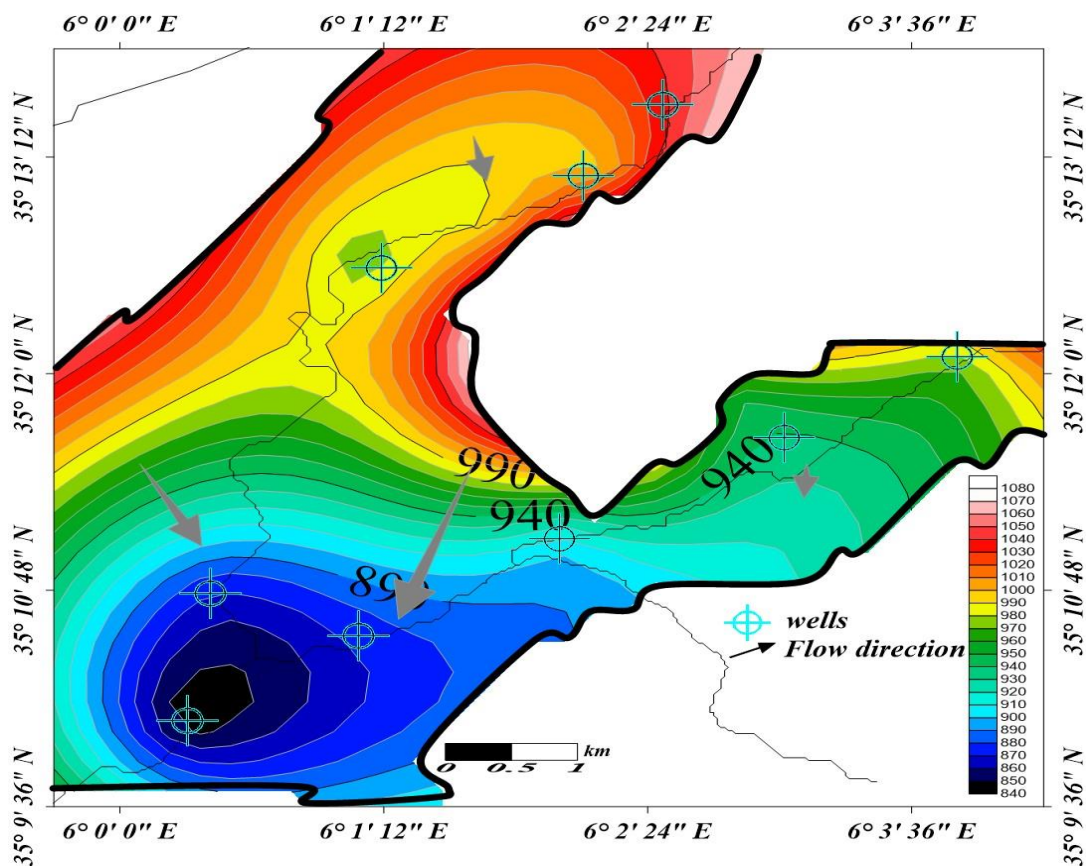


Figure 104:Carte piézométrique de la nappe alluvionnaire

### 9.4.3 Estimations de la Vulnérabilité et calcul des Isochrones :

La méthode de Wyssling (1979) permet d'établir les isochrones sous forme d'ellipses dans la direction du flux en fonction des distances amont et aval de transfert de temps. Elle permet de calculer le temps d'écoulement d'une goutte d'eau souterraine à partir d'un point quelconque de l'aquifère jusqu'au captage, ce qui permet de définir les isochrones nécessaires

La première étape pour atteindre l'objectif d'étude, qui est de déterminer la vulnérabilité d'un point d'eau, consiste à avoir au moins une section géologique pour connaître les différentes caractéristiques de l'aquifère, puis à évaluer le poids de chacune de ces propriétés, après avoir calculé la somme des valeurs de ces poids, le résultat permet d'évaluer la vulnérabilité selon la classification suivante :

- (0 <V< 6) Faible vulnérabilité,
- (6<V< 12) Vulnérabilité moyenne,
- (13<V< 20) Vulnérabilité élevée.

La deuxième étape consiste à déterminer le périmètre de protection à l'aide d'une formule mathématique selon la méthode de Wyssling, par laquelle le temps d'écoulement (t) d'une goutte d'eau souterraine est calculé en amont vers l'aval selon la direction du flux de l'eau souterraine, les isochrones nécessaires sont ainsi identifiés pour déterminer le périmètre de protection. Et toutes les étapes à suivre sont résumées et schématisées dans le Logigramme (Figure 3).

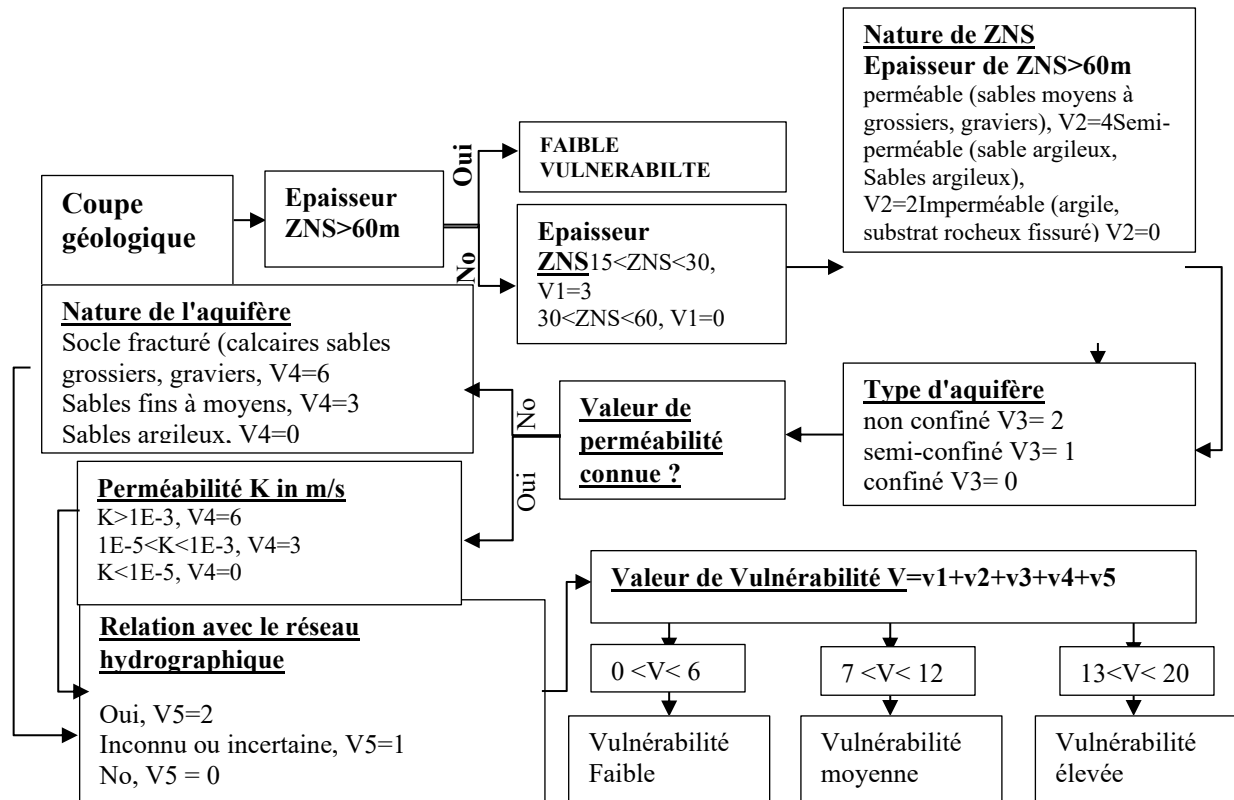


Figure 105: Logigramme d'évaluation de vulnérabilité par la méthode de Wyssling

9.4.4 Estimations de Vulnérabilité:

On explique ci-après quelles étapes on a suivi :

Coupe géologique ? = oui

Epaisseur Zone Non Saturée (ZNS) > 60m ? = non. La ZNS a ici une épaisseur de 20 m

- ✓ Epaisseur ZNS = entre 15 et 30 donc V1 = 3
- ✓ Nature ZNS = perméable (alluvions, stands, gravels) : V2 = 4
- ✓ Type de nappe = libre : V3 = 2
- ✓ Connait-on une valeur chiffrée de la perméabilité de l'aquifère ? = 1.4E-5m/s V4 = 3
- ✓ Relation avec le réseau hydrographique = oui : V5 = 2
- ✓ Note de vulnérabilité : V=3 + 4 + 2+ 3 + 2= 14
- ✓ Donc : V est compris entre 13 et 20, d'où la vulnérabilité est fort

9.4.5 Calcule et détermination des Isochrones des puits implantés dans l'aquifère alluvionnaire :

Calcul isochrones par Méthode de Wyssling				
DERECTION D'ECOULEMENT		NE-SW		
1- Les parameters d'aquifère				
✓ Epaisseur de l'aquifère en (m)	b	20m		
✓ Perméabilité en m/s	K	1.4E-05 m/s		
✓ Transmissivité	T	2.80E-04m2/s		
✓ Gradient hydraulique	I	0.022		
✓ Porosité efficace	$\omega$	6.06 %		
✓ débit du puits en m3/s	Q	0.008 m3/s		
2- La zone d' d'appel				
✓ Largeur du front d'appel	$B=Q/ T.i$	1299 m		
✓ Rayon d'appel	$X0 = Q/2\Pi.T.i$	207 m		
✓ Largeur du front d'appel à hauteur du captage	$B'=B/2$	649m		
✓ Vitesse effective	$U=k.i/ \omega$ (m/s)	5 E-06m/s		
3- Isochrones		50 jours	100 jours	200 jours
✓ Grandeur intermédiaire pour t = 50, 100 et 200 jours.	$L(t j)=K.i.t/w$	22 m	44m	88m
✓ Distance amont du captage depuis le puits jusqu'à la distance correspondant au temps t souhaité en m	$S0 = (L+ \sqrt{L(L+8x_0)}) /2$	107m	159m	239m
✓ distance aval du captage depuis le puits jusqu'à la distance correspondant au temps t souhaité en m.	$Su= ( -L+ \sqrt{L(L+8x_0)})/2$	85m	115m	152m

