

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université : El Hadj Lakhdar -Batna-



**FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DES SCIENCES
DE LA TERRE**



MEMOIRE

*En Vue De l'Obtention Du Diplôme De MAGISTER
SPECIALITE : Géologie Du Génie Civil Et Des
Milieux Aquifères*

Thème

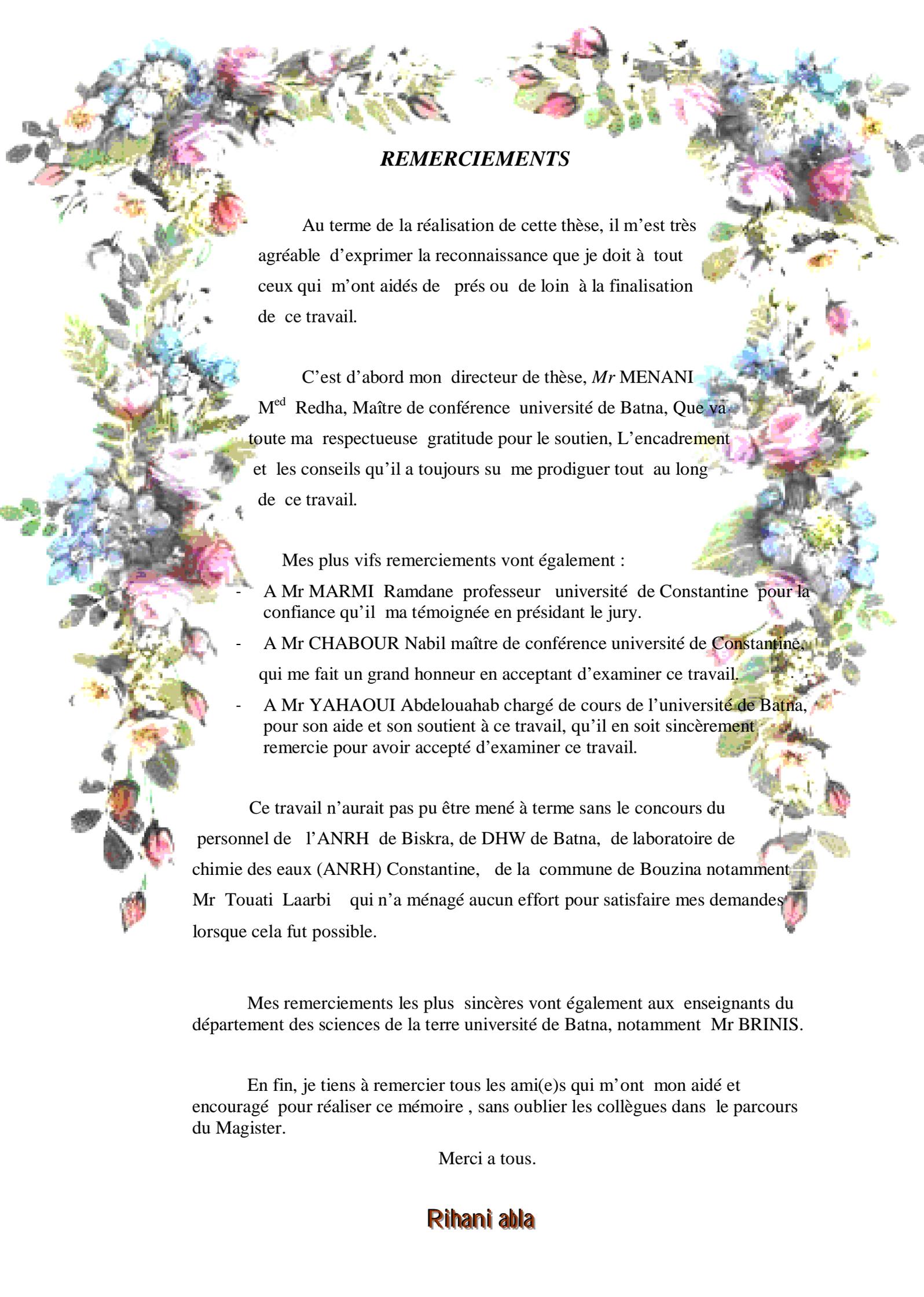
**Etude Hydrogéologique Du Bassin De Bouzina
(Sous Bassin Versant De L'Oued Abdi-Massif Des Aurès)**

REALISE PAR :
RIHANI Abla

SOUTENU PUBLIQUEMENT LE : 08 / 04/ 2008

DEVANT LE JURY :

Président : MARMY Ramdane	Professeur	Univ. CONSTANTINE
Examineurs : CHABOUR Nabil	Maître de conf	Univ. CONSTANTINE
YAHYAOUY Abdelouahab	Docteur CC	Univ. BATNA
Directeur de thèse : MENANI M ^{ed} REDHA.	Maître de conf	Univ. BATNA



REMERCIEMENTS

Au terme de la réalisation de cette thèse, il m'est très agréable d'exprimer la reconnaissance que je dois à tout ceux qui m'ont aidés de près ou de loin à la finalisation de ce travail.

C'est d'abord mon directeur de thèse, *Mr MENANI M^{ed} Redha*, Maître de conférence université de Batna, Que va toute ma respectueuse gratitude pour le soutien, L'encadrement et les conseils qu'il a toujours su me prodiguer tout au long de ce travail.

Mes plus vifs remerciements vont également :

- A Mr *MARMI Ramdane* professeur université de Constantine pour la confiance qu'il ma témoignée en présidant le jury.
- A Mr *CHABOUR Nabil* maître de conférence université de Constantine, qui me fait un grand honneur en acceptant d'examiner ce travail.
- A Mr *YAHAOUI Abdelouahab* chargé de cours de l'université de Batna, pour son aide et son soutien à ce travail, qu'il en soit sincèrement remercie pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Ce travail n'aurait pas pu être mené à terme sans le concours du personnel de l'ANRH de Biskra, de DHW de Batna, de laboratoire de chimie des eaux (ANRH) Constantine, de la commune de Bouzina notamment Mr *Touati Laarbi* qui n'a ménagé aucun effort pour satisfaire mes demandes lorsque cela fut possible.

Mes remerciements les plus sincères vont également aux enseignants du département des sciences de la terre université de Batna, notamment *Mr BRINIS*.

En fin, je tiens à remercier tous les ami(e)s qui m'ont mon aidé et encouragé pour réaliser ce mémoire , sans oublier les collègues dans le parcours du Magister.

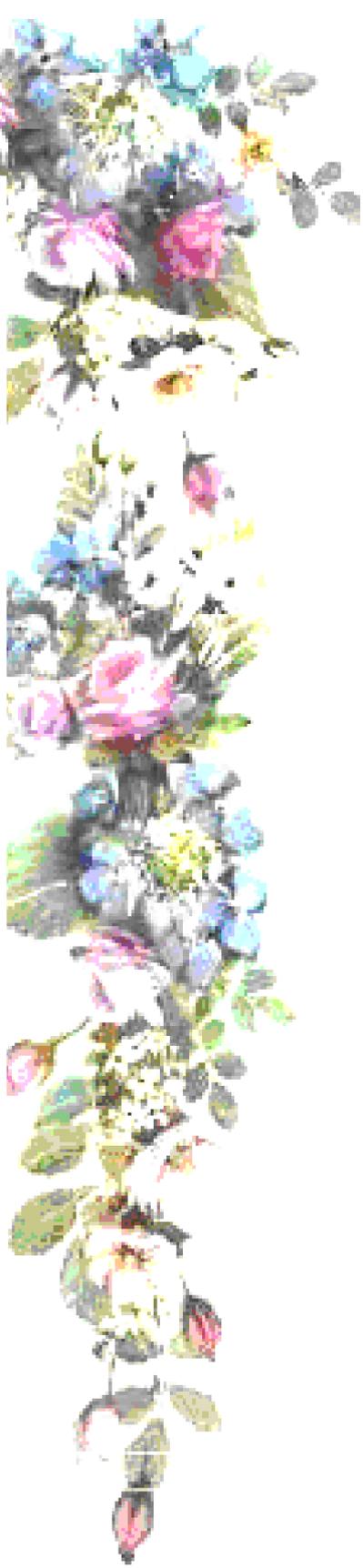
Merci a tous.

Rihani abla



Dédicace

*Après cette réussite que fait la joie
A tous qui m'aime. Je dédie ce modeste travail
avec vif plaisir à ceux qui sont les plus proches à
mon cœur, qui mon toujours aimer et qui ont fait
de toute leurs force pour que je sois toujours
heureuse, mes très chères parents ,qui sans eux je
serai rien ;
À mes frères ;
À mes sœurs ;
À toute ma grande famille ;
À mes amies .*



Rihani abla



LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

<i>Figure 01</i> : Position Géographique De La Vallée De BOUZINA.....	04
<i>Figure 02</i> : Photo Satellite De La Vallée De BOUZINA.....	04
<i>Figure03</i> : Carte De La Situation De La Commune De Bouzina	06

CHAPITRE II

<i>Figure 04</i> : Carte Géologique du l'Algérie Orientale et de la Tunisie septentrional	10
<i>Figure 05</i> : Esquiss Tectonique.....	14
<i>Figure 06</i> : Schéma Structural Du Massif Des Aurès.....	16
<i>Figure 07</i> : Coupe Geologique De braied	18
<i>Figure 08</i> : Coupe Lithostratigraphique Type De L'Anticlinal Du Dj El Azreg.....	20
<i>Figure 09</i> : Coupe Géologique à Tasserift.....	21
<i>Figure 10</i> : Coupe Lithostratigraphique NE-SW de ouezina.....	21
<i>Figure 11</i> : Coupe Géologique de Tissidelt Ali Ouyaha.....	24
<i>Figure 12</i> : Extrait de la carte géologique de LAFFITTE Massif des Aurès.....	26
<i>Figure 13</i> : Carte Géologique Schématique De La région De MAAFA-ARB.....	30
<i>Figure14</i> : Coupe illustrant le repli anticlinal de Koudiet El-Arar.....	31
<i>Figure15</i> : Coupe effectuée au niveau de la rive droite de l'oued du vieux Bouzina.....	31
<i>Figure 16</i> : Rosaces Directionnelles Qualitative Et Quantitative Des Lineaments	33
<i>Figure 17</i> : Carte D'Inventaires Des Sondages Electriques Dans La Vallée De Bouzina	35
<i>Figure 18</i> : Coupes Transversales T1, T2 et T3	36
<i>Figure 19</i> : Coupes Transversales T4 et T5.....	38
<i>Figure 20</i> : Coupes Transversales T6 et T7.....	39
<i>Figure 21</i> : Coupes Longitudinales L8, L9 et L11.....	41
<i>Figure 22</i> : Coupes Longitudinales L10, L12 et L13.....	43
<i>Figure 23</i> : Carte du toit des calcaires du Landénien	45
<i>Figure 24</i> : Carte du toit des calcaires du Maestrichtien.....	46

CHAPITRE III

<i>Figure 25</i> : Bassin Versant de CHOTT MELGHIR.....	48
<i>Figure 26</i> : Délimitation De Bassin Versant De Bouzina.....	49
<i>Figure 27</i> : Courbe Hypsométrique Du Sous Bassin	51
<i>Figure28</i> : Extrait De Carte Des Précipitations Moyenne (ANRH.1993).....	59
<i>Figure 29</i> : Variation interannuelle des précipitations aux stations de S'gag, Bouzina et Menâa.....	60
<i>Figure30</i> : Variation des précipitations moyennes mensuelles aux stations de S'gag, Bouzina et Menâa.....	62
<i>Figure 31</i> : Précipitations saisonnières aux stations S'gag, Bouzina et Menâa	62
<i>Figure 32A</i> : Variation Des Température Moyennes Mensuelles Station De S'gag (1913-953)	66
<i>Figure 32B</i> : Variation Des Températures Moyennes Mensuelles Station De Bouzina (1986-1996)	66
<i>Figure 32C</i> : Variation Des Températures Moyennes Mensuelles A La Station de Menâa (1986-1996)	66
<i>Figure33A</i> :Diagramme Ombrothermique De Gausson et Bagnouls Station De S'GAG....	69

<i>Figure 33B</i> : Diagramme Ombrothermique De Gausse Et Bagnouls Station De Bouzina	69
<i>Figure 33C</i> : Diagramme Ombrothermique De Gausse Et Bagnouls Station de Menâa	69
<i>Figure 34</i> : Climagramme d'EMBERGER.....	71
<i>Figure 35</i> : Evaluation Du Déficit D'écoulement En Fonction De La Température Moyenne Et Des Précipitation.....	76
<i>Figure 36</i> : Abaque Pour Le Calcul De Déficit D'écoulement En Algérie.....	77
CHAPITRE IV	
<i>Figure 37</i> : Log Stratigraphique Du Sondage de NERDI.....	88
<i>Figure 38</i> : Log Stratigraphique Du Sondage de TIDJDAD.....	88
<i>Figure 39</i> : Log Stratigraphique Du Sondage de ALI OUYAHA.....	89
<i>Figure 40</i> : Log Stratigraphique Du Sondage de TAGOUST.....	89
<i>Figure 41</i> : Bloc Diagramme Schématique Du Synclinal De BOUZINA.....	91
<i>Figure 42</i> : Carte Piezométrique De La Nappe Quaternaire De Nerdi Campagne d'Avril .	94
<i>Figure 43</i> : Carte Piezométrique De La Nappe Quaternaire De Nerdi Campagne d'Aout.	94
<i>Figure 44</i> : Schéma De Fonctionnement De Source De Tabgha.....	96
<i>Figure 45 A, B, C et D</i> : sources de vieux Bouzina.....	97
<i>Figure 46 A, B</i> : Les source de Nerdi (les deux griffon de source de Ain Louci.....	99
<i>Figure 47 C, D</i> : Source de Tasserift_ gorge de Menâa.....	99
<i>Figure 48 A</i> : Carte piézométrique 2006 cas des SOURCE.....	101
<i>Figure 48 B</i> : Carte piézométrique 2006 cas des FORAGES.....	101
<i>Figure 48 C</i> : Carte piézométrique 2006 cas des SOURCES ET FORAGES.....	102
<i>Figure 49A</i> : Courbe De Rabattement Spécifique En Fonction De Temps Au Forage De Tidjdad.....	109
<i>Figure 49B</i> : Courbe De Rabattement Spécifique En Fonction Du Temps Au Forage De Nerdi.....	109
<i>Figure 50</i> : Courbes De Descente Et De Remontée Au Forage Du Tidjdad	110
<i>Figure 51</i> : Courbe De Descente Et De Remontée Au Forage De Nerdi.....	111
CHAPITRE V	
<i>Figure 52</i> : Carte de positionnement des points d'eaux sources et Forages	117
<i>Figure 53</i> : Carte des teneurs en calcium (mg/l) dans la vallée de Bouzina	117
<i>Figure 54</i> : Carte des teneurs en magnésium (mg/l) dans la vallée de Bouzina.....	118
<i>Figure 55</i> : Carte des rapports $r \text{ Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$	118
<i>Figure 56</i> : Carte des teneurs en sodium (mg/l) dans la vallée de Bouzina	119
<i>Figure 57</i> : Carte des teneurs en potassium (mg/l) dans la vallée de Bouzina	119
<i>Figure 58</i> : Carte des teneurs en Chlore (mg/l) dans la vallée de Bouzina	121
<i>Figure 59</i> : Carte des teneurs en sulfates (mg/l) dans la vallée de Bouzina	122
<i>Figure 60</i> : Carte des teneurs en carbonates (mg/l) dans la vallée de Bouzina	122
<i>Figure 61</i> : Carte du rapport du $r \text{ HCO}_3^- / \text{SO}_4^-$	123
<i>Figure 62</i> : Carte du rapport du $r \text{ SO}_4^- / \text{Cl}^-$	123
<i>Figure 63</i> : Diagramme de PIPER_ SOURCES DE BOUZINA.....	126
<i>Figure 64</i> : Diagramme SCHOELLER- BERKALOFF_ SOURCES DE BOUZINA	127
<i>Figure 65</i> : Diagramme de PIPER_ FORAGES DE BOUZINA.....	128
<i>Figure 66</i> : Diagramme SCHOELLER- BERKALOFF_ FORAGES DE BOUZINA.....	129
<i>Figure 67</i> : Classification Des Eaux D'Irrigation (Méthode De SAR).....	134

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE III

Tableau N° 1 : Répartition des différents tranches d'altitude.....	52
Tableau N°2: Classification de l'O.R.S.T.O.M.....	55
Tableau N°3 : Récapitulatif Des Paramètres Morphométriques.....	57
Tableau N°4: Coordonnées Géographiques Des Stations Du Sous Bassin Versant	58
Tableau N° 5 : Années Sèches Et Années Humides	60
Tableau N°6 : Répartition Mensuelle Et Saisonnière Des Précipitations	61
Tableau N° 7 : Calcul De La Lamme D'Eau Tombée Sur Le B.V Selon La Méthode De La Moyenne Arithmétique :.....	63
Tableau N°8 : Evaluation De La Lamme D'Eau Précipité Sur Le Bassin Versant De Bouzina Méthode Des Isohyètes	64
Tableau N°9. : Températures Moyennes Mensuelles Et Annuelle.....	65
Tableau N°10: Détermination De Régime Climatique Par La Méthode D'Euverte.....	67
Tableau N°11 : Indice D'Aridité De Martonne.....	70
Tableau N°12 : Les valeurs de Q_2	71
Tableau N° 13A: Calcul De l'ETP selon C.W. Thornthwaite : (Station S'gag)	73
Tableau N°13B Calcul de l'ETP selon C.W. Thornthwaite : (Station de bouzina).....	73
Tableau N°13C: Calcul de l'ETP selon C.W. Thornthwaite : (Station de Menâa).....	73
Tableau N°14: Evapotranspiration Réelle Mensuelle Des Stations S'gag, Bouzina et Menâa.....	74
Tableau N°15A : Calcul Du Bilan Hydrique (Station de S'gag).....	79
Tableau N°15B: Calcul Du Bilan Hydrique (Station de Bouzina).....	79
Tableau N°15C : Calcul Du Bilan Hydrique (Station de Menâa)	79
Tableau N° 16 : Comparaison Des Différentes Valeurs d'ETP et L'ETR.....	81
Tableau N° 17 : Les Différentes Composantes Du Bilan Hydrologique Aux Station de S'gag, Bouzina et Menâa	83
Tableau N° 18 Les Différentes Composantes De l'excédent.....	83
Tableau N° 19 Les Différentes Composantes De l'infiltration.....	83

CHAPITRE IV

Tableau N°20 Les Coordonnées Des Puits.....	84
Tableau N°21 : Position des sources dans la vallée de Bouzina (carte de Ain Touta 1/50000)	100
Tableau N°22 : Position des forages dans la vallée de Bouzina (carte de Ain Touta 1/50000)	100
Tableau N° 23: Caractéristiques du pompage d'essai au forage de Nerdi.....	107
Tableau N° 24: Caractéristiques du pompage d'essai au forage de Tidjdad.....	108
Tableau N° 25: Les Valeurs De La Transmissivités.....	108

CHAPITRE V

Tableau N°26: Les indices 'échangeDe base des déférentes points d'eaux.....	130
Tableau N°27: Normes de potabilité de l'O.M.S.....	131
Tableau N°28: Dureté des eaux en (W. THEOBALD et A. GAMA, 1969).....	132
Tableau N°29: le Na% et le SAR pour les différentes points d'eaux.....	133

LISTE DES ABREVIATIONS

A.N.R.H	Agence Notionnelle Des Ressources Hydriques.
AEP	Alimentation En Eaux Potable
DHW	direction de l'hydraulique
P	Précipitation.
T	Température.
E.T.P	Evapotranspiration potentielle.
E.T.P	Evapotranspiration réelle.
A.H.P.E	Automne. Hiver. Printemps. Eté.
R	Ruissellement.
I	Infiltration.
R.F.U	Réserve facilement utilisable.
D	Déficit.
Ex	Excédent.
E	Ecoulement.
SONATRACH	Société nationale de recherche hydrocarbures.
ENAGEO	Entreprise nationale de géophysiques.
ENHYD	Entreprise nationale des études hydraulique
Ca	Calcium.
Mg	Magnesium.
Na	Sodium.
K	Potassium.
Cl	Chlorures.
SO ₄	Sulfates.
HCO ₃	Bicarbonates.
NO ₃	Nitrates.
T.D.S	Résidu Sec.
I .E.B	Indice d'échange de base.
SI	Indice de saturation.
O.M.S	Organisation Mondiale De La Santé
D.H.T	Degré Hydrométrique Total
S.A.R	Sodium Absorption Ratio.

TABLE DE MATIERE

REMERCIEMENT	I
DEDICACE	II
LISTE DES FIGURES	III
LISTE DES TABLEAUX	V
LISTE DES ABREVIATION	VI
TABLE DE MATIERE	VII
INTRODUCTION GENERALE	01
CHAPITRE I : CADRE GEGRAPHIQUE	
1- LOCALISATION GEOGRAPHIQUE ET LIMITES	03
2- DESCRIPTION GEOMORPHOLOGIQUE	03
3-LERESAU HYDROGRAPHIQUE	05
CAPITRE II : CADRE GEOLOGIQUE	
I-GEOLOGIE REGIONALE	07
1-1- Le Domaine Interne	07
1-2- Le domaine des Flyschs.....	08
1-3- Le domaine externe.....	08
1-3-1- Les séries telliennes.....	08
1-3-2-Les séries de l'avant pays.....	09
II-GEOLOGIE DU MASSIF DES AURES	11
1- INRTODUCTION.....	11
2- LITHOSTATIQRAPHIE	12
LE SECONDAIRE	12
TRIAS	12
JURASSIQUE.....	12
CRETACE INFERIEUR	12
CRETACE SUPERIEUR	13
LE TETIAIRE	13
LE DANIEN	13
LEPALEOGENE	13
Le NEOGENE	15
QUATERNAIRE.....	15
3-CONTEXTE STRUCTURAL	15
III- LITHOSTRATIGRAPHIE DE LA ZONE D'ETUDE	17
1- L'EXTERIEUR DU SYNCLINAL DU BOUZINA:	
CRETACE	17
CRETACE INFERIEUR	17
CRETACE SUPERIEUR	19
2- SYNCLINAL DE BOUZINA :	
SENONIEN	19
LE TERTIARE	22
DANIEN	22
NUMMULITIQUE	

1/ L' EOCENE INFERIEUR ET MOYEN	23
2/ L'EOCENE SUPERIEUR ET L'OLIGOCENE	23
LE MIOCENE	24
LE QUATERNAIRE	25
IV - CADRE STRUCTURAL	
1- ANALYSE SRUCTURALE DE L'ATLAS SAHARIEN	28
1-1- PHASE EMCHERIENNE	28
1-2- PHASE ATLASIQUE (PYRÉNÉENNE)	28
1.3- PHASE DISTENSIVE OLIGO- MIOCENE	29
1.4- PHASE MIOCENE	29
1.5- PHASE PLIOCENE	29
1.6- PHASE QUATERNAIRE	29
LES PLIS.....	29
LES CASSURES	29
2- ANNALYSE STRUCTURALE DU SYNCLINAL DE BOUZINA	30
PLISSEMENT	30
LES CASSURES	32
V - APPORT DE LA GEOPHYSIQUE	
INTRODUCTION	34
1- OBJECTIF ET DISPOSITIF	34
2- INTERPRETATION DES RESULTATS	34
3-1- Les Coupes Transversales T1, T2 et T3	34
3-2- Les Coupes Transversales T4, T5, T6 et T7	37
3-3- Les Coupes Longitudinales L8, L9 et L11	40
3-4- Les Coupes Longitudinales L10, L12et L13	42
3-5- Cartes En Isobathes Des Toits Des Calcaires Du Landénien Et Du Maestrichtien.....	43
3-5-1 - LE TOIT DES CALCAIRES DU LANDENIEN	44
3-5-2- LE TOIT DES CALCAIRES MAESTRICHTIENS	45
VI- CONCLUSION	47
CHAPITRE III : HYDRCLIMATOLOGIE	
I - PHYSIOGRAPHIE DU BASSIN VERSANT	
1- INTRODUCTION	48
2- LE BASSIN VERSANT DE BOUZINA	48
3- PARAMETRES PHYSIOGRAPHIQUES	50
3-1_ PARAMETRES GEOMETRIQUES	50
3-2_ PARAMETRES DE FORME	50
3-3_ PARAMETRES DE RELIEF	51
3-4 – LES CARACTERISTIQUES DU RESEAU HYDROGRAHIQUE	55
II- CLIMATOLOGIE	
1-INTRODUCTION	58
2- REPRESENTATION DES STATION CLIMATOLOGIQUES	58
3-ANALYSE DES PARAMETRES CLIMATIQUE	59

3-1- PLUVIOMETRIE	59
3-1-1- CARTE DES PRECIPITATION MOYENNE ANNUELLES	60
3-1-2- VARIATION DE LA PLUVIOMETRIE ANNUELLE	60
3-1-3- REPARTITION MENSUELLE ET SAISONNIERE DES PRECIPITATIONS	61
3-1-4- ESTIMATION DE LA LAME D'EAU PRECIPITEE SUR LE BASSIN VERSANT...	63
3-2- TEMPERATURE	64
3-3- LA NEIGE	65
3-4- LE REGIME CLIMATIQUE	67
1. <i>méthode d'Euverte</i>	67
2. <i>diagramme ombrothermique de Gausson Bagnouls</i>	68
3. <i>indice d'aridité de Martonne</i>	70
4. <i>diagramme d'Emberger</i>	70
3-5- EVAPOTRANSPIRATION OU DEFICIT D'ECOULEMENT	72
3-5-1- L'EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE (<i>ETP</i>)	72
3-5-2- L'EVAPOTRANSPIRATION REELLE (<i>ETR</i>).....	74
3-5-2-1- Méthode de Turc	74
3-5-2-2- Méthode de M. Coutagne	75
3-5-2-3- Méthode de Wundt	75
3-5-2-4- Méthode de P. Verdeil (1988).....	77
3-5-2-5- Calcul Du bilan hydrique selon Thornthwaite	78
3-5-3-DESCUSSION DES RESULTATS DE L'ETR	81
3-6-LE RUISSELEMENT « R ».....	82
METHODE DE TIXERONT- BERKALOFF	82
3-7- BILAN DE L'EAU	82
4- CONCLUSION	85

CHAPITRE IV : HYDROGEOLOGIE

1-INTRODUCTION	86
2-DESCRIPTION DES AQUIFERES POTENTIELS	86
2-1-LA NAPPE PHREATIQUE DU QUATERNAIRE	86
2-2-LA NAPPE PHREATIQUE DU MIOCENE CONTINENTALE	87
2-3- NAPPE DU LUTETIEN (EOCENE MOYENNE).....	87
2-4- NAPPE DU LANDENIEN (PALECENE).....	87
2-5- <i>NAPPE DU MAESTRICHIEN</i>	87
2-6- LES AUTRES NAPPES	90
3-STRUCTURE ET GEOMETRIE DES RESERVOIRS	90
3-1-1AQUIFERE DU LUTETIEN	90
3-1-2-AQUIFERE DU LANDENIEN	90
3-2-AQUIFERE MAESTRICHIEN	92
4- ETUDE PEIZOMETRIQUES	92
4- 1-LA NAPPE DU QUATERNAIRE.....	92
INTERETATION DE LA PIEZOMETRIE	93
4-2-L' AQUIFERE EOCENE_MAESTRICHIEN	95
2-1-NOTION D'UN SYSTEME KARSTIQUE	95

2-2-INVENTAIRE DES POINTS D'EAUX	95
2-2-1-LES SOURCES	95
2-2-2-LES FORAGES	100
2-3- INTERPRETATION DE LA PIEZOMETRIE	101
5-LES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUE DE L'AQUIFERE	104
5-1- LES METHODES D'EXPERIMENTATION ET D'INTERPRETATION DES POMPAGES D'ESSAIS	104
5-2-INTERPRETATION.....	104
5-3-DESCRIPTION ET INTERPRETATION DES DONNEES DES ESSAI DE POMPAGES	
ANTERIEURS	107
6- CONCLUSION	112
 CHAPITRE V : HYDROCHIMIE	
1-INTRODUCTION	114
2- ETUDE DES PARAMETRES PHYSIQUES ET CHIMIQUES	114
2-1- PARAMETRES PHYSIQUES	114
A/ TEMPERATURE	114
B/ POTENTIEL HYDROGENE PH	115
C/ LA MINERALISATION	115
D/ CONDUCTIVITE ELECTRIQUE	115
2-2-ETUDE DES ELEMENTS CHIMIQUES MAJEURS	116
2.2.1. LE CALCIUM Ca^{++}	116
2-2-2- LE MAGNESIUM Mg^{+}	116
2-2-3-LE SODIUM ET POTASSIUM Na^{+} et K^{+}	116
2-2-4-DES CHLORURES Cl	120
2-2-5- DES SULFATES SO_4^{-}	120
2-2-6-LES BICARBONATES	120
3- LES FACIES CHIMIQUES	124
3-1-EVALUATION DES PROPORTIONS ENTRE LES IONS SUR LE DIAGRAMME DE PIPER.....	124
3-3- DIAGRAMME DE PIPER	124
3-3- DIAGRAMME DE SCHOELLER – BERKALOFF	124
3-4- FORMULES CARACTERISTIQUES	129
4- INDICE D'ECHANGE DE BASE (i.e.b)	129
5- QUALITE CHIMIQUE DES EAUX DE LA VALLEE DE BOUZINA	131
5-1- POTABILITE DES EAUX	131
5-2- APTITUDES A L'IRRIGATION	132
6- POLLUTION	135
7- CONCLUSION	135
 CONCUSION GENERALE	137
BIBLIOGRAPHIE	139
ANNEXES	142

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTON GENERALE :

L'eau est omniprésente sur la terre. Sans elle la vie humaine serait impossible. Elle est nécessaire à la vie des végétaux et aux activités sur terre. L'eau douce, essentielle à nos besoins, ne présente que 1% du total des mers des océans présents sur la terre. Elle est donc limitée et fragile car menacée par une consommation croissante et par de multiples pollutions. Elle est donc une ressource naturelle indispensable, qu'il faut impérativement préserver.

L'importance de l'eau dans l'économie humaine ne cesse de croître et l'approvisionnement en eau douce devient ainsi plus en plus difficile, tant en raison de l'accroissement de la population et de son niveau de vie que du développement accéléré des techniques industrielles modernes. Sous la pression des besoins considérables de la civilisation moderne, on est passé de l'emploi des eaux de sources et de nappes à une utilisation de plus en plus poussée des eaux de surface.

L'Algérie par son climat se trouve confrontée à une rareté et à une distribution irrégulière des pluies dans le temps et dans l'espace.

Le Massif des Aurès constitue un grand réservoir d'eau souterraine dont les écoulements sont essentiellement dirigés vers le Sud. Pour le bassin de Bouzina qui nous intéresse plus particulièrement, il occupe la partie Nord-Ouest du massif, il est en confluence avec le bassin de l'Oued Guerza, les eaux de surface trouvent leur exutoire au niveau d'El Outaya.

Les Massifs montagneux qui s'étendent autour du bassin de Bouzina sont essentiellement constitués de roches carbonatées. Les forts reliefs et la structure géologique sont favorables au développement de phénomènes karstiques. Ceux ci sont en effet très abondants et favorisent l'infiltration des eaux, leur écoulement souterrain et leur décharge par des sources à fort débit. Les précipitations, élevées sur Dj Mahmel et Dj Rharab, et partie sous forme de neige, assurent à ces sources un débit moyen annuel de 100 l/s environ. Ces aquifères karstiques constituent l'essentiel des réservoirs en eau souterrains du bassin Bouzina.

L'objectif assigné à cette étude, est donc une meilleure connaissance de la géologie régionale et locale pour l'évaluation des potentialités hydriques des aquifères existants susceptibles d'être exploités et d'apprécier leurs qualités chimiques.

Pour réaliser ce travail nous nous sommes basée sur la méthodologie suivante :

- _ ***L'étude géologique*** s'appuie sur les travaux de nombreux auteurs qui ont étudié la région de l'Aurès notamment Laffitte (1939), Guiraud (1973) : Description de l'évolution géologique et tectonique du secteur avec l'identification d'évènements particuliers.
- _ ***L'étude géophysique*** est basée sur les résultats de l'étude réalisée dans la période Novembre 1999 par l'entreprise nationale de la géophysique (ENAGEO).
- _ ***La géomorphologie*** est basée sur l'étude des paramètres morphométriques ayant une influence sur les écoulements dans le bassin.
- _ ***L'hydroclimatologie*** est consacré à l'étude climatique de la région, nous essayons de classer la région d'étude suivant un certain nombre d'indices climatiques et d'établir les principaux éléments du bilan hydrique.
- _ ***Une étude hydrogéologique*** visant à définir la géométrie et les caractéristiques hydrauliques de l'aquifère et ses conditions aux limites et de chercher le degré de développement de la karstification.
- _ ***L'hydrochimie*** est basée sur les analyses d'eaux, Elle nous permet d'étudier l'évolution des eaux au sein d'une même formation et d'apprécier leurs qualités chimiques.

CHAPITRE I

CADRE GEOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : CADRE GEGRAPHIQUE***1- LOCALISATION GEOGRAPHIQUE ET LIMITES :***

La vallée de Bouzina est située à l'intérieur du massif des Aurès à environ 80 km au sud de la ville de Batna, à 25 km au Nord d'Arris et à 60 km au Nord-Est de Biskra.

Ce bassin se situe entre les coordonnées cartographiques X : 800-827 km et Y : 215-234,4 km. Il fait partie du bassin versant de Chott Melghir (06).

Du point de vue administratif, elle est reliée à la Daïra de Bouzina, allant du plateau de Nerdj jusqu'à Tagoust. Elle est limitée :

- Ø Au NE par la commune de Oued Taga, larbaâ
- Ø A l'E par la daïra de Theniet El Abed
- Ø A l'Ouest par la commune de Mâafa
- Ø Au Sud par la commune de Chir et Menâa

2- DESCRIPTION GEOMORPHOLOGIQUE :

L'aspect géomorphologique de la vallée de Bouzina est celui des pays montagneux des Atlas Algériens. Il s'agit en général d'une forme V accentuée, étroite et profonde, aux versants raides et profondément ravinés, ceci apparaît comme le trait dominant du modelé du relief dans les Aurès.

Néanmoins, il faut noter que la vallée de Bouzina est une réplique fidèle de la structure tectonique en synclinal étroit et allongé aux flancs redressés.

La vallée est limitée au Nord Est par Dj Mahmel, le deuxième sommet de l'Aurès (2321m), au Sud Ouest elle rejoint la vallée de Oued Abdi par l'intermédiaire d'un étranglement topographique constitué par les gorges de Menâa.

Transversalement la vallée se développe sur une largeur d'environ 7 km entre les crêtes Kroumet kheloua_ Kef El Mehnab_ Kroumet Edib au SE et Dj El Rherab El Malou au NW.

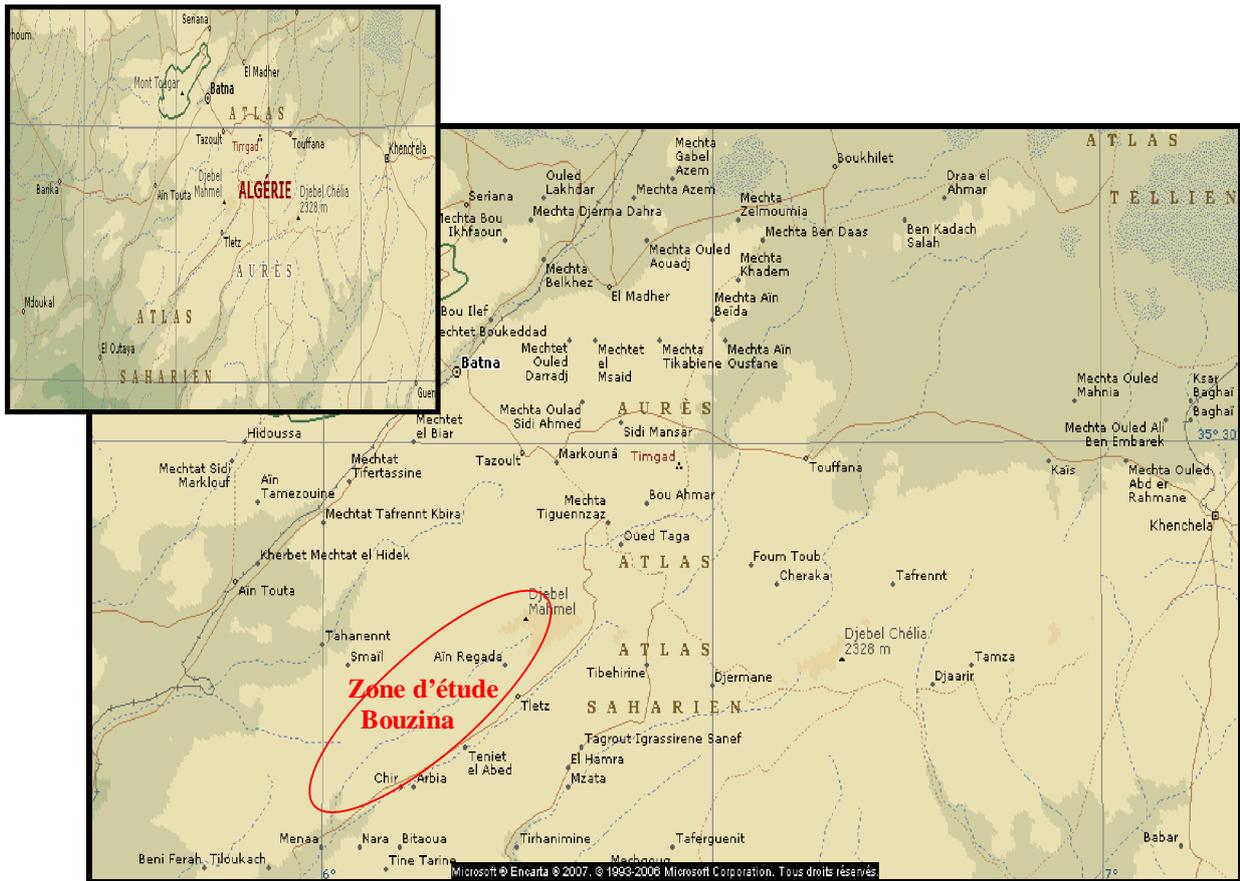


Figure 01: Position Géographique De La Vallée De BOUZINA

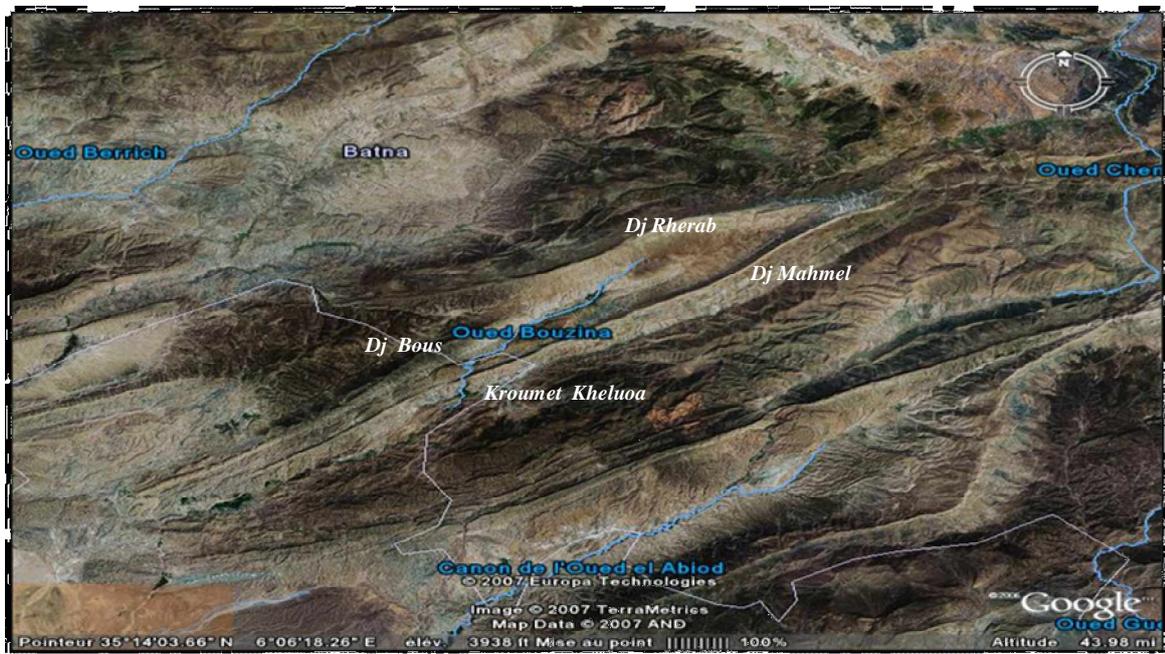


Figure 02 : Photo Satellite Du Bassin De BOUZINA

3-LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE :

La vallée de Bouzina est drainée par un réseau hydrographique constitué de deux branches séparées par koudiat El Arar : l'Oued Nerdi au Sud et l'Oued Bouzina au Nord.

Le cours de l'Oued Bouzina ne devient pérenne qu'à partir du moment où le thalweg entaillé en canyon dans les calcaires éocènes, rejoint de grosses sources au niveau du vieux Bouzina.

Vers le Sud Ouest, il coule dans une vallée étroite et profonde coincée entre Dj Bouss et Dj Tissidelt. Abandonnant le synclinal rempli de dépôts oligocènes surmontés par endroits de poudingues et de calcaires, il traverse la barre des calcaires maestrichtiens à khanget El Anasseur à un endroit où elle est dominée par les poudingues.

4- VEGETATION ET CULTURE :

La végétation est l'un des facteurs physiques qui a une influence directe sur l'écoulement fluvial. En effet plus le couvert végétal est dense plus la résistance au ruissellement est importante.

Tout au long du bassin versant de Bouzina, on trouve une association végétale de chêne vert, genévrier et thulifère ; en aval on trouve une végétation herbacée constituée surtout d'Alpha.

Du point de vue agricole, la région est connue particulièrement par l'arboriculture (les pommiers, les abricotiers) et la culture des céréales en cours d'extension au niveau de Nerdi

CHAPITRE II

CADRE GEOLOGIQUE

I- LA GEOLOGIE. REGIONALE :

L'Algérie est subdivisée en deux unités tectoniques majeures de part et d'autre de flexure Sud Atlasique :

- _ Le Nord de l'Algérie portant l'empreinte de la tectonique Alpine.
- _ La plate forme saharienne ou la tectoniques est moins prononcés.