**Tableau 35: tableau des paramètres de l'Aquifère et calcul des Isochrones par la méthode de Wyssling.**

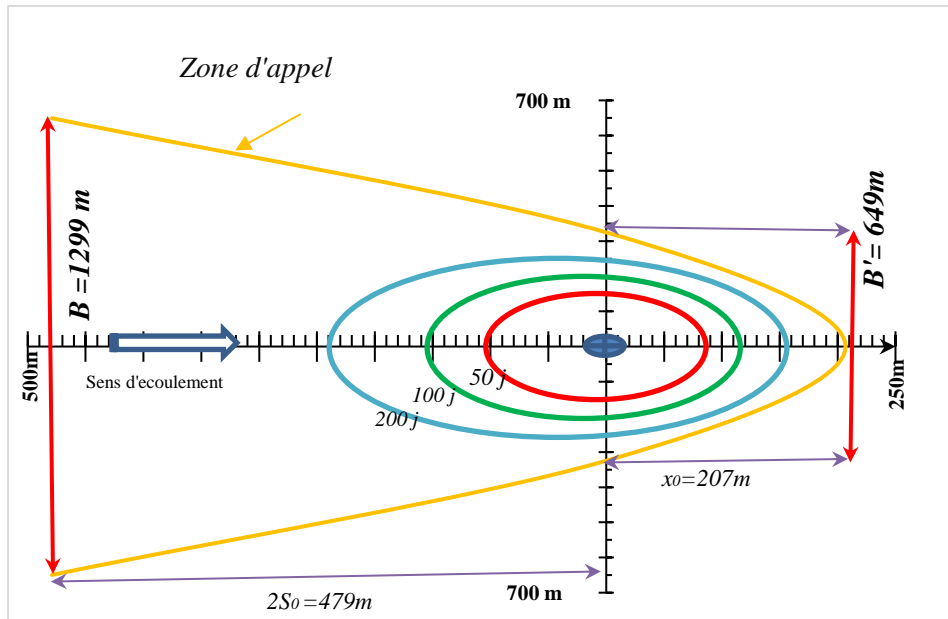


Figure 106: Détermination de la zone d'appel et des isochrones des puits (l'aquifère alluvionnaire)

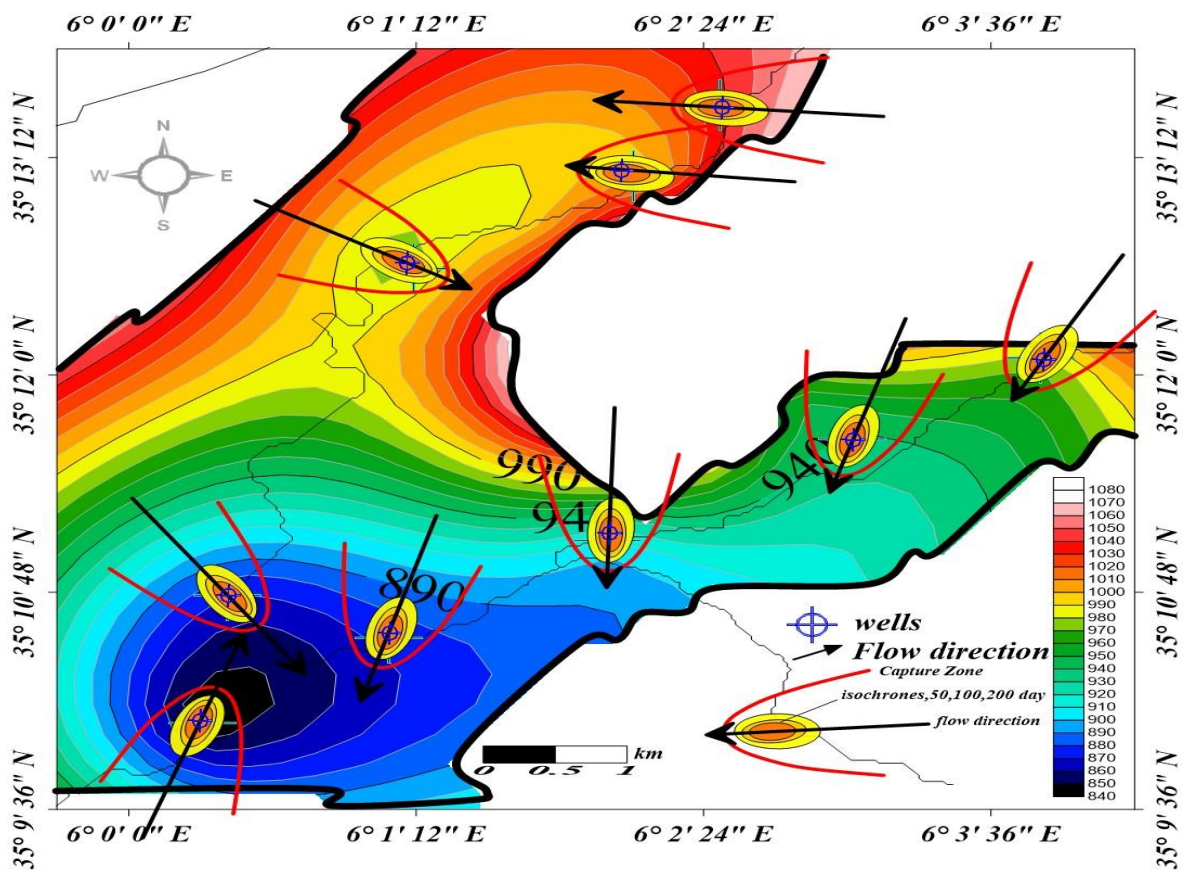


Figure 107: La carte piézométrique alluviale avec les isochrones 50, 100, 200 jours

**9.4.6 Conclusion :**

La protection des sources d'eau est essentielle pour assurer la sécurité de la vie. Pour cela, des limites de protection sont définies selon le temps et la distance, pour un point de captage d'eau implanté dans l'aquifère alluvionnaire, la goutte d'eau mettra 50 jours pour parcourir 107 m, 100 jours pour 159 m et 200 jours pour 239 m du côté amont, De l'autre côté, à l'aval, elle coupera 85 m, 115 m et 152 m respectivement avec les temps de 50 jours, 100 jours et 200 jours. Ces isochrones définissent des zones de protection prioritaires où il est interdit de placer des sources de pollution en fonction de leur degré de risque.

L'isochrone de 50 jours représente les périmètres immédiate, tout ce qui cause un danger direct ou indirect pour le puits est interdit dans cette zone.

L'isochrone de 100 jours représente les périmètres rapprochés, Les activités de forage qui affectent la partie extérieure de l'aquifère, telles que les activités minières et les carrières, ou le creusement d'autres puits, sont interdites.

L'isochrone de 200 jours représente les périmètres éloignés, Dans cette zone elliptique, les activités industrielles sont interdites, ainsi que certaines formes de pollution, telles que les décharges publiques et autres polluants dangereux.

**9.5 Evaluation du Vulnérabilité et détermination des zones de protection pour l'aquifère Fissuré :****9.5.1 Introduction :**

La région des Aures est confrontée à des défis complexes en matière de gestion des eaux souterraines. L'hétérogénéité élevée du système aquifère fissurées, la difficulté de la géologie et de la topographie de la région, ainsi que l'augmentation de l'émergence saisonnière des sources et de la propagation de la pollution menacent les eaux souterraines, ainsi que du manque de capacités matérielles avancées pour le protéger de la pollution, ces facteurs nous ont amenés à rechercher la méthode appropriée pour étudier ce système aquifère et il est devenu évident que la seule méthode Disco est utilisée dans les aquifères fissurées fortement hétérogènes.

Alain Pochon a appliqué la méthode disco au site de Wyssberg en Suisse sans utiliser le SIG, dans notre zone d'étude, nous avons appliqué la méthode disco avec un SIG, nous nous sommes appuyés sur l'outil mappe algèbre sur ArcGIS pour calculer et combiner les cartes des paramètres.

Les discontinuités, la couverture protectrice, les processus d'écoulement et la topographie font partie des facteurs pris en compte par la méthode de vulnérabilité multiparamètre DISCO.

Enfin, la zone de protection est délimitée en convertissant et en combinant les différentes cartes de facteurs. Par conséquent, il est essentiel de comprendre les caractéristiques du système aquifère et de mettre en œuvre des mesures pour protéger et gérer les eaux souterraines de manière durable. Les étapes qui suivent illustrent les résultats de l'application de l'approche Disco avec Gis dans la zone d'étude.

### **9.5.2 Classification hydrogéologique des aquifères consolidées(fissurées) :**

Le bassin versant de l'oued Abdi est caractérisé par une structure fracturée d'un aquifère multicouches, composée principalement de calcaires marneux crétacés, de grès et de conglomérats. Les aquifères consolidés (fissurés) peuvent être divisés en trois catégories principales :

- ✓ Les aquifères poreux partiellement fissurés ;
- ✓ Les aquifères fissurés partiellement poreux ;
- ✓ Les aquifères en roches fissuré.

Ces aquifères constituent un système d'aquifères fissurés multicouche très hétérogène, des Forages été forés dans des endroits proches dans le site de barrage de bouzina, et la perméabilité change en raison du changement du degré de fracturation de la roche solide. Les sources sont situées sur les bords des formations calcaires et marneuses, et le débit annuel moyen est d'environ 10-15 l/s. Une diminution importante est observée en été, ce qui est attribuable au pompage de l'eau du système aquifère.

Un test de traçage s'est produit par hasard, lorsqu'une chèvre assoiffée s'est séparée du troupeau et a alerté un berger de l'existence d'un trou dans lequel il a entendu un fort bruit d'eau coulant. Il a alors jeté son bâton à l'intérieur et il est ressortir d'une source située à des dizaines de kilomètres de là, appelée Tabgha.

Les zones de protection des eaux souterraines doivent être soigneusement examinées avant de commencer à localiser les décharges publiques et les bassins de résidus.

Par conséquent, des zones de protection doivent être délimitées pour gérer et éviter l'enfouissement et remblayage des déchets et toutes type de contamination.

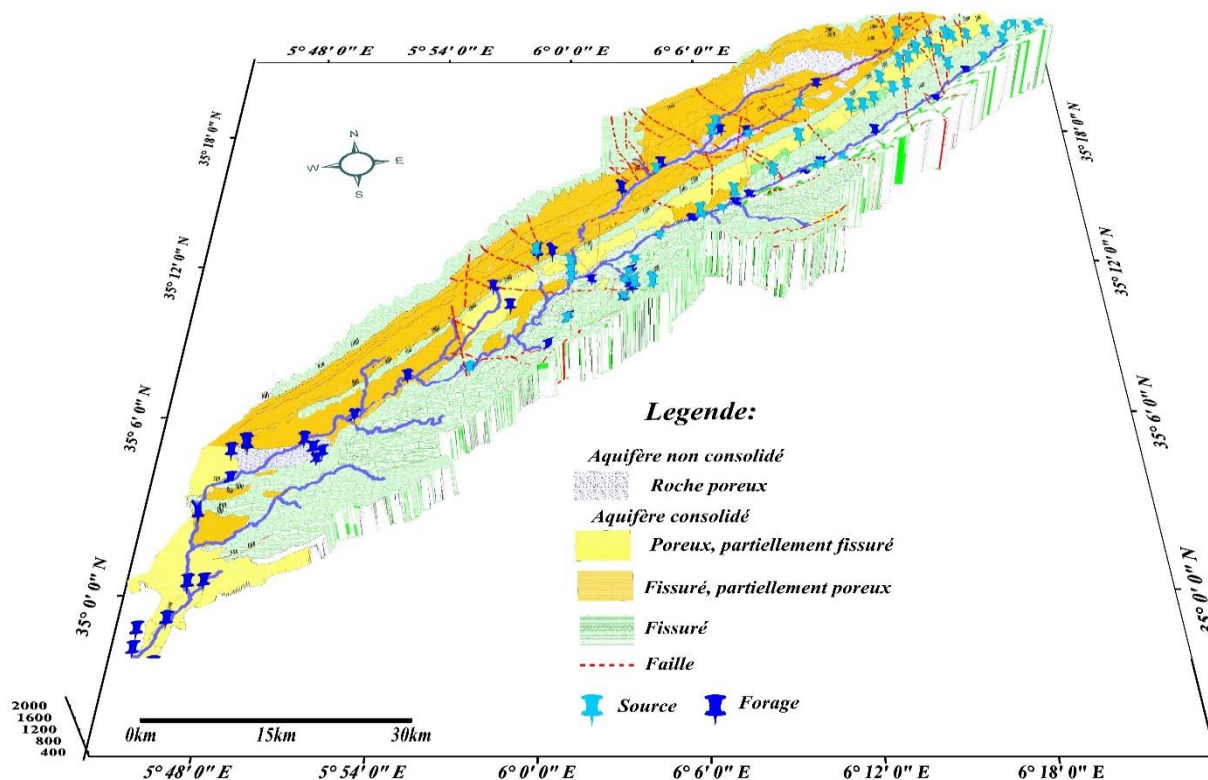


Figure 108: Classification des Aquifères selon la nature de la roche

### 9.5.3 Cartographie de la vulnérabilité et délimitation des zones de protection dans les aquifères très hétérogènes :

#### 9.5.3.1 Définition et objectifs

La méthode multicritère DISCO (Pochon & Zwahlen, 2003) a été conçue pour les captages situés dans des milieux fortement hétérogènes, et fissurés. Elle est particulièrement adaptée à la caractérisation des aires d'alimentation de captages (AAC), dont le comportement hydrogéologique est très sensible aux événements pluvieux.

Chacun doit prendre soin de l'eau et agir pour prévenir toute forme de dégradation de celle-ci. Il est important de rester vigilant et de prendre les mesures nécessaires pour protéger l'eau.

#### 9.5.3.2 Evaluation et classification des Paramètres :

La méthode de cartographie de la vulnérabilité pour les milieux fissurés hétérogènes se base sur la caractérisation de trois paramètres : les discontinuités (D) est notée sur une échelle de 0 à 3, la couverture protectrice (P) est notée sur une échelle de 0 à 4, et le ruissellement (R) d'eau en surface avant son infiltration.

Une fois ces deux paramètres évalués, nous pouvons calculer le facteur de protection intermédiaire (Fint) en multipliant la discontinuité par 2 et en ajoutant la couverture protectrice  $F_{int} = 2 \cdot D + P$  (note entre 0 et 10). Le facteur de protection intermédiaire est noté sur une échelle de 0 à 10 et est un indicateur du niveau d'auto protection du système aquifère.

Afin de déterminer le facteur de protection final F, une cartographie est réalisée en prenant en compte le paramètre « ruissellement » en amont des surfaces caractérisées par un Fint faible. Pour cela, les bassins versants de surface alimentant par ruissellement les zones les plus vulnérables à l'infiltration sont délimités.

#### **9.5.3.2.1 paramètre « discontinuités »**

Les paramètres de discontinuités sont classés selon leur perméabilité et leur connexion aux points d'eau. La classification est la suivante :

D<sub>0</sub>, avec une note de 0, représente les zones de fractures hautement perméables qui sont rapidement connectées aux points d'eau ;

D<sub>1</sub>, avec une note de 1, représente une liaison relativement rapide aux points d'eau ;

D<sub>2</sub>, avec une note de 2, représente une liaison relativement lente aux points d'eau ;

D<sub>3</sub>, avec une note de 3, représente une zone de faible perméabilité ou une fracture avec une connexion lente aux points d'eau (sources ou puits).

La largeur des principales fractures directement connectées aux points d'eau est délimitée à environ 200 à 500 m, avec une valeur de D<sub>1</sub>. Quant aux semi-fractures connectées aux discontinuités majeures, elles sont limitées par une largeur moindre avec une valeur de D<sub>2</sub>, et une valeur de D<sub>3</sub> a été attribuée au reste du bassin versant.

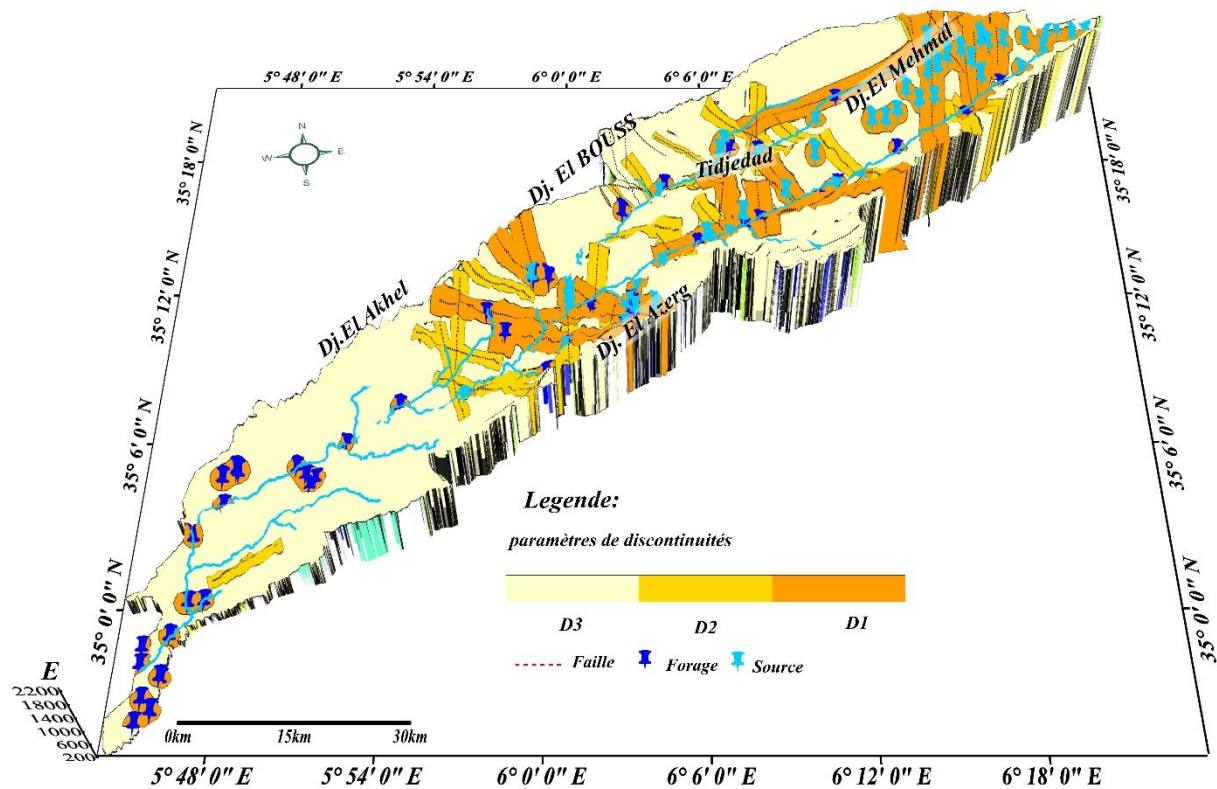


Figure 109: carte de paramètre des discontinuités(Réalisé par:M.bendjerad 2024).

9.5.3.2.2 paramètre de couverture protectrice :

la méthode DISCO propose une évaluation très proche de celle du paramètre « Sol » utilisées pour les milieux continus et karstiques, avec 5 classes, P0 à P4( Vernoux et al., 2014).

Tableau 36: paramètre de couverture protectrice

a) Sol (definition pédologique)			
Epaisseur (m)	Sol très perméable (sable, blocs)	Sol a perméabilité moyenne (silt ,limon)	Sol peu perméabilité(limon,argile)
0-0.2	P0	P0	P0
0.2-0.5	P0	P0	P1
0.5-1	P0	P1	P2
>1	P1	P1	P3

**b** : présence de formations géologiques peu perméables, consolidées ou non consolidées (argile, limon, marne),

Epaisseur (m)	Combiné a sol p0	Combiné a sol p1	Combiné a sol p2	Combiné a sol p3
<1	P1	P2	P3	P3
1-2	P2	P3	P3	P4
>2	P3	P3	P4	P4

La carte pédologique carte algérienne (Biskra et Tbessa avec une échelle de 1/500000) a été utilisée pour déterminer le paramètre de couverture protectrice P. Cette surface du sol est la première couverture à protéger les eaux souterraines, ce qui dépend du type de formation géologique et de la vitesse de perméabilité de l'eau à l'aquifère.

Les sols calcaires et humifères( ch) sont les couvertures pédologiques les plus courantes attachées à l'aquifère, cette formation géologique de surface avec des fissures causées par les différences de température quotidiennes et saisonnières et également par l'activité sismique ; cela est évalué comme une formation de perméabilité modérée avec une note de sol P0, et cette note est la même que pour les sols humifères non saturés (ih) et les sols alluviaux sols alluvionnaires basiques (ab) , la faible perméabilité du socle rocheux( rm )l'a classée comme P3, et P1 pour (se) ablation éolienne des sols. Tout cela est dans le tableau ci-dessous.