La chaîne alpine d'Algérie orientale est constituée par la superposition de plusieurs types de séries connues en général du Trias au Miocène.

Les grands ensembles structuraux se subdivisent en trois grandes familles qu'on peut distinguer du Nord vers le Sud et qui sont respectivement :

- Ø Le domaine interne
- Ø Le domaine des flyschs
- Ø Le domaine externe

1- LE DOMAINE INTERNE :

Ce domaine est formé d'éléments issus de la dilacération de la plaque d'Alboran : socle cristallophyllien continental aminci et d'une couverture sédimentaire du Paléozoïque au Tertiaire. Cette couverture peut être en partie désolidarisée de son socle pour former des nappes de charriages (fig 04).

On attribue au socle (Bouillin, 1977 et Raoult, 1974) trois ensembles lithologiques :

- Ø un ensemble cristallophyllien inférieur, formé de gneiss à intercalations, parfois puissantes, de marbres et d'amphibolites.
- Ø Un ensemble cristallophyllien supérieur, comportant « des schistes satinés ou phyllades, des grés et des porphyroïdes ocellés ».
- Ø La couverture sédimentaire paléozoïque du socle cristallin, peu ou pas métamorphique, dont les séries comprennent des termes de l'Ordovicien, du Silurien, du Dévonien, ainsi que du Carbonifère inférieur.

Pour ce qui est de la Dorsale kabyle ou Chaîne calcaire, les auteurs (Delga. 1969 ; Raoult.1974 ; Vila.1980) ont distingué des unités internes, médianes et externes.

Ces séries constituaient, à l'origine, la couverture sédimentaire mésozoïque et tertiaire du socle kabyle. Les unités externes et médianes se sont cependant désolidarisées de leur substratum. Elles ont ensuite été plissées et chevauchées par le socle kabyle et la dorsale interne.

2- LE DOMAINE DES FLYSCHS

Le domaine des nappes de flyschs correspond à un secteur marin profond et mobile du Jurassique moyen au Burdigalien. Il est lié, jusqu'à l'Eocène supérieur, à la bordure sud de la plaque d'Alboran.

Au Crétacé inférieur des flyschs terrigènes relativement proximaux se déposent dans la partie nord du bassin (flysch Maurétanien), (Gélard, 1969) et des flyschs distaux dans le sud (flysch Massylien), (Raoult, 1969).

A l'Oligocène et au Miocène basal, un flysch grés-micacé (le flysch Numidien) se dépose en discordance sur les premiers contacts tectoniques séparant les unités du domaine interne et la nappe du flysch Maurétanien. Les séries gréseuses de la nappe numidienne se sont formées durant l'Aquitainien et le Burdigalien basal, probablement dans le sud du bassin Massylien et tout à fait au nord du domaine externe tellien.

Les flyschs reposent, avec des modalités structurales variées, sur les zones internes et occupent une position allochtone par rapport aux zones externes. La nappe numidienne correspond aux formations les moins tourmentées.

Elle n'est que peu impliquée dans les accidents qui affectent l'édifice allochtone, sauf au nord de Constantine et d'El Aria, où elle se présente comme un ensemble écaillé.

3- LE DOMAINE EXTERNE :

Le domaine externe représente la marge téthysienne du continent africain, on peut distinguer deux grands types de séries :

- Ø Les séries telliennes
- Ø Les séries de l'avant pays

3-1- LES SERIES TELLIENNES

En Algérie orientale et aux confins algéro-tunisiens, les séries telliennes ont été découpées par les phases tectoniques tertiaires en trois grandes entités, dont les limites suivent à peu près les lignes paléogéographiques du Crétacé, du Paléocène et de l'Eocène. Ce sont, du Nord vers le Sud d'après Wildi (1983); Vila (1980) :

- Ø Les unités ultra-telliennes, dont les formations typiques du Crétacé inférieur sont constituées par des marno-calcaires clairs ;
- Ø Les unités telliennes sensu-stricto, avec un Crétacé inférieur plus ou moins riche en dépôts terrigènes et où les enchevêtrements de faciès néritiques restent modérées du Crétacé supérieur à l'Eocène ;

Ø Les unités péni-telliennes et les unités méridionales à nummulites, à faciès néritique prépondérant du Crétacé supérieur à l'Eocène.

Ces dernières séries montrent de grandes affinités avec celles de leurs avant-pays méridionaux, les unités sud-sétifiennes et l'unité néritique constantinoise.

3-2- LES SERIES DE L'AVANT PAYS

La chaîne des Maghrébides est bordée, au sud, par des avant-pays de nature et de comportement tectonique variables.

On peut considérer, successivement d'Est en Ouest les unités et domaines suivants :

3-2-1- Unité Néritique Constantinoise

Les séries néritiques constantinoises forment des massifs isolés (fig.04), de tailles variables ; caractérisées principalement par des formations carbonatées, du Mésozoïque, cette unité fut considérée pendant longtemps comme autochtone, Delga (1969), elle est allochtone et chevauche, pour Vila (1980), les écaillés de Sellaoua et les unités sud-sétifiennes. L'autochtonie de cette unité est reprise par Chadi (1991) et Coiffait (1992). Une certitude cependant, durant les phases tectoniques alpines, cette unité s'est comportée de façon rigide.

3-2-2- Unités Sud- Sétifiennes

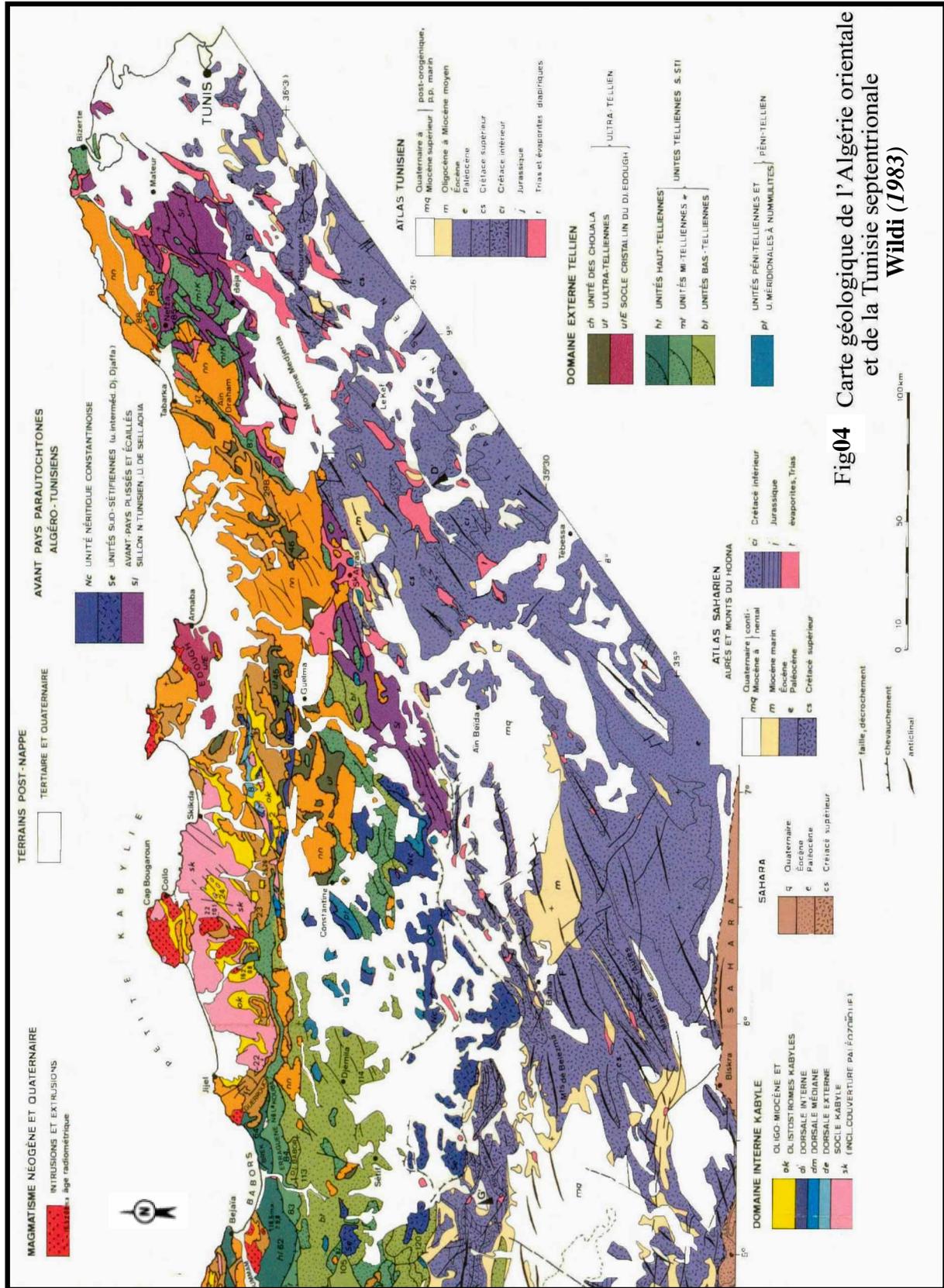
Ces unités considérées par Savornin (1920) comme « bati pré-saharien », ont été décrites par Vila, (1980) sous l'appellation « ensemble allochtone sud-sétifien ».

Elles sont caractérisées par des séries mésozoïques de plates formes admettant des intercalations pélagiques.

3-2-3- Unités Des Sellaoua

Ces unités sont issues d'un sillon allongé du Sud-Ouest au Nord-Est. Elles affleurent au sud-est des massifs composant l'unité néritique constantinoise et comprennent essentiellement des terrains marno-calcaires crétacés avec un léger apport détritique dans le Crétacé supérieur. Le Paléocène et le Lutétien supérieur sont marneux, par contre l'Yprésien est carbonaté et riche en Nummulites ; l'Oligocène est signalé par Vila (1980) et par Coiffait (1992).

L'écaillage de ces séries est attribué à des raccourcissements considérables ayant provoqué des chevauchements de grandes ampleurs.



3-2-4- Le Para Autochtone Nord-Aurésien

Il constitue le bord septentrional de l'autochtone atlasique. Ce para-autochtone est défini par l'ensemble des structures formées par les monts d'Aïn Yaghout et par les Djebels (Hanout, Guellif, Sidi Reghis) dans la région d'Aïn Kercha et d'Oum El Bouaghi.

Cet ensemble a été violemment affecté par la tectonique alpine. Le Trias de la région des lacs peut être interprété comme le coeur d'un vaste pli couché.

3-2-5- L'autochtone Nord-Aurésien

Il s'agit là du domaine atlasique, caractérisé par un ensemble secondaire, plissé à la fin de l'Eocène selon des directions atlasiques, par un diapirisme du Trias daté de l'Aptien, plus à l'Est, dans la région de l'Ouenza et les monts de Tébessa. (Farah, 1991).

Localisées au niveau de : l'Atlas Tunisien, l'Atlas Saharien, les monts Hodna, les monts de Batna et le massif des Aurès, cadre de notre étude.

II- GEOLOGIE DU MASSIF DES AURES :

1-INTRODUCTION

Le massif de l'Aurès constitue la partie orientale de la chaîne atlasique au Sud Est de Constantine, ce massif est délimité :

- Ø Au Nord par le front du chevauchement du Sud Setifien repérable par l'alignement des plis de Bèlèzma, du Dj Sarif et du GUELLIF.
- Ø Au Sud par la flexure saharienne, monoclinale à pendage sud séparant la chaîne alpine au Nord, du domaine tabulaire saharien au Sud.
- Ø A l'Ouest en absence de limites naturelles, on considère conventionnellement que l'Atlas oriental se termine à l'extrémité nord est de l'anticlinal de Dj EZ Zerga, cette zone correspond à l'endroit où la flexure saharienne change de direction, passant d'une direction Est- Ouest à une direction Nord Est- Sud Ouest.
- Ø A l'Est par les monts de Tébessa.

La chaîne atlasique orientale est dominée par le massif de l'Aurès dont l'altitude moyenne de 1500 m, atteint son point culminant au Dj Chélia 2328 m.

2- LITHOSTRATIGRAPHIE :

LE SECONDAIRE est représenté essentiellement par le Crétacé, localement du Jurassique (cœur de l'anticlinal Dj El Azreg), les calcaires marquant les reliefs alors que les marnes occupent les fonds de vallées en général.

Ø **LE TRIAS** constitue les plus anciennes formations reconnues dans la région. Il se rencontre en position stratigraphique anormale ou éjecté au sein des séries encaissantes à la faveur des cassures. Il est formé d'argiles (bariolées ou violettes) gypsifères et salifères à cristaux d'aragonite, d'anhydrite, de quartz bipyramidé et englobant des amas de roches diverses de l'ensemble de la couverture post-triasique.

Ø **LE JURASSIQUE**

Le Lias : Comme le Trias, le Lias est inconnu en position normale et quand on le rencontre, il est emballé dans le Trias sous forme de lambeaux constitués d'argiles schisteuses (Menaâ, centre Aurès) ou de dolomies (El Outaya).

A l'Ouest de l'Aurès (Atlas saharien oriental), il est représenté par des calcaires jaunes et bleus à Bélemnites et Foraminifères du Toarcien inférieur (Flandrin, 1952). Par contre sur la marge septentrionale de la plate forme saharienne, il est formé de calcaires oolithiques et de dolomies et se charge en anhydrite en allant vers le sud.

Le Kimméridgien : Il s'agit des terrains les plus anciens reconnus en position normale dans le massif de l'Aurès où il forme une boutonnière entre les vallées de l'Oued Abdi et de l'Oued Labiod (anticlinal de Dj El azereg). Il se scinde en deux ensembles bien distinctes avec :

- Un ensemble carbonaté basal, d'une épaisseur de 250 à 300 m,
- Un ensemble marneux sommital, d'une épaisseur de 400 m,

Le Portlandien et le Berriasien

Cet ensemble, d'une épaisseur de 250 à 300 m, se présente sous deux faciès bien distincts formant entre eux un passage latéral progressif avec un faciès calcaro-marneux au NW et un faciès dolomitique au SW du massif aurésien.

Ø Au début du **CRETACE INFÉRIEUR** : la mer devient brusquement profonde, s'ensuit un dépôt de marne dont l'accumulation est déterminée par la diminution de la profondeur. Par la suite, après une régression se sont déposés successivement des grès, des calcaires et des sédiments lagunaires.

Ø Au CRETACE SUPERIEUR :

Le **Cénomanién** est représenté de faciès calcaires, qui marquent tout l'étage dans le Sud-Ouest. L'épaisseur des dépôts constitue près de 1000 m par endroits (ex : l'anticlinal du Dj El Azreg).

Le **Turonien** : De tous les étages crétacés, ces dépôts occupent la plus grande surface dans les Aurès. A la bordure du massif, ils sont constitués de calcaires récifaux ou de calcaires. Leur épaisseur varie de 100 à 300 m.

Le **Sénonien** : est constitué par une série marneuse, mais il devient progressivement calcaire dans le Sud –Ouest du massif de l'Aurès. Le Sénonien supérieur (Maestrichtien) est représenté à l'Ouest par de puissantes masses de calcaire (porte d'El Kantara). Mais vers l'Est il se réduit à la partie terminale de l'étage, tandis que sa partie inférieure est formée de calcaires crayeux.

LE TETIAIRE :

LE DANIEN : est représenté dans le Sud et l'Est de l'Aurès par des sédiments phosphatés à épaisseur variable. Les calcaires, de moindre importance sont inséparables de ceux du Maestrichtien. Ensuite, l'émersion qui s'est dessinée à l'El-Kantara a favorisé la formation des marnes rouges lagunaires.

LE PALEOGENE il se divise en deux séries :

- Une série marneuse qui comprend l'Eocène inférieur et moyen : la mer recouvre l'Aurès pendant cette période d'une manière assez uniforme puis des couches marines se déposent au Nord-Ouest et au Sud-Est ; celles-ci passent à des calcaires lacustres et des sédiments rouges (El-Kantara).
- Une série continentale qui comprend l'Eocène supérieur et l'Oligocène, passe dans l'axe de certains synclinaux (Rhassira et El-Kantara) en concordance avec le Lutétien à la base et le Burdigalien au sommet.

Cette série se caractérise par deux sortes de dépôts :

- Ø Marnes et grès rouges dans les synclinaux (El-Kantara et Bouzina) évoquant la sédimentation dans des bassins fermés
- Ø Les poudingues indiquent l'action d'une érosion vive surtout à la fin de l'Oligocène ; celle-ci a déblayé en certains points 600 m de sédiments, laissant ainsi le Burdigalien reposer directement sur le Jurassique, c'est lors de cette période que se sont produits en effet, les plissements principaux qui relèvent la série secondaire à la verticale.

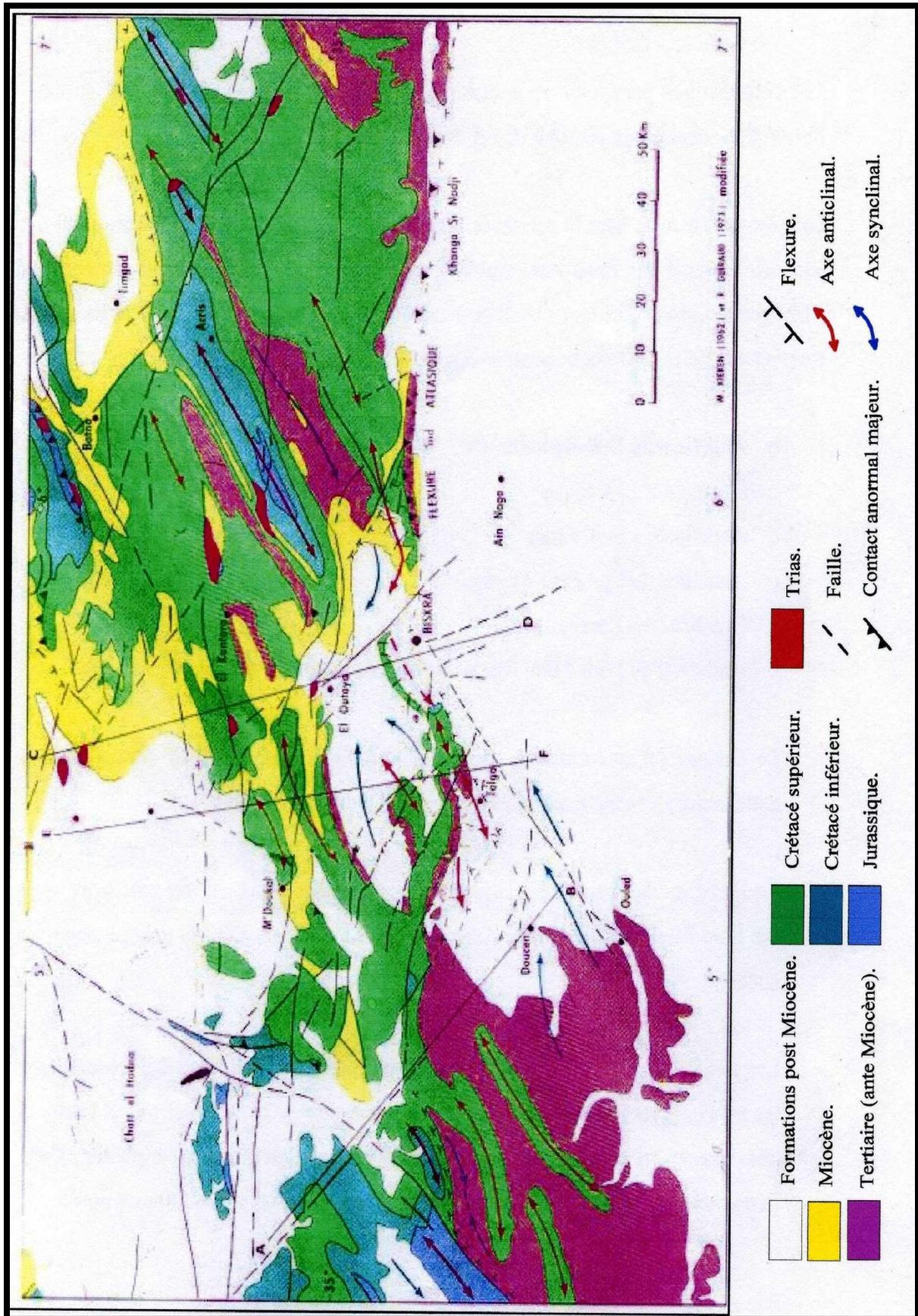


Figure 05: Esquisse Tectonique (DEMIRH1980)

Le **NEOGENE** : peut être aussi subdivisé en deux séries principales :

Ø Une série marine du Burdigalien- Miocène inférieur : la mer a recouvert tout le massif, mais peu après, elle n'a subsisté que dans les bassins du périphérique du massif. Des molasses gréseuses et des grés se sont déposés dans le bassin de Timgad (versant Nord) et des molasses calcaires et des marnes dans la cuvette d'El-Outaya. au début de cette période la crête du Dj Metlili qui sépare la cuvette d'El-Outaya et celle de Hodna a émergé, ainsi que la région des hauts sommets (Dj Belezma).

Ø Une série continentale regroupe le Miocène supérieur et le Pliocène : cette série est formée à la base par des argiles rouges, qui n'existent pas dans tout le massif de l'Aurès, mais seulement dans le synclinal de Bouzina. Tandis que la cuvette El-Outaya et la bordure des Ziban sont constituées par des argiles rouges à la base ; des grés ou des sables bruns ou rouges et des poudingues rouges au sommet.

Les formations du **QUATERNAIRE**, représentées par des éboulis, des cônes de déjections et les terrasses alluviales des vallées, sont répandues surtout aux bordures du massif de l'Aurès, ou ils forment des grandes unités alluviales qui constituent les sièges de nappes phréatiques. En revanche, dans le centre du massif ces unités sont très localisées et peu étendues.

3- CONTEXTE STRUCTURAL :

Les sommets de l'Aurès correspondant à des crêtes anticlinales ouvertes dans le Cénomaniens, séparées par de longues vallées synclinales où sont conservés les sédiments tertiaires. Ces structures plurikilométriques montrent une orientation moyenne NE-SW et résultent pour l'essentiel d'une phase dite atlasique d'âge Lutétien- Burdigalien (Laffitte. 1939) ou post Eocène inférieur, et anti-Oligocène (Boudjema.1987).

Vers le Sud, en direction de la flexure saharienne, on constate une diminution de l'altitude et de la dimension des plis ainsi qu'une inflexion de leur direction qui devient E-W.

Les structures majeures du massif des Aurès sont du Nord au Sud et d'Ouest en Est :

- Axe anticlinal de Dj AHMAR- Dj METLILI et ICH ALI
- Axe anticlinal MAKRIZANE- BIR FERAH- IGUEDLENE
- Le synclinal de BOUZINA
- Axe anticlinal du Dj EL AZREG- ICHMOUL- Dj CHELIA
- Le synclinal de RHASSIRA
- Axe anticlinal TAKTIOUT- TOUBOUNT –KHENCHLA

Notre zone d'étude correspond au bassin de Bouzina qui est située dans

III- LITHOSTRATIGRAPHIE DE LA ZONE D'ETUDE :

Le synclinal de Bouzina présente à l'affleurement une succession de formations géologiques allant du Sénonien au Quaternaire. Dans d'autres endroits des Aurès, on peut trouver à l'affleurement des formations plus anciennes que celles du Sénonien. Ainsi dans le coeur de l'anticlinal de Dj El Azreg, situé juste au Sud Est du synclinal de Bouzina, des formations du Jurassique (Lias inférieur) affleurent. La série stratigraphique se poursuit ainsi vers le Nord Ouest pour atteindre les formations du Maestrichtien (sommet du Sénonien) sur le flanc Sud Est du synclinal de Bouzina (crêtes du Mahmel et kroumet khaloua, kef El Mahnab, kroumet Eddib).

Les formations du Crétacé inférieur et de la base du Crétacé supérieur affleurent dans la vallée de l'Oued Abdi sur le flanc Nord Ouest de l'anticlinal de Dj El Azreg.

Des affleurements Triasiques (gypses et argiles) se rencontrent à Menâa et Nara au Sud Est et à Mâafa au Nord Ouest du synclinal.

La description lithostratigraphique est basée essentiellement sur les travaux de R.LAFFITE étude géologique des Aurès (1939) et des travaux de ABCHICHE portant sur l'étude hydrogéologique de la vallée de Oued Abdi et Bouzina (1999).

1- L'EXTERIEUR DU SYNCLINAL DU BOUZINA :**DU VALANGINIEN AU TURONIEN****CRETACE :****A- CRETACE INFERIEUR :****VALANGINIEN :**

La succession décrite par ABCHICHE (1999) ; dans la vallée de l'Oued Abdi au Nord Ouest du village Oughanime (Sud Ouest de Menâa), se résume à des marnes jaune- verdâtre d'une centaine de mètre d'épaisseur, des grès calcaireux d'échelle métrique, ainsi que des calcaires pisolithiques massifs d'une vingtaine de mètre d'épaisseur.

Vers le sommet de la série, on peut distinguer les calcaires gréseux avec des niveaux marneux.

HAUTERIVIEN :

A Oughanime, la base de l'Hauterivien débute par des bancs de calcaires gréseux d'échelle métrique sur une dizaine de mètre d'épaisseur, puis la tendance gréseuse commence à devenir importante.

BARREMIEN :

Au niveau de la crête du village de Braïed (Sud de Menâa), la base est caractérisée par la disparition de la tendance calcaire- gréseuse au toit de l'Hauterivien et l'apparition de bancs de grès d'échelle métrique avec des intercalations de marne et /ou argile rouges montant jusque dans l'Aptien (fig07).

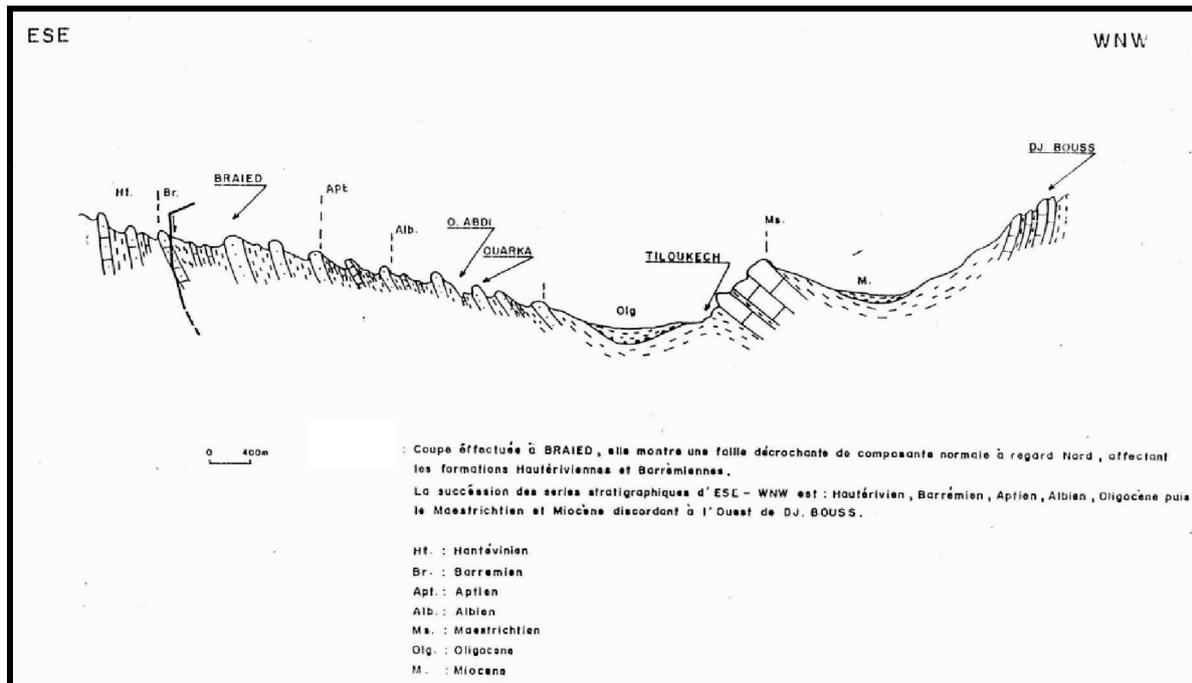


Figure 07 : Coupe Géologique De Braïed

APTIEN :

Au niveau de l'axe Oughanime- Ouarka (Sud Ouest de Menâa), la limite inférieure de l'Aptien est difficile à préciser car sa base est gréseuse jusqu'à un niveau où l'on commence à avoir des bancs de calcaire d'échelle décimétrique à métrique, alternant avec des bancs centimétriques de calcaire avec des passées marneuses vertes.

Vers le sommet de la série, les bancs de grès réapparaissent avec une échelle métrique et des joints argileux décimétriques. L'épaisseur de la série est d'une quarantaine de mètre.

ALBIEN :

A Amentane au SW de Menâa, Sonatrach identifie la base de l'Albien par une alternance de grès et de marnes. Mais également des alternances de marnes bigarrées et de grès rouges. L'épaisseur de la série est entre 400 et 500 m.

B- CRETACE SUPERIEUR**CENOMANIEN :**

Le Cénomaniens est très développé de l'Oued Abdi en amont de Béni Souik (vers Amentane) de bas en haut ABCHICHE désigne la succession suivante :

- Calcaires et marnes d'environ 100 m d'épaisseur.
- Alternances de calcaires et marnes.
- Des calcaires marneux indurés présentant des plaquages d'huîtres.

L'épaisseur de l'ensemble de la série est estimée à environ 200 m Au niveau de Chir et tout au long de la vallée de Oued Abdi, le Cénomaniens a une composition très uniforme, avec à la base des marnes peu fossilifères à de rares empreintes de Céphalopodes, puis vers le sommet on a des marnes et des calcaires.

TURONIEN :

Sur la carte établie par LAFFITTE (1939), Le Turonien forme une auréole régulière à la périphérie de l'anticlinal El Azreg interrompue seulement vers le Sud Ouest par les formations du Trias de Menâa intrusif, l'Oligocène et le Miocène transgressifs. Ceci est bien visible Au niveau de la vallée de Oued Abdi, les masses calcaires du Turonien disparaissent au Nord Est vers Menâa sous le Miocène.

Cette formation réapparaît, à partir de Chir et surtout la rive droite de l'Oued Abdi, il est formé de marnes dont l'épaisseur est de 400 m environ ; et de calcaire et marne, coiffés au sommet par des bancs de calcaires massif d'environ 05 m d'épaisseur.

2- SYNCLINAL DE BOUZINA : DU SENONIEN AU QUATERNAIRE**SENONIEN :**

LAFFITTE (1939) différencie dans le Sénonien les étages classiques, à s'avoir : le *Coniacien*, le *Santonien*, le *Campanien* et le *Maestrichtien*.

Il décrit le Sénonien des Aurès dans ces termes : "*Le Sénonien existe dans tous les synclinal de l'Aurès, très épais 2000 m en moyenne, il occupe en affleurement des surfaces considérables.*

La partie supérieur de l'étage formé généralement de calcaires massifs, donne des crêtes immenses, continues, qui sont un des éléments caractéristiques de l'orographie de la région, le Dj Mahmel qui avec ses 2321 m est inférieur que de 8 m du Chéllia et de 15 m du Dj Aissa point culminant de tout l'Algérie, est formé par les calcaires du Maestrichtien, ce sont ces même assises qui donnent aux synclinaux leurs formes en vals si caractéristiques. "

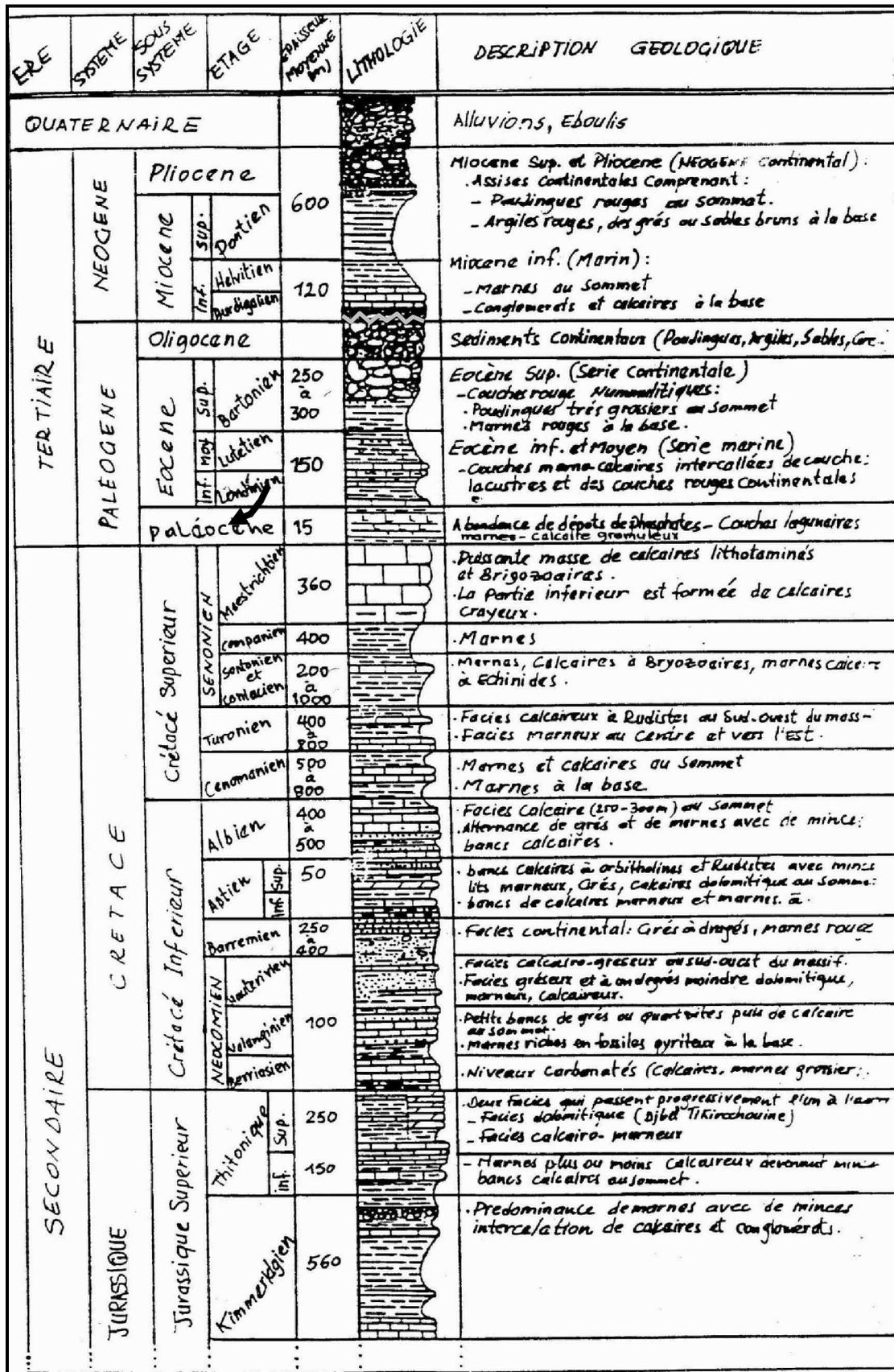


Figure 08 : Coupe Lithostratigraphique Type De L'Anticlinal Du Dj El Azreg

ABCHICHE (1999).

Sur le flanc Sud de Dj Mahmel des niveaux marneux affleurant entre les calcaires du Sénonien inférieur et les calcaires massifs du Maestrichtien qui forment les crêtes. Ce sont 400m environ de marnes grises. LAFFITTE considère que les analogies d'aspect et de situation avec d'autres régions des Aurès permettent de les rattacher au Campanien.

Au dessus, le Maestrichtien débute par 50 à 60 m d'alternances de marnes et de calcaires pour passer ensuite à des calcaires épais de 300 m environ.

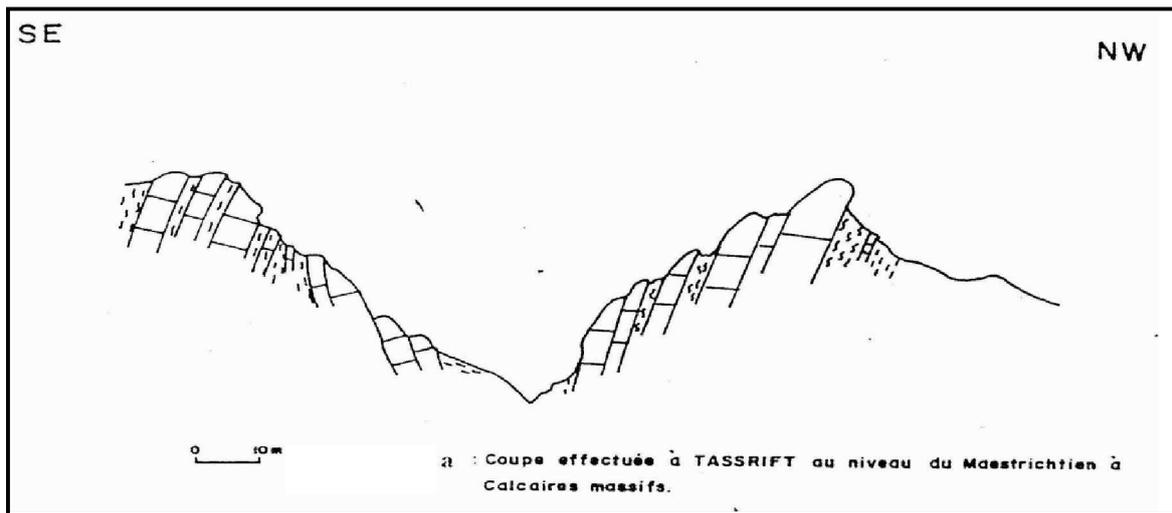


Figure 09: Coupe Géologique à Tasserift.

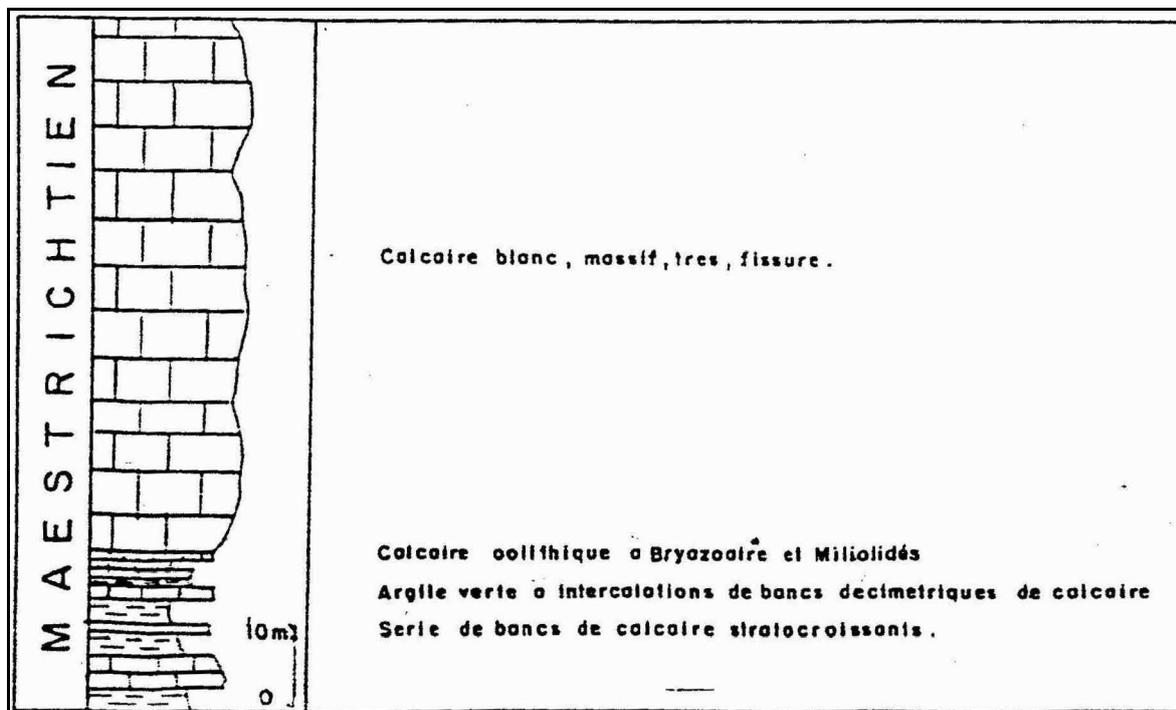


Figure 10 : Coupe Lithostratigraphique NE-SW De Oued Bouzina

LE TERTIARE

LE DANIEN :

L'AFFITTE (1939) décrit le Danien dans les Aurès dans les termes suivants : "*le Danien, caractérisé par la présence de fossiles crétacés au dessus du Maestrichtien supérieur, est très irrégulièrement réparti. Dans l'Ouest des Aurès, des pulsations provoquaient le retrait de la mer, et des couches lagunaires s'intercalent au milieu de l'étage. Dans le Sud et l'Est, des variations d'épaisseur assez rapides et la présence des couches phosphatées caractérise l'étage.*"

D'après R.LAFFITTE. L'étude du Danien dans certaines localités montre une certaine irrégularité dans la sédimentation, indiquant probablement des déformations du substratum qui se traduisent par les variations d'épaisseur de cet étage.

La coupe qu'il donne du Danien à kroumet el kreloau Sud Est de Bouzina est de bas en haut la suivante :

Lithologie	épaisseur
- Calcaire zoogénies (bryozoaires) à débris de fossiles silicifiés	5m
- Calcaires marneux avec moules de gastéropodes	0.5m
- Calcaires massifs	0.5m
- Calcaires marneux	0.5m
- Calcaires rognoneux	0.3m
- Marnes noires avec intercalation de calcaires à débris ; de bancs à petits galets calcaires et de bancs de poudingues à galets calcaires	0.7
- Marnes avec de minces bancs de calcaires marneux	6m
- Calcaires en bancs avec traces d'annélides	3m

Dans le synclinal de Bouzina et Dj El Azreg, ABCHICHE ne mentionne pas le Danien dans la série stratigraphique, mais attribue une couche de 15m d'épaisseur formée par une abondance de dépôts de phosphates, marnes et calcaires granuleux au Paléocène dans la coupe lithostratigraphique typique de Dj El Azreg.

LE NUMMULITIQUE :

L'AFFITTE décrit les limites du Nummulitique comme suit : "*je place dans le nummulitique tous les terrains compris entre le Danien et le Miocène inférieur marin transgressif*".