Table 37: Évaluation du paramètre Couverture de protectrice dans la zone d'étude

Sol pédologique	Epaisseur (m) De Sol (a)	perméabilité	Notation Sol (a)	Epaisseur (m) De Sol (b)	Évaluation du sol combiné (a) avec (b)
ih	0.2-0.5	MOYENNE	P <sub>0</sub> = 0	>2	P <sub>3</sub> = 3
rm	>1	FAIBLE	P <sub>3</sub> = 3	<1	P <sub>3</sub> = 3
se	>1	MOYENNE	P <sub>1</sub> = 1	<1	P <sub>2</sub> = 2
ch	0.2-0.5	MOYENNE	P <sub>0</sub> = 0	1-2	P <sub>2</sub> = 2
ab	0.2-0.5	MOYENNE	P <sub>0</sub> = 0	<1	P <sub>1</sub> = 1

a : sol pédologique ;( ih : sols humifères non saturés ; rm : socle rocheux ; se : ablation éolienne des sols ; ch : sols calcaires et humifères ; ab : sols alluvionnaires basiques), b : présence de formations géologiques peu perméables, consolidées ou non consolidées (argile, limon, marne),

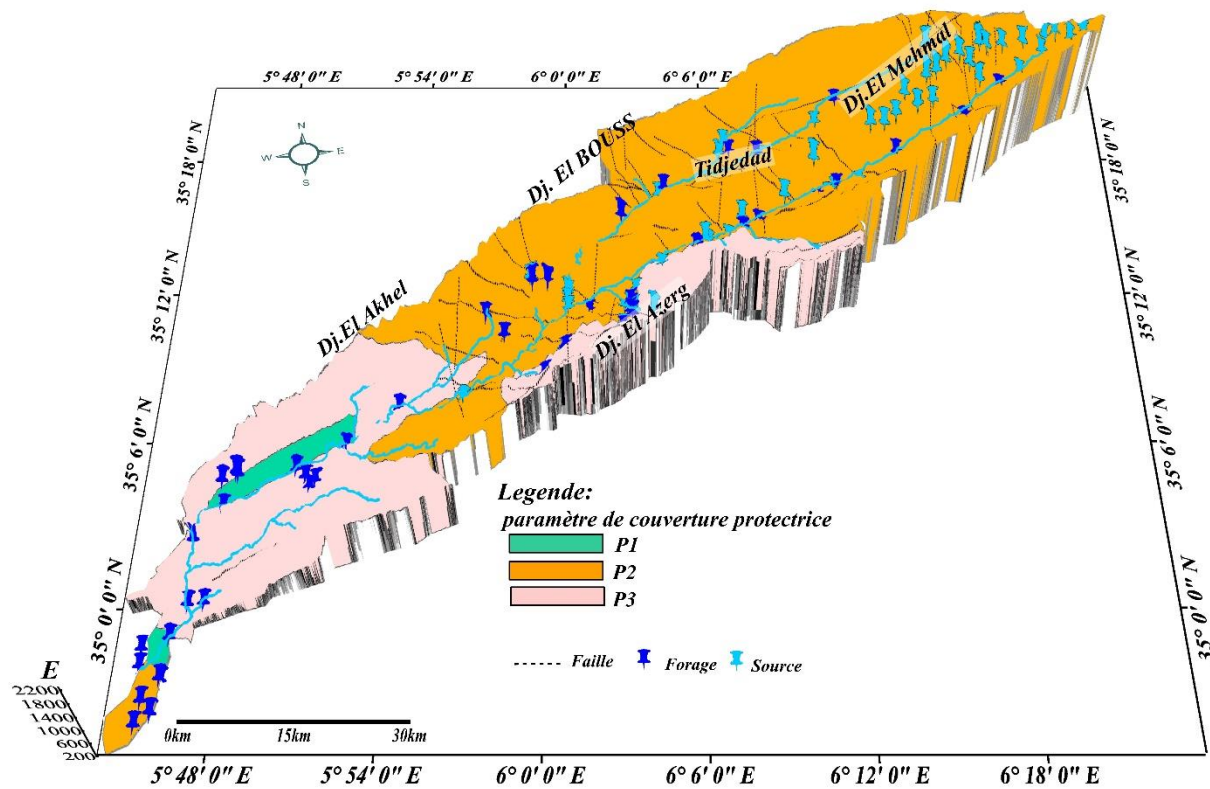


Figure 110: carte du couverture protectrice(Réalisé par:M.bendjerad 2024).

9.5.3.2.3 Le facteur de protection intermédiaire :

Une combinaison linéaire des deux paramètres précédents génère le facteur de protection intermédiaire à l'aide de l'équation suivant :

$$F_{int} = 2 * D + P, \tag{30}$$

L'outil Algebra Map dans ArcGIS nous permet de combiner les deux cartes de discontinuités et de couverture protectrice en fonction de l'équation «Fint» afin de créer une carte de protection intermédiaire, pour déterminer les limites de la protection et les zones vulnérables, les valeurs résultantes peuvent être classées comme suit:

- (2, 3) faible protection signifie que la vulnérabilité est forte,
- (5, 6, 7) protection moyenne avec une vulnérabilité moyenne,
- (8, 9) une protection forte signifie que la vulnérabilité est faible.

Tableaux 38 : Combinaison des paramètres discontinuités et Couverture de protection

P	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	Protection	Vulnerabilité
---	----------------	----------------	----------------	------------	---------------

D						
D <sub>1</sub>	3	2	3	FAIBLE	FORTE	
D <sub>2</sub>	5	6	7	MOYENNE	MOYENNE	
D <sub>3</sub>	7	8	9	FORTE	FAIBLE	

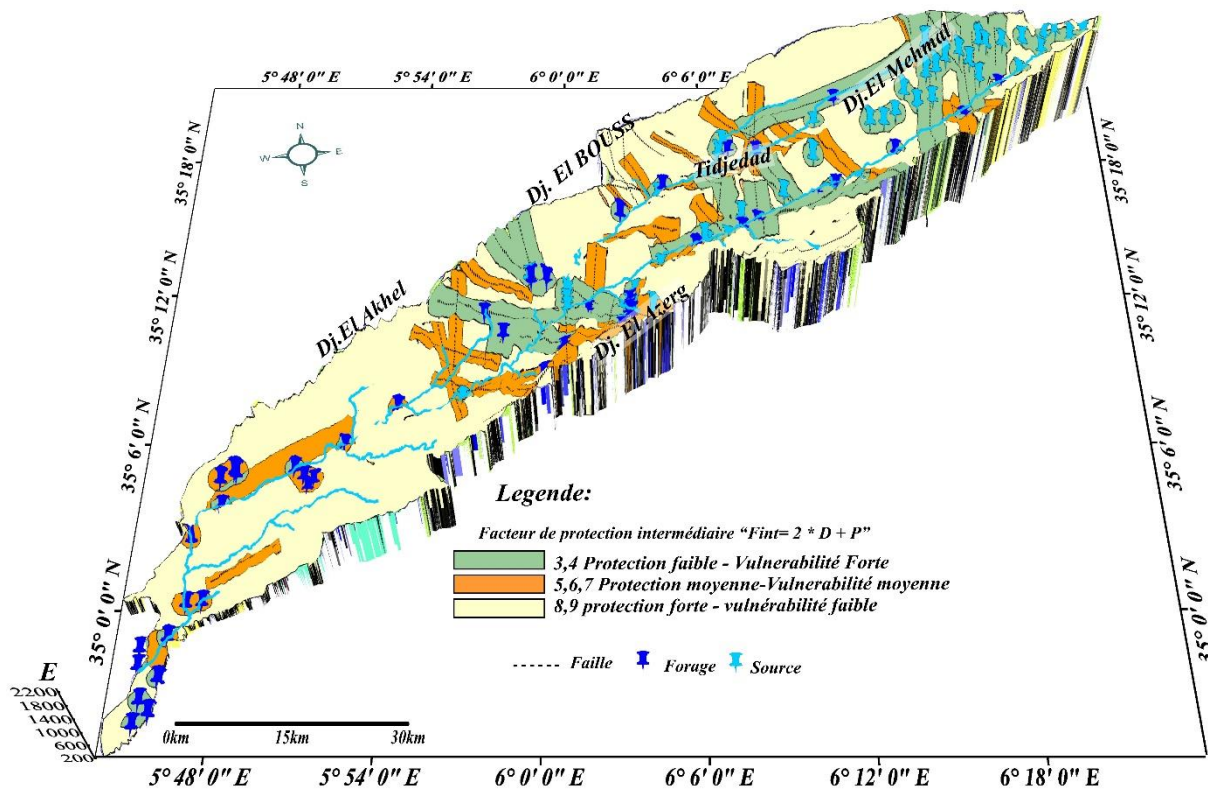


Figure 111: Carte du facteur de protection intermédiaire (Réalisé par: M. bendjerad 2024).

#### 9.5.3.2.4 Ruissellement et facteur de protection finale « F ».

Pour créer une carte de facteur de protection finale à partir d'un facteur intermédiaire, la méthode Disco suggère d'entourer la surface d'écoulement des parties du réseau hydrographique qui appartiennent ou ont un contact direct avec les zones de faible protection ( $0 \leq F_{int} \leq 4$ ) et de forte vulnérabilité, ainsi qu'évalué par le degré de pente qui détermine grandement la convenance des terres pour les conditions de débit d'eau de surface et d'écoulement sous l'influence de la gravité.

Dans la zone d'étude, les sources et les puits sont presque en contact avec les effluents du bassin local, et certains avec une extension inconnue, donc les degrés de pentes entre 10 et 20, qui sont les plus répandus, les drains entourés pour plus de 25 mètres.

Tableau 39: détermination de l'extension des surfaces vulnérable lors de la prise en compte du ruissellement

<b>a) ruissellement diffus le long des pentes (bassin versant local relativement uniforme sans chenaux ou système de drainage)</b>	
pente	extension à attribuer au bassin versant local
2-10%	10 mètres en amont ou autour de la surface vulnérable considérée
10-25%	20 mètres en amont de la surface vulnérable considérée
>25%	30 mètres en amont de la surface vulnérable considérée
<p>En présence de talwegs, chenaux, chemins ou drains collectant les eaux de ruissellement, l'extension du bassin versant local à considérer doit être étendue en conséquence. L'extension des surfaces à considérer a été fixée sur la base d'observations réalisées essentiellement sur des secteurs de pâturage. De manière générale le ruissellement est souvent plus faible dans les secteurs de forêts, en raison de la présence d'un sol plus aéré d'épaisseur réduite. Dans ce cas, la prise en compte de bassins d'alimentation locaux d'extension plus petite (p.ex. 10 mètres même en cas de pentes supérieur à 25%) peut être admise</p>	
<b>b) cours d'eau permanents ou temporaires infiltrants</b>	
Extension à attribuer au bassin versant local	lit et berges du cours d'eau, bassin versant local selon les critères de pente spécifiés ci-dessus pour le ruissellement

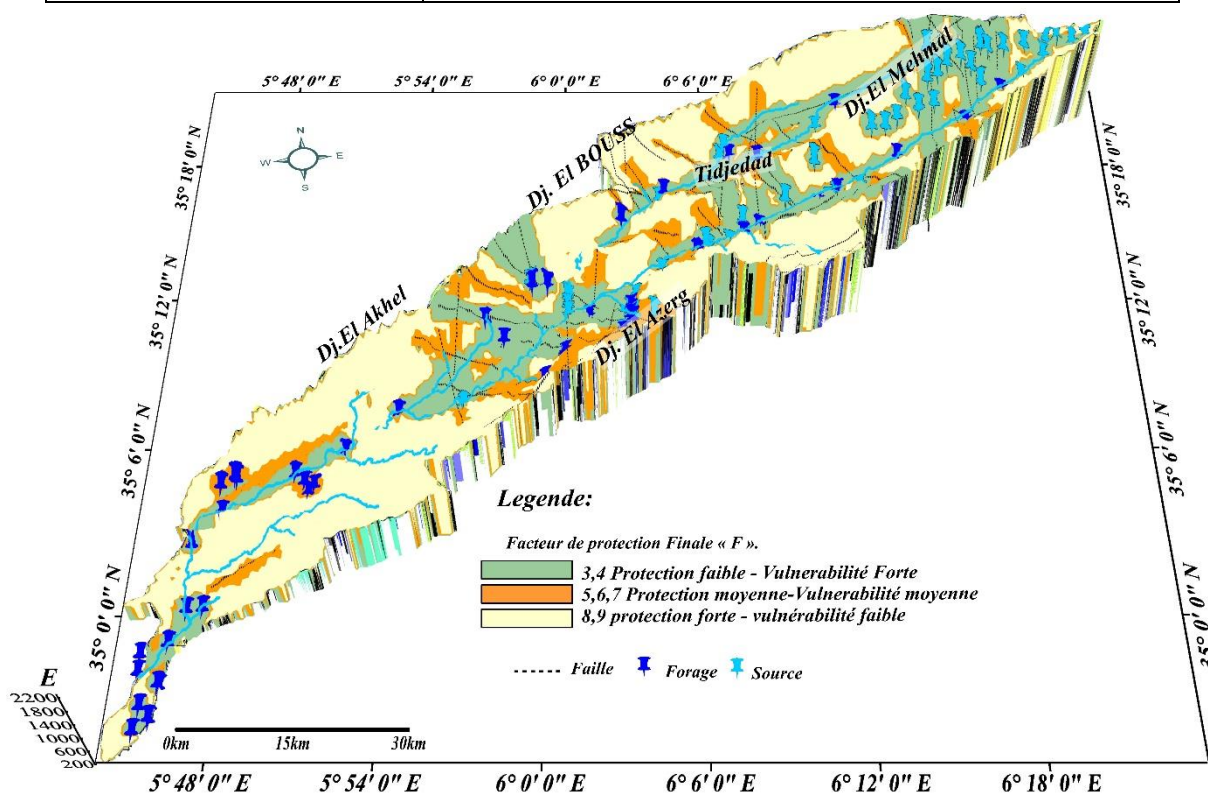


Figure 112: Carte de la facture de protection final "F" (Réalisé par: M. bendjerad 2024).

**9.5.3.2.5 Délimitation de la zone de protection :**

La carte finale de facteur de protection obtenue après avoir combiné les discontinuités des paramètres et la couverture protectrice, ainsi qu'après avoir créé la carte de vulnérabilité est transformée en une carte des zones de protection S1, S2 et S3.

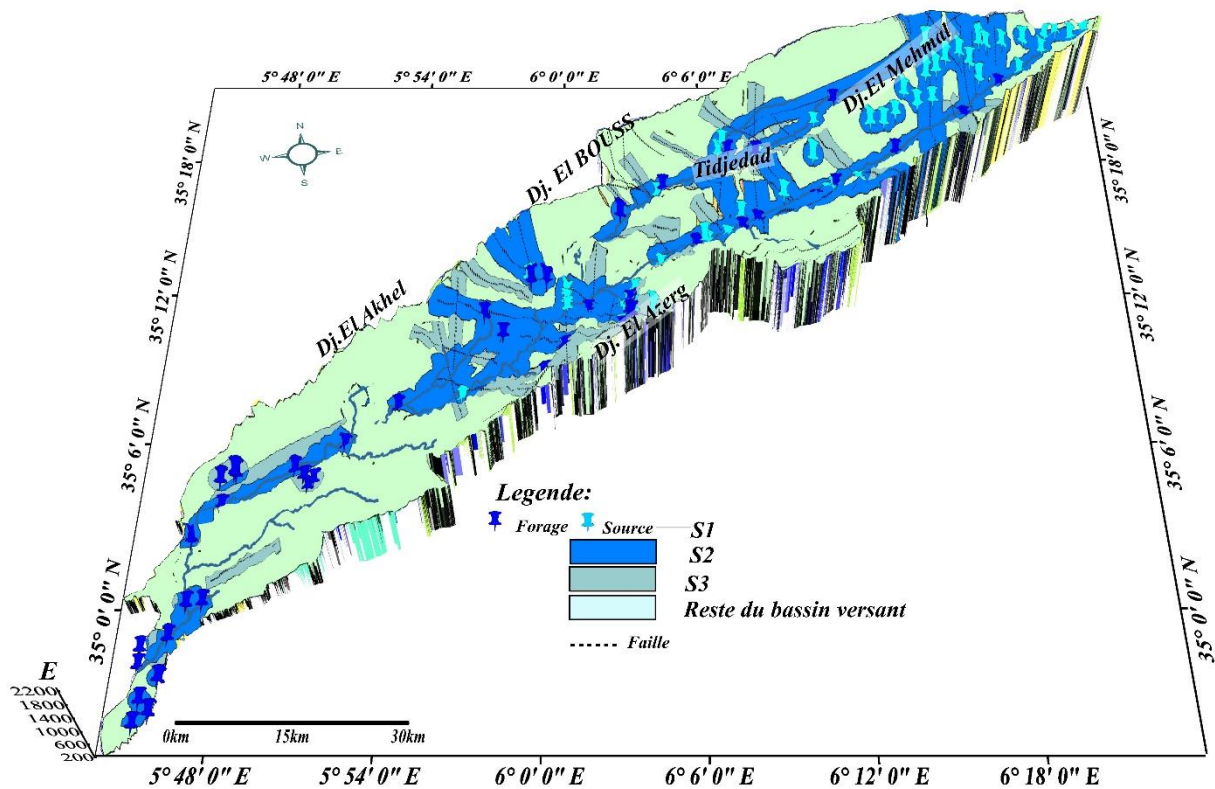
Les zones de protection des eaux souterraines sont ensuite déterminées en attribuant une valeur de facteur de protection à chacune des zones S1, S2 et S3.

La zone S1 représente les aires de très Forte vulnérabilité et de très faible protection, telles que les points d'eau ; dans cette zone Seules les activités visant à fournir de l'eau potable sont autorisées.

La zone S2 représente les aires de protection Faible et Forte vulnérabilité ; il est interdit de construire (sauf dérogations possibles), de creuser ou de modifier le sol, d'effectuer des activités qui pourraient réduire les ressources en eaux souterraines ou altérer leur qualité, d'utiliser des produits phytosanitaires mobiles et difficilement dégradables.

La zone S3 représente les aires de protection et vulnérabilité moyenne ; Il est interdit d'extraire du gravier, du sable ou d'autres matériaux, de décharger des déchets, d'installer des entreprises industrielles ou artisanales qui présentent un danger pour les eaux souterraines, et de construire en dessous du niveau piézométrique maximum des nappes d'eaux souterraines.

Pour le reste du bassin versant, il est considéré comme une zone à très forte protection et à très faible vulnérabilité.



**Figure 113: délimitation des zones de protection des eaux souterraines avec la méthode DISCO. (Réalisé par: M. bendjerad 2024).**

### 9.5.4 Conclusion

L'aquifère hétérogène contient des couches de roche fissurées ou de sédiments de différentes tailles, textures et compositions, La méthode Disco la seule approche appropriée appliquée dans ces types des aquifères. Les discontinuités, la couverture pédologique, le ruissellement et la pente ont été étudiés à l'aide des systèmes d'information géographique pour identifier les facteurs intermédiaires et les zones vulnérables et puis les zones de protection, donc sont classées en trois catégories : S1, S2 et S3, afin de prendre en compte les priorités des études terrain ou la réalisation de divers projets.

# *Conclusion Générale*

## Conclusion Générale

---

Le bassin versant de l'Oued Abdi se trouve dans les Aurès dans la chaîne de l'Atlas du Sahara oriental au nord-est de l'Algérie.

La série des couches exposées par la zone d'étude s'étend de la période jurassique à la période quaternaire, où apparaissent des formations aquifères potentielles telles que les carbonates du Jurassique supérieur, les grès du Crétacé inférieur, les carbonates du Turonien, les carbonates de Maastricht, les carbonates de l'Éocène inférieur, les Oligocène et Miocène continental. Grès, conglomérats et limons quaternaires.

Une analyse des paramètres climatiques observés sur une période de 30 ans a été présentée à différentes stations du bassin de l'Oued Abdi, et selon les précipitations annuelles moyennes et les températures annuelles moyennes pour chaque station, elle montre que le climat varie de semi-aride à nord-est, steppes au milieu, et déserts au sud-ouest et très secs au sud.

L'évapotranspiration réelle ainsi que le bilan hydrique, qui souffre généralement d'un déficit, mais augmente aux mois de janvier, février et mars dans les stations du nord et du centre.

Le ruissellement de surface et l'infiltration ont été calculés pour chaque station, et les résultats montrent une diminution significative du nord-est au sud-ouest. Enfin, les précipitations et les chutes de neige contribuent directement à la recharge de l'aquifère par le calcaire fissuré, ainsi que de l'aquifère alluvial par le ruissellement des vallées.

L'analyse des coupes géoélectriques nous a fourni des informations précieuses sur les propriétés géologiques et géophysiques du sous-sol.

les formations géologiques qui ont émergé formaient cinq couches possibles d'eaux souterraines, à savoir : les grès et des conglomérats, de l'Oligocène et du Miocène continental, les calcaires de l'Eocène (Lutitien-Landinien) et du Maastrichtien et Turonien ,les Grès du Crétacé inférieur, en particulier les niveaux Po-Aptien, les grès, les calcaires et les calcaires gréseux de Néocomien et les calcaires dolomitiques du Jurassique supérieur (Portlandien).

Généralement l'écoulement des eaux dans la nappe de surface et dans l'aquifère profond ; d'après les cartes piézométriques synthétiques de notre zone d'étude, se fait de direction Nord–Est vers le Sud-Ouest.