Il divise le nummulitique dans l'Aurès en deux séries :

- 1 / une série essentiellement marine à la base (Eocène inférieur et moyen) ;*
- 2/ une série continentale au sommet (Eocène supérieur et Oligocène).*

Il place la limite entre les deux séries à la partie supérieure du lutétien.

1/L'EOCENE INFÉRIEUR ET MOYEN (LA SÉRIE MARINE DU NUMMULITIQUE) :

LANDENIEN :

Dans la carte géologique au 1/200 000 de LAFFITTE, le faciès attribué au Landénien est calcaire massif. Pour Sonatrach, la partie supérieure du Landénien est représentée à oued Bouzina, par des barres calcaires d'échelle métrique avec des intercalations de niveaux argileux ou des marnes de couleur rouge.

LUTETIEN :

Quant au Lutétien, toujours à oued Bouzina (au Nord Est de Tissidelt), il débute d'après Sonatrach, par des argiles présentant des passées gypseuses d'échelle centimétrique, puis viennent des barres de calcaire d'échelle décimétrique puis l'ensemble est surmonté par une alternance d'argile verte, de barres gypseuses d'échelle métrique et de barres calcaires centimétrique à métrique. L'épaisseur de cette série marine du Lutétien est de 100 m ou plus.

2/ L'EOCENE SUPÉRIEUR ET L'OLIGOCENE (SÉRIE CONTINENTALE NUMMULITIQUE) :

R.LAFFITTE décrit le nummulitique continentale dans les Aurès dans les termes suivants : "*Le nummulitique supérieur continental se trouve dans les Aurès dans deux situations différentes :*

- 1. Dans les synclinaux, ou il a commencé à se former dès l'émersion de la région, recouvrant en concordance le Lutétien et supportant parfois en concordance le Burdigalien.*
- 2. En discordance sur tous les termes des séries plus anciennes affleurant dans les Aurès jusqu'au Trias. Là, il n'a commencé à se former qu'après que l'érosion eut attaquée la région ; les termes inférieurs de la série manquent nécessairement .on observe toutes les transitions entre des accumulations de couches rouges et de poudingues d'une épaisseur pouvant atteindre 200 à 300 m, et un simple poudingue de quelques mètres d'épaisseur se confondant avec le poudingue de base du Burdigalien. "*

Dans le synclinal de Bouzina, existe une importante accumulation de couches rouges du nummulitique continental.

ABCHICHE donne de **L'OLIGOCENE** au Dj Tissidelt (Sud Ouest de Bouzina) la coupe suivante :

- A l'affleurement au niveau de l'oued de Bouzina, des argiles et des marnes d'environ une centaine de mètre d'épaisseur, au sein des quelles on retrouve des passées latérales gypseuses d'échelle centimétrique.
- Au-dessus de ces argiles. viennent se déposer des grès d'épaisseur métrique, des conglomérats et des poudingues très grossiers dont les éléments peuvent atteindre 30 à 50 cm de diamètre
- Le toit de la série est marqué par une dalle de grès conglomératique d'une trentaine de mètre d'épaisseur venant coiffer le sommet de Dj Tissidelt.

L'ensemble de l'Oligocène a une épaisseur de 200 m environ.

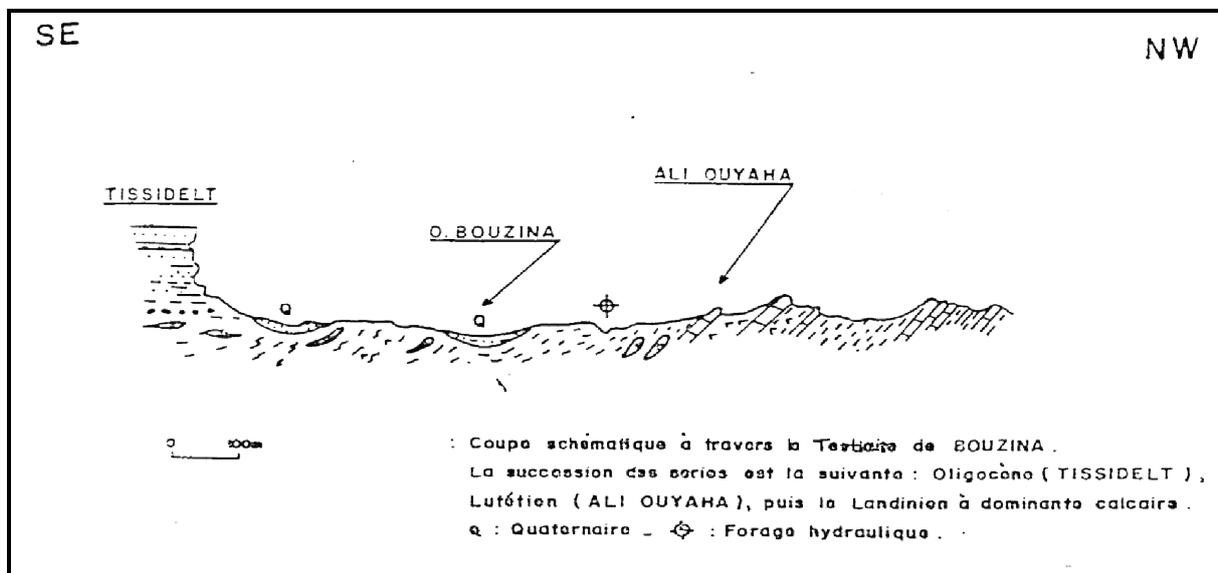


Figure11 : Coupe Géologique de Tissidelt Ali Ouyaha

LE MIOCENE :

Le Miocène est composé à sa base par une série marine (Miocène marin) qui passe vers le haut à une série continentale (Miocène continental). D'après LAFFITTE, cet étage existe dans toute la vallée de Oued Abdi mais le seul endroit où il a été conservé avec une grande épaisseur est à Menâa.

Dans la vallée de Bouzina, le Miocène est représenté dans la plaine de Nerdi. LAFFITTE note que la mer au Miocène pénétra dans la dépression de Nerdi où elle forma un golfe dans lequel se déposèrent des argiles rouges à gypse (Miocène marin).

Au dessus du Miocène marin, on a un remplissage de couches rouges (surtout des argiles) qui ne peuvent être datées directement. Mais à cause de leur faciès, R.LAFFITTE les rattache au Miocène continental dont elles peuvent représenter la base. Ces dernières peuvent être surmontées par des grés, des sables bruns ou rouges et au sommet par des poudingues.

L'épaisseur de l'ensemble du Miocène atteint dans la plaine de Nerdi une épaisseur de 50m ou plus.

LE QUATERNAIRE :

D'après R.LAFFITTE, les terrains récents sont rares dans le centre du massif de l'Aurès, ils sont représentés uniquement par des éboulis et des dépôts alluvionnaires.

Au cœur des vallées, des dépôts alluvionnaires des Oueds (terrasses, dépôts) par exemple de l'Oued Abdi ou des oueds Nerdi et Bouzina.

Dans la vallée de Bouzina, ces dépôts sont de faible épaisseur.

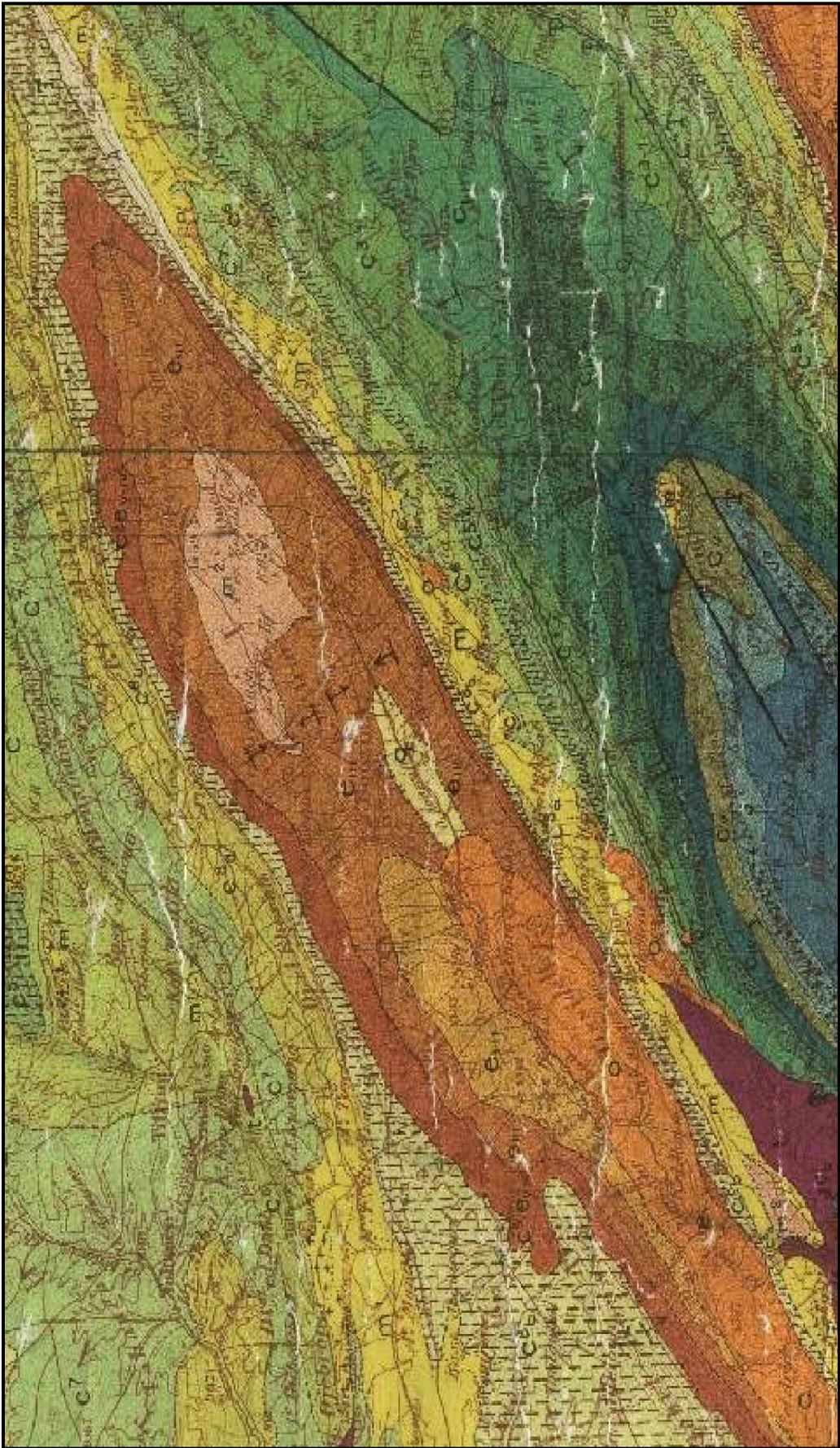


Figure 12 : Extrait De La Carte Géologique De LAFFITTE Massif des Aurès (1/200000)

Légende :

<i>signature</i>	<i>Couleur</i>	<i>étage</i>	<i>Lithologie</i>	
M ²	Rose	Pontien inf	Marnes, grés et sables rouges	
O	Rouge	Oligocène	Marne rouge à gypse, grés, conglomérats, brèc	
e I-II	Brun clair	Lutétien	eII-I	Marnes blanches avec bancs calcaires et gypseux, localement phosphates. dans la partie sud est
			eII	Calcaires à gypse
			eI	Marne noires
e III c9 eV-IV	Brun moyen	Landénien	Calcaires massifs.	
	Brun foncé	Paléocène (eV-IV)	Marnes blanches ; calcaires, localement gypse et phosphates.	
	Vert	Danien c9	Marnes noires, localement phosphates.	
C8b	Bleu Clair hachuré	Mæstrichtien	calcaires	
	Bleu clair		Marnes noires et marnes crayeuses.	
C8a	Olive clair	Campanien	Marnes noires, marnes crayeuses, à la base, localement, gypse	

IV- CADRE STRUCTURAL :

Avant d'aborder l'aspect tectonique de la région étudiée, il serait intéressant de dresser une ébauche structurale de l'Atlas Saharien.

1- ANALYSE STRUCTURALE DE L'ATLAS SAHARIEN :

La région d'étude appartient aux monts de l'Aurès, qui fait partie de la chaîne de l'Atlas Saharien dont on peut définir les principaux types de plis et les accidents.

La structure des Aurès comme celle de l'Atlas Saharien s'est formée au cours des phases tectoniques :

1-PHASE EMSHERIENNE

2-PHASE ATLASIQUE (PYRÉNÉENNE)

3-PHASE DISTENSIVE OLIGO- MIOCENE

4-PHASE MIOCENE

5-PHASE PLIOCENE

6-PHASE QUATERNAIRE

1-1- PHASE EMSHERIENNE

Elle débute à la fin du Turonien et se poursuit au Sénonien. Elle intéresse principalement le domaine pré-atlasique (entre le Chott Chergui et les monts du Hodna) et l'Atlas saharien occidental. Cette phase se manifeste en général par des plis Est Ouest accompagnés de cassures Nord Ouest, Nord Est ou Est Nord Est avec des compressions qui peuvent être de direction NNW-SSE à Nord Sud [GUIRAUD, 1990 ; BASSETO et GUILLEMOT,1972].

BERTRANEU (1952), à l'aide d'une opération rétro tectonique sur la carte de Boutaleb montre que la déformation Emshérienne donne des plis NW- SE.

Ces structures sont bien représentées dans l'Atlas Saharien (Carte géologique Ain Rich 1/200.000- 1972).

1-2- PHASE ATLASIQUE (PYRENEENNE)

Elle se produit au Lutétien (Eocène moyen).elle est caractérisée par des plis coiffés à périclinaux coniques orientés NE-SW à ENE-WSW, les failles sont parfois parallèles à l'axe des plis, mais la plupart sont obliques avec une direction E-W. NW- SE et WNW-ESE. [GUIRAUD, 1990 ; KAZITANI, 1986].

1-3- 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. (KAZITANI, 1986).

1-4- PHASE MIOCENE

Cette phase n'a produit que de faibles déformations. Elle est caractérisée par le redressement et la déformation des conglomérats du Tertiaire résultant de la phase Atlasique (GUIRAUD, 1990).

1-5- PHASE PLIOCENE

La phase Pliocène est la plus importante avec la phase Atlasique, elle intéresse la fin du Pliocène. Les plis et les cassures sont le plus souvent orientés ENE-WSW, mais on note la présence de quelques plis de direction EW (GUIRAUD, 1990).

1-6- PHASE QUATERNAIRE

Distensive, elle est à l'origine des grabens subméridiens (KAZITANI, 1986). Cette phase se limite au rejet des plis formés au Pliocène (GUIRAUD, 1990).

LES PLIS :

L'Atlas Saharien est formé par des cuvettes synclinales larges à fond plat. Parfois perchées d'orientation (N040 à N050E), obliques à la structure générale de la chaîne (N060E). Ces synclinaux sont séparés par des anticlinaux rarement symétriques, étroits et allongés à flancs très redressés. Leur évolution montre en profondeur des plis déversés ou plis - failles (GUIRAUD.1990).

Les alignements majeurs sont localisés à l'aplomb des principaux accidents, dont ils sont l'expression superficielle.

LES CASSURES :

Les cassures sont nombreuses dans l'Atlas Saharien, où elles montrent des directions variables. GUIRAUD les regroupe en trois familles :

- Nord Sud et Nord Est- Sud Ouest : Décrochements sénestres.
- Est Ouest : Décrochements sénestres et dextres.
- Nord Ouest- Sud Est : décrochements senestres et dextres.

La chaîne Atlasique est limitée au Nord au niveau des reliefs et des hautes plaines par « l'Accident Nord Atlasique », marqué par une série de décrochement EW (EMBERGER ,1960), et au Sud au niveau de la plate-forme par l'Accident Sud Atlasique »

où se relaient failles et flexures (KAZI TANI, 1986).

Les Aurès présentent une tectonique salifère, soulignée par des pointements du Trias extrusif, mis en place à la faveur d'accidents importants, notamment à Menâa, Nara et Ichmoul.

2- ANALYSE STRUCTURALE DU SYNCLINAL DE BOUZINA

PLISSEMENT :

L'étude de l'esquisse géologique des Aurès (LAFFITTE. 1939), nous révèle que le synclinal de Bouzina, très allongé se poursuit depuis le bassin Miocène d' El Outaya (aux environ d'Ain Sellet), jusqu'au bassin de Timgad, sous le quel il disparaît.

Dans sa partie Sud Ouest, il est subdivisé en deux par un repli anticlinal, l'anticlinal du Dj Bouss-Adrar Moudhaff, qui amène les calcaires du Maestrichtien vers 1800 m d'altitude.

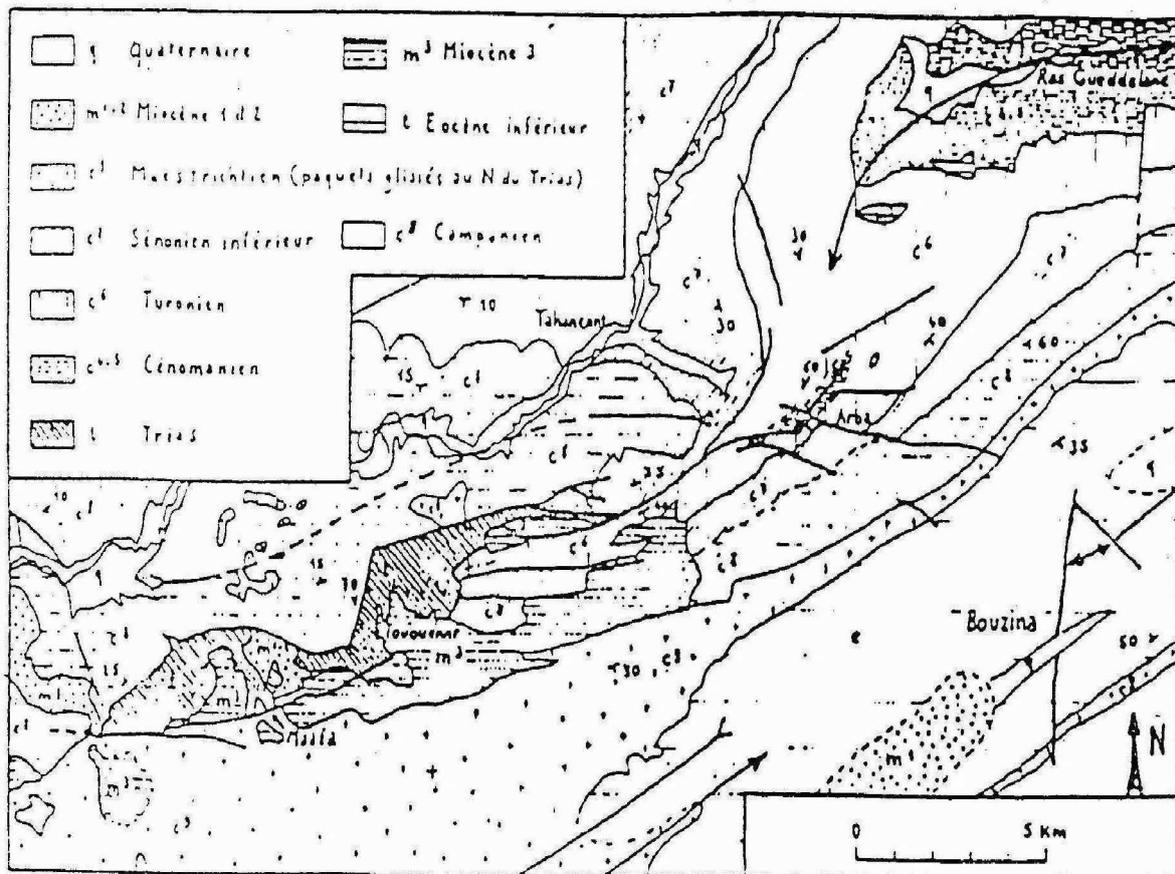


Figure 13 : Carte Géologique Schématique De La Région De MAAFA-ARBA

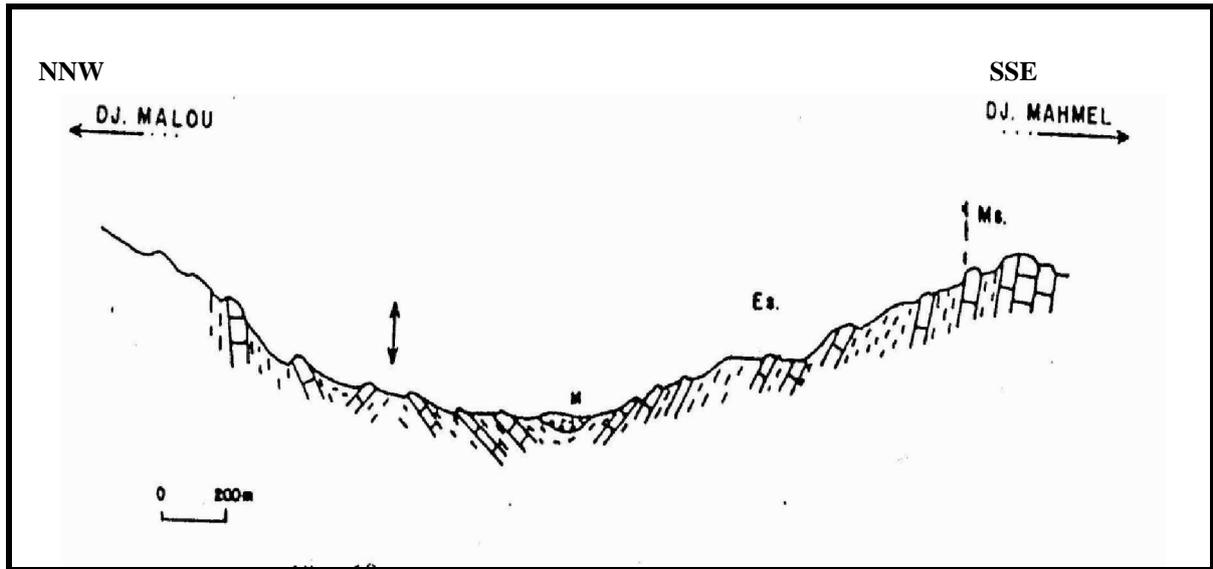


Figure14: Coupe Illustrant Le Repli Anticlinal De Koudiet El-Arar

M : Miocène
 Es : Eocène supérieur
 Ms : Maestrichtien

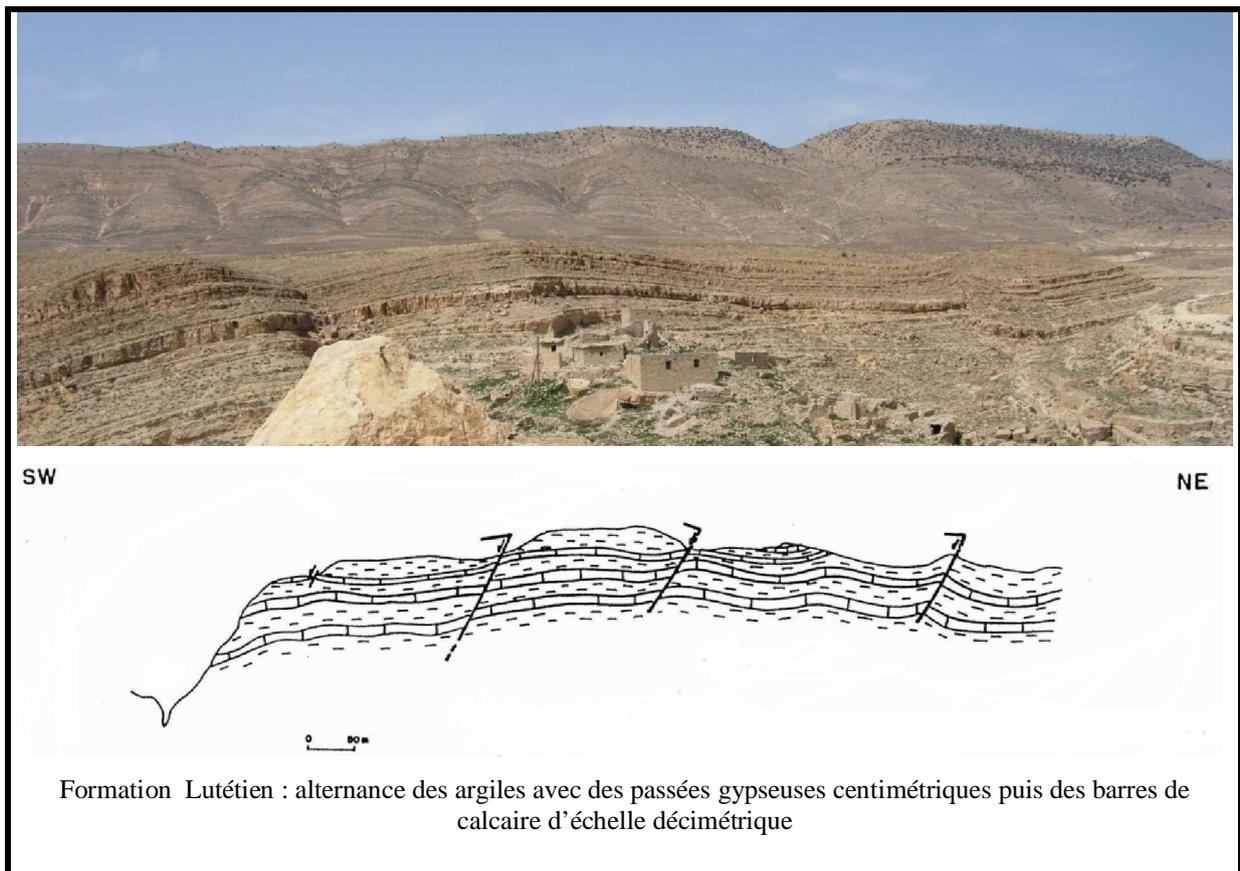


Figure15 : Coupe Effectuée Au Niveau De La Rive Droite De L'oued Du Vieux Bouzina
 La série effectuée est attribuée au Lutétien

Après un abaissement d'axe vers Tagoust (Sud Ouest de Bouzina). Ce repli anticlinal présente un relèvement qui forme koudiat El-Arar, enfin il disparaît à partir de Nardi, mais en ce point, c'est le synclinal lui-même qui subit un relèvement d'axe dans sa totalité et les calcaires du Maestrichtien sont redressés au Dj Mahmel (2321m)

Un nouvel abaissement d'axes très brusque se produit à partir de ce point accentué par des failles en jeu normal pour donner des cuvette de R'adam ; avant de disparaître sous le Néogène du bassin de timgad.

En ce qui concerne l'âge des plissements, si des déformations ont pu s'amorcer dès la base de l'Eocène et surtout pendant le Lutétien, période où se forment des horizons détritiques grossiers concordants sur leur substratum et résultant principalement de mouvements de surrection vertical, la phase de serrage majeure doit se placer immédiatement après le dépôt de ces derniers qui sont recouverts en discordance très nette par le Miocène.

LES CASSURES

Les cassures sont nombreuses dans le massif des Aurès et elles se répartissent très généralement suivant des directions NW-SE (les plus fréquentes dans la zone d'étude),

E-W ou N60E décrit par GUIRAU dans le cours du Dj El Azreg, et plus à l'Est au niveau de Tighanimine, Tivoura et Ain Tdjera, mais également dans la région de Maafa Arbaa au Nord de synclinal de Bouzina et au Sud Est dans la région de Ain stat- Djmourah-Branis.

Quelque accidents proches de Nord-Sud se rencontrent parfois notamment à Bouzina

1-Les accidents de direction N00°-N010° (NORD-SUD) : Ces failles sont visibles dans les localités au sud du Dj Malou et au sud est de Bouzina. Au niveau du Dj El Malou, ces directions correspondent à des failles décrochantes dextres.

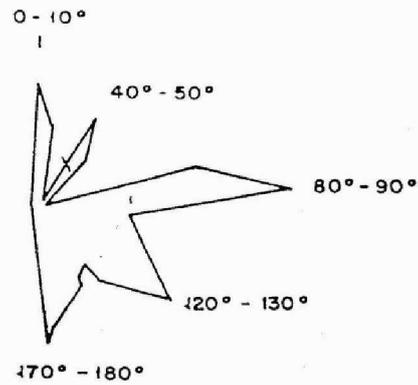
2- les accidents de direction N050°-N060°(NE-SW) : Des accidents parallèles à l'axe du synclinal, qui ont joué en décrochements senestres, notamment l'accident qui passe par Dj Rharab et se prolonge au Sud Ouest de koudiet El Arar.

3- les accidents de direction N090°-N100°(E-W) : elle correspond à des failles ou des décrochements senestres pouvant probablement rejouer en dextre durant la phase Pyrénéenne.

4- les accidents de direction N130°-N140° (NW-SE) : ce sont des accidents obliques à l'axe anticlinal du Dj El Azreg il s'agit des accidents transversaux correspond à de grandes failles qui apparaissent en décrochement dextre, avec un rejeu important, notamment sur le flanc Sud Est de l'anticlinal El Azreg.

Etude qualitative des fractures

Rosace directionnelle qualitative des linéaments



Etude quantitative des fractures

Rosace directionnelle quantitative des linéaments

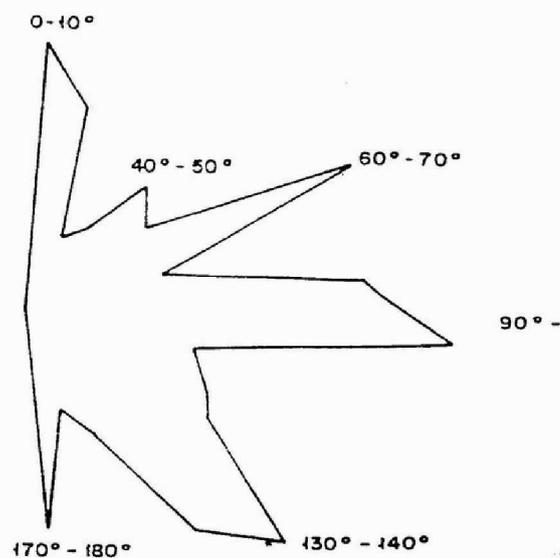


Figure 16 : Rosaces Directionnelles Qualitative Et Quantitative Des Linéaments
ABCHICHE (1999).

V - APPORT DE LA GEOPHYSIQUE :

1- INTRODUCTION :

L'entreprise nationale de la géophysique (ENAGEO) a entrepris une campagne de prospection électrique par la méthode de sondage électrique vertical à travers le bassin versant de oued Abdi comprenant les daïras de Theniet El Abed, Menâa et Bouzina dans la willaya de Batna. Cette campagne d'acquisition de résistivités a débuté le 25 Septembre 1998 et s'est achevée le 20 novembre 1998, elle a consisté en la réalisation de 182 sondages électriques.

	AB=5000m	AB=4000m	AB=300m	AB=2000m	AB=1000m	Total
Bouzina	02	61	29	04	00	96
Menâa	00	12	17	26	31	86
Total	02	73	46	30	31	182

2- OBJECTIF ET DISPOSITIF :

L'étude géophysique réalisée avait pour objectifs de déterminer :

- La géométrie des aquifères;
- La profondeur et le substratum ;
- Les grands accidents.

La prospection électrique par sondage électrique vertical, est une méthode qui permet l'étude du sous sol en se basant sur la lecture de la résistivité apparente des formation traversées par un courant électrique continu injecté à partir de la surface du sol par l'intermédiaire d'un quadripôle AMNB de type Schlumberger.

3- INTERPRETATION DES RESULTATS :

L'interprétation des résultats des sondages électriques a permis à Sonatrach d'établir 07 coupes transversales et 06 coupes longitudinales dans le synclinal de Bouzina (Fig17)

De plus deux cartes du toit du Landénien et du Maestrichtien dans le synclinal de Bouzina ont été réalisées.

3-1- Les Coupes Transversales T1, T2 et T3 (Fig 18) :

Ces coupes géo électriques d'orientation NW-SE, ont été réalisées entre Aourir et le Vieux Bouzina, nous ont permis de mettre en évidence les formations géologiques suivantes en tenant compte de la lithostratigraphie de la région.

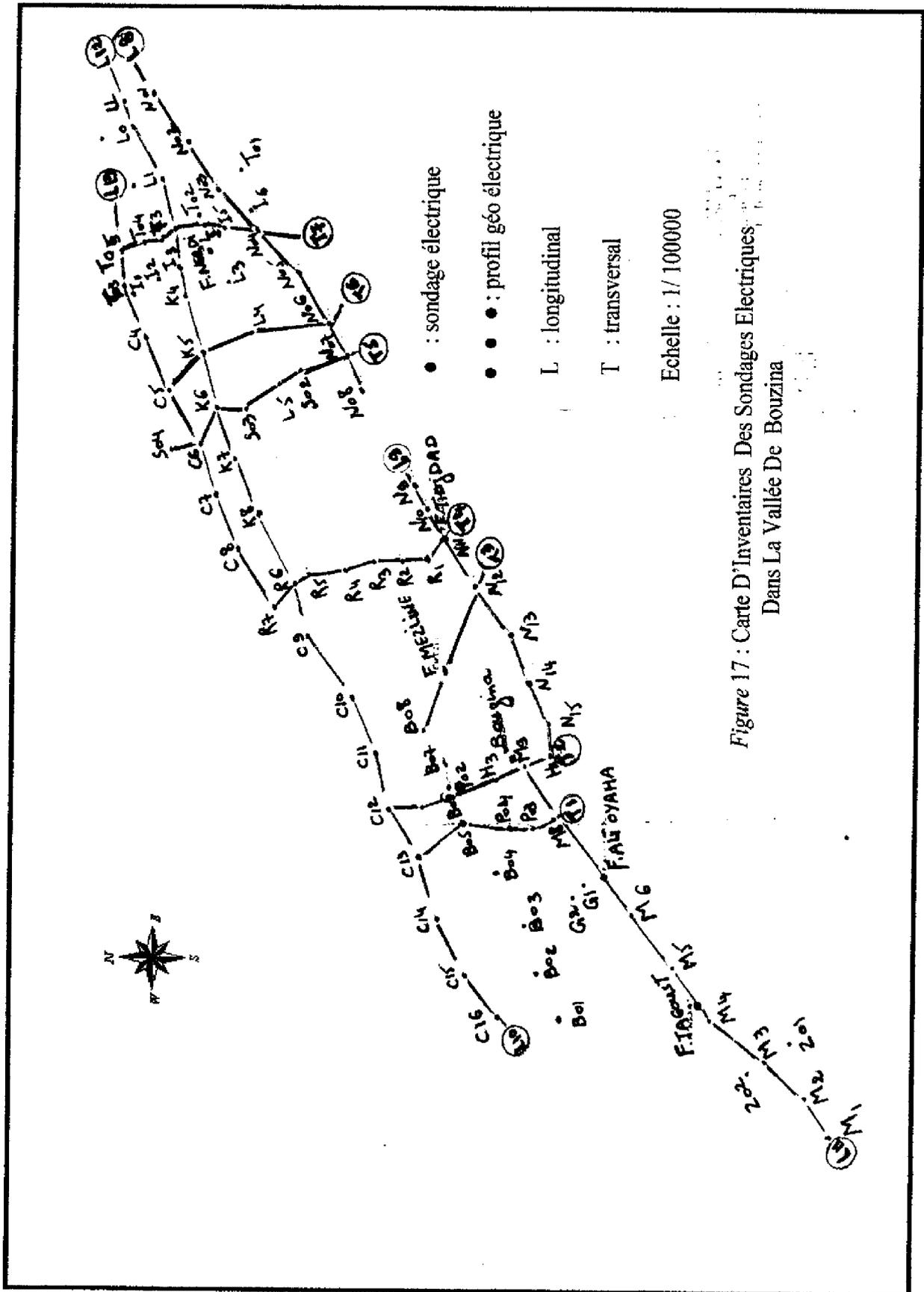


Figure 17 : Carte D'Inventaires Des Sondages Electriques Dans La Vallée De Bouzina

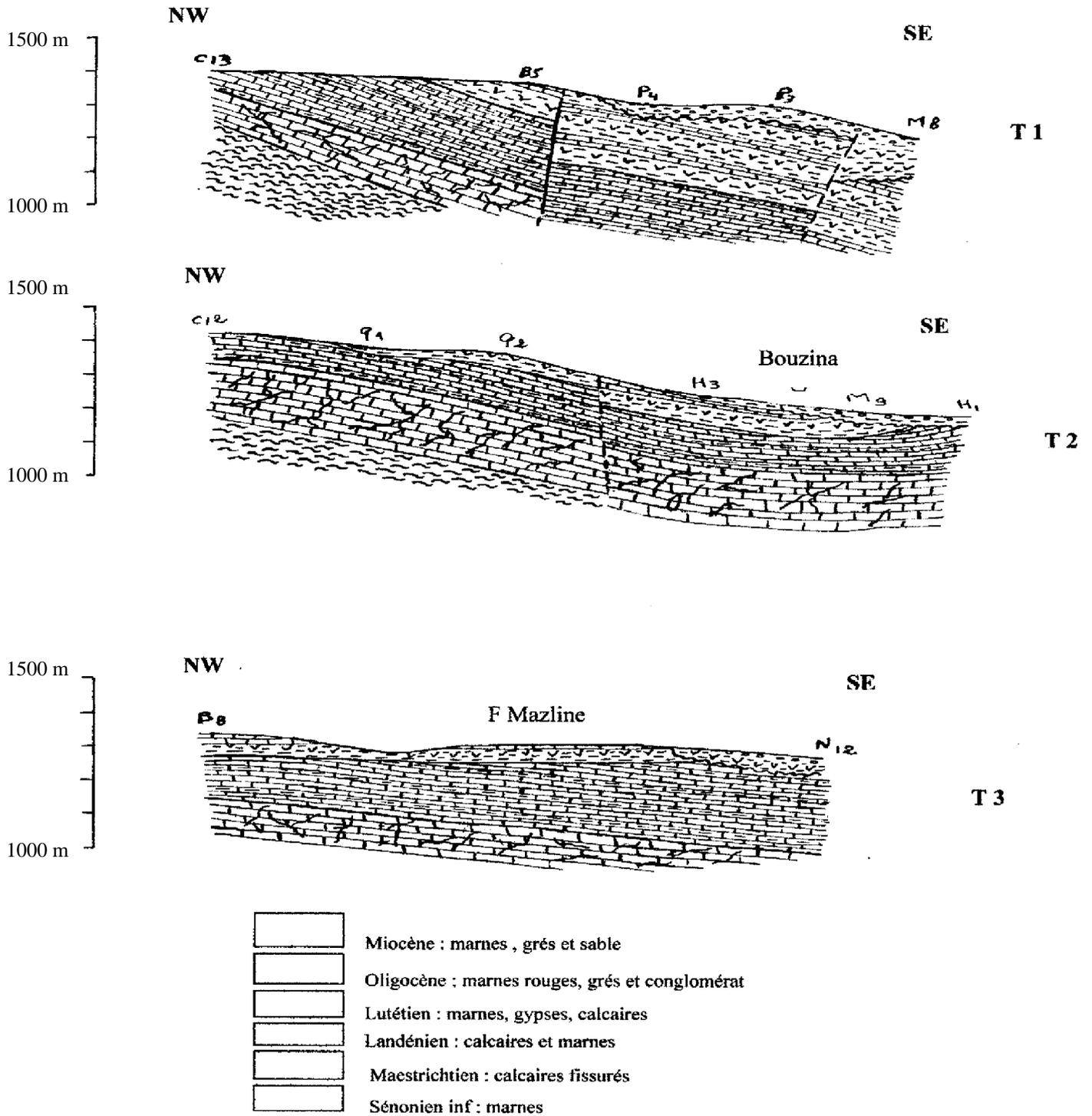


Figure 18 : Coupe Transversales T1, T2 et T3

- *Un premier terrain* de faible résistivité et d'épaisseur moyenne de l'ordre de 50 mètres attribué par les auteurs à l'Oligocène marno-conglomératique discordant sur l'ensemble de la série sous-jacente.

Au sondage M8 (coupe transversale T1) ce terrain atteint environ 140 mètres d'épaisseur à la faveur d'une faille.

- *Un deuxième terrain* plutôt conducteur de résistivité variable allant de 30 à 80 Ohm-mètre et d'épaisseur pouvant atteindre plus de 200 mètres, correspond au Lutétien, constitué d'argiles avec des passages gypseuses centimétriques, et des barres de calcaire d'échelle décimétrique.

- *Un troisième terrain* avec une résistivité moyenne de l'ordre de 150 Ohm-mètre, correspondrait au Landénien. Son épaisseur varie entre 100 à 200 mètres, constitué de barres calcaires d'échelle métrique avec des intercalations de niveau argileux ou des marnes de couleur rouge.

- *Un quatrième terrain* résistant à très résistant, son épaisseur varie entre 100 à 200 mètres. Ce terrain est attribué au Maestrichtien à dominante calcaire reposant sur le Sénonien inférieur, mis en évidence par les sondages C12 et C13 comme il apparaît clairement sur la coupe (T1), le flanc Nord-Ouest est redressé et présente des pendages assez élevés et des failles affectent l'ensemble de la série depuis le Maestrichtien jusqu'à l'Oligocène.

3-2- Les Coupes Transversales T4, T5, T6 et T7 (Fig 19, Fig20) :

Ces coupes géo électriques d'orientation NW-SE à N-S couvrent le plateau du Nardi de part et d'autre de Koudiat el Arar.

La coupe T4 est positionnée au SW de Koudiat el Arar, les coupes T5, T6 et T7 sont positionnées plus au NE. Ces coupes mettent en évidence les formations suivantes :

– Un terrain conducteur, de faible résistivité constitué essentiellement des couches argileuses surmontées par des grés, des sable bruns ou rouges, d'épaisseur maximale pouvant atteindre 50m, attribué au Miocène. Il repose en discordance sur le Lutétien et le Landénien.

– Un terrain conducteur d'une épaisseur maximum de l'ordre de 240 mètres attribué au Lutétien, constitué d'argiles et marnes avec des passages gypseuses centimétriques, et des barres de calcaire d'échelle décimétrique

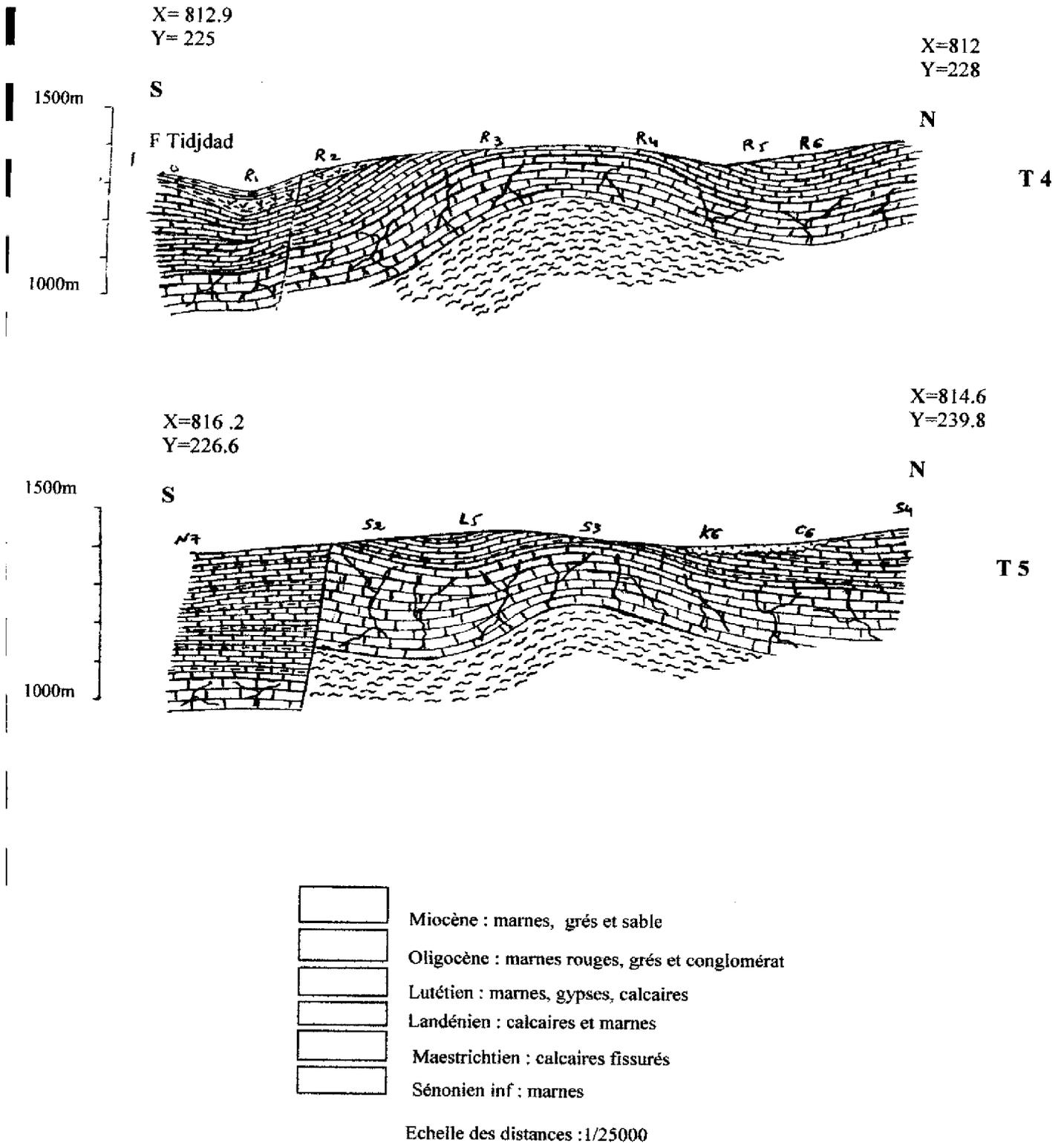


Figure 19 : Coupe transversales T4 et T5

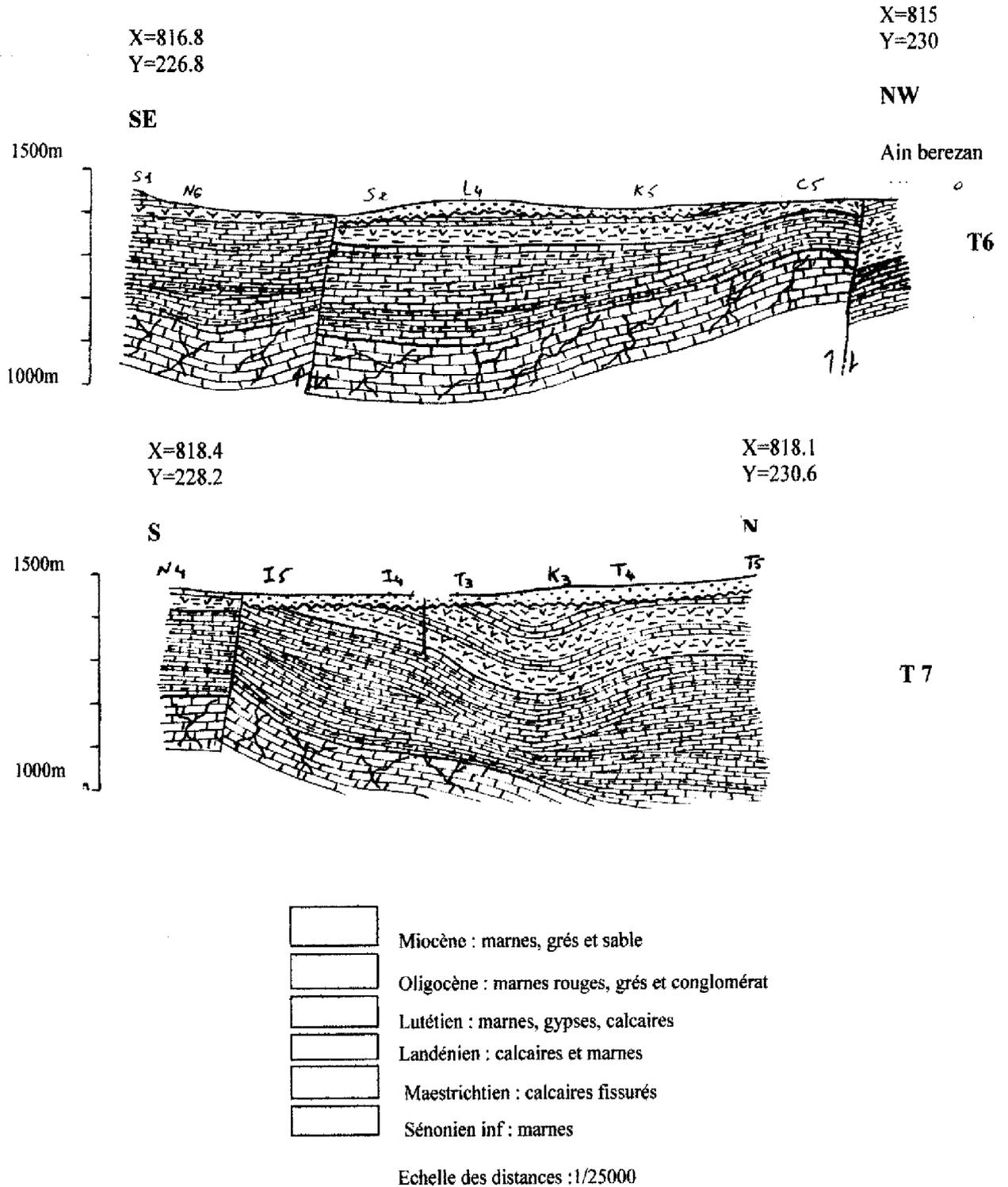


Figure 20 : Coupe Transversales T6 et T7

- Landénien résistant à très résistant par endroits et d'une épaisseur assez importante (150 mètres au sondage R2- coupe T4), constitué de barres de calcaires d'échelle métrique avec des intercalations de niveaux argileux
- Le Maestrichtien, calcaire très résistant d'épaisseur maximale pouvant atteindre 260 mètres au sondage S2 coupe T5. La profondeur d'investigation des sondages S2, L5 et S3 dépasse le Maestrichtien à dominante calcaire et atteint le Sénonien inférieur marneux.

Les coupes montrent que l'ensemble des terrains est affecté par des failles d'orientation Sud Ouest - Nord Est, ces dernières correspondant aux grands accidents longitudinaux, faisant remonter le compartiment Nord ouest. Les rejets engendrés par ces failles sont de quelque dizaine de mètres.

Les coupes montrent que le plateau du Nerdi se présente comme un Synclinal légèrement asymétrique avec un substratum légèrement ondulé et des pendages peu prononcés.

La coupe transversale T4 localisée à quelques centaines de mètres au Sud Ouest de koudiat El Arar, montre la présence d'un anticlinal et des affleurements du Landénien au niveau des sondages R3 et R4. Il s'agit d'une manifestation du repli anticlinal figurant sur la carte de LAFFITTE et bien visible sur le terrain.

3-3- Les Coupes Longitudinales L8, L9 et L11 (Fig 21) :

D'orientation SW-NE, elles couvrent le flanc SE du synclinal depuis Nerdi jusqu'au sud de Tagoust, elles mettent en évidence les formations suivantes :

- Un premier terrain attribué à l'Oligocène constitué de marnes rouges, grés et conglomérats, présent sur la coupe L9 au Sud Est du vieux Bouzina du sondage H1 au Sondage N12, avec une épaisseur pouvant atteindre 60m. ce terrain repose en discordance sur le Landénien.
- La coupe L11 de Bouzina jusqu'au Sud de Tagoust prolonge légèrement décalée la coupe L9. elle montre une augmentation de l'épaisseur de l'Oligocène jusqu'à 150m qui repose cette fois-ci en discordance sur le Lutétien.
- Le deuxième terrain est attribué au Lutétien constitué de marnes, gypses et calcaires, son épaisseur relativement faible, ne dépassant pas sur les coupes L8, L9 la centaine de mètres, est due à l'érosion anté-Oligocène.
- Sur la coupe L11, et à partir du forage d'Ali Ouyaha, le Lutétien présente une épaisseur dépassant les 300m.

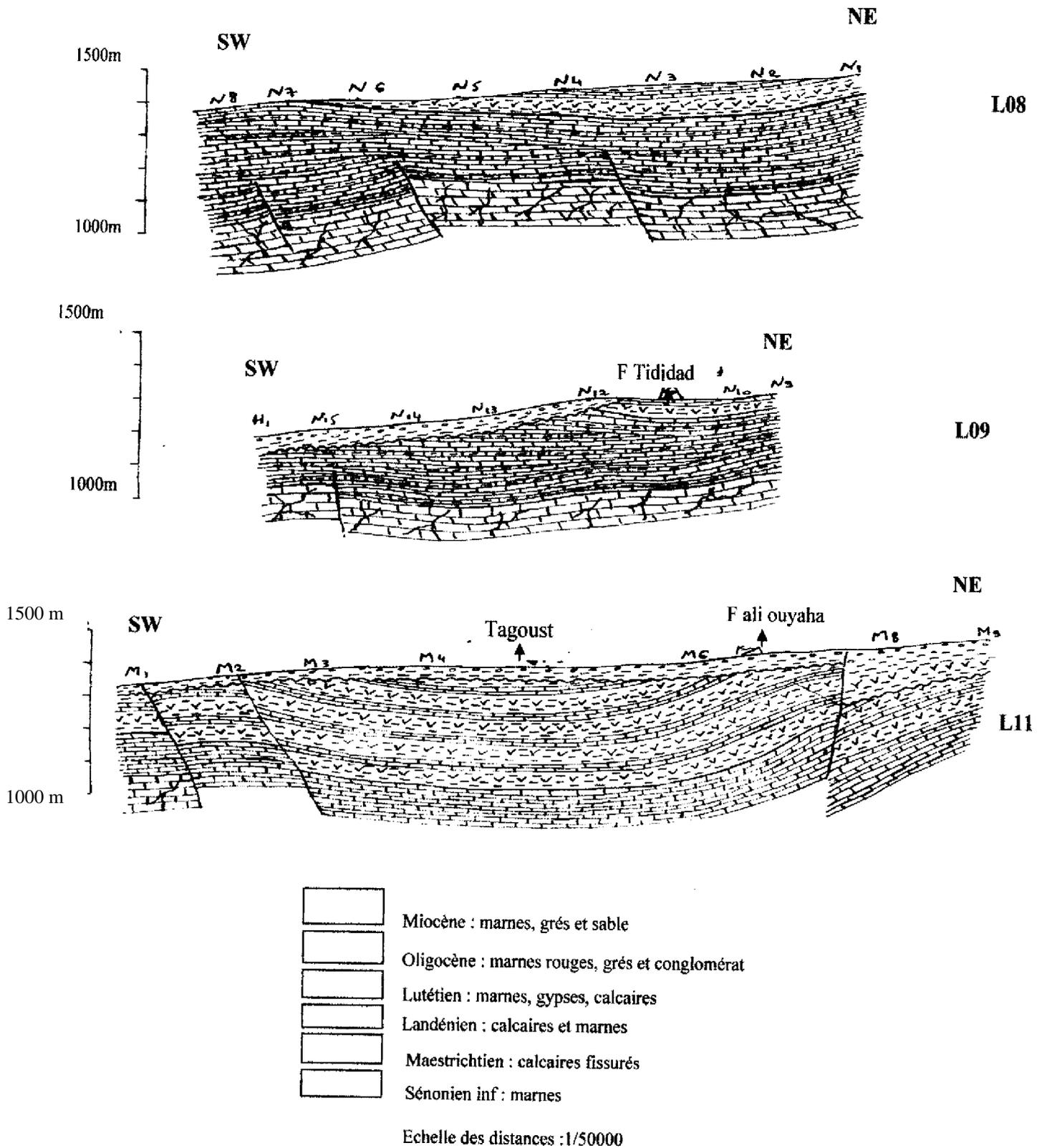


Figure 21 : Coupe Longitudinales L8, L9 et L11.

- Le Landénien résistant constitué de calcaires avec des intercalations de niveau argileux possède une épaisseur apparente importante surtout au niveau des sondages N6, N7 et N8. Son épaisseur réelle (perpendiculaire à la stratification) est nettement plus faible que sur le plateau de Nerdi (coupe L8), une lithologie plus argileuse de ce dernier en est probablement la cause.
- Le toit du Maestrichtien résistant à très résistant, ainsi que le Landénien sont affectés le long de la coupe L8 par plusieurs failles avec des rejets de quelques dizaines de mètres qui n'interrompent pas la continuité des aquifères.

3-4- Les Coupes Longitudinales L10, L12 et L13 (Fig 22) :

Les coupes L10, L12 et L13 ont une orientation NE-SW. Les coupes L10 et L12 couvrent le flanc NW du synclinal depuis Tagoust jusqu' à Nerdi. La coupe L13 est située légèrement au NW de la coupe L12. Ces trois coupes mettent en évidence les formations suivantes :

Coupe longitudinale 10 :

- le Lutétien disparaît totalement et le Landénien à dominante calcaire avec des intercalations de niveau marneux affleure tout le long du profil. Son épaisseur est réduite, sauf au niveau des sondages C11 et C10 où il atteint une épaisseur maximale de l'ordre de 300m à la faveur de deux failles situées de part et d'autre de ces sondages et qui semblent avoir joué en graben permettant ainsi une sédimentation maximum du Landénien.
- Le Maestrichtien calcaire résistant apparaît sous le Landénien avec une épaisseur presque constante de l'ordre de 220m.
- le Sénonien inférieur marneux apparaît sous le Maestrichtien sur la moitié Sud-Ouest de la coupe.

Coupe longitudinale 12 :

Elle débute au Sud de Koudiet El Arar et fait suite au NE à la coupe L10 :

- le Landénien calcaire avec des intercalations de niveau marneux, d'une épaisseur de 100m environ, affleure et se présente sous forme d'une légère structure anticlinale entre les sondages électriques K6 et R6,
- Au-delà du sondage électrique K5 en allant vers le Nerdi, la coupe présente du Miocène constitué de marnes, grès sables et discordant sur le Lutétien qui est légèrement ondulé.

Coupe longitudinale 13 :

- Comme la coupe L12, le Landénien (100m environ) affleure. Il présente une légère inclinaison vers le NE, indiquant le début du repli anticlinal de la koudiet El Arar.

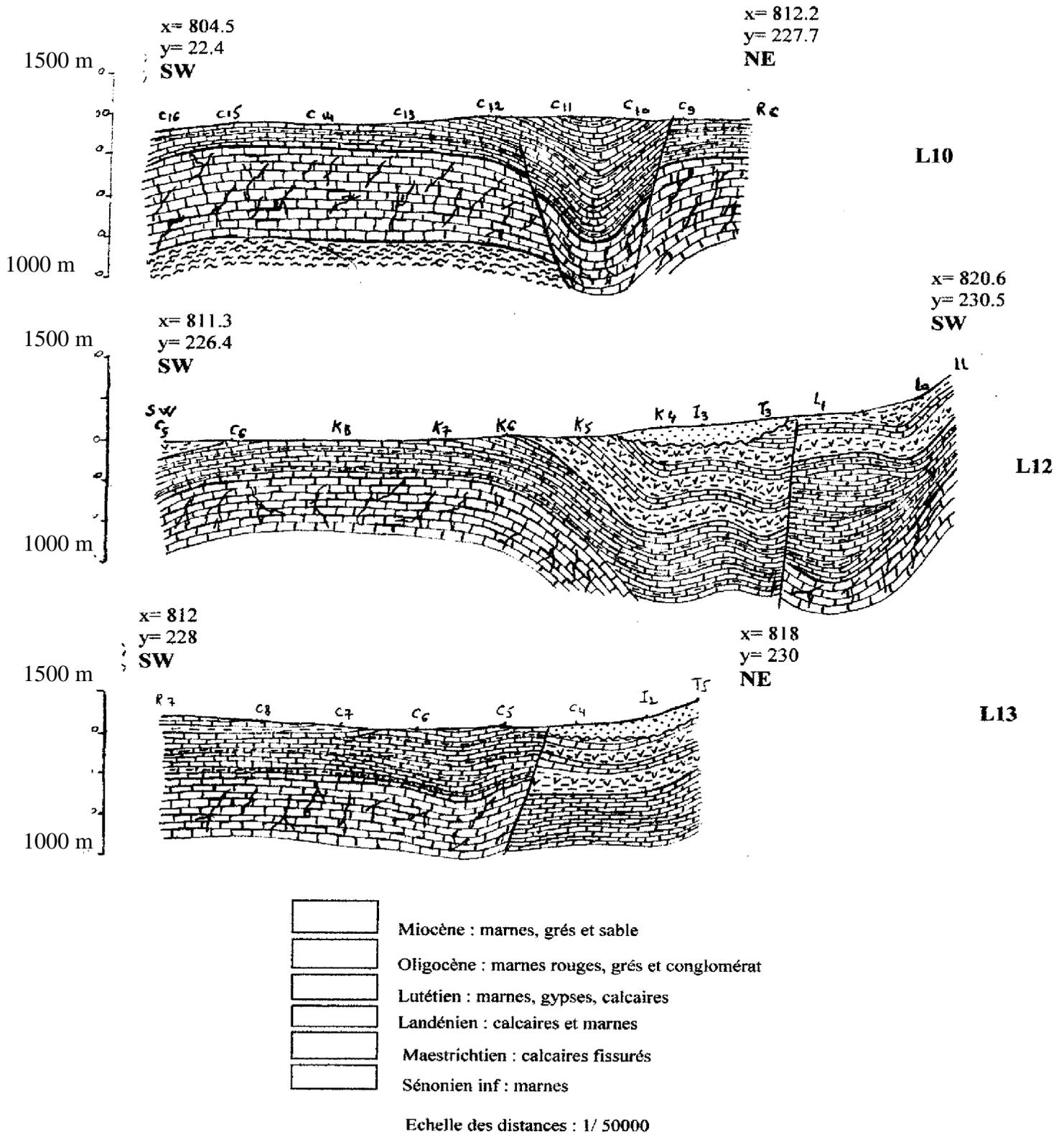


Figure 22 : Coupes Longitudinales L10, L12 et L13

- Le Lutétien affleure au delà du sondage C6, en allant vers le SW.
- En allant vers Nerdi et après la faille située entre les sondages C4 et C5 la coupe présente du Miocène discordant sur le Lutétien qui repose lui-même sur le Landénien.

3-5- Cartes En Isobathes Des Toits Des Calcaires Du Landénien Et Du Maestrichtien :

A Partir des résultats obtenus par les sondages électriques, deux cartes en isobathes (isoprofondeur) ont été dressées (Sonatrac.1999) des toits des calcaires du Landénien et du Maestrichtien. Malgré que la densité des points est insuffisante dans certaines zones (koudiet El Arar et Vieux Bouzina). Ces cartes permettent d'avoir une idée d'ensemble sur la structure de ces calcaires en profondeur.

Ces cartes viennent confirmer les résultats obtenus par LAFFITTE (1939); quant à la structure du synclinal de Bouzina. Ainsi on observe deux structures synclinales d'axes NE- SW séparées par une petite structure anticlinale de même orientation correspondant à koudiat El Arar.

LE TOIT DES CALCAIRES DU LANDENIEN : (Fig23)

- Dans le plateau du Nerdi, sa profondeur dépasse par endroits 200 m (centre de dépression).
- au niveau de Koudiat El Arar qui se présente comme une zone haute et domine ainsi le plateau du Nerdi au Nord Est et la vallée de Bouzina au Sud Ouest, il est presque affleurant.
- Aux environs de Tagoust, les calcaires Landénien plongent sous les formations plus récentes (Lutétien, Oligocène) pour atteindre et parfois dépasser 350 m de profondeur.

Les nombreuses failles détectées par cette prospection semblent agir à la fois en failles décrochantes et normales avec des rejets assez importants.

LE TOIT DES CALCAIRES MAESTRICHTIENS : (Fig 24)

A l'instar des courbes isobathes du Landénien, la carte du toit des calcaires Maestrichtiens montre les mêmes structures. C'est à dire deux synclinaux (Nerdi et Bouzina) séparés par l'anticlinal de Koudiat El Arar.

- La profondeur du toit des calcaires Maestrichtiens dépasse 350 m dans le plateau du Nerdi.
- Au niveau de Vieux Bouzina, il se trouve à 150 m environ. A Tagoust il est plus profond et n'a pas été détecté par les sondages électriques.

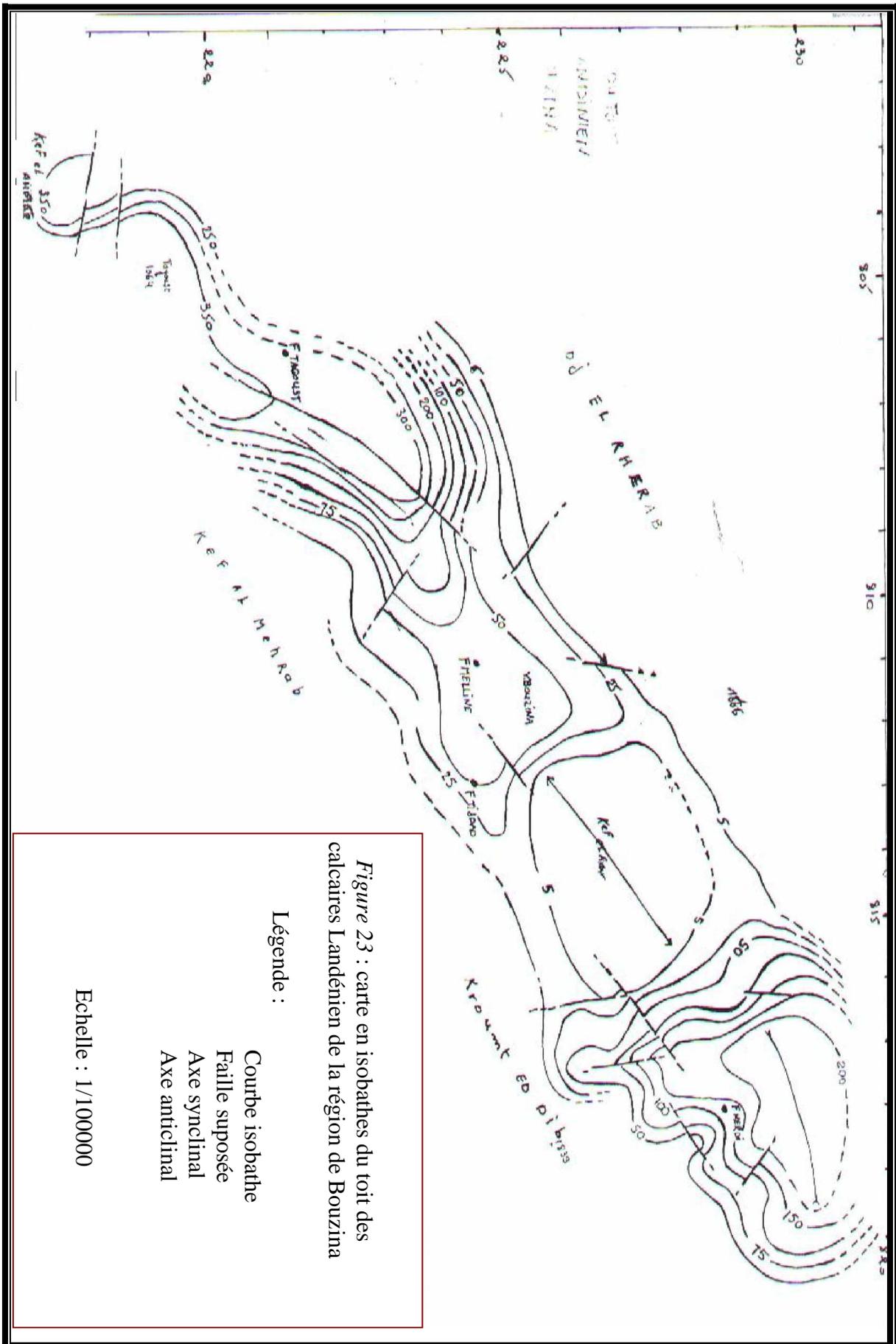
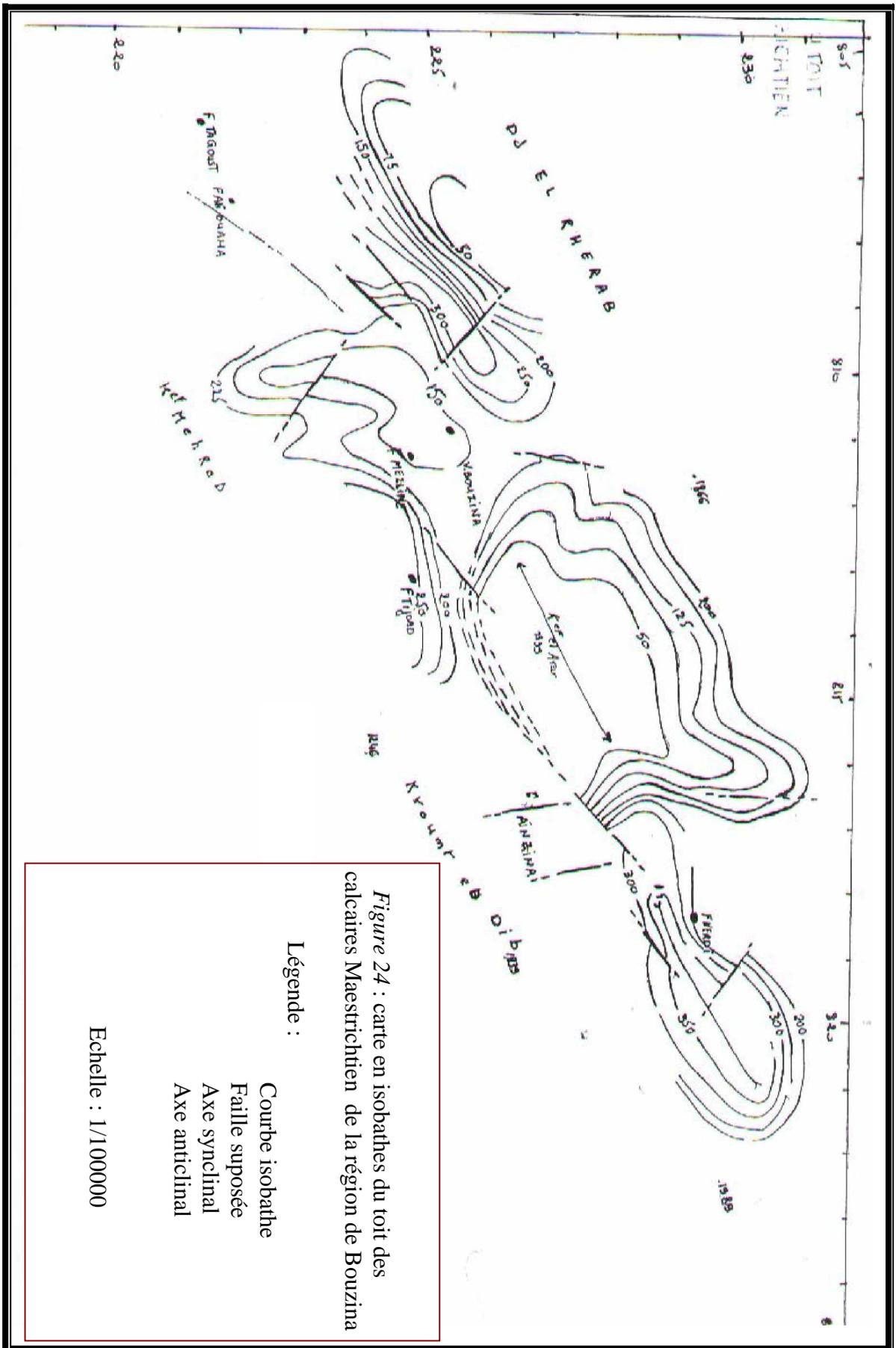


Figure 23 : carte en isobathes du toit des calcaires Landénien de la région de Bouzina



VI- CONCLUSION :

Le massif des Aurès constitue la partie orientale de la chaîne Atlasique. Du point de vue stratigraphique il est caractérisé par des dépôts argileux carbonatés du Jurassique et Crétacé supérieur, à détritiques au Crétacé inférieur. Les sédiments tertiaires sont essentiellement détritiques.

Sur le plan structural, les structures anticlinales et synclinales résultent pour l'essentiel de la phase atlasique (fini Lutétien). Vers le Sud, en direction de l'accident Sud Atlasique. On constate une diminution de l'altitude et la dimension des plis ainsi qu'une inflexion de leur direction qui devient Est-Ouest.

Le Synclinal de Bouzina d'orientation Atlasique est subdivisé dans la vallée de Bouzina par un petit repli anticlinal culminant à Koudiet El Arar, ce dernier sépare la plaine de Nerdi au NE, du Vieux Bouzina au SW. Un deuxième repli anticlinal plus important au SW, le Dj Bouss- Adrar Moudhaff, permet d'imposer une limite structurale au bassin hydrogéologique.

Vers le NE et à partir de Nerdi, le synclinal subit un relèvement d'axe dans sa totalité et les calcaires Maestrichtien sont portés à 2300m au Dj Mahmel. Un nouvel abaissement d'axe très brusque se produit à partir de ce point (Dj Mahmel par rapport au bassin Miocène de Timgad).

Le rejet des failles à cet endroit est tellement important (surélévation du Dj Mahmel) qu'il ne permet plus la continuité des aquifères des calcaires Maestrichtiens et ceux du Landénien vers le NE.

Sur le flancs SW et NE du synclinal, la position structurale des formations du Maestrichtien et du Landénien et l'épaisse formation des marnes du Campanien (400m épaisseur) assure une étanchéité entre ces aquifères et ceux situés dans les structures géologiques adjacentes (aquifères) de la vallée de Oued Abdi et constituent les limites latérales du bassin hydrogéologique.

L'étude géoélectrique et l'analyse litho stratigraphique confirment en grande partie la stratigraphie et la structure élaborée dans la carte de Laffitte.

CHAPITRE III

HYDROCLIMATOLOGIE

I- PHYSIOGRAPHIE DU BASSIN VERSANT

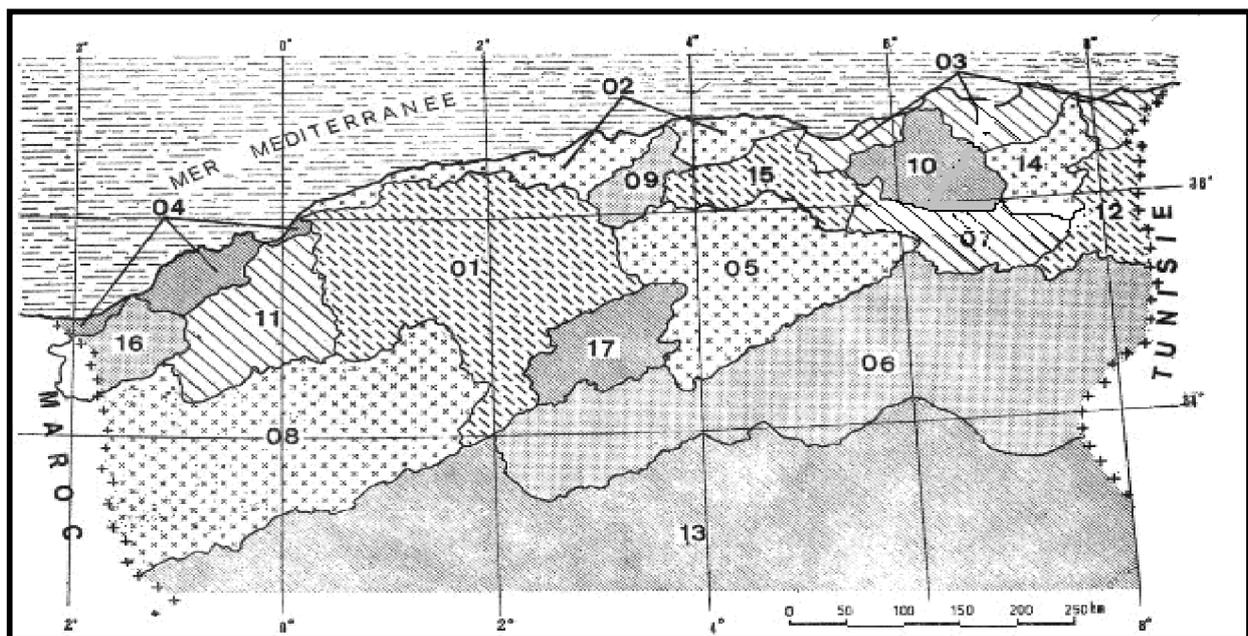
1- INTRODUCTION :

Les caractéristiques morphologiques du bassin versant (pente, relief ...etc) interviennent le plus souvent de façon combinée, agissant sur les modalités de l'écoulement. Ils nous offrent la possibilité de réaliser une analyse quantitative et une comparaison entre différents bassins.

2- LE BASSIN VERSANT DE BOUZINA

Le sous bassin versant de l'oued Bouzina est situé dans la wilaya de Batna, il appartient au grand bassin de chott Melrhir (06), il est entouré au nord par Dj el Rharab, à l'Ouest par Dj Bous et à l'Est et Sud-Est par Dj Mahmel.

Les eaux de surface coulent le long du thalweg principal de l'oued Bouzina (affluent de Oued Abdi) sur une longueur de 30 km en s'orientant du Nord-Est vers Sud-Ouest pour se déverser plus loin dans l'Oued Djamorah.



01 CHELIFF	07 H. PLAINES CONSTANTINOISES	13 SAHARA
02 COTIERS ALGEROIS	08 H. PLAINES ORANAISES	14 SEYBOUSE
03 COTIERS CONSTANTINOIS	09 ISSER	15 SOUMMAM
04 COTIERS ORANAIS	10 KEBIR RHUMEL	16 TAFNA
05 CHOTT HODNA	11 MACTA	17 ZAHREZ
06 CHOTT MELGHIR	12 MEDJERDAH	

Figure 25 : Bassin Versant de CHOTT MELGHIR

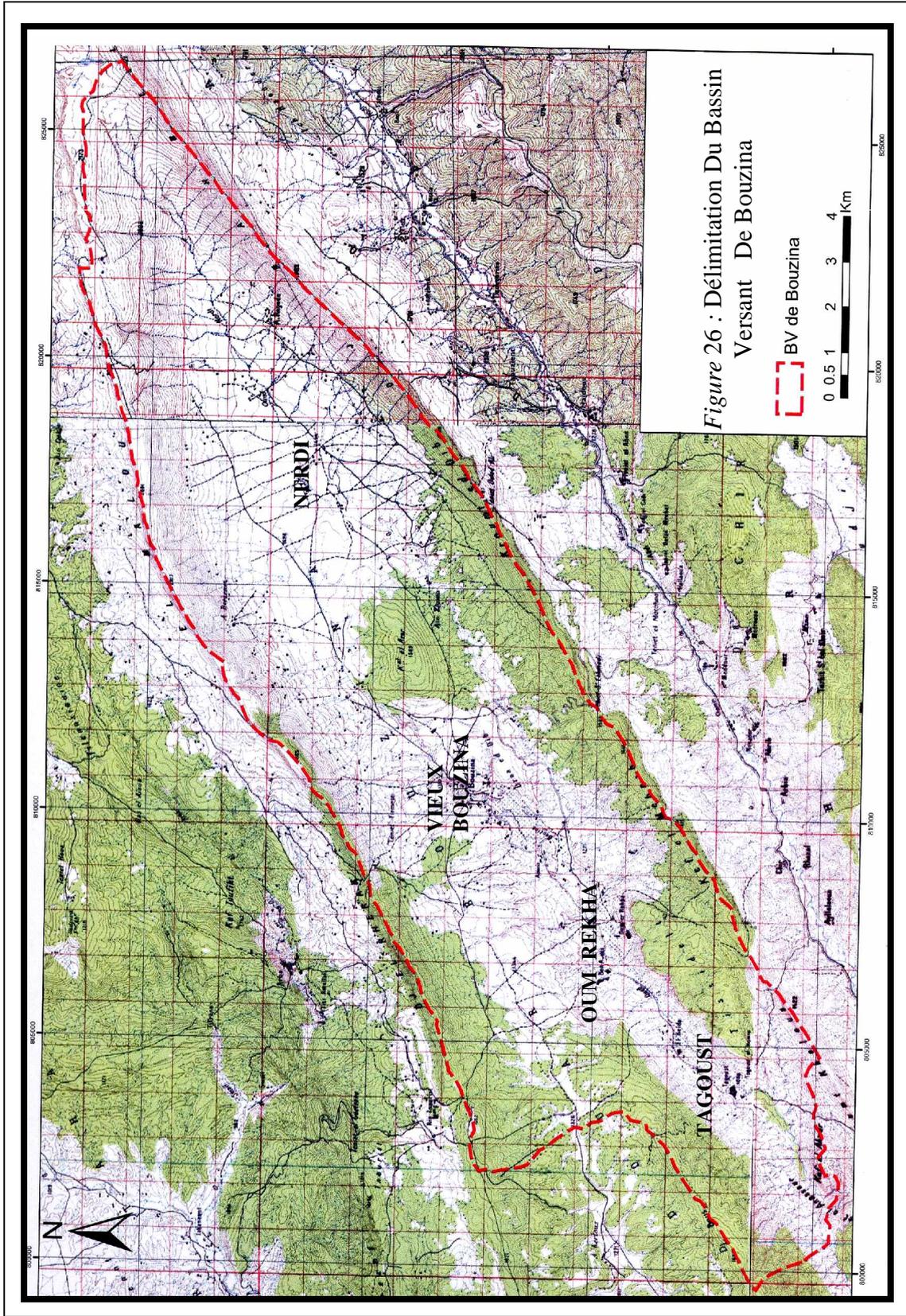


Figure 26 : Délimitation Du Bassin Versant De Bouzina

 BV de Bouzina

0 0.5 1 2 3 4 Km

Les caractéristiques du sous bassin versant ont été déterminées après sa délimitation suivant les lignes des crêtes sur les cartes topographiques à l'échelle 1/50.000 d'Arris, Ain Touta et Menâa.

3- PARAMETRES PHYSIOGRAPHIQUES :

3-1- PARAMETRES GEOMETRIQUES :

Superficie (A) : En procédant à un planimétrage du bassin versant délimité, la superficie obtenue est égale à 195 km².

Périmètre (P) : Le périmètre (P) a été déterminé par un Curvimètre, il est égal à 67 km.

3-2- PARAMETRES DE FORME :

A - Indice De Compacité De Gravelius (K_c) :

Le temps de concentration des eaux à l'exutoire d'un sous bassin versant est conditionné par la forme de celui-ci. En effet, un bassin de forme allongée ne réagira pas de la même manière qu'un autre de forme plus ramassée.

La forme est exprimée par l'indice de compacité, qui correspond au rapport du périmètre P du sous bassin à celui d'un cercle ayant la même surface.

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \Rightarrow \quad K_c = 0,28 \frac{67}{\sqrt{195}} = 1.35$$

A partir de la valeur de K_C, on peut caractériser la forme du sous bassin versant comme suit :

K_C ≤ 1 —————> Bassin versant de forme circulaire.

K_C = 1,12 —————> Bassin versant de forme carrée.

K_C > 1,12 —————> Bassin versant allongé.

Dans notre cas K_C > 1,12, le bassin versant de l'Oued Bouzina correspond à un bassin allongé suivant une direction NE-SW où le temps de monté des crues est long .

B - Les Dimensions Du Rectangle Equivalent :

L. Roche, 1963 compare le bassin versant à un rectangle de même surface, de même indice de compacité, de même courbe de fréquence altimétrique et de même conditions d'écoulement.

La longueur et la largeur du rectangle sont obtenues à l'aide des relations suivantes :

$$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right] \qquad l = \frac{K_c \sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right]$$

Avec :

L : Longueur du rectangle équivalent en km ;

l : Largeur du rectangle équivalent en km ;

K_c : Indice de compacité ;

A : Superficie du bassin versant en km² ;

Les valeurs obtenues pour le bassin versant en question sont : L = 23,38 km

l = 10,02 km

3-3-PARAMETRES DE RELIEF :

A - Répartition Des Tanches D'Altitudes Et Courbe Hypsométrique :

Les fréquences altimétriques sont présentées au tableau (Tab01) et par la courbe hypsométrique (Fig27). Ces représentations montrent que :

- ∅ Les altitudes supérieures à 1700m du secteur étudiée ne représentent que 28.63 km², soit environ 14.68 % de la surface totale.
- ∅ La tranche d'altitude comprise entre 1700 et 1100 m couvre presque la totalité du bassin versant, avec 154.37 km², soit environ 79,38 % de la superficie totale.
- ∅ Par contre la tranche d'altitude comprise entre 1100 m et 980m, est très peu étendue, et ne représente que 11.57 km², soit 5.94 % de la surface totale du bassin versant.