La majorité des eaux de la zone d'étude appartient à deux grandes faciès chimiques suivantes ; eaux bicarbonatées calcique et eaux sulfatées calcique ; le premier provient des

## Conclusion Générale

---

calcaires et le second provient des formations gypseuses du Lutétien. Cela confirme notre conviction que l'eau des sources et des forages appartiennent aux mêmes aquifères ou aquifères communicants, ou c'est-à-dire qu'il s'agit d'un système multicouche fissuré.

les isochrones définissent trois zones de protection prioritaires où il est interdit de placer des sources de pollution en fonction de leur degré de risque ; l' isochrones 50 jours représente les périmètres immédiate, tout ce qui cause un danger direct ou indirect pour le puits est interdit dans cette zone, l'isochrone de 100 jours représente les périmètres rapprochés ;les activités de forage qui affectent la partie extérieure de l'aquifère, telles que les activités minières et les carrières, ou le creusement d'autres puits, sont interdites, l'isochrone de 200 jours représente les périmètres éloignés ; dans cette zone elliptique, les activités industrielles sont interdites, ainsi que certaines formes de pollution, telles que les décharges publiques et autres polluants dangereux

Selon la méthode disco, les zones à risques puis les zones de protection ont été classées en trois catégories : S1, S2 et S3, afin de tenir compte des priorités d'études de terrain ou de la réalisation de divers projets.

# *Bibliographie*

## Bibliographie

---

- ABCHICHE. M ET ALL, (1999) : *Etude hydrogéologique de la vallée de Oued Abdi et Bouzina(W.Batna). Sonatrach, division opérations, Hassi-Messaoud.*
- AISSAOUI D. (1984) : *Les structures liées à l'accident Sud Atlasique entre Biskra et le Djebel Menâa (Algérie). Evolution géométrique et cinématique. Thèse, 3° Cycle, Univ. L. Pasteur, Strasbourg, 150p.*
- AMENAGEMENT, D. E. S. D. (2017). *Régularisation administrative du captage EDCH dit des « Prés Clos » situé à Etude préalable à la révision des périmètres de protection du captage.*
- BOUABIDA. (2013):*Etude hydrogéologique du bassin de droh à partir de la bordure maastri chtienne de tighanimine (bassin versant de oued labiod aval-région des aurès) , Mémoire Magister, -univ.Batna, 151pages.*
- BELKHIRI.L,(2005) :*Etude hydrogéologique et probleme de la qualité des eaux souterraines de la plaine de Ain Azel«Wilya de Sétif Est Algerien». Thèse de magister en hydraulique. Batna.*
- BELKHIRI L, (2010). *Multivariate statistical characterization of groundwater quality in Ain Azel plain, Algeria. African Journal of Environmental Science and Technology 4(8) : 526-534p*
- BEN ABBAS .C. (2006) : *Evolution Moi-Plio- Quaternaire des bassins continentaux de l'Algérie Nord Orientale apport de la photographie et analyse morphostructurale. Thèse doctorat. univ Mentouri – Constantine, 257p.*
- BEBBA, N.(2015). *Etude mésologique et biotypologique du peuplement des ephéméroptères de l'oued abdi (Algerie). Journal of Materials and Environmental Science, 6(4), 1164–1177.*
- BOUGUERRA H. (2018) : *Quantification et modélisation des transports solides, cartographie des zones à risques d'érosion hydrique par utilisation d'un SIG: application aux bassins de Bouhamdane et Ressoul (Nord-Est Algérien). Thèse doctorat, Université de tlemcen. 164p.*
- BRINIS N. (2003) : *Essais d'explication de la salinité des eaux de la nappe du Moi-Pliocène : cas de la zone Est de la plaine d'El-Outaya. W de Biskra, Mémoire Magister, université Badji Mokhtar- Annaba. 103p.*
- BRINIS N. (2011) : *Caractérisation de la salinité d'un complexe aquifère en zone aride Cas de*  
*APPROCHE METHODOLOGIQUE POUR LA PROTECION DES EAUX DU BASSIN VERSANT OUED ABDI (MASSIFS DES AURES)*

## Bibliographie

---

- l'aquifère d'El-Outaya région Nord-Ouest de Biskra. Algerie, Thèse doctorat, Université Mohamed Kheider – Biskra. 118.153p.*
- CASTANY G (1982) : *Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Edit. Dunod. Paris.36.140 p.*
- CHABBAH (20075) : *Caractérisation sédimentologique et géochimique du Néogène, de part et d'autre de l'accident sud-atlasique, région de Biskra. Thèse doctorat. Univ Mentouri ± Constantine, 404p.*
- CROIX-ROUGE, C. De. (2011). *Guide Pratique Pour Les Essais De Pompage De Puits. Cicr, 108.*
- DHW (BATNA) : *Coupes Lithostratigraphiques des Sondages et Essais de Pompage*
- DJABRI. L et Al, (2001) : *La méthode DRASTIC, un moyen moderne pour l'étude de la vulnérabilité des nappes : Application aux nappes superficielles de Guelma- Bouchegouf-Annaba. Revue EDIL inf-eau n° 27.pp4-9.*
- DJABRI. L et Al, 2003: *Potential pollution of groundwater in the valley of the Seybouse River, noreastern Algeria. Environmental Geology Revue, volume 44-number6-September, 44:738-744.*
- DEBIECHE, T. ET AL. (2002). *Modeling the hydraulical behavior of a fissured-karstic aquifer in exploitation conditions. Journal of Hydrology, 257(1-4), 247-255. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00539-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00539-X).*
- ENHYD (1997) : *Etude de la faisabilité du barrage de Menâa rapport de synthèse.*
- Environment Agency. (2019). *Manual for the production of Groundwater Source Protection Zones. March,113.[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/822402/Manual-for-the-production-of-Groundwater-Source-Protection-Zones.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/822402/Manual-for-the-production-of-Groundwater-Source-Protection-Zones.pdf)*
- FINAL, R. (2012). *Rapport Final Phase 1 : Présentation des caractéristiques du bassin d'alimentation hydrologiques et hydrogéologiques Phase 2 : Analyse des risques de pollution dans le bassin d'alimentation Phase 3 : Proposition technique pour le périmètre de protection.*
- GUIRAUD R. (1973) : *Evolution post-triasique de l'avant pays de la chaîne Alpine En Algérie*

## Bibliographie

---

- : d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines. Thèse 3ecycle, Université de Nice.*
- GUIRAUD, R. (1973) : *Evolution post Triasique de l'avant pays de la chaîne Alpine en Algérien d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines.*
- GUIRAUD R. (1990) : *Evolution post-triasique de l'avant-pays de la chaîne alpine en Algérie, d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines. Geological Survey of Algeria, Memoir 3.*
- Guide National de Détermination des Périmètres de Protection des Captages d ' Eau destinée à la Consommation Humaine. (2014).*
- HERKAT M. (1991) : *Cycle eustatiques et cadre paléogéographique du Crétacé supérieur des Aurès (Algérie 2 eme sém géol. Alg.*
- HERKAT M. (1992) : *Manifestations diapiriques du trais dans les séries du crétacé supérieur de l'Atlas Saharien et des Aurès. Bull du serv. Géol de Alg, vol 3 n° 1.*
- HERKAT M. et DELFAUD J. (1999).- *Evolution des séquences et géométrie des dépôts du Crétacé supérieur du domaine atlasique oriental. Bull. Serv.Géol. de L'Algérie, Vol. 10, n° 1.*
- HAMEL. A(2009) : *Hydrogéologie des systèmes aquifères en pays montagneux a climat semi - aride. cas de la vallee d'Oued el Abiod (Aurès) Mémoire magister univ Mentouri-Constantine.*
- JURY, D. (2009). *Hydrogeologie Des Systemes Aquiferes En Pays Montagneux a Climat Semi -Aride . Cas De La Vallee D ' Oued El Abiod ( Aures ).*
- KARDACHE, R. (1988) : *Ressources en eau des Karsts du SUD-EST Algérien. Thèse de Docteur Ingénieur ; université des Sciences et Techniques du Languedoc, 234 p.*
- KERBOUB D.(2012) : *Impact des rejets urbains et industrielles sur la qualité des eaux souterrianes Cas des la region d'elkantara sud est algerien.*
- LABORDE, 2003: *Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord à l'échelle du 1/500000. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, projet PNUD/ALG/88/021, une carte avec notice explicative, 44 p.*
- LAFFITTE. R, (1939) : *Etude géologique de l'Aurès et esquisse géologique des Aures, Thèse,*

## Bibliographie

---

- Paris, Bull. Service de la carte géologique de L'Algérie, Alger, 2eme édition, 484 p.
- MEKAOUSSI.H.(2003) : *Etude hydrochimique du bassin versant du barrage du « Fontaine des Gazelle».*Mémoire de magister, départ d'hydraulique-univ.Batna, 120 pages.
- MEKAOUSSI.A.(2014) : *Etude Hydrogéologique Du Bassin De Thniet El Abed sous Bassin Versant De L'Oued Abdi-Massif Des Aurès) -univ.Batna, 148pages.*
- MANIA .J et Al, 1998: *La protection des eaux souterraines dans les zones rurales de moyenne montagne à vocation agricole. Hydrogéologie, N°4, pp 29-32, 1 Fig., 2 Tabl.*
- MENANI M. (1991) : *Etude hydrogéologique de la plaine d'El Madher (Algérie orientale): géologie, climatologie, hydrogéologie et modélisation des écoulements souterrains de l'aquifère Mio-Plio-Quaternaire. Thèse Doctorat, Université de Nancy I.*
- MEGUENNI-TANI, A. (2013). *Contribution a l'étude hydrogéologique de la nappe du mio-plio- quaternaire de la région sud de la ville de Biskra, Algérie. 58.*
- POCHON, A.ET AL(2008). *Groundwater protection in fractured media: A vulnerability-based approach for delineating protection zones in Switzerland. Hydrogeology Journal, 16(7), 1267–1281. <https://doi.org/10.1007/s10040-008-0323-0>*
- RIHANI.A,(2008) :*Etude hydrogéologique du bassin de Bouzina «sous bassin d'Oued Abdi massif des Aurès*
- SCHOELLER. H, 1934 : *Les eaux souterraines. Hydrologie dynamique et chimique. Recherche, exploitation et évaluation des ressources Masson et Cie. Editions, 642 pages.*
- SEDRATI. N et Al, 2008: *Apport de la géophysique pour la détermination de l'extension des aquifères de la région de Biskra. Journal Algérien des Régions Arides n°07.2008.P45-54.*
- SEDRATI, N. (2011). *Origines et caractéristiques physico-chimiques des eaux de la wilaya de Biskra-Sud-Est-Algérien-. 1–252.*
- SENOUCI.M ET ALL, (2000) : *Etude hydrogéologique de la vallée d'Oued El Abiod (Aurès, W Batna), Sonatrach, division opérations, Hassi-Messaoud.*
- UNESCO, 1977: *Actualisation de l'étude des ressources en eau du Sahara Septentrional. Rapport final. 490 p.*
- U.S. Environmental Protection Agency, 1987: *Health effects assessment for boron and*

## Bibliographie

---

*compounds. Environmental Criteria and Assessment Office. 8 pages*

VILA J.M. (1980): *La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens. Thèse ès Sci. Paris VI, 2 t., 665 p.*

WILCOX. L, 1948: *The quality of water agricultural use. US Dept Agriculture Tech Bull 962, Washington DC.*

YAHIAOUI A. (1990): *La partie inférieure de la série marno-calcaire du Crétacé supérieur (Cénomaniens supérieur à Coniacien inférieur, entre Batna et El Kantara). Algérie orientale : Stratigraphie, Sédimentologie et Paléogéographie. Thèse de Doctorat, Univ. Nancy I*

### **Sites internet:**

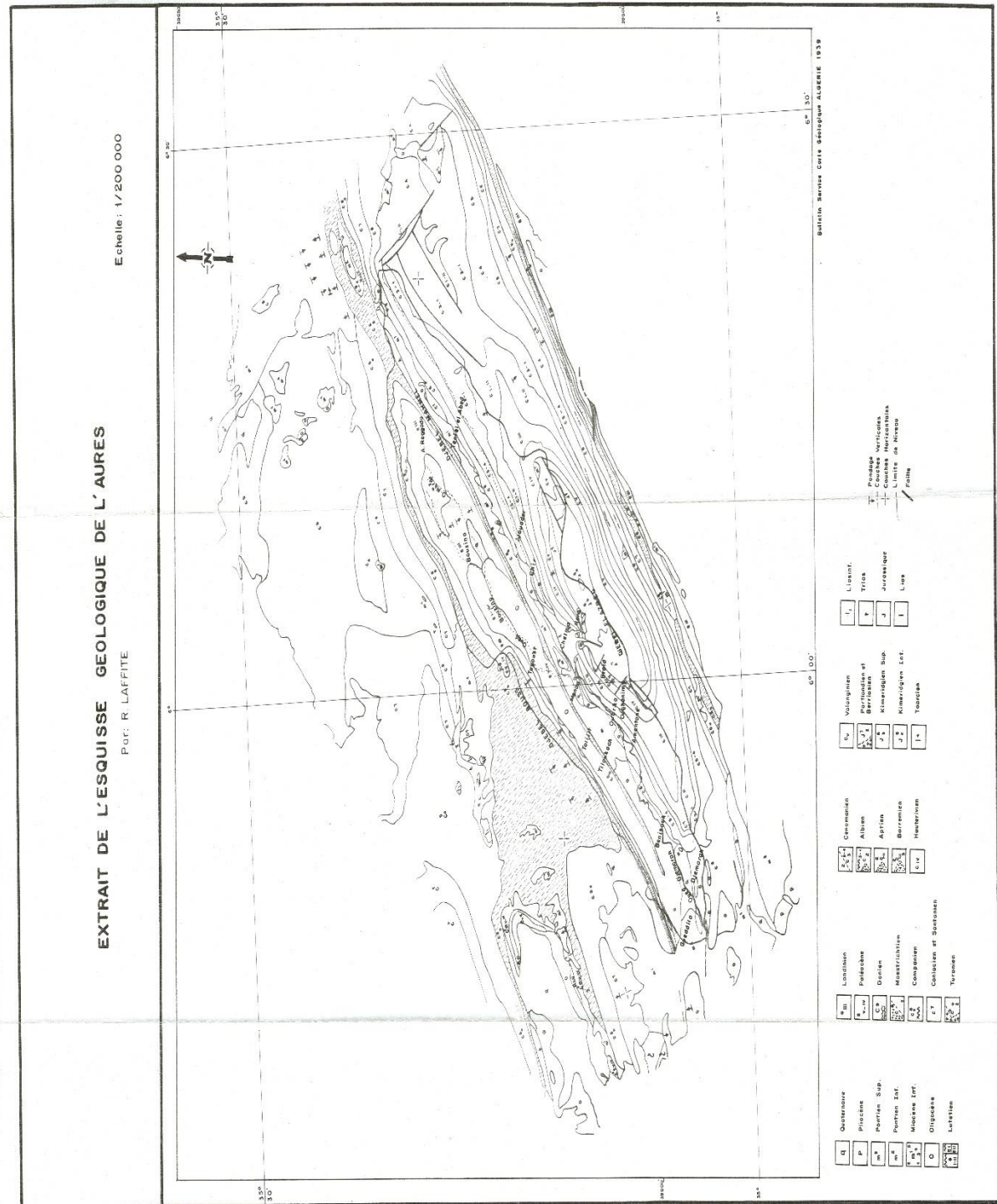
<https://earthexplorer.usgs.gov>

[https://app.climateengine.org/.](https://app.climateengine.org/)

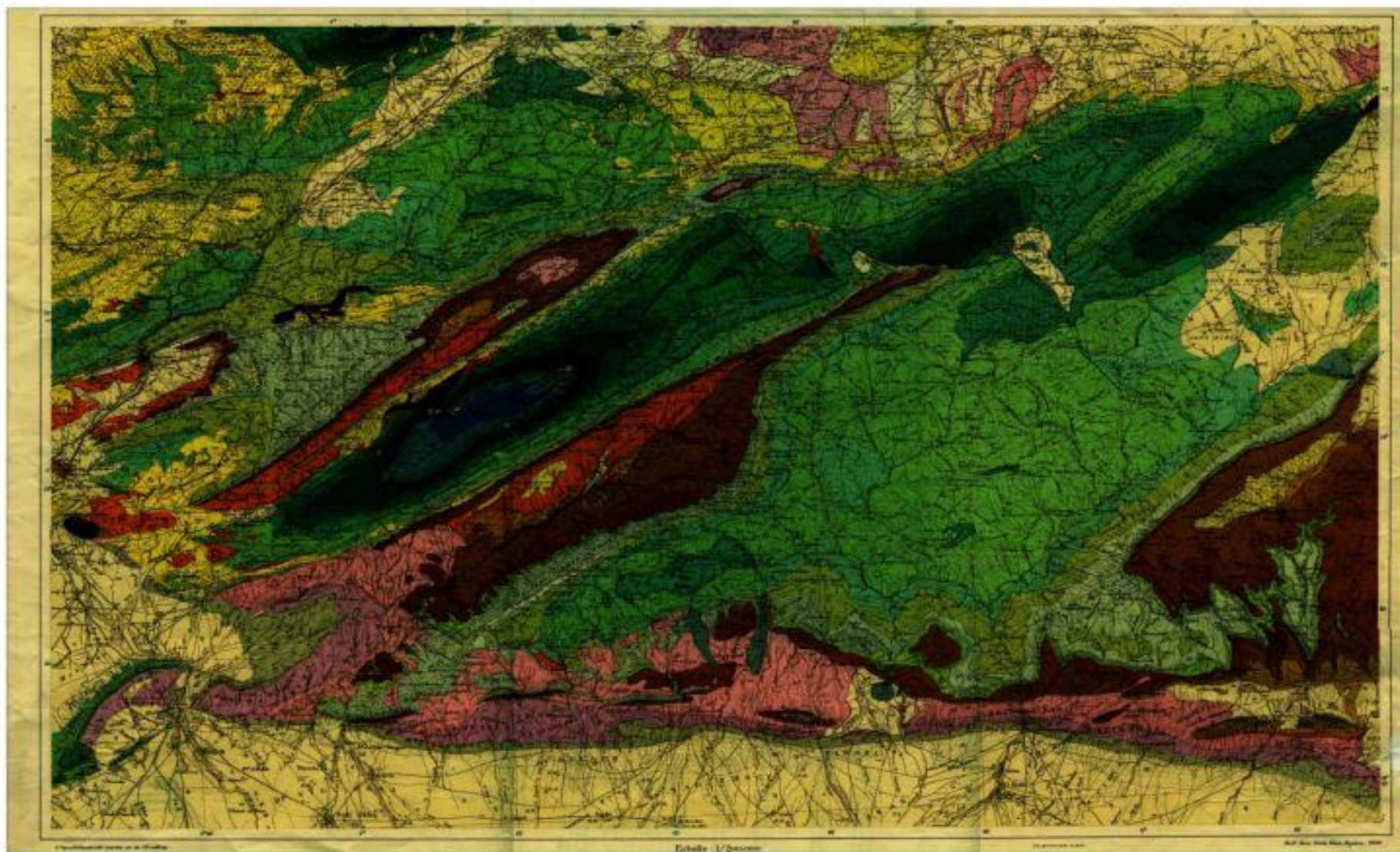
# *Annexes*

# ANNEXES

**Annexe 1 : Extrait de la carte Géologique de l' Aures R. Laffite (1939) (1/200000),  
source : ABCHICHE (1999).**



Annexe 02 : carte géologique des Aurès R. Laffitte (1939) (1/200000) source : *MEKAOUSSI.A.(2014)*.





ANNEXES

---

**Annexe 5 : Tableau des Précipitations moyenne annuel (1990-2020), source :**

<https://app.climateengine.org/>

Année	Theniet El Abed	Bouzina	Mena	Djemourah
1990	262.949	266.5234	259.555316	154.0855
1991	279.3756	247.0479	250.626716	212.109
1992	313.9172	293.3223	288.714116	216.734
1993	197.5445	193.8088	195.440416	125.2317
1994	240.3134	229.7288	211.368816	150.2829
1995	251.9904	258.2321	247.136716	204.3016
1996	269.4715	266.4692	233.241116	149.0994
1997	310.8369	285.8382	274.176516	193.8059
1998	214.7873	216.4019	211.436716	142.6605
1999	281.0612	277.8252	286.428716	236.0096
2000	220.2192	244.1473	211.180816	186.2688
2001	267.4295	260.1432	228.386116	163.7258
2002	237.9176	242.7367	217.344016	170.8251
2003	381.6097	364.2844	348.455416	275.7631
2004	414.2442	418.0553	366.203716	237.518
2005	222.6164	229.5728	208.858316	170.1477
2006	317.0907	297.8952	276.983416	210.4514
2007	294.0088	288.4357	250.660316	219.3335
2008	296.1015	283.912	258.865416	198.9352
2009	297.6389	281.8598	294.145816	213.8785
2010	293.5237	305.1689	281.998616	221.4943
2011	362.7467	329.873	290.609016	222.1834
2012	218.0995	194.8145	213.970716	173.1054
2013	262.2541	278.7219	263.675216	222.7212
2014	246.312	242.8748	225.301416	146.6004
2015	256.9454	257.8853	239.469416	177.8843
2016	246.2404	236.7254	208.846316	140.1489
2017	199.8951	206.8213	159.594916	101.5715
2018	228.6764	305.1095	251.623816	197.1432
2019	327.8585	286.8619	224.925816	186.4491
2020	232.4766	223.129	187.600316	145.4857
moy total	272.46	268.20	247.32	186.00