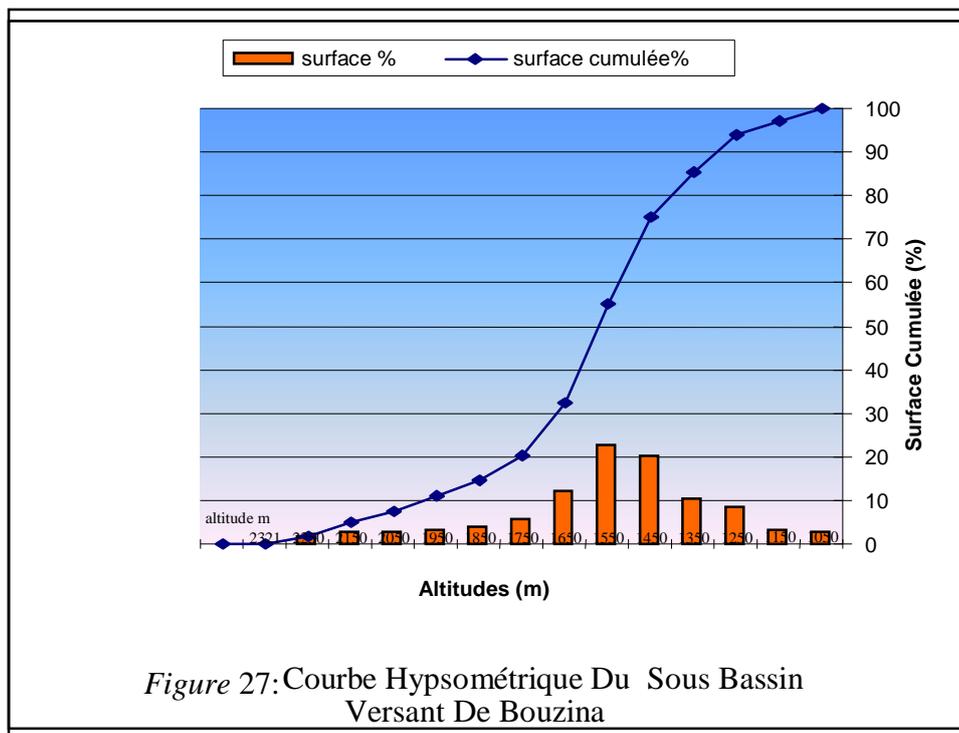


Tableau N° 1 : Répartition des différents tranches d'altitude

Tranches d'altitude (m)	Altitude moyenne H_i en (m)	Surface partielle A_i		Surface cumulée A_i		$A_i \cdot H_i$
		A_i en km^2	A_i en %	A_i en km^2	A_i en %	
2300-2321	2321	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2200-2300	2250	0,3	0,15	0,3	0,15	675,0
2100-2200	2150	3,15	1,62	3,45	1,77	6772,5
2000-2100	2050	5,70	2,92	9,15	4,96	11685,0
1900-2000	1950	5,8	2,97	14,95	7,56	11310,0
1800-1900	1850	6,33	3,25	21,28	10,91	11710,5
1700-1800	1750	7,35	3,77	28,63	14,68	12862,5
1600-1700	1650	10,77	5,52	39,40	20,20	17770,5
1500-1600	1550	23,78	12,19	63,18	32,39	36859
1400-1500	1450	44,1	22,62	107,28	55,10	63945
1300-1400	1350	39,42	20,21	146,70	75,22	53217
1200-1300	1250	19,95	10,23	166,65	85,44	24937,5
1100-1200	1150	16,78	8,61	183,43	94,06	19297
1000-1100	1050	5,90	3,03	189,33	97,09	6195
980-1000	990	5,67	2,91	195,00	100	2880,9
/	/	195km²	100 %	/	/	/

B- Altitudes Caractéristiques :

La courbe hypsométrique (Fig27), permet de déterminer les valeurs caractéristiques suivantes :

- Ø **Altitude maximale (H_{max})** : l'altitude la plus élevée est de l'ordre de $H_{max} = 2321$ m.
- Ø **Altitude minimale (H_{min})** : l'altitude minimale est de l'ordre de $H_{min} = 980$ m.
- Ø **Altitude de fréquence ($H_{1/2}$)** : l'altitude de fréquence 1/2 est de 1500 m.
- Ø **Altitude moyenne (H_{moy})** : la valeur de l'altitude moyenne du sous bassin versant peut être calculée par la formule suivant :

$$H_{moy} = \frac{\sum A_i \cdot H_i}{A_t}$$

Avec :

H_i : Altitude moyenne de chaque classe en mètre ;

A_i : Surface partielle des tranches d'altitude en km^2 ;

A_t : Surface totale du sous bassin en km^2 ;

Soit : $H_{\text{moy}} = 1450 \text{ m}$.

Remarque : *l'altitude moyenne est inférieure à l'altitude de fréquence 1/2, ce qui montre une légère asymétrie des altitudes à l'échelle du sous bassin versant.*

Ø **Dénivelée simple (D) :** sur la courbe hypsométrique tracée, on prend la distance verticale en (m), qui sépare les altitudes ayant 5 % et 95 % de la surface totale du sous bassin versant, la dénivelée simple est donc égale à :

$$D = H_{5\%} - H_{95\%} = 2040 - 1100 = 940 \text{ m.}$$

C - Les Indices De Pentes :

1-INDICE DE PENTE GLOBALE (I_g) :

L'indice de pente globale est déterminé, à partir de la courbe hypsométrique en éliminant les valeurs extrêmes, de manière à ne garder que 90 % de l'aire du sous bassin. Cet indice est calculé à l'aide de la formule suivante :

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

Avec :

D : Dénivelée simple en m ($D = H_{5\%} - H_{95\%}$) ;

L : Longueur du rectangle équivalent (km) ;

I_g : Indice de pente globale ;

Donc :

$$I_g = 940 / 23.38 = 40,20 \text{ m/km}$$

Selon les valeurs de I_g , en classe le relief (la classification du relief par L'ORSTOM) :

Ø Si $I_g > 35 \text{ m/km}$ —————> relief assez fort

Ø Si $20 < I_g < 35 \text{ m/km}$ —————> relief fort

Ø Si $I_g < 20 \text{ m/km}$ —————> relief modéré

Dans notre cas $I_g > 35 \text{ m/km}$, donc **le relief assez fort.**

2- INDICE DE PENTE MOYENNE I_m :

La pente moyenne est une caractéristique importante du bassin, elle donne une bonne indication sur le temps de ruissellement des eaux.

Par définition I_m est exprimé par le rapport :

$$I_m = (H_{\max} - H_{\min}) / L$$

Avec:e

H_{\max} : l'altitude maximale du bassin versant (m) ;

H_{\min} : l'altitude minimale du bassin versant (m) ;

L : longueur du rectangle équivalent (km).

Donc $I_m = 57 \text{ m/km}$

3- INDICE DE PENTE DE ROCHE (I_p) :

L'indice de pente de roche est calculé par l'une des deux formules suivantes :

$$I_p = \sqrt{\frac{I_g}{0,8}} \quad \text{Où} \quad I_p = \sum \sqrt{\frac{a_i b_i}{L}}$$

Avec :

I_g : Indice de pente globale ;

I_p : Indice de pente de roche ;

L : Longueur du rectangle équivalente ;

a_i : Surface partielle entre deux courbes de niveau par rapport au total $\sum A_i$;

b_i : L'équidistance entre deux courbes de niveau ;

Nous obtenons : $I_p = 7.087 \text{ m/km}$

4- DENIVELEE SPECIFIQUE (D_s) :

L'indice I_g décroît pour un même bassin, lorsque la surface augmente, il est donc difficile de comparer des bassins de taille différente, d'où la nécessité de l'introduction du paramètre La dénivelée spécifique (D_s).

Elle est définie comme étant le produit de l'indice de pente globale par la racine carrée de la surface du bassin versant, cet indice indique l'état de relief.

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

Donc : $D_s = 40,20 \cdot \sqrt{195} = 561.36m.$

Tableau N°2: Classification de l'O.R.S.T.O.M.

Classe	Désignation	Ds
R1	Relief très faible	Ds<10m
R2	Relief faible	10<Ds<25m
R.3	Relief assez faible	25<Ds<50m
R4	Relief modéré	50<Ds<100m
R5	Relief assez fort	100<Ds<250m
R6	Relief fort	250<Ds<500m
R7	Relief très fort	Ds>500m

D’après la classification de l’O.R.S.T.O.M : $D_s=561 > 500m$, le sous bassin versant appartient à R7 c'est -à- dire **un relief très fort**.

3-4 - LES CARACTERISTIQUES DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE :

1- DENSITE DE DRAINAGE (D_d) :

La densité de drainage peut donner un aperçu sur la lithologie du bassin versant et permet de comparer l’écoulement superficiel au niveau de plusieurs bassins.

Elle est définie comme le rapport entre la longueur totale de tous les cours d’eau et la superficie du bassin versant.

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{A} \quad (\text{km/km}^2) \quad (L_i = \text{Langueur des talwegs, en km}).$$

Pour notre bassin, la densité de drainage $D_d = 2,83 \text{ km} / \text{ km}^2$

2- TEMPS DE CONCENTRATION (T_C) :

Le temps de concentration est défini comme étant la durée que met une goutte d’eau qui tombe dans le point le plus éloigné du bassin versant, pour atteindre l’exutoire.

Le temps de concentration est composé de :

- **Temps d’humectation T_h** : temps nécessaire à l’imbibition du sol par l’eau qui tombe avant qu’elle ne ruisselle.
- **Temps de ruissellement et d’écoulement T_r** : temps qui correspond à la durée d’écoulement de l’eau à la surface ou dans les premiers horizons de sol jusqu’au système de collecte d’eau naturel.
- **Temps d’acheminement T_a** : temps mis par l’eau pour se déplacer dans le système de collecte jusqu’à l’exutoire.

Théoriquement, on considère que le temps de concentration est la durée comprise entre la fin de la pluie nette et la fin du ruissellement.

Pratiquement, elle peut être déduite de mesures de terrain ou estimée à l'aide des formules comme :

Formule de TURAZZA :

$$T_c = (0.108\sqrt{A}.L_p) I_m$$

Avec

A : superficie du bassin (km²) ;

L_p : longueur du thalweg principal ;

I_m : indice de pente moyenne du thalweg principal en km

$$T_c = (0,108\sqrt{195.30}).44,7 = 1.012 \text{heures}$$

Formule de GIANDOTTI

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L_p}{0,8\sqrt{H_{\text{moy}} - H_{\text{min}}}}$$

Avec :

A : Superficie du sous bassin = 195 km² ;

L_p : Longueur du thalweg principal = 30 km ;

H_{moy} : Altitude moyenne = 1450m ;

H_{min} : Altitude minimale = 980 m.

Nous obtenons : T_c = 5.81 heures.

Formule SCS (Soil Conservation Service) :

$$T_c = [0,87 L_p^3 / H]^{0,385}$$

Avec

L_p : longueur du thalweg principal ;

H : différence de cote entre les points extrêmes du thalweg principal en m.

Donc T_c = 3,01 heures.

On va prendre en considération la valeur moyenne donc le temps de concentration

T_c = 3,01 heure, valeur de SCS.

3- VITESSE D'ÉCOULEMENT DE L'EAU (V_c) :

Elle est donnée par l'expression suivante : $V_c = \frac{L_p}{T_c}$

Avec :

V_c : Vitesse d'écoulement de l'eau en m/s ;

L_p : Longueur du thalweg principal : 30 km = 30 000 m ;

T_c : Temps de concentration 3.01 heures = 10 836 s ;

Donc : $V_c = \frac{30000}{10836} = 2,76m/s$

Le tableau ci-dessous (N° 3) récapitule les paramètres morphométriques du sous bassin versant de Bouzina

Tableau N°3 : Récapitulatif Des Paramètres Morphométriques

N° d'ordre	Caractéristiques	Symboles	Valeurs
1	<i>Superficie du sous bassin (km²)</i>	<i>A</i>	<i>195</i>
2	<i>Périmètre (km)</i>	<i>P</i>	<i>67</i>
3	<i>Indice de compacité</i>	<i>K_c</i>	<i>1,35</i>
4	<i>Longueur du RE (km)</i>	<i>L</i>	<i>23,38</i>
5	<i>Largeur du RE (km)</i>	<i>l</i>	<i>10,02</i>
6	<i>Altitude maximale (m)</i>	<i>H_{max}</i>	<i>2321</i>
7	<i>Altitude minimale (m)</i>	<i>H_{min}</i>	<i>980</i>
8	<i>Altitude de fréquence (m)</i>	<i>H_{1/2}</i>	<i>1500</i>
9	<i>Altitude moyenne (m)</i>	<i>H_{moy}</i>	<i>1450</i>
10	<i>Dénivelée simple (m)</i>	<i>D</i>	<i>940</i>
11	<i>Indice de pente globale (m/km)</i>	<i>I_g</i>	<i>40,20</i>
12	<i>Indice de pente de roche</i>	<i>I_p</i>	<i>7,087</i>
13	<i>Dénivelée spécifique (m)</i>	<i>D_s</i>	<i>516,36</i>
14	<i>Densité de drainage (km/km²)</i>	<i>D_d</i>	<i>2,83</i>
15	<i>Temps de concentration (heures)</i>	<i>T_c</i>	<i>3,01</i>
16	<i>Vitesse d'écoulement d'eau (m/s)</i>	<i>V_c</i>	<i>2,76</i>

II- CLIMATOLOGIE

1- INTRODUCTION :

L'étude hydroclimatologique basée sur les données des précipitations et des températures, nous permet de donner un bref aperçu sur leurs répartitions dans le temps et dans l'espace.

Elle a permis de définir le bilan hydrique, en se basant sur l'étude de l'évaporation et du ruissellement, par conséquent elle détermine le taux d'infiltration nécessaire à l'alimentation et au renouvellement des aquifères par les pluies.

2- REPRESENTATION DES STATIONS CLIMATOLOGIQUES :

Il existe une station pluviométrique qui se situe à l'intérieur du bassin versant qui est la station de Bouzina. Pour arriver à une bonne connaissance de la répartition spatio-temporelle des précipitations nous avons utilisé les stations voisines de la zone d'étude.

Le tableau ci-dessous donne les caractéristiques des stations.

Tableau N°4 : *Coordonnées Géographiques Des Stations Climatologiques*

<i>Code de la Stations</i>	<i>Nom de la station</i>	<i>Altitude Z (m)</i>	<i>Coordonnée Lambert</i>		<i>Période d'observation</i>
			<i>X</i>	<i>Y</i>	
061503	<i>Medina</i>	1451	846,8	231,1	1969-2000
061302	<i>Bouzina</i>	1350	814	225,6	1970-2000
061303	<i>Theniet El Abed</i>	1350	814	222,2	1971-2000
061304	<i>Menâa</i>	983	801,25	213,25	1970-2000
061203	<i>Ain Touta</i>	917	709,1	235,9	1970-2004
061204	<i>S'gag</i>	1650	817,75	236,9	1970-1993

REMARQUE :

Un test d'homogénéisation des données ainsi qu'un comblement de lacune ont été effectuées.

3-ANALYSE DES PARAMETRES CLIMATIQUES :

3-1- PLUVIOMETRIE :

3-1-1- CARTE DES PRECIPITATION MOYENNE ANNUELLES :

La carte des précipitations annuelle de ANRH (1992) montre une répartition géographique des précipitations caractérisée par une décroissance orientée essentiellement du Nord Est vers le Sud Ouest. .

Le bassin de Bouzina de par sa position géographique est soumis essentiellement à l'influence de deux régimes climatiques :

Ø *Le versant septentrional* humide, il représente 1/3 de la superficie total du bassin versant et comprend Dj Mahmel, la plaine de Nerdi.

Il est soumis à un climat de type méditerranéen, et reçoit en moyenne une lame d'eau estimée entre 350-450 mm/an, et une période d'enneigement de 23 jour/an (SELTZER.1939).

Ø *Le versant Méridional* moins humide, occupe les 2/3 restants, et comprend les régions de Vieux Bouzina, Oum Rakha et Tagoust.

Il est soumis à un climat semi aride et reçoit en moyenne 250-300 mm/an.

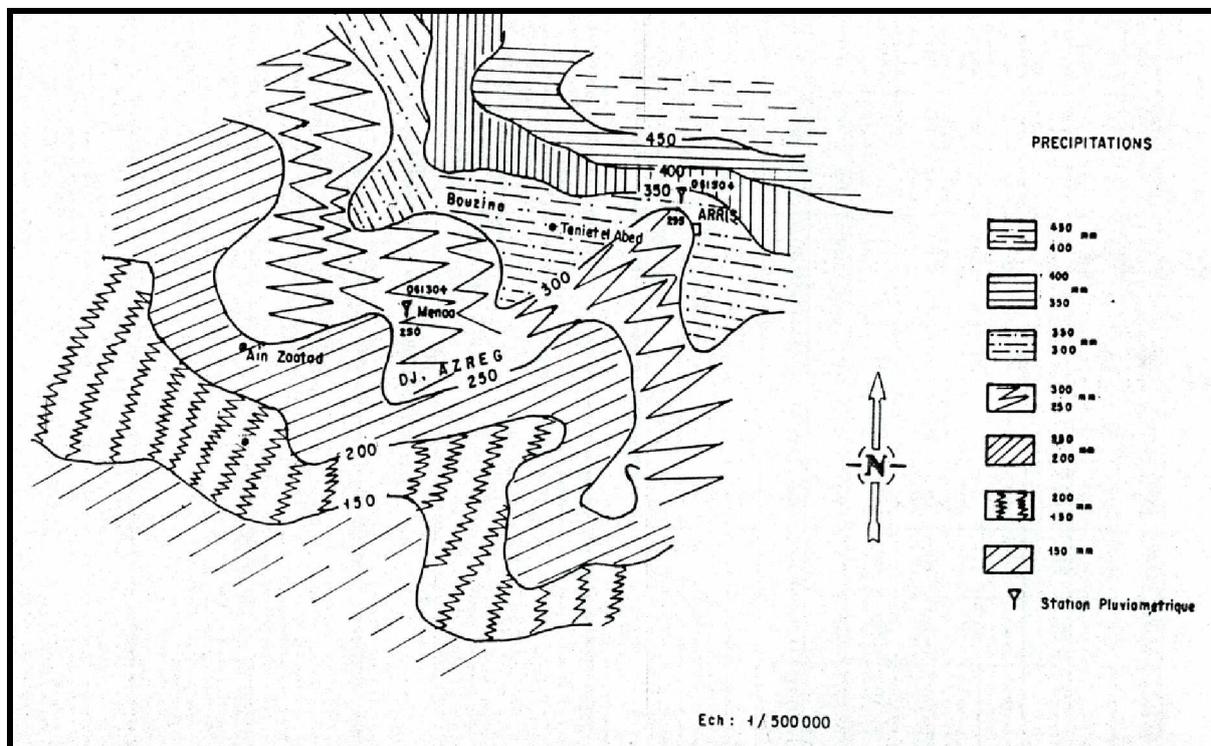
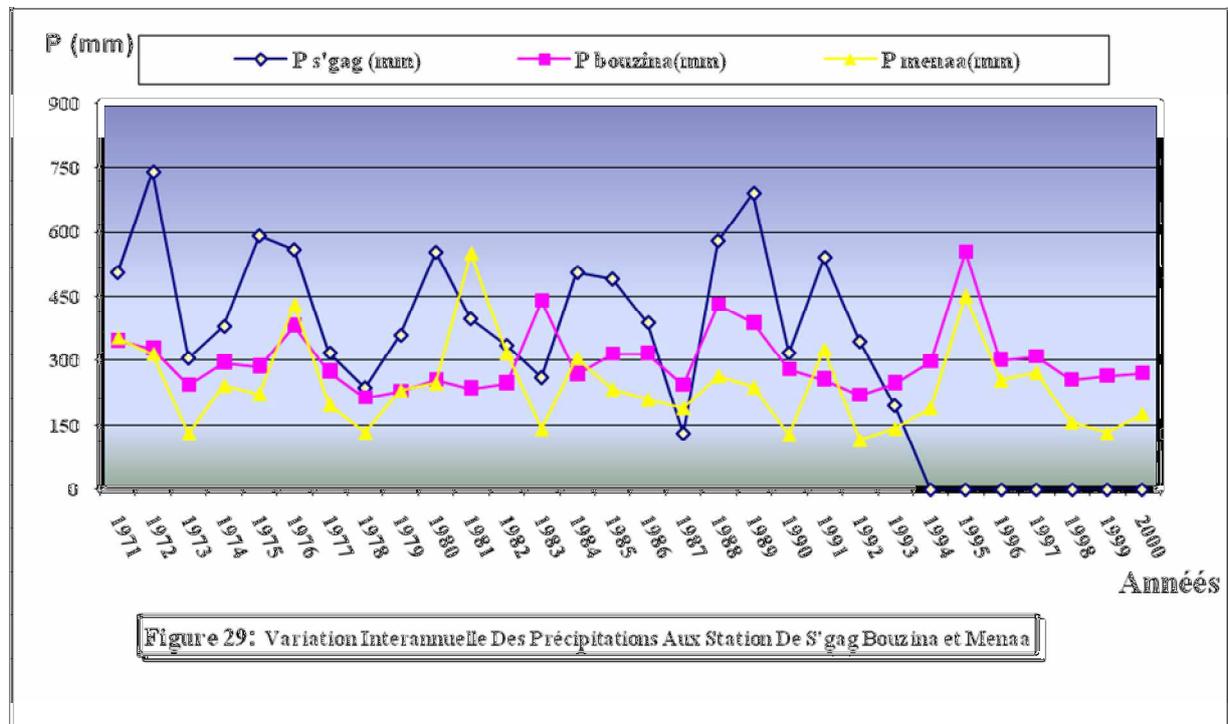


Figure28: Extrait De Carte Des Précipitations Moyenne (ANRH.1993)

3-1-2- VARIATION DE LA PLUVIOMETRIE ANNUELLE :

La variation interannuelle des précipitations pour la station de S'gag sur une période de 1971-1993 et de 1971-2000 pour les stations de Bouzina et Menâa est représenté sur le graphe (Fig29).



Le régime pluviométrique dans le bassin versant est caractérisé par l'irrégularité Interannuelle, exprimée par le rapport P/Pmoy

- Ou P : pluie moyenne annuelle en mm ;
- Pmoy : pluie moyenne interannuelle en mm.

Si $P/P_{moy} < 1$ _____ année sèche;

$P/P_{moy} > 1$ _____ année humide.

Le classement des années humides et sèches et leur valeur caractérisant la période se figurant dans le tableau suivant :

Tableau N° 5 : Années Sèches Et Années Humides

Stations	Pmoy (mm/an)	Année sèche			Année humide			Intervalle de variance
		nbre	Pmin	année	nbre	Pmax	année	Pmax-Pmin
S'gag	418	12	132,9	86-87	10	741,5	71-72	608,6
Bouzina	290	17	156,08	93-94	12	553,6	95-96	397,52
Menâa	242	16	116,8	92-93	13	551,7	81-82	434,9

Station de S'gag : la hauteur annuelle des précipitations pour la période considérée varie de 132,9mm en 1986-1987 à 741,5 mm en 1971-1972, tandis que le module pluviométrique interannuel est égal à 418mm /an et Cv= 0,37.

Station de Bouzina : pendant les années d'observation le maximum de la pluviosité à été observé en 1995-1996 avec 553mm, alors que le minimum est de 156,08mm enregistré en 1992-1993, le module pluviométrique est égal à 290,5mm et Cv= 0,27

Station de Menâa : le maximum de la pluviométrie durant la période considérée a été observé en 1981-1982 avec 551,7mm, alors que le minimum est de 116,8 mm en 1992-1993 . Le module pluviométrique interannuel est égal à 242mm et Cv= 0,46

La pluviométrie de la station de S'gag est plus important que celles des stations de Bouzina et Menâa. Ce ci est justifié par l'effet altitudinal, Les précipitations vont en diminuant vers le sud.

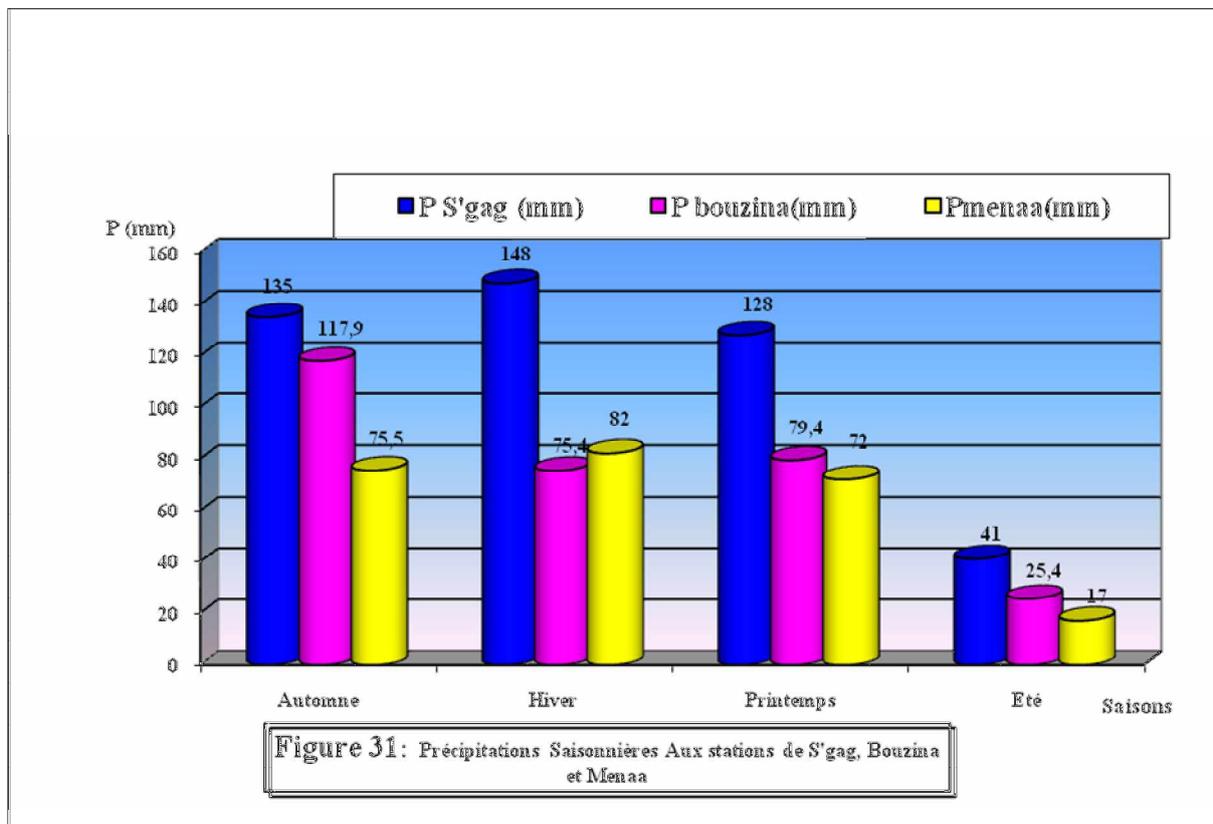
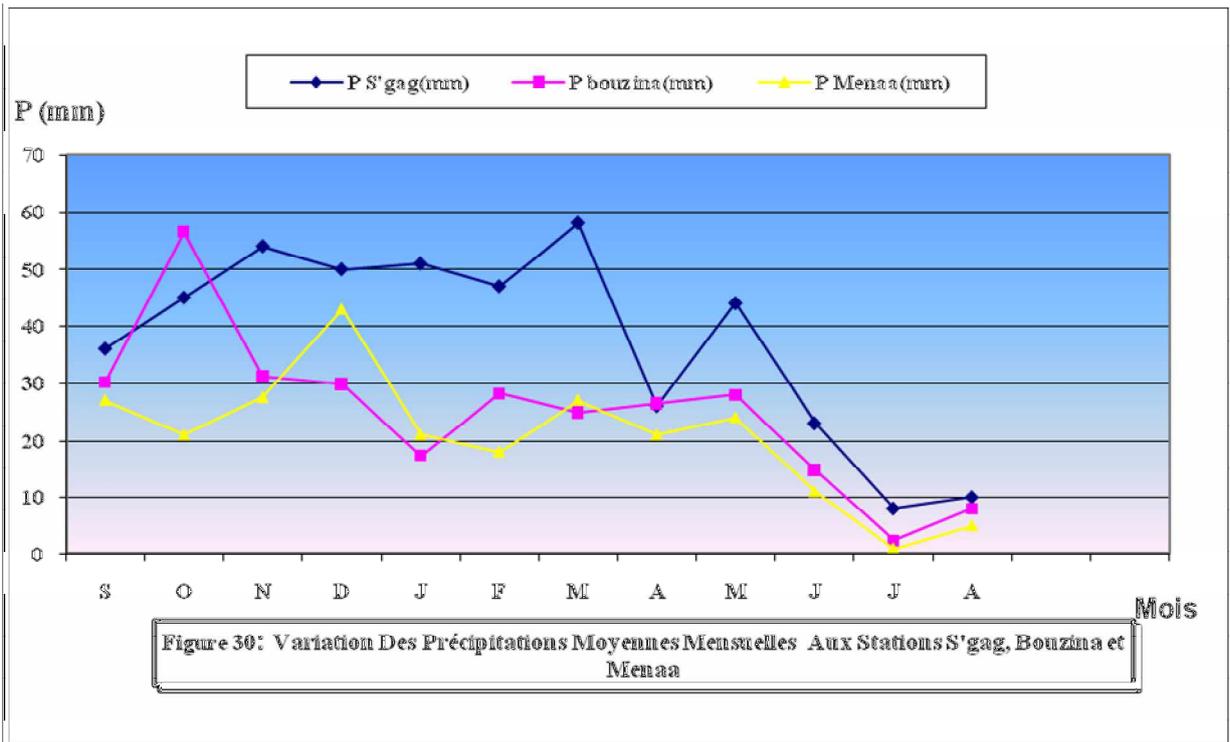
3-1-3- REPARTITION MENSUELLE ET SAISONNIERE DES PRECIPITATIONS :

Le tableau ci-dessous montre une forte variabilité interannuelle des précipitations pour les stations :

- S'gag pour une période de 1913-1953 (manque de données récentes).
- Bouzina et Menâa : pour une période de 1971-2000.

Tableau N°6 : Répartition Mensuelle Et Saisonnière Des Précipitations

Stations	Période d'observation	Pi mm	Automne			Hiver			Printemps			Été		
			S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
S'gag	1913-1953	452	36	45	54	50	51	47	58	26	44	23	8	10
			135			144			128			41		
			%29,9			%32,7			%28,3			%9,1		
Bouzina	1971-2000	298	30,2	56,5	31,2	29,8	17,4	28,2	24,9	26,5	28	14,9	2,5	8
			117,9			75,4			79,4			25,4		
			%39,6			%25,3			%26,6			%8,5		
Menâa	1971-2000	246	27	21	27,5	43	21	18	27	21	24	11	1	5
			75,5			82			72			17		
			%30,5			%33,26			%29,20			%6,89		



Les graphes dressées de la figure 30 montrent que :

Ø *La station de S'gag* présente un minimum de précipitations moyennes mensuelles de 8mm en Juillet, et un maximum de précipitations moyennes mensuelles de 58mm en Mars durant la période de 1913-1953 (ANRH)

Au cours de la période (1971-2000) :

Ø *La station de Bouzina* présente un minimum égale à 2,5mm en Juillet et un maximum de 56,5mm en Octobre.

Ø *La station de Menâa* Le maximum de précipitations moyennes mensuelles est observé en Décembre avec 43mm. Le minimum des précipitations moyennes mensuelles est observé en Juillet avec 1mm.

La saison la plus humide pour la station de S'gag et Menâa est l'Hiver avec des pourcentages de 32,7% et 33,26% des précipitations totales, et la saison la plus sèche est l'Été avec un pourcentage de 9,1% et 6,89%.

Pour la station de Bouzina, les pluies d'Automne sont plus importantes avec un pourcentage de 39,6%, la saison plus sèche est l'Été avec un pourcentage de 8,5%.

3-1-4- ESTIMATION DE LA LAME D'EAU PRECIPITEE SUR LE BASSIN VERSANT :

1-Methode De La Moyenne Arithmétique Des Précipitations

La méthode la plus simple consiste à calculer la moyenne arithmétique des hauteurs de précipitations relevées dans le même intervalle de temps aux diverses stations du bassin et

celles qui sont voisines. Elle s'obtient à partir de la formule suivante : $\bar{P} = \sum \frac{P_i}{n}$

Avec : P_i : Pluviométrie moyenne annuelle de chaque station en mm ;

n : Nombre de stations utilisées.

Soit : $\bar{P} = 327,52mm$

Tableau N° 7 : Calcul De La Lame D'Eau Tombée Sur Le B.V Selon La Méthode De La Moyenne Arithmétique :

<i>Stations</i>	<i>Altitude (m)</i>	<i>Précipitations (mm)</i>
<i>Medina</i>	<i>1451</i>	<i>416,82</i>
<i>Bouzina</i>	<i>1350</i>	<i>298,1</i>
<i>Theniet El Abed</i>	<i>1350</i>	<i>282,06</i>
<i>Menâa</i>	<i>983</i>	<i>264,44</i>
<i>Ain Touta</i>	<i>917</i>	<i>284,8</i>
<i>S'gag</i>	<i>1650</i>	<i>418,9</i>

2-Méthode Des Isohyètes :

A partir de la carte pluviométrique de l'Algérie établie par l'ANRH (Agence Nationale Des Ressources Hydriques), sur la base de 465 poste pluviométriques dont la série d'observation ont été ramenées à une période commune de 60 ans (1922-1960 et 1969-1989). Le planimétrage des interisohyètes a donné les résultats suivants

Tableau N°8 : Evaluation De La Lame D'Eau Précipité Sur Le Bassin Versant De Bouzina Méthode Des Isohyètes

<i>Isohyètes des hauteur (mm)</i>	<i>P_i (mm)</i>	<i>S_i (Km²)</i>	<i>S_i P_i</i>
<300	300	33,3	9990
300-350	325	62,8	20410
350-400	375	73,1	2742,5
400-450	425	23,6	10030
>450	450	2,2	990

Donc la lame d'eau tombé sur le bassin versant se calcule par la formule suivante :

$$\bar{P} = \frac{\sum S_i * P_i}{\sum S_i}$$

Avec : P_i : Précipitations moyennes annuelles inter isohyètes;

S_i : Surface inter isohyète.

Pour l'ensemble du bassin versant, la lame d'eau moyenne précipitée est estimé à

$$\bar{P} = 350mm .$$

Les écarts observés entre les deux méthodes sont justifié par la différence entre les deux séries de mesures isohyètes(1969-1989), altimétrique (1970-2000) d'un coté et de l'autre coté par l'influence de 10 ans de sécheresse qu'a connue l'Algérie.

3-2- TEMPERATURE :

Ce paramètre joue un rôle essentiel dans l'évaluation du déficit d'écoulement qui intervient dans l'estimation du bilan hydrologique.

Les données traitées intéressent les stations :

Ø S'gag sur une période de 40 ans (1913-1953) [ANRH].

Ø Bouzina et Menâa sur une période de 10ans (1986-1996) [BNEDER.1998]

$T^0_{c_{min}}$ = Températures moyennes mensuelles et annuelles des minima ;

$T^0_{c_{moy}}$ = Températures moyennes mensuelles et annuelles ;

$T^0_{c_{max}}$ = Températures moyennes mensuelles et annuelles des maxima

Tableau N°9. : Températures Moyennes Mensuelles Et Annuelle

Mois	S'gag			Bouzina			Menâa		
	T ⁰ c								
	min	moy	max	min	moy	max	min	moy	max
J	-2,25	2,19	6,93	-0,58	4,1	8,4	0,82	5,86	10,9
F	-1,08	3,79	8,66	0,89	5,6	10,13	2,29	7,46	12,63
M	2,22	7,39	12,56	4,23	9,3	14,1	5,63	11,1	16,57
A	4,71	10,1	15,49	6,71	12	17,0	8,11	13,8	19,49
M	10,03	15,9	21,77	12,03	17,8	23,2	13,43	19,6	25,77
J	13,87	20,08	26,29	16,52	22,7	28,6	17,92	24,5	31,08
J	16,55	23	29,45	18,54	24,9	30,9	19,94	26,7	33,46
A	18,11	24,7	31,29	20,1	26,6	32,8	21,5	28,4	35,3
S	12,88	19	25,12	14,87	20,9	26,6	16,27	22,7	29,13
O	7,19	12,8	18,41	9,18	14,7	19,9	10,58	16,5	22,42
N	0,85	5,89	10,93	2,72	7,76	12,4	4,21	9,56	14,91
D	-2,82	1,89	6,6	-0,86	3,76	8,1	0,54	5,56	10,58
Année		12,22			14,16			15,97	

Les courbes de températures (Fig 32A, B, C), montrent que le maximum des températures moyennes est atteint en Août avec une valeur de 24,7 °C pour la station de S'gag, 26,6 °C pour la station de Bouzina et 28,4 °C pour la station de Menâa, alors que le minimum est observé en décembre avec une valeur de 1,89 °C pour la station de S'gag 3,76°C pour la station de Bouzina et 5,56 °C pour la station de Menâa.

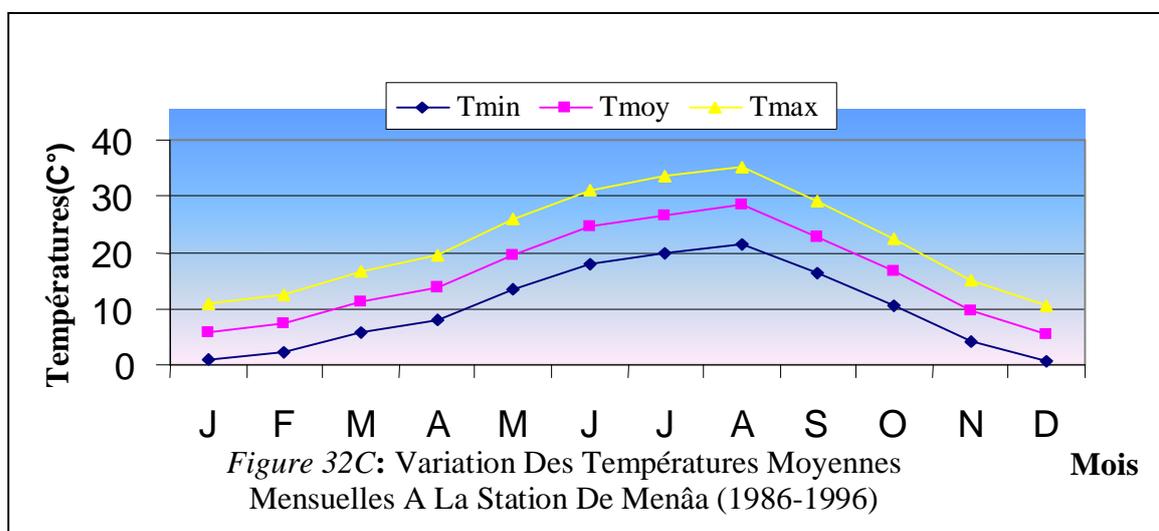
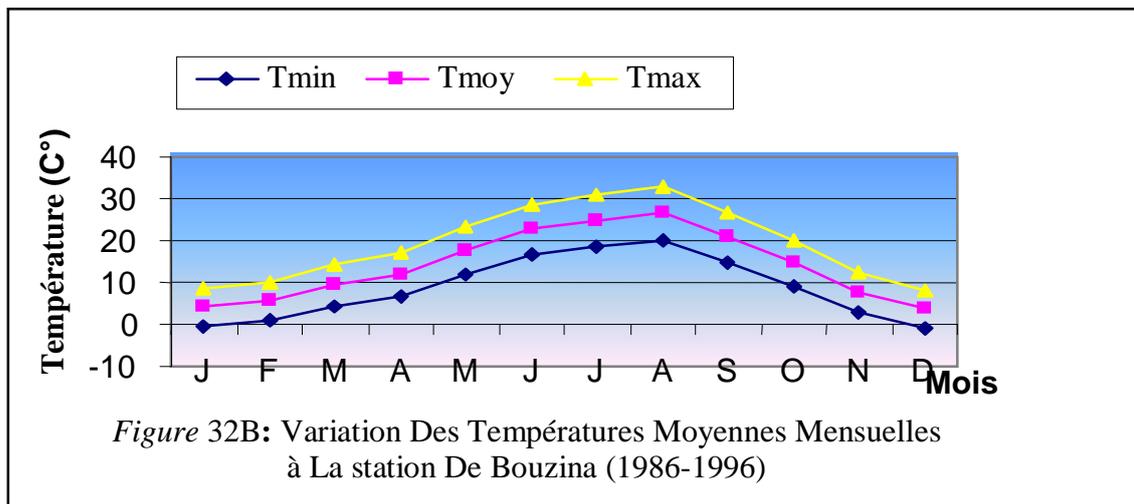
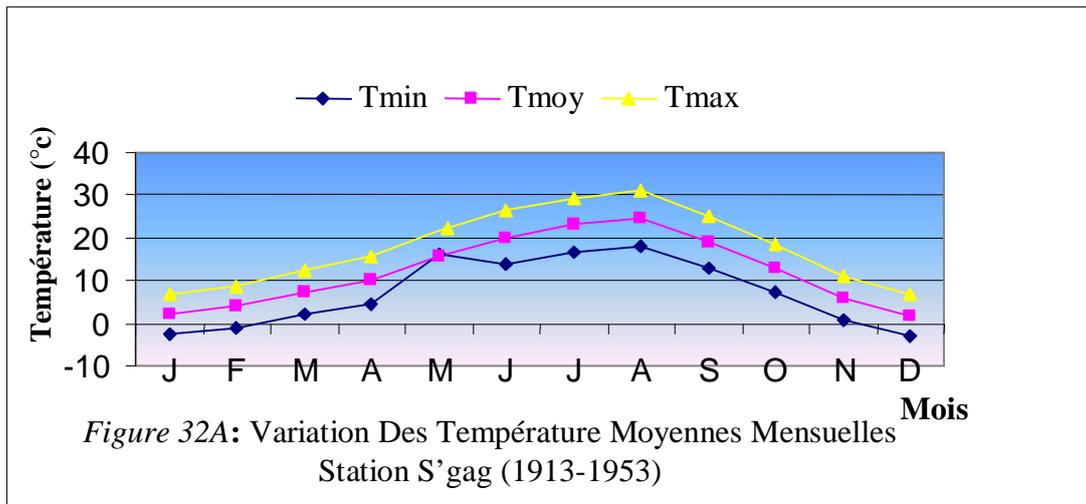
Les trois courbes représentatives des températures (min, moy, max) montrent pratiquement la même allure avec chacune un axe de symétrie (mois d'Août), ce ci nous laisse supposer la présence de deux périodes bien distinctes :

- Ø Une phase allant du mois de Janvier à Juillet marquée par une nette progression des températures (min, moy, max).
- Ø Une seconde période qui débute au mois d'Août ou les températures baissent pour atteindre leur minimum au Décembre.