## ANNEXES

### Annexe 6 : Tableau des Températures moyenne annuel (1990-2020), Source :

<https://app.climateengine.org/>

Mois		Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Jun	Juil.	Aout	Σ(T)
<b>T(°c)</b>	Max	26.3	20.6	13.9	8.6	8.5	10.1	14.0	18.9	22.3	29.4	32.9	31.5	19.7
	Th.	min	11.7	7.9	3.1	-0.7	-1.0	-0.8	1.7	4.8	7.6	13.2	15.1	14.7
	moy	19.0	14.2	8.5	3.9	3.8	4.6	7.9	11.9	15.0	21.3	24.0	23.1	13.1
<b>Bz.</b>	Max	27.0	21.6	12.8	8.7	8.5	11.0	14.8	19.5	23.3	30.0	33.5	32.2	20.2
	min	12.8	9.1	2.1	-1.3	-0.6	-0.2	2.5	5.6	8.5	14.1	16.0	15.7	7.0
	moy	19.9	15.3	7.5	3.7	3.9	5.4	8.7	12.5	15.9	22.1	24.7	24.0	13.6
<b>Ma.</b>	Max	29.7	24.6	14.6	11.7	10.9	12.8	18.3	21.7	27.9	32.5	37.3	36.3	23.2
	min	17.1	12.4	4.2	1.7	-0.3	2.1	5.3	8.5	13.6	17.9	21.6	21.4	10.5
	moy	23.4	18.5	9.4	6.7	5.3	7.4	11.8	15.1	20.8	25.2	29.5	28.9	16.8
<b>Dj.</b>	Max	31.5	26.4	18.3	14.3	13.6	14.4	20.2	23.5	29.9	34.4	39.2	38.2	25.3
	min	18.7	14.1	7.7	4.1	3	3.4	6.9	10.1	15.4	19.7	23.5	23.2	12.5
	moy	25.1	20.2	13	9.2	8.3	8.9	13.6	16.8	22.6	27.1	31.3	30.7	18.9

ANNEXES

Annexe 7 : Coupe Hydrogéologique, Source : ABCHICHE (1999).

ÈRE	SYSTÈME	SOUS-SYSTÈME	ETAGE	ÉPAISSEUR APPROXIMATIVE (m)	LITHOLOGIE	DESCRIPTION GÉOLOGIQUE	FORMATIONS HYDROGÉOLOGIQUES		
<b>QUATERNAIRE</b>									
						Alluvions, Éboulis	Aquifère		
<b>TERtiaIRE</b>	<b>NEOGENE</b>	<b>Pliocene</b>	Sup.	600		Miocène Sup. et Pliocene (NEOGENE continental): - Assises continentales comprenant: - Poudingues rouges au sommet. - Argiles rouges, des grès ou sables bruns à la base	Imperméable		
			Inf.			Miocène inf. (Marin): - Marnes au sommet - Conglèments et calcaires à la base			
		<b>PALEOGENE</b>	<b>Miocène</b>	Dontien	120		Sédiments continentaux (Poudingue, Argiles, Sables, Grés...)	Aquifère	
				Bartholomien			250 à 300	Eocène Sup. (Série continentale) - Couches rouges Nummulitiques: - Poudingues très grossiers au sommet - Marnes rouges à la base.	Imperméable
	Inf. moy. Ludézien		150	Eocène inf. et moyen (Série marine) - Couches marne-calcaires intercalées de couches lacustres et des couches rouges continentales.	Aquifère				
	Inf. Lambérien				15	Abondance de dépôts de marais - Couches lagunaires - Marnes - Calcaires granuleux	Imperméable		
	<b>SECONDAIRE</b>	<b>CRETACE</b>	<b>Crétacé Supérieur</b>	Santonien	360		Présence masse de calcaires lithomésés et Bryozoaires. - La partie inférieure est formée de calcaires crayeux.	Aquifère	
				Comanchien			400	Marnes	Imperméable
				Santonien et Coniacien			200 à 1000	Marnes, Calcaires à Bryozoaires, marnes calcaires à échinides.	Aquifère
				Turonien			400 à 200	Facies calcaireux à l'ouest au sud-ouest du massif. - Facies marneux au centre et vers l'est.	
Camanchien				500 à 800			Marnes et calcaires au sommet - Marnes à la base.	Imperméable	
<b>Crétacé Inférieur</b>			Albien	400 à 500	Facies calcaire (150-300m) au sommet - Alternance de grès et de marnes avec de minces bancs calcaires.	Aquifère multicouches			
			Albien Sup.	50	bancs calcaires à orbitolines et Rudistes avec minces lits marneux, Grès, calcaires dolomitiques au sommet. - bancs de calcaires marneux et marnes à.				
			Boremien	250 à 500	Facies continental: Grès à draps, marnes rouge				
			NEOCOMMIEN	100	Facies calcaire-gréseux au sud-ouest du massif. - Facies gréseux et à ondes poudres dolomitiques, marneux, calcaireux.				
			Neocommien		Petit banc de grès ou quartzites puis de calcaire au sommet. - marnes riches en sables pyriteux à la base.				
<b>JURASSIQUE</b>		<b>Jurassique Supérieur</b>	Triasique Sup.	250		Deux faciès qui passent progressivement l'un à l'autre: - Facies dolomitique (djebel Tikirchouine) - Facies calcaire-marneux	Aquifère multicouches		
			Inf.	150		Marnes plus ou moins calcaireux devenant minces bancs calcaires au sommet.			
		<b>Kimmeridgien</b>	560		Predominance de marnes avec de minces intercalation de calcaires et conglomérats.				

## ANNEXES

### Annexe 8 : Tableau des Analyse physique d'eau des points du région d'Oued Abd

Forage	X° dec	Y° dec	x	y	Aquifère	Z	Pro f.	pH	R.S (mg/l)	Cond . (µS/cm)
BRANIS	5.776944 444	35.00194 444	753428. 986	3876783. 086	TURONIEN	376	80	7.9	1800	2500
TOUABA	5.775	35.03805 556	753140. 049	3880784. 365	TURONIEN	260	135	8.1	2654	3400
BENI SOUIK	5.867555 556	35.08983 333	761420. 193	3886767. 795	TURONIEN	505	70	8.2	976	1400
DJEMORA H (AIN SAID)	5.835833 333	35.07763 889	758565. 951	3885332. 057	TURONIEN	515	120	8.3	1040	1400
GUEDILA	5.788972 222	35.07105 556	754312. 525	3884481. 027	OLIGO-MIOCEN	510	100	7.35	564	600
OUED BRAHIM	5.791611 111	35.05605 556	754599. 834	3882823. 631	TURONIEN	400	200	6.2	702.3481 445	2307.762 451
NERDI	6.195199 91	35.30961 383	790515. 131	3912063. 866	landenien	142 0	150	7.4	620	1315
Tidjedad	6.138589 31	35.27292 271	785495. 197	3907828. 056	landenien	133 0	120	7.7	372	423
Ali Oyaha	6.073341 9	35.25178 833	779630. 861	3905297. 06	lutetien	114 0	200	7.3	990	490
Tagoust	6.043970 89	35.23322 286	777020. 872	3903154. 715	lutetien	111 0	280	7.74	765	1200
Mezlin	6.118831 25	35.27394 396	783693. 784	3907884. 62	landenien	128 0	96	7.92	295	410
Theniet el Abed	6.236472 78	35.27230 494	794404. 329	3908045. 953	albo-aptien	133 5	244	7.9	558	1118
Baali	6.313299 92	35.31690 91	801229. 902	3913226. 401	albo-aptien	150 0	200	8.4	542	1300
chir2	6.128145 31	35.22180 114	784723. 764	3902125. 751	cénomaniien- albo-aptien	108 8	197	7.5	930	1650
Mena	5.984542 69	35.18639 259	771767. 054	3897794. 508	OLIGO-MIOCEN	105 0	271	7.6	900	3160
Braid	5.995565 23	35.12587 082	772973. 392	3891109. 806	albo-aptien	110 0	70	7.4	1118	1312
Ourhanime.	6.050927 85	35.16311 119	777893. 193	3895395. 068	albo-aptien	105 0	81	7.4	3500	3040
TIPHERG HAR	5.967055 33	35.15372 277	770282. 421	3894122. 086	cénomaniien- albo-aptien	930	271	8.5	998	4275
Vieux th el abed	6.193658 39	35.24921 258	790590. 912	3905357. 274	alpo-aptien	139 5		7.780330 658	384.9921 875	710.9506 836
B1 CHICHA	5.754722 222	34.93722 222	751598. 419	3869546. 592	PLIO- QUATERNA IRE	200	150	4.734232 426	569.2730 713	3359.270 752

## Annexes

### Annexe 9 : Tableau des Analyse chimique d'eau des points du région d'Oued Abd

Forage	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq/l)	Cl <sup>-</sup> (meq/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq/l)	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> (meq/l)	Ca <sup>++</sup> (meq/ l)	Mg <sup>++</sup> (meq/ l)	Na <sup>+</sup> (meq/l)	K <sup>+</sup> (meq/l)
BRANIS	4.929	1.751	0.160	7.700	9.429	5.458	7.019	1.746
TOUABA	4.685	1.513	0.154	6.641	7.909	5.107	5.391	1.321
BENI SOUIK	4.237	1.963	0.131	4.228	4.920	3.643	1.056	0.163
DJEMORA H (AIN SAID)	4.127	1.011	0.120	3.519	4.567	3.469	0.729	0.255
GUEDILA	4.066	1.634	0.116	3.208	4.290	3.575	1.443	0.146
OUED BRAHIM	4.482	1.011	0.144	5.619	6.625	4.370	3.216	0.729
NERDI	5.131	1.352	0.592	5.938	6.790	3.075	1.052	0.223
Tidjedad	5.131	0.930	0.269	2.771	3.790	2.658	0.574	0.121
Ali Oyaha	5.639	2.479	0.076	19.729	19.190	4.325	2.530	0.223
Tagoust	3.934	1.352	0.350	3.438	4.790	1.492	0.835	0.121
Mezlin	2.934	0.648	0.189	3.229	2.990	1.658	0.400	0.095
Theniet el Abed	4.934	3.183	0.269	3.646	3.190	1.492	2.270	0.403
Baali	4.738	2.197	0.237	1.229	0.390	0.492	1.052	0.223
chir2	6.738	3.746	0.108	2.438	7.490	1.575	3.400	0.249
Mena	3.934	2.901	0.060	5.688	6.390	1.658	2.009	0.197
Braid	4.525	20.225	0.140	10.185	8.473	4.546	17.574	1.274
Ourhanime.	7.426	46.282	0.285	17.896	13.490	7.992	44.965	0.531
TIGHERGH AR	1.131	0.507	0.044	4.229	3.790	5.075	0.183	0.095
Vieux th el abed	3.414	1.304	0.334	1.229	0.390	0.492	0.712	0.174
B1 CHICHA	5.853	3.485	0.156	4.646	6.790	2.325	9.042	2.568

**Annexe 9 : photo sources de Bouzina 12/12/2020**



## Annexes

---



## Annexes

---