3-3- LA NEIGE :

Les sommets de la bordure Nord-Est du bassin versant de Bouzina sont enneigés (Dj Mahmel 2231m). La surface du bassin versant susceptible d'être enneigée est relativement faible, mais elle joue un rôle important car elle se situe sur des affleurements calcaires.

D'après SELTZER.1946, le nombre de jours de neige peut atteindre 15 jours/an dans la région.



3-4- LE REGIME CLIMATIQUE :

A fin de préciser les conditions climatiques de la région de notre étude ; nous avons utilisé plusieurs méthodes :

5. *méthode d’Euverte ;*
6. *diagramme ombrothermique de Gaussen Bagnouls ;*
7. *indice d’aridité de Martonne ;*
8. *diagramme d’Emberger.*

1-METHODE D’EUVERTE :

Le rapport $\frac{P}{T}$ établit mensuellement permet de connaître l’évolution de l’humidité du sol, il permet également de définir plusieurs régimes :

- Ø Un régime très sec où $\frac{P}{T} < 1$;
- Ø Un régime sec où : $1 < \frac{P}{T} < 2$;
- Ø Un régime sub-humide où : $2 < \frac{P}{T} < 3$;
- Ø Un régime humide où : $\frac{P}{T} > 3$;

Tableau N°10: Détermination De Régime Climatique Par La Méthode D’Euverte

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aou	
<i>S'gag</i>	<i>P (mm)</i>	36	45	54	50	51	47	58	26	44	23	8	10
	<i>T°c</i>	19	12,8	5,89	1,89	2,19	3,79	7,39	10,1	15,9	20,08	23	24,7
	<i>P/T</i>	1,89	3,5	9,16	26,4	23,4	12,4	7,84	2,5	2,7	1,14	0,34	0,40
<i>Bouzina</i>	<i>P (mm)</i>	30,2	56,5	31,2	29,8	17,4	28,2	24,9	26,5	28	14,9	2,5	8
	<i>T°c</i>	20,9	14,7	7,76	3,16	4,10	5,6	9,3	12,0	17,8	22,7	24,9	26,6
	<i>P/T</i>	1,44	3,84	4,02	7,92	4,24	5,03	2,67	2,20	1,57	0,65	0,1	0,3
<i>Menaâ</i>	<i>P(mm)</i>	27	21	27,5	43	21	18	27	21	24	11	1	5
	<i>T0c</i>	22,7	16,5	9,56	5,56	5,86	7,46	11,1	13,8	19,6	24,5	26,7	28,4
	<i>P/T</i>	1,18	1,27	2,87	7,73	3,58	2,41	2,43	1,52	1,22	0,44	0,03	0,17

Selon le tableau N°10, nous remarquons que :

– *Pour la station de S’gag* : La période sèche débute en Juin et s’étend jusqu’à Septembre, et devient humide à partir d’Octobre jusqu’à Mai.

– *Pour la station de Bouzina* : La période sèche débute en Mai et s’étend jusqu’à Septembre, et la période humide s’étant d’Octobre jusqu’à Avril.

– *Pour la station de Menâa* : La période sèche débute en avril et s’étend jusqu’à Octobre, et puis on passe à la période humide de Novembre jusqu’à Mars.

2- DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE DE GAUSSEN ET BAGNOULS :

On utilise cette méthode pour déterminer la période sèche et la période humide.

Pour Gausсен et Bagnouls le climat sec est celui où la totalité des précipitations exprimé en (mm) est inférieure ou égale au double des températures moyennes ($P \leq 2 T^0c$). Cette relation permet d’établir un graphique Ombrothermique sur le quel les températures sont portées à l’échelle double des précipitations.

Concernant la région d’étude :

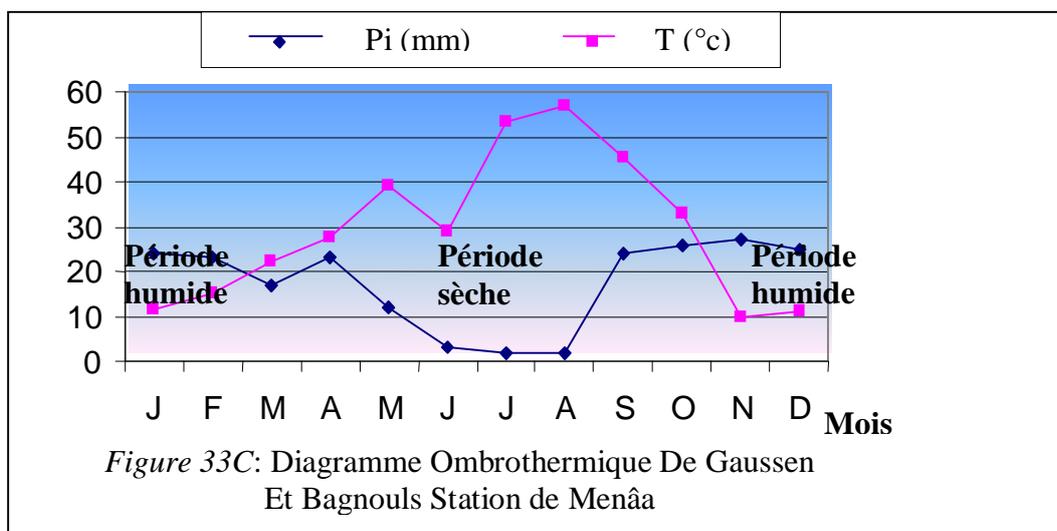
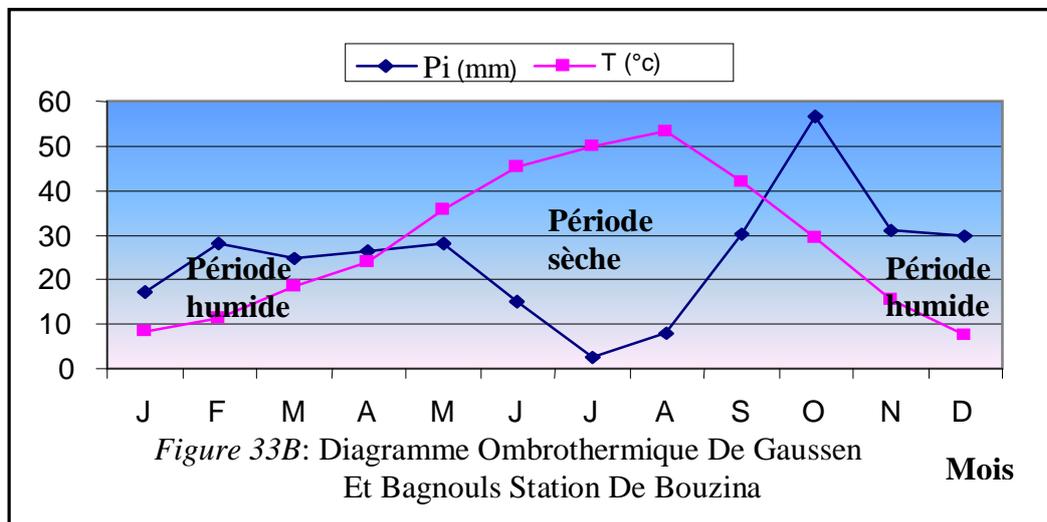
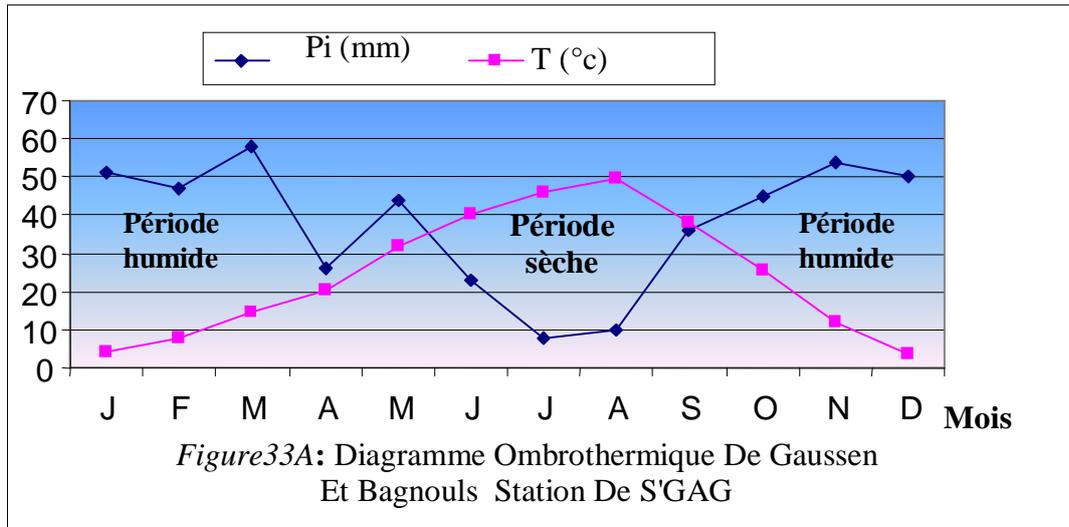
- Ø *la station de S’gag* présente une période sèche qui s’étale du Juin jusqu’à la moitié de Septembre, et une période humide qui s’étale de la moitié de Septembre jusqu’au Mai (Fig 33A).
- Ø Pour *la station de Bouzina* qui se trouve au centre du sous bassin, on a une période sèche qui s’étale de la fin Avril jusqu’à fin Septembre, et la période humide s’étale du mois d’Octobre jusqu’à Avril (Fig 33B).
- Ø Pour *la station de Menâa*, la période sèche s’étale du début de Mars jusqu’à la fin d’Octobre, et la période humide s’étale du début Novembre jusqu’à la fin Février (Fig 33C).

3- INDICE D’ARIDITE :

L’aridité peut s’exprimer quantitativement par différents indices d’aridité conventionnels et empiriques, la plus part est un simple rapport hydro thermique fondé principalement sur des grandeurs de P et T qui sont utilisés pour définir les degrés d’aridité et les conditions de l’écoulement fluvial.

On distingue trois degrés d’aridité :

- hyperaride
- aride
- semi aride



Indice de Martonne : Le géographe de Martonne (1989) définit un indice d'aridité I, selon la formule suivante :

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

Où :

P : Représente les précipitations moyennes annuelles ;

T : Représente les températures moyennes annuelles.

Pour :

1. $20 < I < 30$ __ climat tempéré
2. $10 < I < 20$ __ climat semi aride
3. $7,5 < I < 10$ __ climat stépique
4. $5 < I < 7,5$ __ climat désertique
5. $I < 5$ __ climat hyperaride

Les résultats du calcul de l'indice d'aridité sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau N°11 : Indice D'Aridité De Martonne

<i>Stations</i>	<i>P (mm)</i>	<i>T⁰c</i>	<i>I</i>	<i>Régime</i>
<i>S'gag</i>	<i>452</i>	<i>12,22</i>	<i>20,32</i>	<i>Climat tempéré</i>
<i>Bouzina</i>	<i>298</i>	<i>14,16</i>	<i>12,33</i>	<i>Climat semi aride</i>
<i>Menâa</i>	<i>246</i>	<i>15,97</i>	<i>9,49</i>	<i>Climat stepique</i>

4- LE DIAGRAMME D'EMBERGER : (Fig 34)

Pour situer le climat de la région, on peu également utiliser le diagramme d'Emberger qui est un abaque comportant, en ordonnées les valeurs de Q₂ donnés par la relation :

$$Q_2 = \frac{2000P}{M^2 - m^2}$$

Avec : P : Précipitation annuelle en mm ;

M : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud exprimée en degré absolu (⁰k) ;

m : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid exprimée en degré absolu (⁰k), ($T^0k = T^0c + 273,2$);

En abscisse la moyenne des minima de la saison froide (en ⁰C)

Après calcul nous obtenons les résultats reportés dans le tableau (N°12) :

Tableau N°12 : Les valeurs de Q_2

Stations	P (mm)	M		m		Q_2
		$^{\circ}C$	$^{\circ}k$	$^{\circ}C$	$^{\circ}k$	
S'gag	452	31,29	304,44	46,10	270,33	46,10
Bouzina	298	32,8	305,95	30,14	272,29	30,14
Mena	246	35,5	308,45	24,36	273,69	24,36

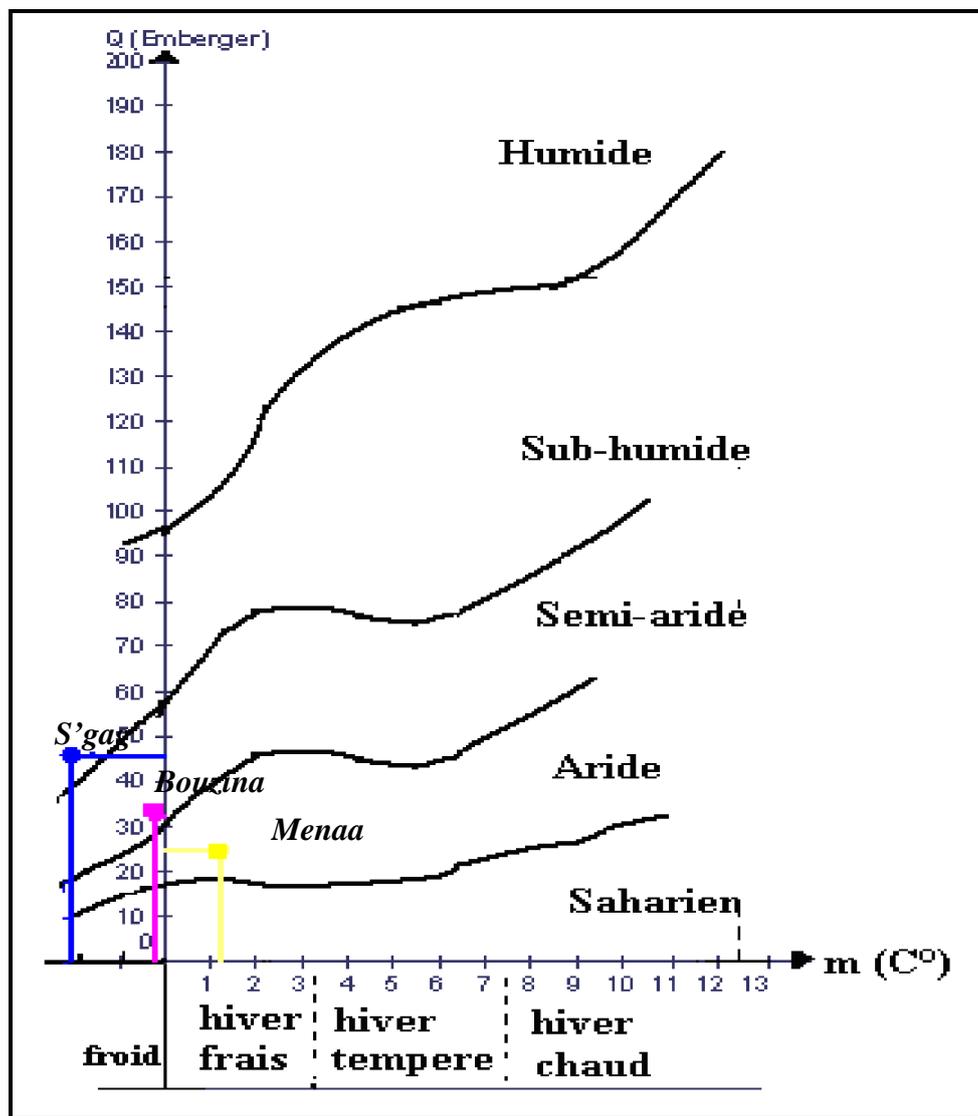


Figure 34 : Climagramme D'EMBERGER

Suite à la représentation de ces valeurs sur le Climagramme de L. Emberger, nous constatons que :

- Ø La station de S' gag se situe dans la zone climatique sub-humide à hiver froid.
- Ø La station de Bouzina se situe dans la zone climatique semi aride à hiver froid.
- Ø La station de Menâa se situe dans la zone climatique aride à hiver frais.

3-5- EVAPOTRANSPIRATION OU DEFICIT D'ÉCOULEMENT :

La connaissance du bilan d'eau d'une région consiste à évaluer la répartition des précipitations entre l'écoulement, l'infiltration et l'évaporation.

On regroupe sous le terme d'évapotranspiration ou déficit d'écoulement l'ensemble des phénomènes physiques et biologiques qui restituent l'humidité des sols à l'atmosphère.

Il convient de distinguer: *l'évapotranspiration potentielle* et *l'évapotranspiration réelle*

3-5-1- L'EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE (ETP) :

L'évapotranspiration potentielle représente la quantité d'eau maximale qui pourrait s'évaporer au niveau d'un sol saturé. C'est un élément très important pour l'établissement du bilan hydrique, et dépend de plusieurs paramètres : la température, les précipitations, l'humidité de l'air, le couvert végétal...

Plusieurs formules ont été établies pour le calcul de *L'ETP*, vue le manque de données nous adoptons celle de **THORNTHWAITE** appliquée à des régions sub-humides qui permet d'estimer le pouvoir évaporant de l'atmosphère, elle est basée sur les précipitations et les températures moyennes mensuelles.

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

Avec : *ETP*: l'évapotranspiration potentielle en (mm).

T: la température moyenne mensuelle en (C°).

I: l'indice thermique obtenu par la formule: $I = \sum i$, ou $i = (T/5)^{1.514}$

avec T: moyenne en (C°).

a: Indice liée à la température qui est calculé par la formule:

$$a = 67,5(10^{-8} I^3) - 77,1(10^{-6} I^2) + 0,01797 I - 0,492$$

Cependant **G. Serra** (1954) Suggère de retenir: **a = 0.016 I + 0,5**

L'évapotranspiration potentielle mensuelle corrigée est obtenue à partir de la formule suivante:

$$ETP \text{ corrigée} = ETP.K$$

K: Coefficient de correction qui dépend du mois et de la latitude de lieu.

Les résultats de calcul de l'ETP par la méthode de Thornthwaite sont présentés dans les tableaux (Tab 13A, B, C).

Tableau N° 13A: Calcul De l'ETP selon C.W. Thornthwaite : (Station S'gag)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aou	Année
<i>T</i> (°C)	19	12,8	5,89	1,89	2,19	3,79	7,39	10,1	15,9	20,08	23	24,7	12,22
<i>i</i>	7,54	4,15	1,28	0,22	0,28	0,65	1,8	2,89	5,76	8,20	10,07	11,22	/
ETP (Calculée)	88,41	51,66	17,97	3,83	4,68	9,87	24,47	37,43	69,39	95,31	114,64	126,32	643,98
K	1,03	0,97	0,86	0,85	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	/
ETP (Corrigée)	91,06	50,11	15,45	3,25	4,07	8,38	25,20	40,79	83,96	115,32	141,00	146,53	725,12
I=54,06						A =1,36							

Tableau N°13B : Calcul de l'ETP selon C.W. Thornthwaite : (Station de Bouzina)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aou	Année
<i>T</i> (°C)	20,9	14,7	7,76	3,76	4,1	5,6	9,3	12,0	17,8	22,7	24,9	26,6	14,16
<i>i</i>	8,7	5,12	1,94	0,65	0,74	1,18	2,55	3,76	6,83	9,88	11,36	12,56	/
ETP (Calculée)	96,04	55,86	20,88	6,84	7,81	12,63	27,60	40,86	75,00	109,07	125,77	139,24	717,6
K	1,03	0,97	0,86	0,85	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	/
ETP (Corrigée)	98,92	54,18	17,95	5,81	6,79	10,73	28,42	44,35	90,75	131,97	157,69	161,51	809,25
I =65,27						A=1,54							

Tableau N°13C: Calcul de l'ETP selon C.W. Thornthwaite : (Station de Menâa)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aou	Année
<i>T</i> (°C)	22,7	16,5	9,56	5,56	5,86	7,46	11,1	13,8	19,6	24,5	26,7	28,4	15,97
<i>i</i>	9,88	6,09	2,66	1,17	1,27	1,83	3,34	4,65	7,91	11,09	12,63	13,87	/
ETP (Calculée)	104,15	60,16	23,53	9,26	10,14	15,36	30,42	44,24	80,90	118,75	137,68	152,11	786,7
K	1,03	0,97	0,86	0,85	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	/
ETP (Corrigée)	107,27	58,36	20,23	7,87	8,82	13,05	31,33	48,22	97,88	143,68	169,35	177,60	883,66
I =76,39						A=1,72							

3-5-2- L'ÉVAPOTRANSPIRATION RÉELLE (ETR) :

L'évapotranspiration réelle désigne la quantité d'eau effectivement évaporée par le sol, les végétaux et les surfaces d'eau. Elle se manifeste de fait en conditions naturelles dans un site donné, compte tenu de la demande climatique de l'air et de la disponibilité en eau du sol.

Elle a été estimée par différentes méthodes :

3-5-2-1- Méthode de Turc :

La formule du Turc est déduite du bilan hydrologique de 254 bassins versants du globe, cette relation est applicable à tous les climats, elle est fonction des précipitations et des températures moyennes mensuelles.

La formule est la suivante :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}$$

Où : P : Précipitation moyenne mensuelle, en mm ;

L = 300 + 25 T + 0,05 T³ : pouvoir évaporant de l'atmosphère ;

T : Température moyenne mensuelle, (en °C) ;

ETR: Evapotranspiration réelle, en mm.

Ø *Station de S'gag :*

P = 452mm, T = 12,22°C, L = 696,73 → ETR = 394,74mm. Soit 87% des précipitations.

Ø *Station de Bouzina :*

P = 298mm, T = 14,16°C, L = 795 → ETR = 293,25mm. Soit 98% des précipitations.

Ø *Station de Menâa :*

P = 246mm, T = 15,93°C, L = 855,59 → ETR = 293mm. Soit 100% des précipitations.

Tableau N°14: Evapotranspiration Réelle Mensuelle Des Stations S'gag, Bouzina et Menâa

MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
ETR S'gag	37.9	47.29	56.46	52.10	53.15	49.16	60.69	27.37	46.32	24.23	8.43	10.54
ETR Bouzina	31.82	59.40	32.82	31.31	18.32	29.66	26.21	27.91	29.50	15.70	2.6	8.43
ETR Menâa	28.46	22.12	28.95	45.09	22.10	18.96	28.43	22.12	25.28	11.59	1.05	5.27

3-5-2-2- Méthode de M. Coutagne :

Cette méthode fait intervenir les températures et les précipitations. Elle s'écrit de la manière suivante :

$$D_e = ETR = P - \lambda P^2 \quad \text{Avec : } \lambda = \frac{1}{0,8 + 0,14T}$$

D_e : Déficit d'écoulement (ETR), en mm ;

P : Précipitation moyenne mensuelle en mm pour l'application numérique et en m pour la condition d'utilisation de la formule;

T : Température moyenne mensuelle, (en °C) ;

Cette formule ne sera valable qu'après la vérification de la condition suivante :

$$\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda}$$

Ø **Station de S'gag :**

$P = 452\text{mm} = 0,452\text{m}$, $T = 12,22^\circ\text{C}$, $\lambda = 0,398$

Donc: $\frac{1}{8\lambda} = 0,314$ et $\frac{1}{2\lambda} = 1,25$

La formule de Coutagne est applicable pour la station de S'gag, dans ce cas :

$ETR = 0,370\text{m} = 370\text{mm}$, soit 82,01% des précipitations.

Ø **Station de Bouzina:**

$P = 298\text{mm} = 0,298\text{m}$, $T = 14,16^\circ\text{C}$, $\lambda = 0,359$

Donc: $\frac{1}{8\lambda} = 0,348$ et $\frac{1}{2\lambda} = 1,39$

La méthode de Coutagne est inapplicable pour la station de Bouzina ($\frac{1}{8\lambda} > P$).

Ø **Station de Menâa**

$P = 246\text{mm} = 0,246\text{m}$, $T = 15,93^\circ\text{C}$, $\lambda = 0,359$

Donc: $\frac{1}{8\lambda} = 0,348$ et $\frac{1}{2\lambda} = 1,39$

La méthode de Coutagne, n'est pas applicable pour la station de Menâa ($\frac{1}{8\lambda} > P$).

3-5-2-3- Méthode de Wundt :

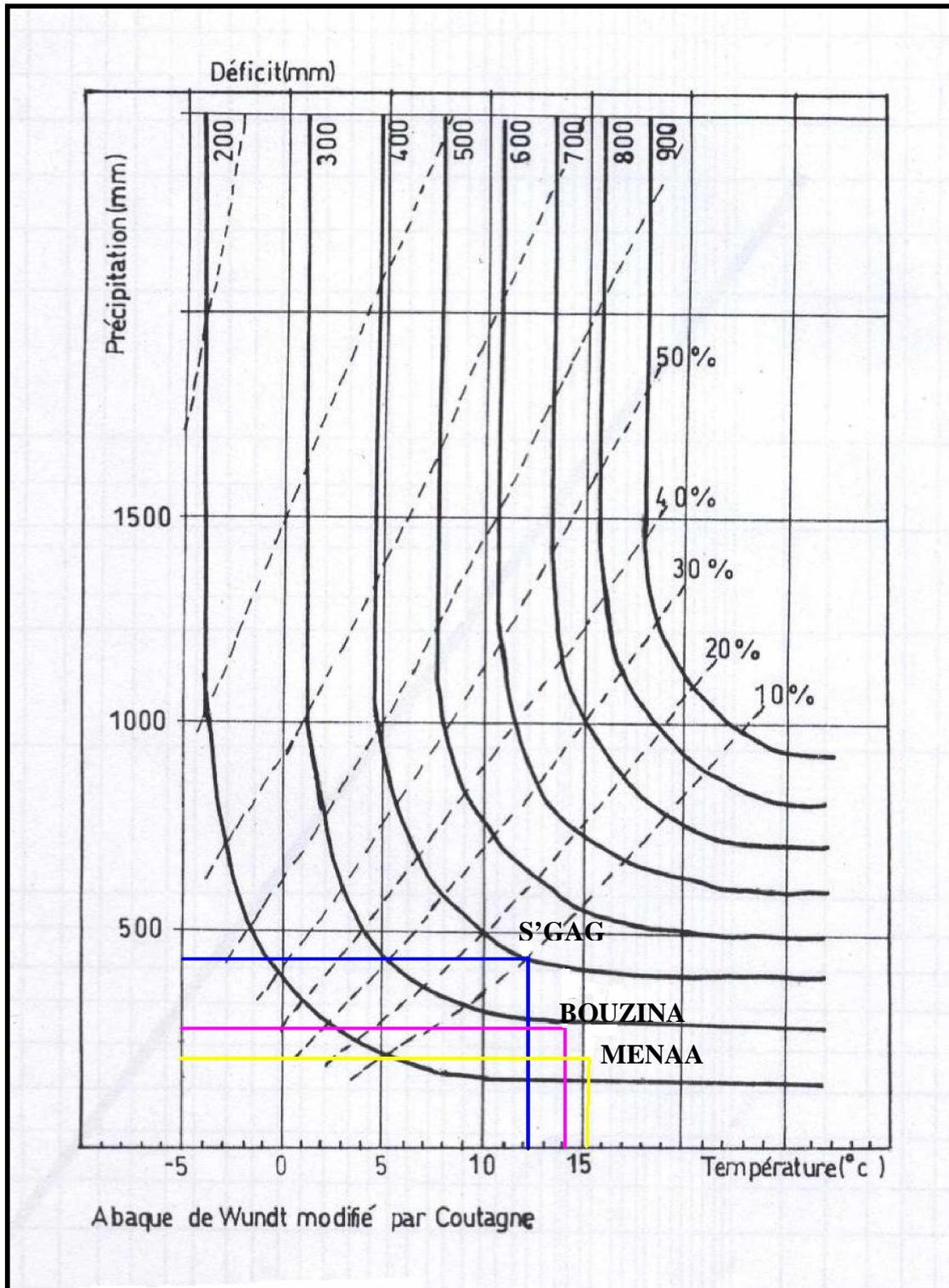
L'abaque de Wundt modifié par Coutagne permet de déduire la valeur de l'ETR ou D_e en prenant en considération la température moyenne annuelle (°C) et les précipitations annuelles (mm) (fig35).

Ø **Station de S'gag :** $ETR = 400\text{mm}$, soit **88,49%** des précipitations.

Ø **Station de Bouzina :** $ETR = 289\text{mm}$, soit **97,13%** des précipitations.

Ø **Station de Menâa :** $ETR = 240\text{mm}$, soit **97,56 %** des précipitations

Figure 35 : EVALUATION DU DEFICIT D'ECOULEMENT EN FONCTION DE LA TEMPERATURE MOYENNE ANNUELLE ET DES PRECIPITATIONS



3-5-2-4- Méthode de P. Verdeil (1988) :

Afin d'estimer les valeurs de l'évapotranspiration réelle ou du déficit d'écoulement, P. Verdeil a établi une abaque Bi logarithmique pour les régions semi-arides en tenant compte uniquement des précipitations annuelles (fig36).

- Ø *Station de S'gag* : ETR = 430mm, soit **95,13%** des précipitations.
- Ø *Station de Bouzina* : ETR = 289mm, soit **96,97 %** des précipitations.
- Ø *Station de Menâa* : ETR = 238 mm, soit **98,34 %** des précipitations.

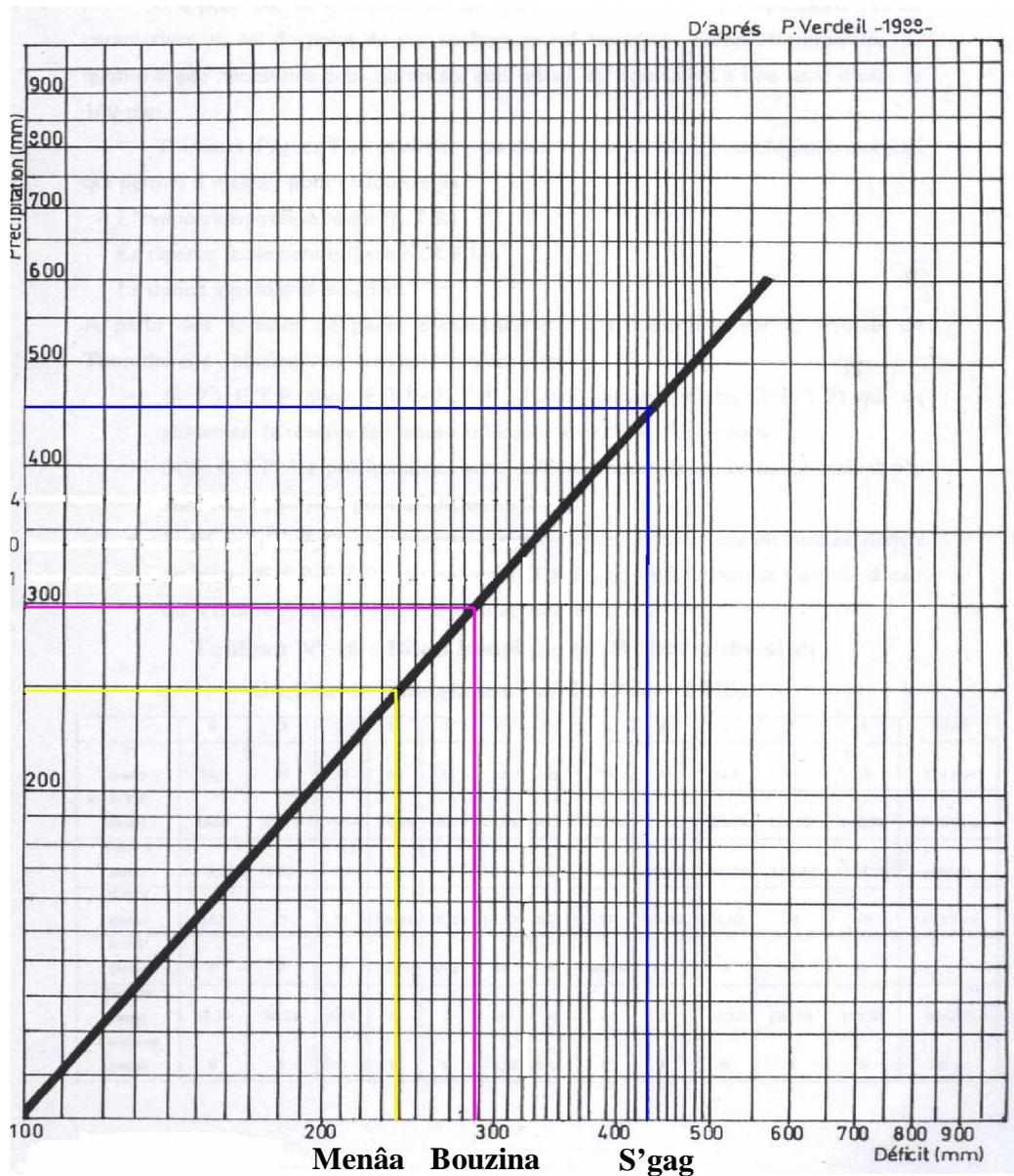


Figure 36 : Abaque Pour Le Calcul De Déficit D'Écoulement En Algérie

La comparaison entre les différentes méthodes de calcul de l'ETR est abordée après le calcul du bilan hydrique pour intégrer dans la comparaison l'ETR qui ressort du bilan.

3-5-2-5- Calcul Du bilan hydrique selon Thornthwaite:

Il a pour but de quantifier les transferts d'eau issus des précipitations et permet de caractériser un sol du point de vue de sa sécheresse ou de son humidité.

Selon Thornthwaite, la quantité d'eau nécessaire pour qu'un sol soit saturé est équivalente à une tranche d'eau de 100mm (c'est la réserve utile généralement adoptée).

Toujours d'après Thornthwaite, on peut établir un bilan hydrique mensuel qui permet d'estimer pour chaque mois :

- **ETR:** évapotranspiration réelle,
- **R.F.U:** réserve facilement utilisable. Pour notre région en prend
RFU=50mm (la moitié de RU)
- **Da:** déficit agricole,
- **Ex:** l'excédent (water surplus).

A partir des données des pluies mensuelles et l'évapotranspiration potentielle (ETP) calculée par la méthode de Thornthwaite, plusieurs cas peuvent être envisagés :

- Ø Si: $P \geq ETP$ \hat{O} $ETP = ETR$, il y a une quantité d'eau ($P-ETR$) qui va alimenter la RFU jusqu' à son maximum (100%).
- Ø Si $P=ETP$, les précipitations sont suffisantes pour alimenter le sol mais il n'y aura pas de surplus pour alimenter la RFU.
- Ø Si: $P < ETP$, il y aura épuisement du réserves, dans ce cas on aura un déficit du bilan $Da=ETP-ETR$, ou encore $ETP-P$ qui représente la quantité d'eau qu'il faudra ajouter à l'ETR pour atteindre l'ETP.

(Da) représente le besoin en eau pour l'irrigation des plantes.

Les tableaux ci après comportent les résultats des calculs du bilan hydrique pour différentes stations (*TabN°15A, B, C*)

Station de S'gag :

Cette station est située à une altitude de 1650m, elle se trouve juste au Nord de sous bassin versant de Bouzina, elle permet de préciser le type de climat et les particularités du bilan hydrique de la région. L'examen du bilan hydrique montre que :

- A l'échelle annuelle, on observe que l'ETP dépasse largement les précipitations (ETP=166,37% des précipitations) ;

Tableau N°15A : Calcul Du Bilan Hydrique (Station de S'gag)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jui	Jul	Aou	Année
P (mm)	36	45	54	50	51	47	58	26	44	23	8	10	452
ETP	91,06	50,11	15,45	3,25	4,07	8,38	25,2	40,79	83,96	115,32	141,00	146,53	725,12
P-ETP	-55,06	-5,11	38,55	46,75	46,93	38,62	32,8	-14,79	-39,96	-92,32	-133	-136,53	/
ETR	36	45	15,45	3,25	4,07	8,38	25,2	40,79	79,21	23	8	10	298,33
RFU	0	0	38,55	50	50	50	50	35,21	0	0	0	0	/
Déficit agricole (D_a)	55,06	5,11	0	0	0	0	0	0	4,75	92,32	133	136,53	426,77
Excédent (E_x)	0	0	0	35,3	46,93	38,62	32,8	0	0	0	0	0	153,65

Tableau N°15B : Calcul Du Bilan Hydrique (Station de Bouzina)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jui	Jul	Aou	Année
P (mm)	30,2	56,5	31,2	29,8	17,4	28,2	24,9	26,5	28	14,9	2,5	8	298
ETP	98,92	54,18	17,95	5,81	6,79	10,73	28,42	44,53	90,75	131,97	157,69	161,51	809,25
P-ETP	-68,72	2,32	13,25	23,99	10,61	17,47	-3,25	-18,02	-62,75	-117,07	-155,19	-153,51	/
ETR	30,2	54,18	17,95	5,81	6,79	10,73	28,42	44,5	56,45	14,9	2,5	8	280,46
RFU	0	2,32	15,57	39,56	50	50	46,75	28,45	0	0	0	0	/
Déficit agricole (D_a)	68,72	0	0	0	0	0	0	0	34,3	117,07	155,19	153,51	528,79
Excédent (E_x)	0	0	0	0	0,17	17,47	0	0	0	0	0	0	17,64

Tableau N°15C : Calcul Du Bilan Hydrique (Station de Menâa)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jui	Jul	Aou	Année
P (mm)	27	21	27,5	43	21	18	27	21	24	11	1	5	246,5
ETP	107,27	58,36	20,23	7,87	8,82	13,05	31,33	48,22	97,88	143,68	169,35	177,6	883,66
P-ETP	-80,27	-37,36	7,27	35,13	12,3	4,95	-4,33	-27,22	-73,88	-132,68	-168,35	-172,6	/
ETR	27	21	20,23	7,87	8,82	13,05	31,33	48,22	42,45	11	1	5	236,97
RFU	0	0	7,27	42,4	50	50	45,67	18,45	0	0	0	0	/
Déficit agricole (D_a)	80,27	37,36	0	0	0	0	0	0	55,45	132,68	168,35	172,6	646,71
Excédent (E_x)	0	0	0		4,7	4,95	0	0	0	0	0	0	9,65

- Si on examine l'évaluation de l'ETP à l'échelle mensuelle, on constate l'existence de deux saisons bien distinctes : l'une pendant la quelle les précipitations sont supérieures à l'ETP (Novembre à Mars) ; et la seconde on a l'inverse (Avril à Octobre).
- Pendant la saison froide et pluvieuse, le bilan hydrique est positif, ou les précipitations couvrent les besoins de l'évapotranspiration potentielle et permettent la formation d'une réserve facilement utilisable RFU, prise dans notre cas au seuil de 50 mm (RFU),
- La RFU atteint son maximum au mois de Décembre et demeure ainsi jusqu'au mois de Mars pour diminuer ensuite jusqu'à l'épuisement total au Mai. Elle commence à se constituer en Novembre.
- Durant les mois de Décembre, Janvier, Février et Mars, on a un excédent de 153,63 mm soit 34% des précipitations.

Station De Bouzina :

La station de Bouzina se situe à une altitude de 1350m, elle est située au centre du sous bassin versant étudié, elle est importante du point de vue climatique, car elle permet de préciser le bilan hydrique d'une tranche d'altitude de 1300-1400m. Les résultats du calcul du bilan montrent que :

- Au cours de l'année, l'évapotranspiration potentielle dépasse le double des précipitations soit 271.56%.
- Deux saisons distinctes : l'une s'étale d'Octobre à février où les précipitations sont supérieures à l'ETP, et l'autre de Mars à Septembre au cours de laquelle l'ETP est supérieure aux précipitations.
- Le déficit agricole s'observe durant la période allant du mois de Mars jusqu'à Septembre.
- La RFU commence à se reconstituer au mois d'Octobre, atteint son maximum au mois de Janvier et s'annule au mois de Mai.
- Un excédent de l'ordre de 17,64mm soit 06% des précipitation est enregistré pendant les mois de Janvier et Février.

Station de Menâa :

Cette station est située à l'altitude la plus basse, elle se situe au Sud Ouest du sous bassin étudié, elle subit l'influence du régime saharien.

L'examen du bilan hydrique montre que :

- L'évapotranspiration potentielle dépasse le triple des précipitations, elle est de 883mm soit 359%.
- L'excédent est enregistré durant Janvier et Février avec une valeur maximale de 9,55mm soit 4% des précipitations.
- L'évapotranspiration réelle annuelle est de 236,97mm soit 96,13% des précipitations.
- Le déficit agricole s'étend de Mai à Octobre. Alors que la reconstitution de la réserve commence en Novembre pour atteindre le maximum de la RFU en Janvier-Février et diminuer par la suite jusqu'au l'épuisement en Avril.

3-5-3-DISCUSSION DES RESULTATS DE L'ETR :

Le tableau ci-dessous récapitule des différentes valeurs de ETR obtenue par différentes méthodes, ainsi que la valeur de ETP.

Tableau N° 16 : Comparaison Des Différentes Valeurs d'ETP et L'ETR

Paramètres	Méthodes	Station S'gag		Station Bouzina		Station Menâa	
		Valeurs mm	Valeurs %	Valeurs mm	Valeurs %	Valeurs mm	Valeurs %
ETP (mm)	<i>thornthwaite</i>	725,12	160,42	809,25	271,56	883,66	359,21
ETR Ou D _e (mm)	<i>Tur</i>	394,73	87,33	293,25	98,40	293	101
	<i>Coutagne</i>	370	82,01	/	/	/	/
	<i>Wundt</i>	400	88,49	290	97,31	240	97.56
	<i>Verdeil</i>	430	95,13	289	96,97	238	98.34
	<i>Thornthwaite</i>	298,33	66	280,46	94,1	236,97	96,13

Ce tableau montre que :

Au niveau de chaque station, les valeurs calculées par les différentes méthodes sont assez proches les uns des autres. Cependant on constate un écart entre les stations. Les plus fortes valeurs sont celles de station de S'gag alors que les plus faible sont obtenues à Menâa.

L'ETR selon Thornthwaite qui est obtenue à partir du bilan hydrique donne des valeurs assez proches à la réalité.

pour la station de S'gag, ETR est de 298mm soit 66% des précipitation, pour la station de Bouzina 280mm soit 94.1%. Enfin pour la station de Menâa, elle est de 236.9mm soit 95.5% des précipitations.

L'évapotranspiration potentielle (ETP) a été calculée uniquement par la formule de Thornthwaite.

3-6-LE RUISSELEMENT « R »:

On entend par ruissellement l'écoulement par gravité à la surface du sol, suivant la pente du terrain et dans le réseau hydrographique des eaux météoriques. Une infime partie de cette eau sera soumise à l'infiltration.

METHODE DE TIXERONT- BERKALOFF :

Cette méthode est valable pour des bassins dont la surface varie de 40 à 200000 km² et des précipitations variant entre 100 et 500 mm. Et cette formule concerne surtout les régions ayant un climat aride à semi aride

Elle s'écrit :

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

Avec : R : ruissellement (mm),

P : précipitation moyenne annuelle (mm),

ETP : évapotranspiration potentielle moyenne annuelle

Les valeurs calculées sont :

Ø *STATION DE S'GAG* : un ruissellement moyenne annuelle pour la période considérée de 58.56 mm soit 12,95% des précipitations.

Ø *STATION DE BOUZINA* : un ruissellement R =13,47 mm, soit 4,52% des précipitations.

Ø *STATION DE MENAA* : un ruissellement R =6,38 mm, soit 2,58% des précipitations

Ces valeurs sont données à titre indicatif dans la mesure où la nature du terrain qui n'est pas prise en compte est un facteur important pour l'estimation du ruissellement.

3-7- BILAN HYDROLOGIQUE GLOBALE :

La formule générale du bilan d'eau donne l'égalité des apports et des pertes évalués sur des grandes périodes.

$$P = ETR + R + I + (\Delta Q)$$

Avec R : ruissellement de surface (mm) ;

P : hauteur des précipitations (mm) ;

ETR : évapotranspiration réelle (mm) ;

I : infiltration (mm) donc : I = P - (R + ETR) ;

ΔQ : variation des réserves suite aux prélèvements par pompes

Les différentes composantes du bilan hydrologique ont été calculées séparément par zone d'influence de chaque station climatique, car chaque zone correspond une ETR donnée (obtenues à travers le bilan hydrique de Thornthwaite).

Tableau N°17 : Les Différentes Composantes Du Bilan Hydrologique Aux Station de S'gag, Bouzina et Menâa

<i>Stations</i>	<i>Zone d'influence</i> 10^6 m^2	<i>Precipitations</i>		<i>ETR</i>		<i>Excédent</i>	
		mm/an	$10^6 \text{ m}^3/\text{an}$	mm/an	$10^6 \text{ m}^3/\text{an}$	mm/an	$10^6 \text{ m}^3/\text{an}$
S'gag	65	452	29.38	298.33	19.37	153.65	10.01
Bouzina	65	298	19.37	280.46	18.22	17.64	01.15
Menâa	65	246.5	16.02	236.97	15.40	9.65	0.62
Totaux	195	/	64.77	/	53.2	/	11.78

L'excédent se subdivise entre ruissellement et infiltration comme suit :

Tableau N° 18 : Les Différentes Composantes De l'excédent

<i>Stations</i>	<i>Excédent</i>			
	<i>Ruissellement</i>		<i>Infiltration</i>	
	mm/an	$10^6 \text{ m}^3/\text{an}$	mm/an	$10^6 \text{ m}^3/\text{an}$
S'gag	58.56	3.80	95.44	6.20
Bouzina	13.47	0.87	41.07	0.26
Menâa	6.38	0.41	3.16	0.205
Totaux	/	5.08	/	6.66

Le volume infiltré comporte celui des sources lorsque le niveau de trop plain est atteint ainsi que les volumes prélevés par pompages.

Tableau N° 19 : Les Différentes Composantes De l'infiltration

<i>Infiltration</i>				
<i>Débits des sources</i>	<i>Prélèvement</i>			
	<i>forage</i>	<i>Débit l/s</i>	<i>Temps pomg moyen (h/j)</i>	<i>débit</i> 10 ⁶ m ³ /an
<i>Vieux Bouzina 100 l/s= 3.15 10⁶ m³/an</i> <i>Tasserift 60 l/s= 1.89 10⁶ m³/an</i> <i>Autres source 8l/s= 0.2510⁶ m³/an</i>	<i>f. Nardi</i>	<i>07</i>	<i>11</i>	<i>0.101</i>
	<i>f. Mezline</i>	<i>30</i>	<i>3</i>	<i>0.118</i>
	<i>f. Tidjdad</i>	<i>50</i>	<i>14</i>	<i>0.919</i>
	<i>f. Tagoust</i>	<i>10</i>	<i>24</i>	<i>0.315</i>
<i>5.04 10⁶ m³/an</i>	<i>1.453 10⁶ m³/an</i>			

Le volume global écoulé à l'exutoire d'un bassin est donc la somme du volume ruisselle (calculé par TIXERONT- BERKALOFF) et le volume des sources (source de Tasserift), il est égal à 6.97 10⁶ m³/an.

On constate que le volume écoulé des sources et celui des prélèvements équivalent pratiquement le volume infiltré moyen annuel; c'est à dire que seules les réserves renouvelables sont exploitées (sources plus pompages).

Parfois quand les débit d'exploitation des forages, notamment privés, dépassent un certain seuil, les débits de sources enregistrent une baisse et créent ainsi des tensions entre population et exploitants.

4- CONCLUSION :

Au terme de ce chapitre nous pouvons dire que

- La vallée de Bouzina correspond à un sous bassin versant allongé, limité par des reliefs assez forts, d'une superficie de 194km²
- Les altitudes décroissantes de l'amont vers l'aval avec un dénivelé de 1341m.
- La densité de drainage $Dd = 2.83 \text{ km}^2/\text{km}^2$, caractérise un réseau hydrographique très peu développé, en raison notamment de la nature des formations à l'affleurement (carbonatées, marno-calcaires)
- le climat de la région d'étude est connu par son irrégularité. Les conditions climatiques varient d'une année à l'autre et d'une saison à l'autre. Elle présente en général deux régimes climatiques : climat sub-humide à hivers froids (station S'gag) et climat semi aride à hivers frais (station de Bouzina et Menâa).
- Les valeurs des précipitations moyennes annuelles pour les stations : S'gag, Bouzina et Menâa sont respectivement 452mm, 398mm et 246mm,
- Avec des températures moyennes annuelles de 12.22°C, 14.17°C et 15.99°C.
- les valeurs de l'évapotranspiration réelle moyenne pour les trois stations S'gag, Bouzina et Menâa sont respectivement de l'ordre de 298.33mm soit 66% des précipitations 452mm soit 95% des précipitations et de 236.96mm soit 97 % des précipitations moyennes annuelles (selon Thornthwaite).
- le déficit agricole est de l'ordre de 426.77mm pour la station de S'gag réparti du mois du Mai jusqu'à Octobre, pour la station de Bouzina il est de 528.79mm enregistré à partir du Mai jusqu'au Septembre, alors que pour la station de Menâa il est de 646.71mm réparti du mois du Mai jusqu'à Octobre.
- l'infiltration et le ruissellement calculé pour les stations: S'gag, Bouzina et Menâa représentant respectivement 33.84 %, 5.88 % et 5.15 % des précipitations. Les infiltrations sont de l'ordre $6.20 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ à la station de S'gag, de $0.26 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ à la station de Bouzina et de $0.205 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ à la station de Menâa.

CHAPITRE IV

HYDROGEOLOGIE

1- INTRODUCTION :

Le bassin versant Oued Bouzina peut s'avérer important du point de vue hydrogéologique et receler ainsi des potentialités aquifères notables.

La région est fortement accidentée, avec un style tectonique typique de l'Atlas Saharien, donnant naissance à des structures synclinales large à fond plat séparées par des anticlinaux étroits à flancs très redressés, allongés et rarement symétriques.

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.

Les roches carbonatées karstifiées sont fortement perméables, et sont le signe idéal pour l'infiltration des eaux météoriques (de l'ordre de 15-20 % des précipitations), permettent ainsi une recharge importante des nappes d'eaux souterraines, les volumes d'eau ainsi infiltrés sont à l'abri de l'évapotranspiration.

2- DESCRIPTION DES AQUIFERES POTENTIELS :

L'analyse de la colonne lithostratigraphique régionale et l'étude des coupes géoélectriques a permis de mettre en évidence les formations hydrogéologiques suivantes :

- § la nappe phréatique du Quaternaire ;
- § La nappe phréatique du Miocène continentale;
- § La nappe du Lutétien (l'Eocène moyenne);
- § La nappe de Landénien (Paléocène);
- § La nappe du Maestrichtien.

2-1- LA NAPPE PHREATIQUE DU QUATERNAIRE :

Ce sont des nappes d'accompagnement localisées dans de petits aquifères constitués par les dépôts du Quaternaire. On les retrouve le long des oueds Bouzina, Nardi et Tagoust, de réserve très limitées et ne sont généralement exploitées que par des puits peu profonds destinés essentiellement à l'usage agricole.

2-2- LA NAPPE PHREATIQUE DU MIOCENE CONTINENTALE :

La nappe phréatique du Miocène continental de la plaine de Nerdi est peu connue, elle n'est que très peu étendue et de petite importance.

2-3- LA NAPPE DE LUTETIEN (EOCENE MOYENNE) :

Elle se localise dans les niveaux calcaro- marneux .

Dans le plateau de Nerdi, l'épaisseur de la formation du Lutétien est de 200m au centre, et va en diminuant jusqu'à disparition totale à la périphérie.

Elle est très développée au Sud Ouest de la ville de Bouzina vers Tagoust où l'aquifère présente au centre de la vallée une épaisseur entre 200-300 m. Cette nappe est exploitée dans cette zone par le forage ALI -OUYAHA (Fig39, colonne lithostratigraphique)

L'aquifère est caractérisé par une eau très chargée.

Dans le plateau de Nerdi, 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 esquisse géologique au 1/200 000 .

2-4- LA NAPPE DU LANDENIEN (PALÉOCÈNE) :

Elle se localise dans les formations carbonatées.

Cette nappe est localisée dans l'ensemble de la vallée de Bouzina et se présente sous la 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 Mazline et Tagoust et Tidjdad (Fig38.40 : colonnes lithostratigraphiques).

2-4- LA NAPPE DU MAESTRICHTIEN :

La nappe du Maestrichtien est considérée la plus importante par son extension au niveau du synclinal de Bouzina, elle est constituée par une puissante couche de calcaire très fissurés et parfois karstiques d'épaisseur d'ordre de 360 m.

L'aquifère du Maestrichtien, renferme une nappe artésienne, ces potentialités hydriques ne sont pas connues dans la région de Bouzina du fait qu'aucun forage n'est implanté dans cette formation.

Cependant, au niveau de la daïra de Menâa, cette nappe a donnée naissance à la source de Tasserift sur le flanc sud-est du synclinal de Bouzina.

Sondage de NERDI

X = 817,900

Y = 229,200

Z = 1420m

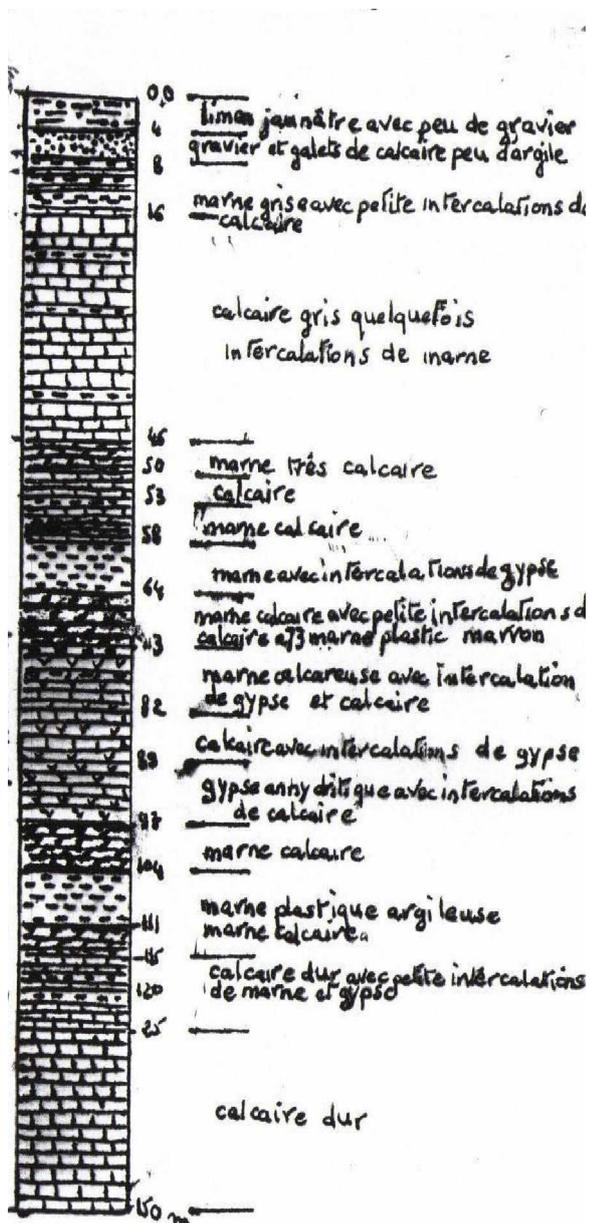


Figure 37 : Log lithologique Du Sondage de NERDI (DHW)

Sondage de TIDJDAD

X = 812,900

Y = 224,950

Z = 1330

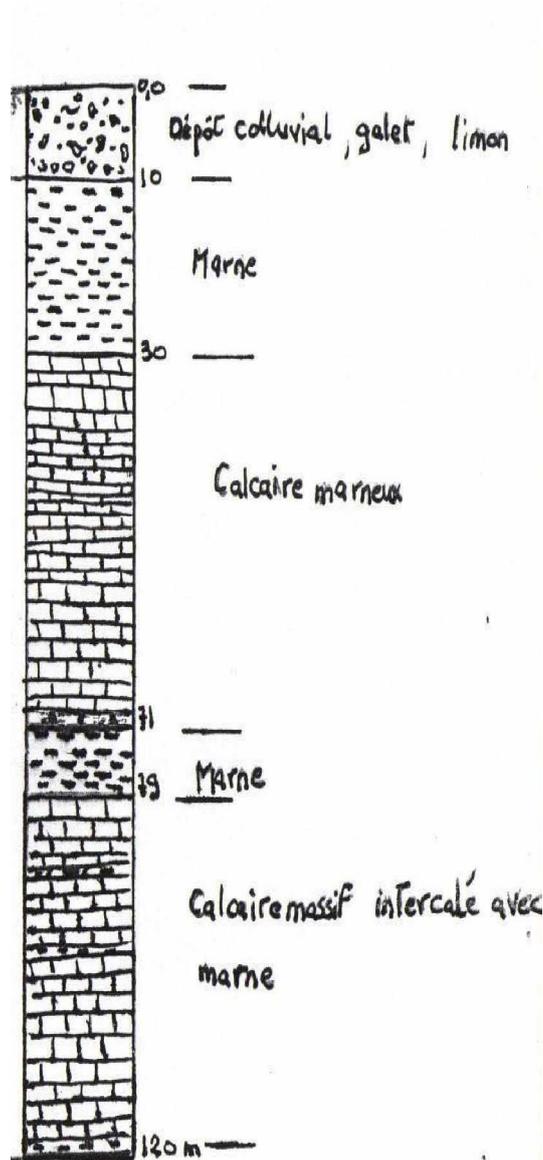


Figure 38 : Log lithologique Du Sondage de TIDJDAD (DHW)

Sondage ALI OUYAHA

X=807,050

Y=222,400

Z=1140m

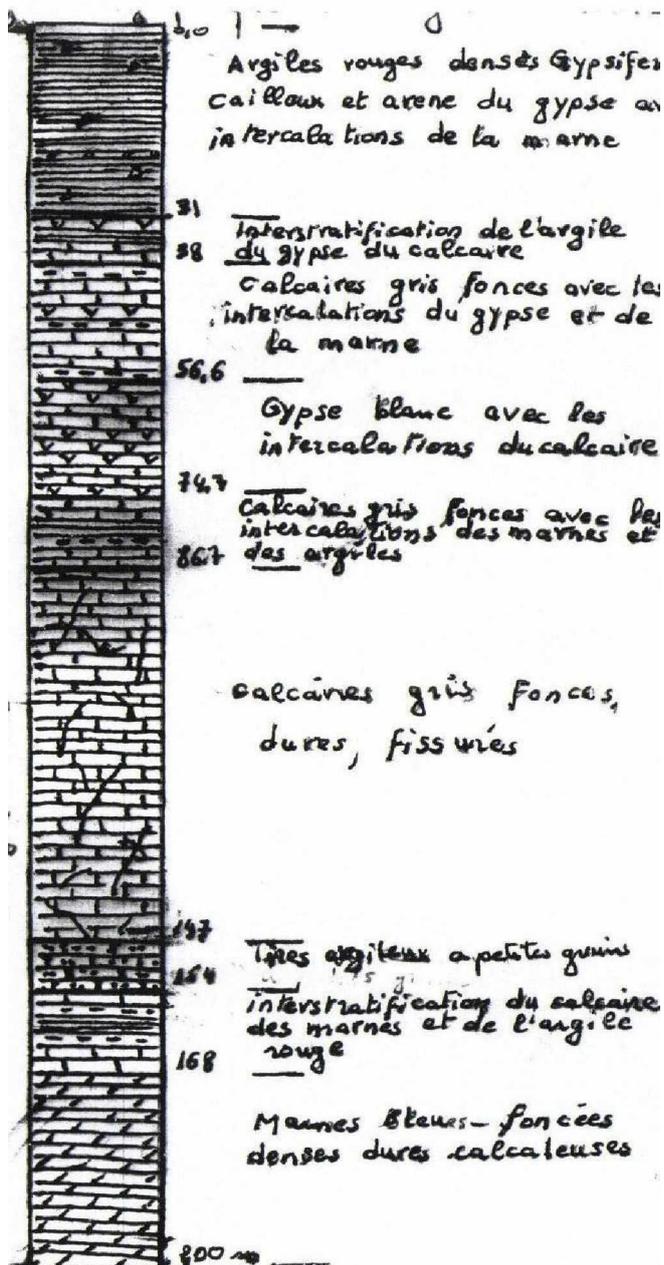


Figure 39 : Log lithologique Du
Sondage de ALI_OUYAHA

Sondage TAGOUST

X= 804.450

Y=220.250

Z=1110m

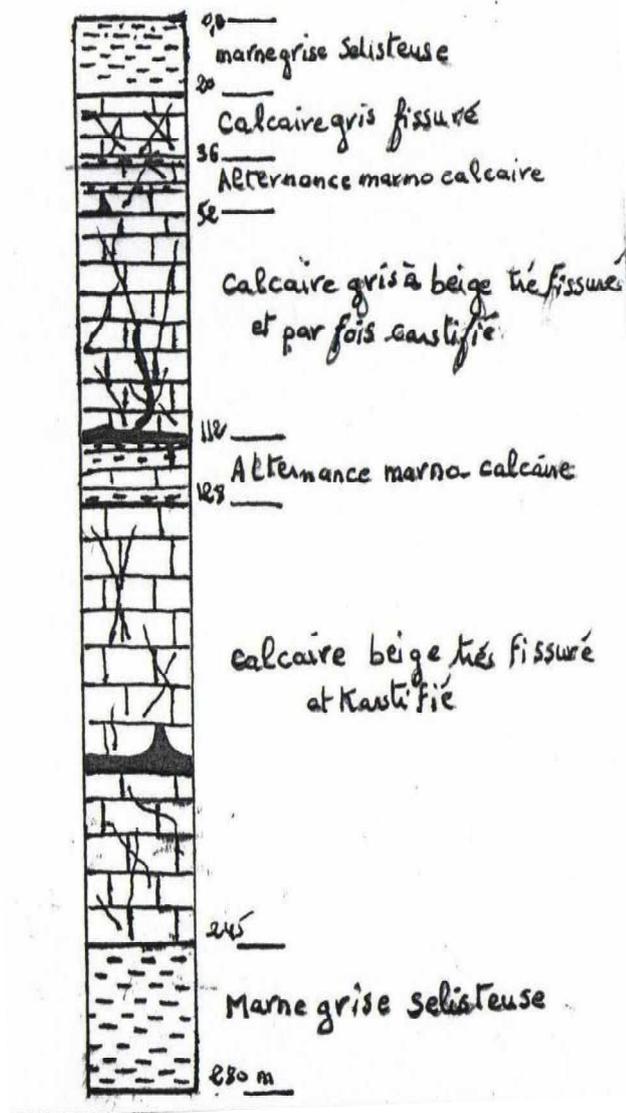


Figure 40 : Log lithologique Du
Sondage de TAGOUST
(DHW)

(DHW)

2-5- LES AUTRES NAPPES

LA NAPPE DU TURONIEN :

Constituée dans des calcaires localisés sur la rive droite de l'Oued Abdi, la nappe du Turonien , se présente sous la forme d'une nappe captive (libre aux bordures) où prennent naissance les principales sources de la région. Au niveau de synclinal de Bouzina elle est captive.

LA NAPPE DE L'ALBO-APTIEN :

Localisé dans les niveaux calcaires gréseux de l'Aptien et Albien, elle se comporte comme une nappe captive (libre aux bordures) et est exploitée par des forages sur la rive gauche de l'oued Abdi entre Ait Azouz et Chir. Cette nappe est captive dans le synclinal de Bouzina.

LA NAPPE DU NEOCOMIEN :

Cette nappe est localisée dans les grés de l'Hauterivien et est essentiellement exploitée dans la localité de Nara dans la vallée de l'Oued Abdi.

3- STRUCTURE ET GEOMETRIE DES RESERVOIRS :

Les aquifères sont des systèmes hydrodynamiques caractérisés par leur configuration, leur structure et leur comportement hydrodynamique (Fig41)

3-1- AQUIFERE DE LUTETIEN (EOCENE MOYENNE) :

Dans la cuvette de Nerdí, l'aquifère du Lutétien présente une épaisseur très réduite sous l'effet de l'érosion post-Eocène.

Les sondages qui ont atteint le mur de cette formation, donnent une épaisseur maximum de 200m au niveau du sondage électrique P3 (coupe transversale T1 fig18), et va en diminuant jusqu'à disparition totale à la périphérie.

Son épaisseur devient de plus en plus importante dans la partie méridionale du bassin à partir de ville de Bouzina pour atteindre 300 m à Tagoust au niveau de sondage électrique M5 (coupe longitudinale L11, fig21).

3-2- AQUIFERE DU LANDENIEN (PALEOCENE) :

Les calcaire du Landénien se présentent dans la vallée de Bouzina sous forme de deux cuvettes allongées selon l'axe synclinal, de direction NE-SW, séparées par le bombement de koudiet El Arar ; ainsi elles sont de :

- 250 à 300 m au centre de la cuvette de Nerdí ;
- 100 m en moyenne vers la périphérie de la cuvette de Nerdí ;
- 150 m à la ville de Bouzina au centre du bassin ;

- plus de 300 m à l'aval du bassin au niveau de l'axe du synclinal.

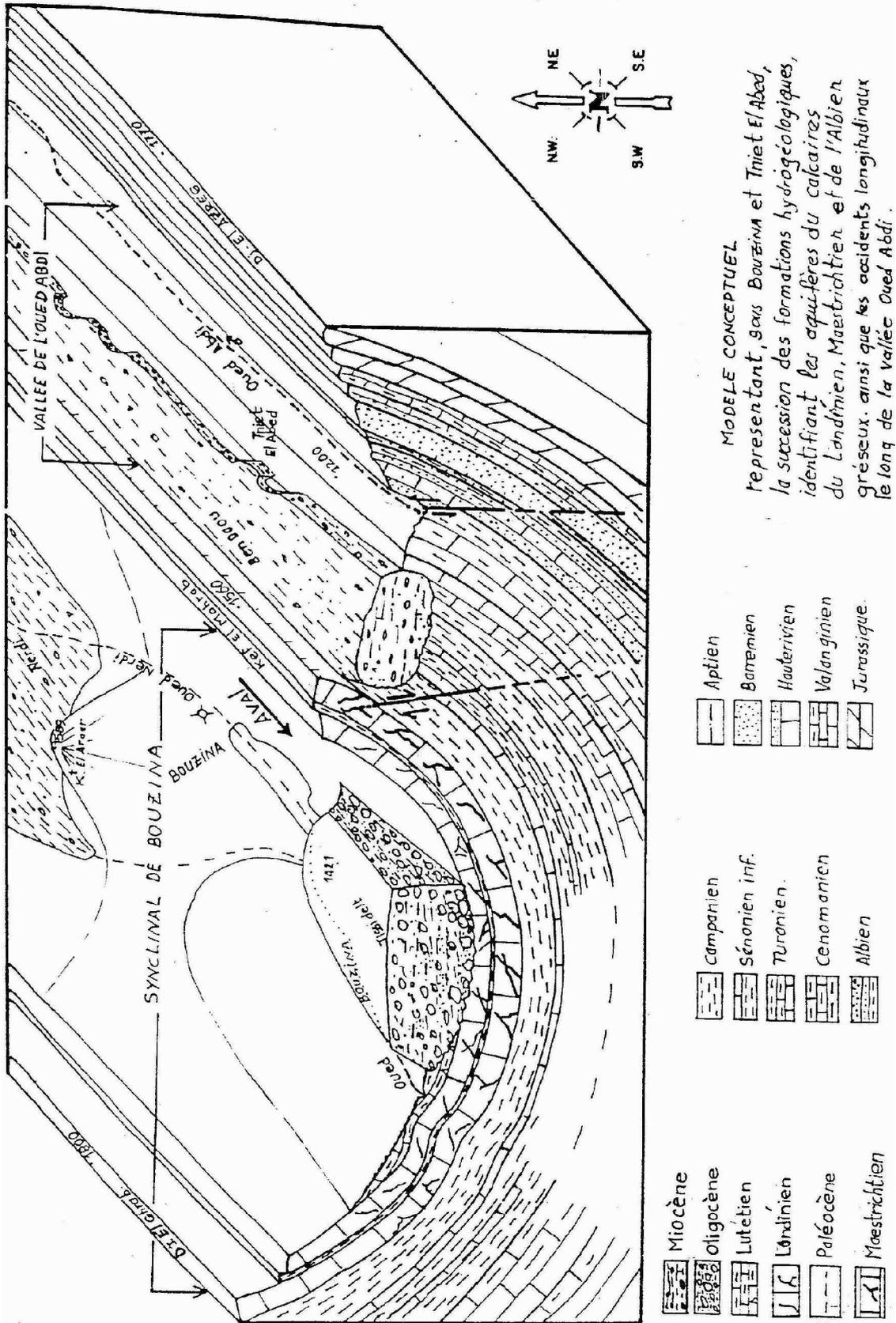


Figure 41 : Bloc Diagramme Schématique Du Synclinal De Bouzina (ABCHICHE, 1999)

Toit du réservoir Landénien :

Il est constitué essentiellement de formations du Lutétien et du Miocène, l'épaisseur de recouvrement est très variable.

La carte en isobathes du Landénien, établie par l'ENAGEO (Fig23), montre l'allure générale du toit des calcaires.

Il est à noter l'existence de quelques fractures locales de faible rejet.

Mur du réservoir Landénien :

Il est difficile à cerner du fait qu'aucun forage hydraulique ne l'ait reconnu.

Il n'a pas été identifié ou peu par la prospection électrique à cause de l'absence de contraste de résistivité avec les formations sous jacentes (Paléocène-Danien très peu épais).

3-3- AQUIFERE MAESTRICHTIEN :

La carte en isobathes des calcaires du Mæstrichtien (Fig24) montre les structures suivantes :

- Ø Une cuvette dans la partie amont du bassin (plaine de Nerdi), allongée suivant un axe synclinal de direction NE-SW.
- Ø Une cuvette dans la zone de Bouzina où elle est divisée en deux par un repli de direction NE-SW qui constitue l'allongement du bombement de Koudiet El Arar. Plus vers le Sud les manifestations du repli se perdent.

Le toit des formations calcaires du Mæstrichtien est reconnu à une profondeur de 50m à la périphérie du bombement. Ce toit devient plus ou moins profond sur l'axe synclinal de direction NE-SW pour atteindre 200 m à Bouzina et 400 m dans la partie centrale.

Le mur du Mæstrichtien : La profondeur d'investigation de 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 (sondage électrique C12-coupe longitudinales L10).

4- ETUDE PEIZOMETRIQUE :***4-1- LA NAPPE DU QUATERNAIRE :***

On a recensé 22 points d'eau dont la majorité sont des puits avec des profondeurs allant de 5 à 12 m destinés à l'agriculture et à l'AEP, ils sont localisés globalement autour de l'Oued de Nerdi. La profondeur de la nappe est comprise entre 1 et 20 m augmentant progressivement plus on allant vers le centre de la plaine.

Les coordonnées des points d'eaux sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau N°19 : Les Coordonnées Des Puits.

N° De puits	X	Y	Profondeur des puits m	Z eau (m) Août 2006	Z eau (m) Avril 2007
1	817260	228720	07	1414,5	1416
2	817400	228860	08	1412,5	1414,5
3	817405	229010	10	1416,9	1419
4	817415	229010	11	1416,9	1418,8
5	817680	229020	10	1421,9	1423,7
6	817780	229140	08	1423,9	1425,1
7	817800	229300	12	1427	1433
8	817795	229350	13	1433,4	1436,5
9	817820	229330	09	1436,8	1437,3
10	817795	229355	08	1430,4	1435
11	817775	229350	15	1434,9	1431
12	817940	229225	21	1434,9	1436,5
13	817940	229210	18	1433,1	1434,8
14	818945	229180	11	1432,9	1433,8
15	817120	228650	12	1414,1	1415,8
16	817140	228670	11	1412	1412,9
17	817115	228750	6	1415	1416
18	817080	228770	8	1413	1415,5
19	817080	228770	8	1416	1416,3
20	817040	228772	12	1417,6	1417,8
21	817140	228557	11	1414,5	1415
22	817120	228557	10	1416	1417

INTERPETATION DE LA PIEZOMETRIE :

Deux cartes ont été établies par la méthode du krigeage, en utilisant le logiciel SULFER7, durant la campagne d'Août 2006 et celle d'Avril 2007.

L'examen des courbes isopièzes montre une surface piézométrique assez régulière présentant dans l'ensemble une morphologie simple. Le tracé des lignes de courant et des axes d'écoulement montre un écoulement convergent vers le centre de la plaine avec un apport important de la direction Nord Est vers le Sud Ouest. Ce dernier n'est pas uniforme; caractère qui se produit par des formes et des espacements variables.

L'examen de l'allure et de l'espacement des courbes isopièzes montrent un gradient hydraulique de l'ordre de 1% dans la partie Nord de la plaine tandis que les parties Sud Est et Nord Ouest ont un gradient plus faible qui est de l'ordre de 0.5%.

Entre les deux campagnes on note une baisse de niveau saisonnière peu prononcée (1à 3 m).

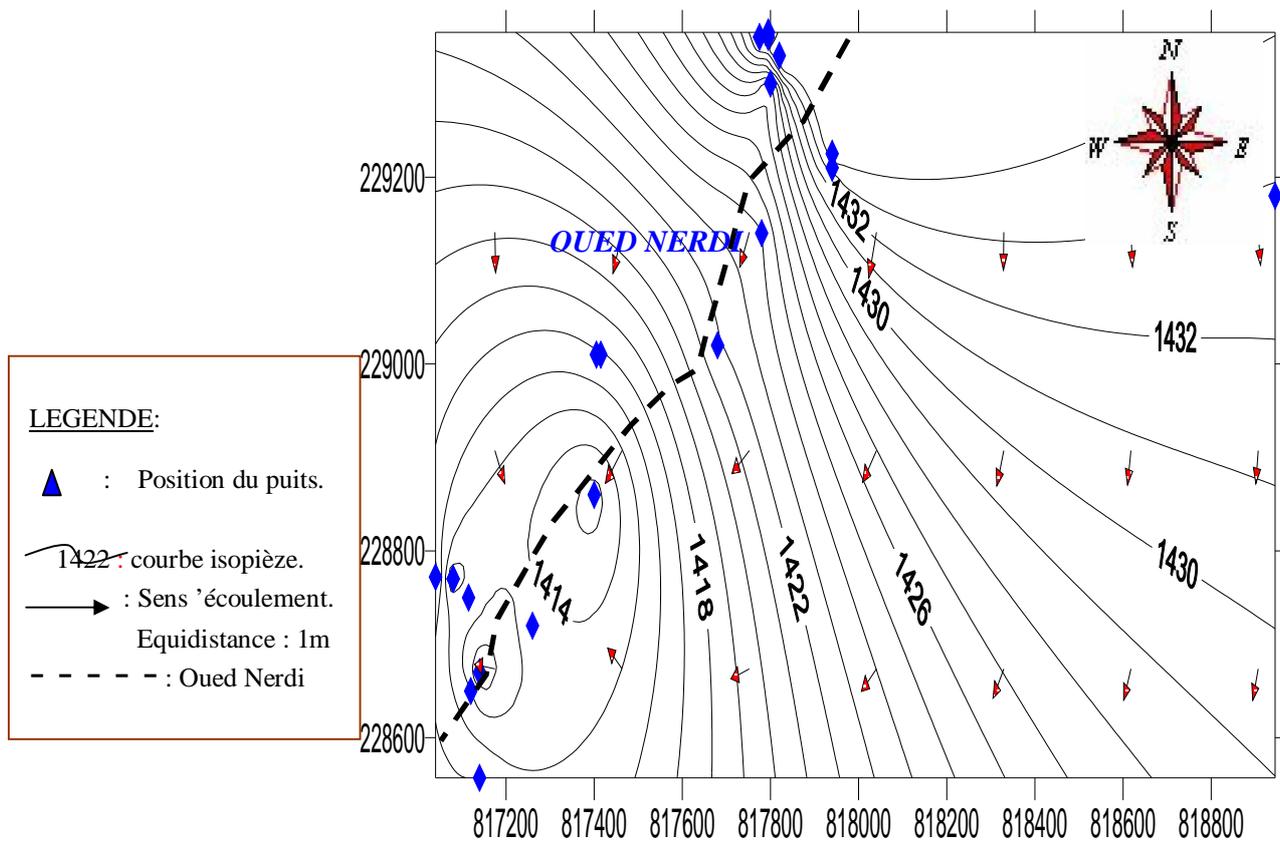


Figure 43 : Carte Piézométrique De La Nappe Quaternaire De Nerdi Campagne d' Août 2006

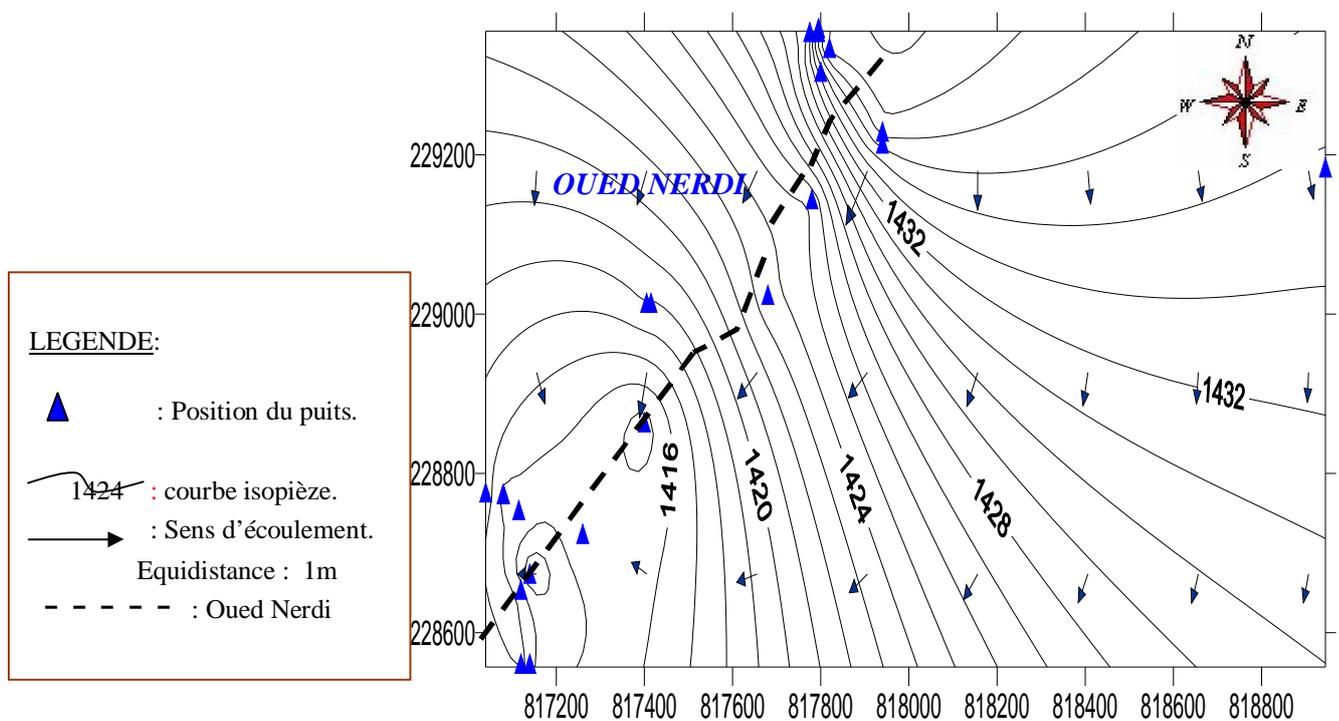


Figure42 : Carte Piezométrique De La Nappe Quaternaire De Nerdi Campagne d' Avril 2007

2- L'AQUIFERE EOCENE_MAESTRICHIEN :

2-1- NOTION D'UN SYSTEME KARSTIQUE :

Il est défini par Mangin (1974) comme: *l'ensemble au niveau duquel les écoulements de type karstique s'organisent pour constituer une unité de drainage*. Le système karstique correspond donc au bassin hydrogéologique d'alimentation d'une source karstique ou d'un groupe de sources karstiques liées les unes aux autres.

Le système karstique peut être constitué uniquement de formations carbonatées karstifiées : il s'agit alors d'un système karstique *unaire*. Lorsque le système karstique comprend aussi des formations non karstiques, soumises à des écoulements de surface drainés par des pertes, il est dit *binaire* (Mangin, 1978).

Lorsqu'une rivière traverse des terrains calcaires et subit à leur contact des pertes partielles aboutissant à une résurgence, le système karstique, défini à partir de cette dernière, ne comprend pas le bassin versant de la rivière en amont des pertes ; Ces pertes sont considérées comme des entrées dans le système.

Contrairement à tous les aquifères, poreux et fissurés, l'aquifère karstique est soumis à une évolution morphologique, du fait de la dissolution de la roche et l'évacuation des matières dissoutes par écoulement souterrains. Cette évolution modifie considérablement ses caractéristiques hydrodynamiques initiales (Mangin, 1975 ; Bakalowiez, 1979)

Un système karstique fonctionne au niveau de deux zones :

- _ *la première zone d'infiltration* directe des eaux à travers des terrains fissurés.
- _ *La deuxième zone*, elle contient des drains dans lesquels se fait la circulation des eaux qui sortent par un ou plusieurs exutoires.

2-2- INVENTAIRE DES POINTS D'EAUX :

2-2-1- LES SOURCES :

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

2-2-1-1- LES SOURCES DE TABGHA :

Situées au village du vieux Bouzina au Sud Ouest de koudiet El Arar, ce sont les plus importantes sources de la région et elles sont presque toutes groupées en un seul endroit.

Elles sont considérées comme l'exutoire principal du système aquifère du Mæstrichtien qui est séparée du Landénien calcaires-marneux par le Paléocène et le Danien formé de dépôts de phosphates, marnes et calcaires granuleux peu épais.

L'alimentation des sources du vieux Bouzina par l'aquifère du Landénien uniquement ne parait pas plausible ; les zones d'infiltration du Landénien ne sont pas suffisamment grandes pour permettre l'alimentation de sources aussi importantes.

Les Conditions D'Emergences Des Sources :

Les raisons qui permettent la remontée de l'eau artésienne à l'endroit des sources actuelles peuvent être les suivantes :

- Ø L'existence d'une zone à altitude basse : l'incision de la vallée de l'oued Bouzina
- Ø La profondeur faible du toit du Maestrichtien dans la région du vieux Bouzina (200m) causée par la présence du repli anticlinal.
- Ø L'existence de failles et de flexures dans cette zone qui ont permis une première remontée de l'eau captive (fig 44).
- Ø La minéralisation faible de l'eau qui remonte (250 mg/l environ) conduit à la dissolution des calcaires et l'élargissement des chemins de remontée entre l'aquifère et la surface du terrain (Vieux Bouzina).

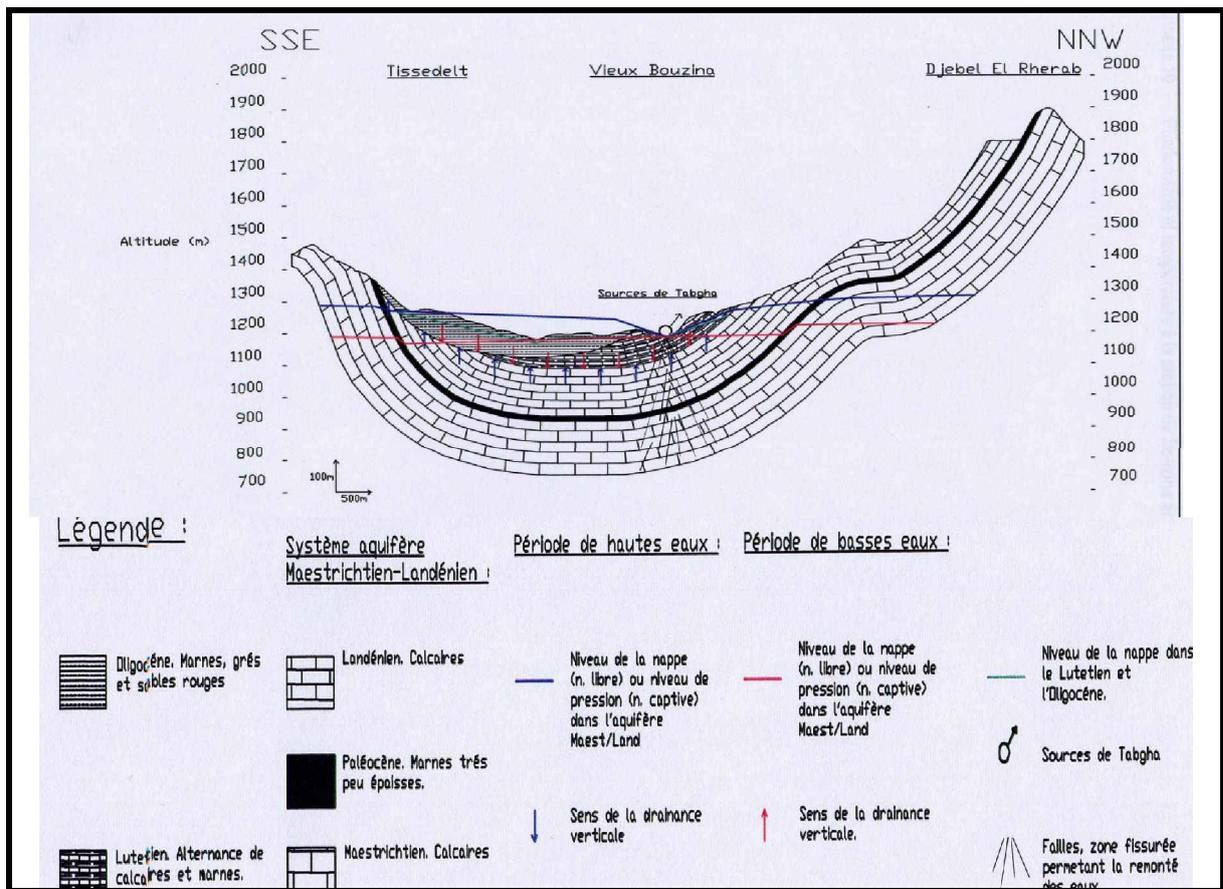


Figure 44 : Schéma De Fonctionnement Des Sources De Tabgha (ABCHICHE.1999).

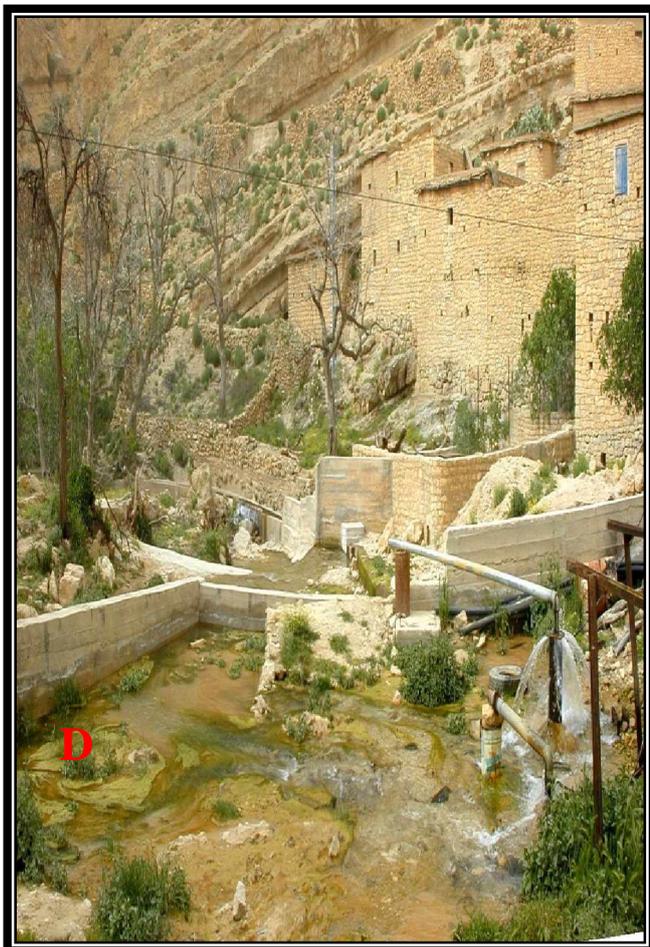
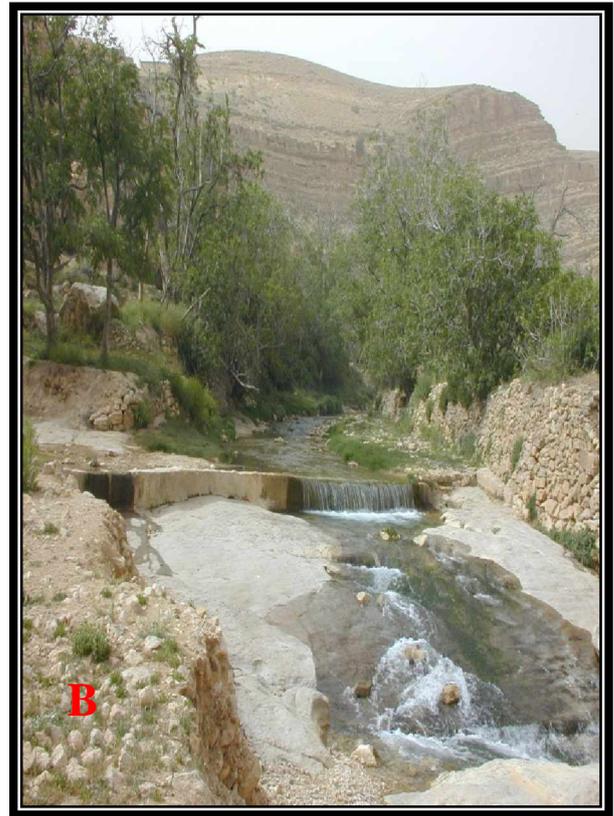
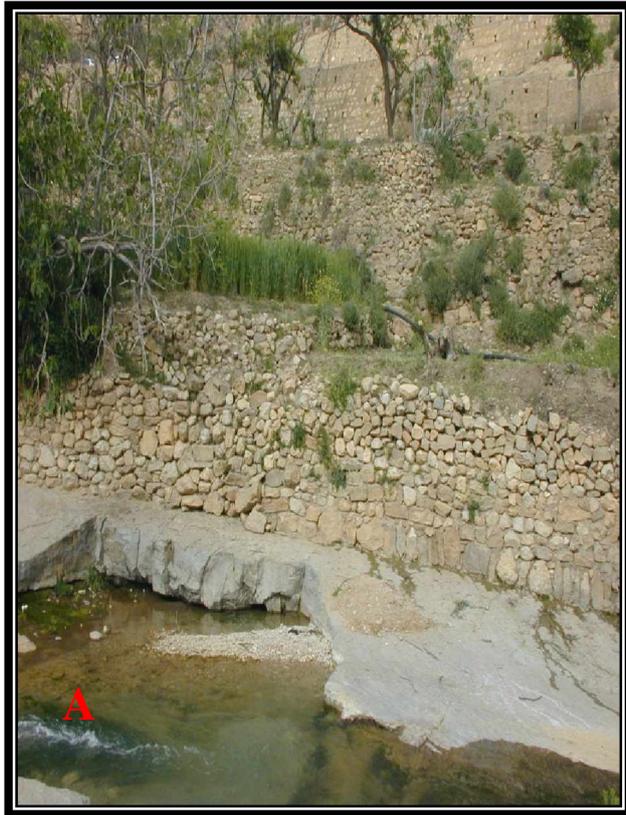


Figure 45 A, B, C et D : Photos Sources De Vieux Bouzina

« Le débit de la source n'est pas connu avec exactitude. D'ailleurs, son régime étant très variable mensuellement et inter-annuellement, l'obtention d'une valeur fiable exigerait des mesures hydrométriques répétées et étalées sur de nombreuses années. Les témoignages concordants des riverains tendent à accréditer le régime suivant : le régime d'étiage constant pendant 8 mois de l'année d'un débit estimé à l'été 1996 à $Q_E=100$ l/s, laisse place pendant la période Février à Mai, à un régime d'hiver conséquent aux pluies et neiges, avec un débit d'hiver nettement supérieur, très approximativement estimé à $Q_H = 2$ m³/s, sur la base des témoignages et des observations des niveaux limniques au niveau du pont du « vieux Bouzina », situé immédiatement à l'aval de la source. Un troisième régime, aléatoire celui-ci, observé une année sur trois ou quatre, se caractérise par un débit très fort, estimé à $Q_{max} = 20$ m³/s, et qui dure près de trois mois. » ENHYD.1997

2-2-1-2- LES SOURCES DE NERDI ET AUTRES SOURCES :

Ø Eparpillés sur le plateau de Nerdi, elles sont de moindre importance :

Les sources de Ain Zina : sont alimentées par un canal sous terrain (karst) de quelque dizaine de mètres de longueur.

La source de Ain Louci : comporte deux griffons sont apparemment localisés sur des fractures verticales qui ont permis par leur perméabilité plus élevée la formation par dissolution des cavités karstiques actuellement observable

En été la source Ain Louci tarit souvent, tandis que la source Ain Zina, localisée environ 2m plus bas, ne tarit jamais complètement. le débit était estimé début Avril à 15l/s environ, en Septembre (en fin d'été), le débit de la source Ain Zina était de 3,2 l/s.

Ø Les autres sources sont de moindre importance, situées à l'aval de Bouzina.

2-2-1-3- LA SOURCE DE TASSERIFT :

A l'exutoire du bassin versant de Bouzina, l'oued traverse des gorges formées par des barres presque verticales de calcaires Maëstrichtiens. Des calcaires émergents des sources cachées par le petit plan d'eau mouillant les parties basses des parois rocheuses des gorges.

Ce sont les sources de Tasserift qui constituent un deuxième exutoire de l'aquifère Maëstrichtien du synclinal de Bouzina. Elles se situent à une altitude de 950 m et se trouve donc 340 m plus bas que les sources de Tabgha.

L'inventaire des sources présenté par ABCHICHE, fait référence à ce groupe de sources et l'indique comme un des exutoires principaux de l'aquifère du Maëstrichtien. Le débit mentionné par ABCHICHE est de 60 l/s

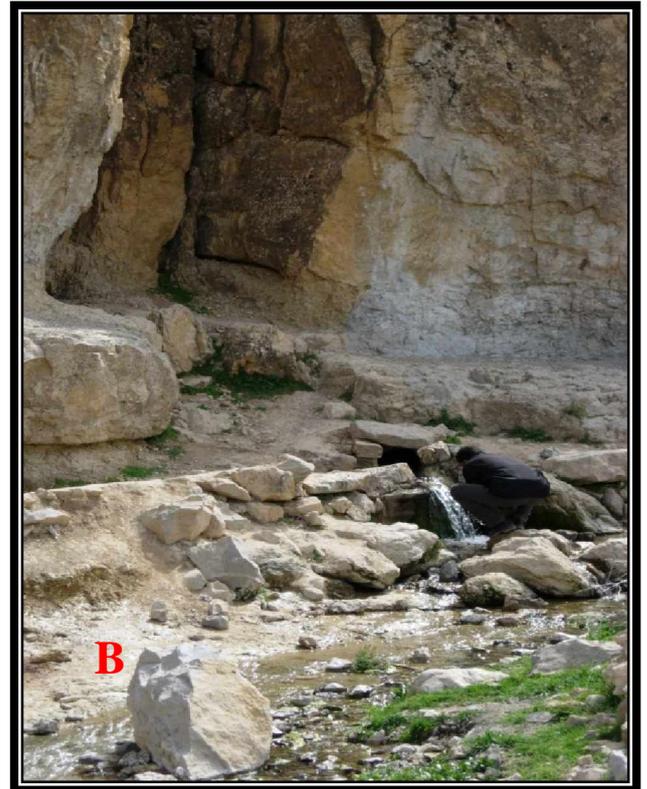


Figure 46 A, B: Les Sources De Nerdi (les deux Griffon de source de Ain Louci)

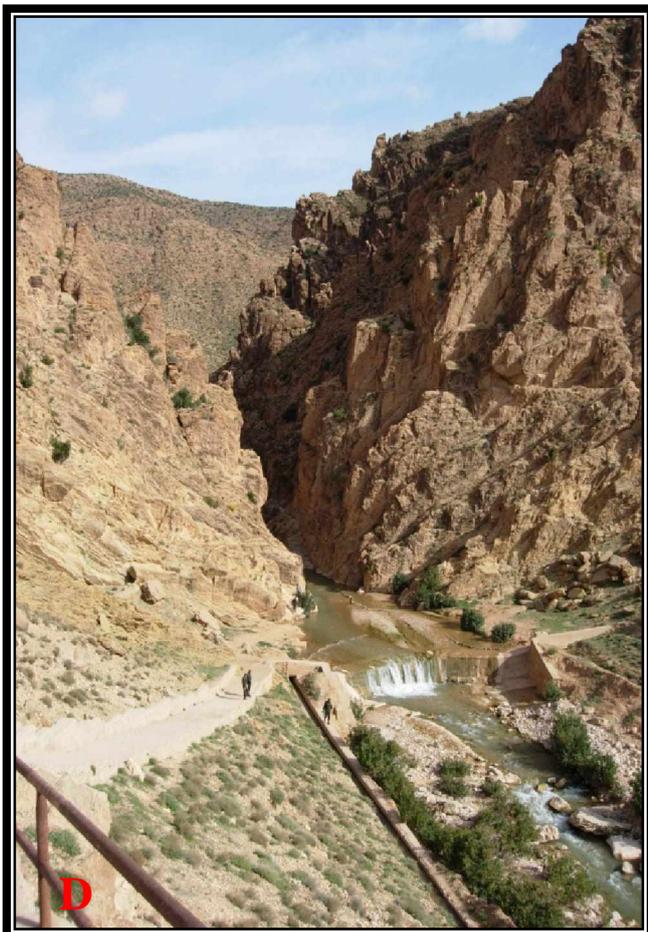


Figure 47 C, D : source de Tasserift_ gorge de Menâa

Tableau N°20 : Position des sources dans la vallée de Bouzina (carte de Ain Touta 1/50000).

N°	Nom	Localité	Coordonnées Lambert		Z m
			X	Y	
1	Ain Zina	Nerdi	816 243	226 911	1 389
2	Ain Louci	Nerdi	816 097	226 583	1 392
3	Aguerzize	Tagoust	804 750	219 250	1 150
4	Ath El Hadj Ali	Vieux Bouzina	810 625	225 511	1 215
5	Iguribene	Ali Ouyaha	806 750	221 700	1 150
6	Tabgha	Vieux Bouzina	810 750	225 750	1 290
7	Source du seuil	Vieux Bouzina	810 609	225 876	1 280
8	El Ouaste	Nerdi	818 150	228 950	1 440
9	Anouandi	Nerdi	817 100	228 750	1 420
10	Khebraz	Vieux Bouzina	809 650	224 850	1 300
11	Boukerkour	Ali Ouyaha	806 900	221 000	1 340
12	Tamridjt	Tagoust	805 300	220 900	1 100
13	Tiza	Tagoust	801 800	218 400	1 120
14	Oum Rekha	Ali Ouyaha	808 000	221 900	1 260

2-2-1-LES FORAGES:

Plusieurs forages de profondeur moyenne (une centaine de mètres) et d'autres plus profonds (100_300m) ont été réalisés dans la région de Bouzina ; les données les concernant sont récapitulés dans le tableau suivants :

Tableau N°21 : Position des forages dans la vallée de Bouzina (carte de Ain Touta 1/50000).

Nbre F	Nom	X	Y	Prof de l'ouvrage m	Z eau m	Prof N S m
1	Nerdi (APC)	817900	229200	150	1404	27
2	Tidjdad (APC)	812900	224950	120	1330	Artesien
3	Ali Ouyaha (APC)	807050	222400	200	1110	40
4	Tagoust (APC)	804450	220250	280	1083	32
5	Mazline(APC)	811100	225000	160	1280	Artesien
6	Ben Chadi	808552	224131	120	1173	21
7	Ben Mezmaza	816433	227566	100	1401	35
8	Anfif	810499	225799	200	1300	47
9	Ali Ouyaha(AA)	807049	222399	200	1140	30
10	Adouani	809966	223603	/	1167	27
11	M'kentchi Ali	811512	224239	150	1191,5	1,5
12	Nerdi 1(GCA)	819315	228867	300	1524	23
13	Nerdi 2 (GCA)	817910	231451	300	1518	12

2-3- INTERPRETATION DE LA PIEZOMETRIE :

Pour avoir une idée sur l'écoulement souterrain et sa relation avec son environnement nous avons dressée 03 cartes piézométriques : piézométrie des sources seules, piézométrie des forages seules et enfin des sources et forages ensemble. (Figure 48A, B, C)

La majorité des points d'eaux sont implantées au fond de vallée, L'examen des lignes de courants montre que l'écoulement se dirige généralement du Nord-Est vers le Sud-Ouest.

La piézométrie des sources se concorde avec celle des forages au niveau de la plaine de Nerdi, où elle montre cependant certains axes qui se dirigent vers le centre de la plaine, mais le sens général de l'écoulement est toujours orienté NE-SW.

Pour les forages dans la partie centrale de la vallée, les courbes de niveau deviennent plus resserrées (près de Vieux Bouzina).

De manière générale les grands traits se ressemblent : même sens d'écoulement, sensiblement les mêmes charges, à part quelques points particulières ; ce qui est normal pour un système karstique sans exclure également des erreurs de mesure de niveau piézométrique, d'altitude tête ouvrage.

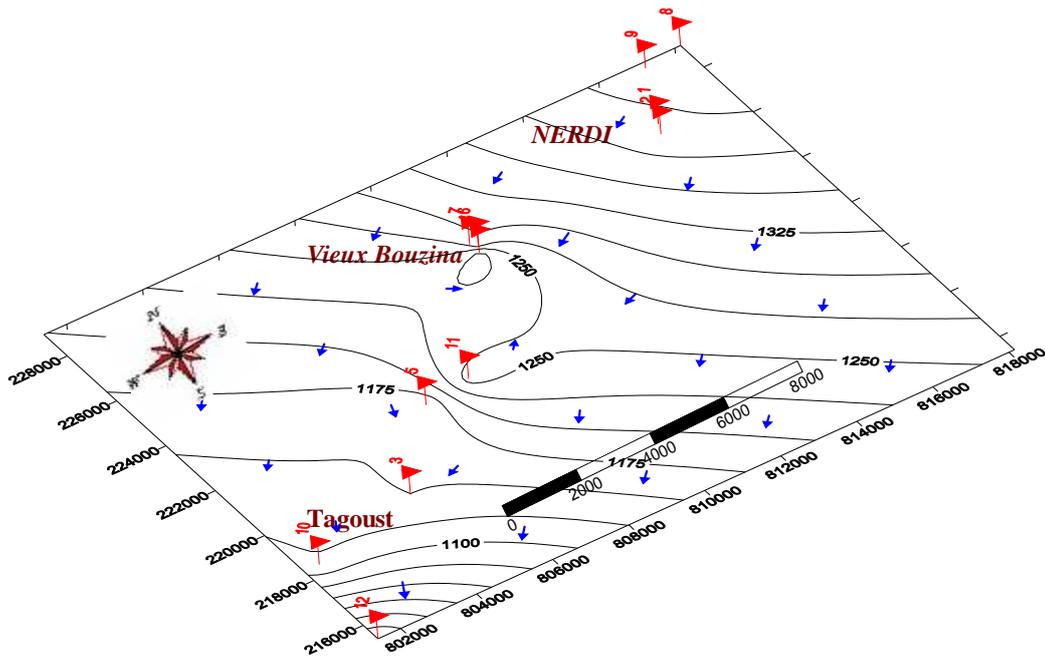


Figure 48A: Carte Piézométrique De La Nappe De L'Eocène_Maastrichtien campagne 2006 (Sources)

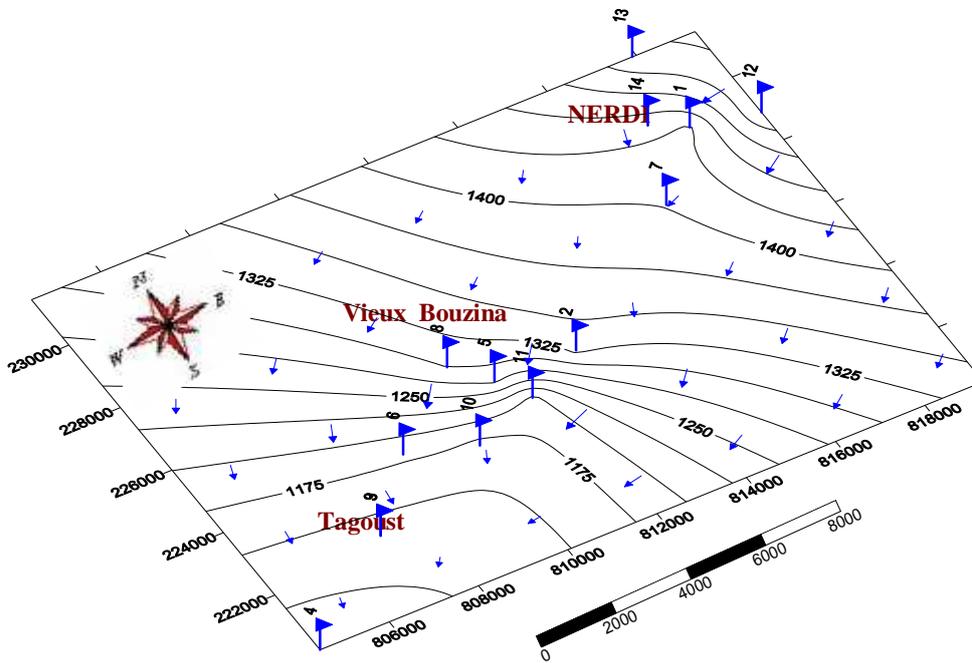


Figure 48 B: Carte Piézométrique De La Nappe De l'Eocène_Maastrichtien Campagne 2006 (Forages).

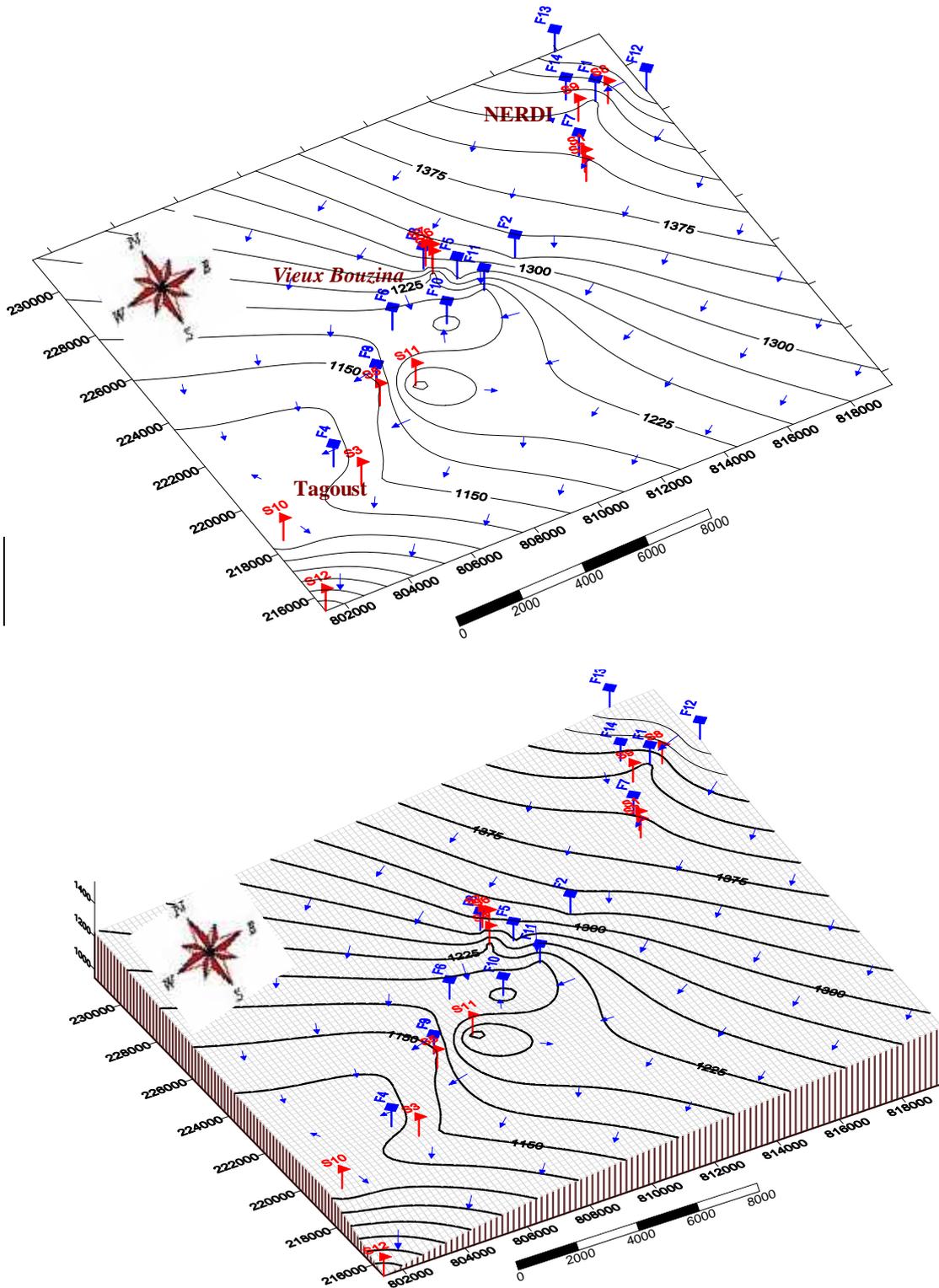


Figure 48 C: Carte Piézométrique de la Nappe Eocène _Maestrichtien campagne 2006 SOURCES et FORAGES.

5-LES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUE DE L'AQUIFERE :

5-1- LES METHODES D'EXPERIMENTATION ET D'INTERPRETATION DES POMPAGES D'ESSAIS :

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* », car avant tout c'est la nappe que l'on teste plutôt que la pompe ou le puit. Un essai convenablement programmé et exécuté avec soin doit fournir des informations capitales pour résoudre bon nombre de problèmes régionaux ou locaux de l'écoulement souterrain.

Mais on peut aussi exécuter un pompage d'essai pour obtenir des renseignements sur les caractéristiques du puits. On peut alors déterminer le débit spécifique du puit égal au rapport du débit sur le rabattement, pour choisir le type de pompe et estimer le coût de pompage. Le débit spécifique est une façon de mesurer la productivité du puits. Dans ce cas on baptise l'essai « *ESSAI DE PUIT* » puisque l'on teste davantage le puits que la nappe.

5-2-INTERPRETATION:

L'interprétation des pompages d'essai repose sur des méthodes graphiques d'approximation, ces méthodes sont toutes basées sur les hypothèses suivantes :

- Ø Le débit est supposé constant pendant toute la durée de pompage.
- Ø La surface de la nappe est supposée horizontale.
- Ø Le puits ou forage capturent la nappe sur la totalité de son épaisseur.
- Ø L'écoulement est supposé laminaire.
- Ø L'aquifère est d'extension illimité.

La nappe en présence s'agissant d'un système karstique, les vitesses d'écoulement pouvant ne pas être laminaire par endroit et que ces résultats sont à titre indicatif notamment s'il y a peu d'essais et sans piézomètres.

L'exécution et l'interprétation des données brutes (rabattements et temps), reposent sur l'emploi des expressions d'hydrodynamiques en régime transitoire, établies par Theis (1935) et ses successeurs Wenzl (1942) et Jacob (1950), on l'a choisi car les conditions qu'elle exige sont plus ou moins réunies.

De plus s'agissant d'un système karstique, les vitesses d'écoulement peuvent ne pas être laminaires par endroit et que les résultats sont à titre indicatifs notamment car il y a peu d'essais et sans piézomètres.

En 1935 Theis établit les expressions de l'écoulement de l'eau souterraine vers les ouvrages de captage, dites en régime transitoire où le temps de pompage est court, l'expression générale ainsi établie est la suivante :

$$\Delta = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du, \quad \text{ou} \quad \Delta = \frac{Q}{4\pi T} [W(u)]$$

Δ : Rabattement observé à l'instant « t » dans le puits d'observation en mètre.

$W(u)$: Est la fonction caractéristique où : $u = \frac{r^2 S}{4Tt}$

T : Transmissivité en m²/s.

S : Coefficient d'emmagasinement (sans dimension).

r : Distance du sondage d'observation à l'axe du puits de pompage en mètre.

Q : Débit de pompage constant dans le puits en m³/s.

t : Durée de pompage (le temps écoulé à un instant donné depuis le début du pompage, en secondes).

Jacob (1905) a établi une nouvelle expression inspirée de celle de Theis. Cette expression dite logarithmique est utilisable lorsque le temps de pompage croît et que r décroît.

$$\Delta = \frac{0,183Q}{4\pi T} \left(\log \frac{4Tt}{r^2 S} - 0,577216 \right) \quad \text{d'où,} \quad \Delta = \frac{Q}{4\pi T} \log \frac{2,25Tt}{r^2 S}$$

Après solution numérique et logarithmiques décimales on aura :

$$\Delta = \frac{0,183Q}{T} \log \frac{2,25Tt}{r^2 S}$$

Pour l'expression de Jacob, les rabattements sont obtenus, à 5 %, pour $t > \frac{10 r^2 S}{4T}$

L'expression de Jacob est la plus utilisée, elle comporte deux parties :

A/ Partie -1- lors de la descente :

✓ **Calcul de la transmissivité** : Soit l'équation de Jacob lors de la descente

$$\Delta = \frac{0,183Q}{T} \log \frac{2,25Tt}{r^2 S}$$

Après développement on obtient l'expression suivante :

$$\Delta = \frac{0,183Q}{T} \log t + \frac{0,183Q}{T} \log \frac{2,25T}{r^2 S}$$

C'est l'équation d'une droite de la forme : $y = a x + b$, avec

$$\left\{ \begin{array}{l} y = \Delta \\ x = \log t \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} a = \frac{0,183Q}{T} \\ b = \frac{0,183Q}{T} \log \frac{2,25T}{r^2 S} \end{array}$$

On reporte sur un papier semi-logarithmique les valeurs mesurées sur le terrain, en abscisses les temps et en ordonnée les rabattements correspondant $[\Delta = f(\log t)]$.

La transmissivité est calculée par la pente de la droite représentative qui est déterminée par l'accroissement des rabattements, au cours d'un module logarithmique, noté a . La transmissivité calculée par l'expression suivante :

$$a = \frac{\delta\Delta}{\delta \log t} \quad \text{Ce qui donne} \quad T = \frac{0,183Q}{a}$$

Ø Calcul du coefficient d'emmagasinement :

Le coefficient d'emmagasinement est obtenu par calcul numérique dans le deuxième terme de l'expression de Jacob. Ou, plus simplement, avec t_0 , lorsqu'il peut être déterminé, par l'expression suivante :

$$S = \frac{2,25Tt_0}{r^2} \quad (\text{Le coefficient d'emmagasinement est sans unité}).$$

B/ Partie -2- lors de la remontée :

On utilisé l'expression suivante :

$$\Delta_r = [0,183 Q / T] \text{Logt} (t/t')$$

Avec :

Δ_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.

C / Cas de plusieurs paliers enchaîné

Palier 01 __ t1 __ Q1

Palier 02 __ t2 __ Q2

Toujours en appliquant l'équation du Thies

$$\Delta = 0,183 \frac{Q_1}{T} \log \frac{2,25Tt_2}{r^2S} - 0,183 \frac{Q_1}{T} \log \frac{2,25T(t_2 - t_A)}{r^2S} + 0,183 \frac{Q_2}{T} \log \frac{2,25T(t_2 - t_A)}{r^2S}$$

On pose $C = \text{coste} = \frac{2,25T}{r^2S}$

$$\Delta = \frac{0,183}{T} \left[Q_1 \log Ct_2 - Q_1 \log C(t_2 - t_A) + Q_2 \log C(t_2 - t_A) \right]$$

$$\Delta = \frac{0,183}{T} \left[\log(Ct_2)^{Q_1} - \log(C(t_2 - t_A))^{Q_1} + \log(C(t_2 - t_A))^{Q_2} \right]$$

$$\Delta = \frac{0,183}{T} \log \left[C^{Q_1} t_2^{Q_1} - C^{Q_1} (t_2 - t_A)^{Q_1} + C^{Q_2} (t_2 - t_A)^{Q_2} \right]$$

$$\Delta = \frac{0,183}{T} \log \left[\frac{C^{Q_1} t_2^{Q_1} C^{Q_2} (t_2 - t_A)^{Q_2}}{C^{Q_1} (t_2 - t_A)^{Q_1}} \right]$$

$$\Delta = \frac{0,183}{T} \log \left[C^{Q_2} t_2^{Q_1} (t_2 - t_A)^{Q_2 - Q_1} \right]$$

$$\Delta = \frac{0,183}{T} Q_2 \log \left[\frac{2.25T}{r^2 S} t_2^{\frac{Q_1}{Q_2}} (t_2 - t_A)^{\frac{Q_2 - Q_1}{Q_2}} \right]$$

On peut tracer Si $\alpha = \frac{Q_2}{Q_1}$ nombre entier 2 ou 3

$$\left(\frac{\Delta}{Q} \right)_2 = \frac{0,183}{T} \log \frac{2.25T}{r^2 S} t_2^{1/\alpha} (t_2 - t_A)^{1-1/\alpha}$$

$$T = \frac{0,183}{\left(\frac{\Delta}{Q} \right)_2 c}$$

$$S = \frac{2.25T}{r^2} \text{fictif}$$

Pour un n nombre d'essais

$$\left(\frac{\Delta}{Q} \right)_n = \frac{0,183}{T} \log \left[\frac{2.25T}{r^2 S} t_n^{\frac{Q_1}{Q_n}} (t_n - t_1)^{\frac{Q_2 - Q_1}{Q_n}} \times \dots \times (t_n - t(n-i))^{\frac{Q_n - Q_{n-1}}{Q_n}} \right]$$

5-3-DESCRIPTION DES DONNEES DES ESSAI DE POMPAGES ANTERIEURS :

Pour connaître les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère de l'Eocène, nous nous sommes intéressé au deux pompages d'essai antérieurs exécutés au courant de l'année 1982 pour le compte de DHW (direction de l'hydraulique) de Batna dans les sondages destinés à l'AEP et l'irrigation de la région de Bouzina . Effectués en paliers de débits enchaînés, suivis de l'observation d'une remonté finale, leurs délais d'exécution pouvaient durée plusieurs jours.

Tableau N° 22: Caractéristiques Du Pompage D'Essai au Forage de Nerdi.

Palier	Début	Fin	Débit (l /s)	Rabattement (m)
01	04-08-82 à 6 h	04-04-82 à 13 h	26	3.77
02	04-08-82 à 15 h	05-08-82 à 00 h	37	6.63
03	05-08-82 à 00 h	05-08-82 à 09 h	50	11.30
Remonté	05-08-82 à 09h	08-08-82 à 20h	/	/
Long durée	08-08-82 à 20h	11-08-82 à 15 h	50	17.53
Remonté	11-08-82 à 15h	12-08-82 à 20h	/	3.26

Tableau N° 23: caractéristiques du pompage d'essai au forage de Tidjdad.

Palier	Début	Fin	Débit (l /s)	Rabattement (m)
01	24-07-82 à 15h	25-07-82 à 16 h	2	2,65
02	25-07-82 à 16h	26-07-82 à 17 h	3	4,27
03	26-07-82 à 17 h	27-07-82 à 18 h	5	8,71
remonté	27-07-82 à 18h	29-07-82 à 15 h	/	
Longue durée	29-07-82 à 15 h	31-07-82 à 20h	5	10.03
Remonté	31-07-82 à 20h	02-08-82 à 19h	/	0.14

Interprétation des résultats des essais :Ø **Estimation de la transmissivité :**

Nous avons utilisé la méthode de Jacob pour le calcul de la transmissivité (en nappe captive) qui est basée sur l'interprétation des graphes:

$$(\Delta/Q) = f(\text{Log } t), \Delta = f(\text{Log } t) \text{ et } \Delta = f(\text{Log } (t/t'))$$

Le coefficient d'emménagement, il permet d'apprécier le volume d'eau qu'un milieu aquifère peut libérer, Dans notre cas, il est impossible de déterminer cette valeur compte tenu l'absence des piézomètres.

Tableau N° 24: Les Valeurs De La Transmissivités.

Forages	graphiques	T (m ² /s)	T moyenne (m ² /s)
Tidjdad	$(\Delta/Q) = f(\text{Log } t)$	$3.8 \cdot 10^{-2}$	$6.14 \cdot 10^{-2}$
	$\Delta = f(\text{Log } t)$	$7.31 \cdot 10^{-2}$	
	$\Delta = f(\text{Log } (t/t'))$	$7.32 \cdot 10^{-2}$	
Nerdi	$(\Delta/Q) = f(\text{Log } t)$	$7.95 \cdot 10^{-3}$	$9.16 \cdot 10^{-3}$
	$\Delta = f(\text{Log } t)$	$10.7 \cdot 10^{-3}$	
	$\Delta = f(\text{Log } (t/t'))$	$8.83 \cdot 10^{-3}$	

Le forage de Tidjdad présente une transmissivité moyenne de l'ordre de $6.14 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ Une bonne transmissivité traduit une bonne perméabilité.

Alors qu'au forage de Nerdi la transmissivité est de l'ordre de $9.16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

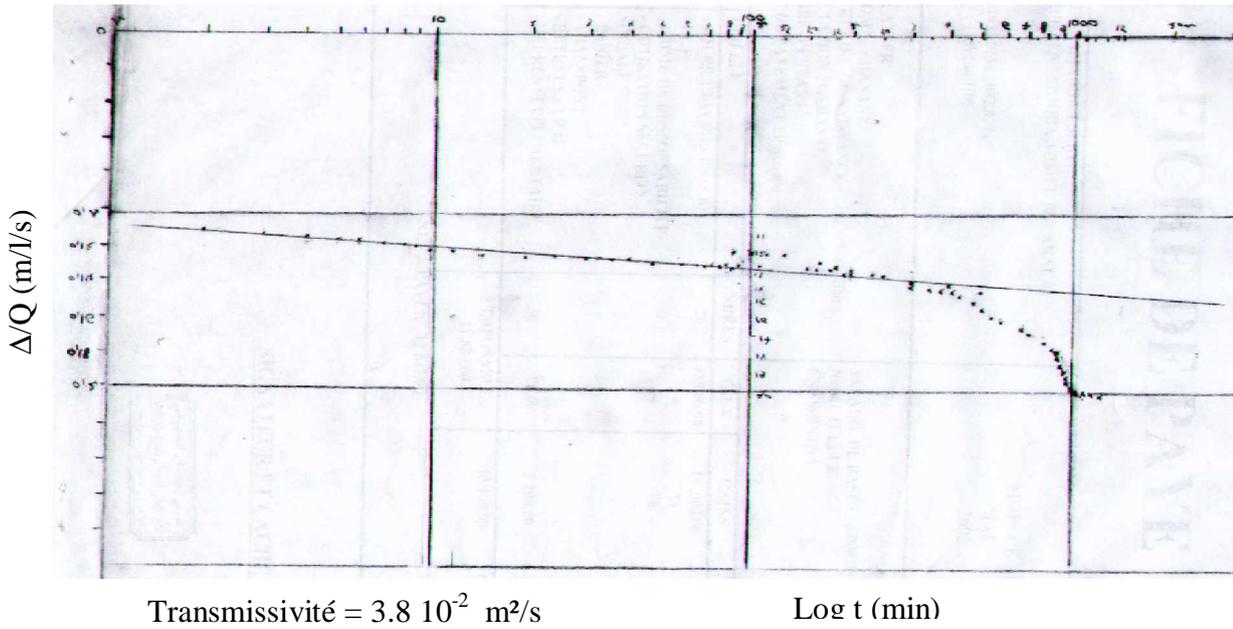


Figure 49A : Courbe De Rabattement Spécifique En Fonction Du Temps Au Forage De Tidjad

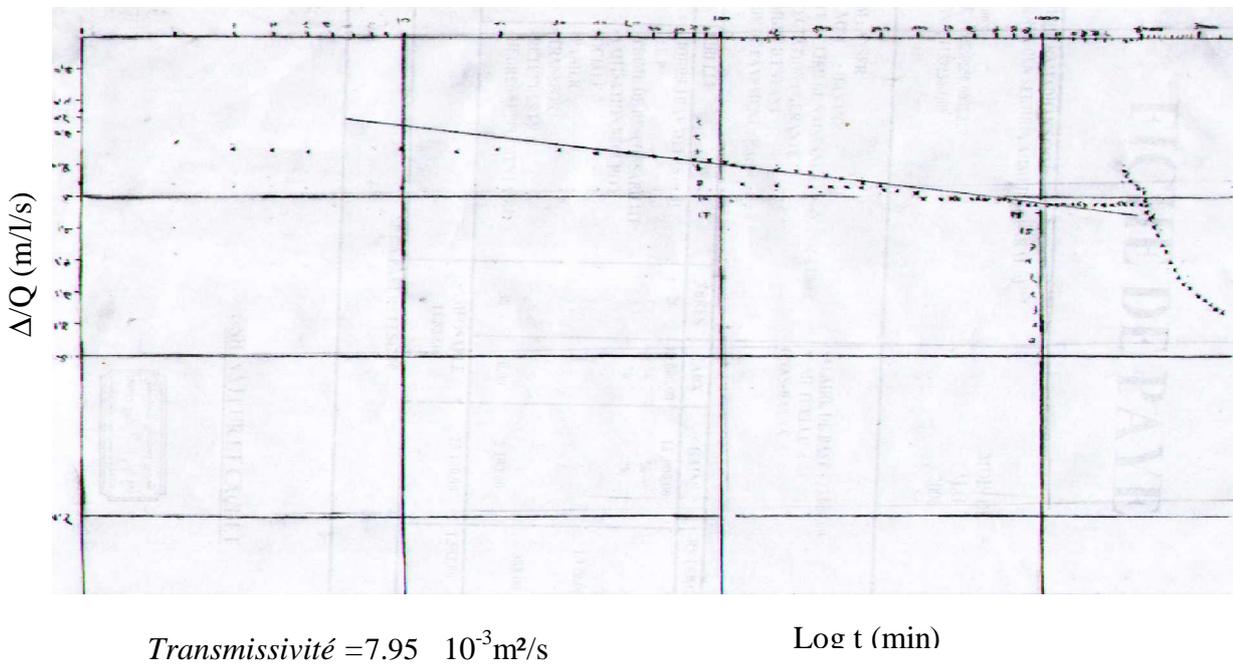
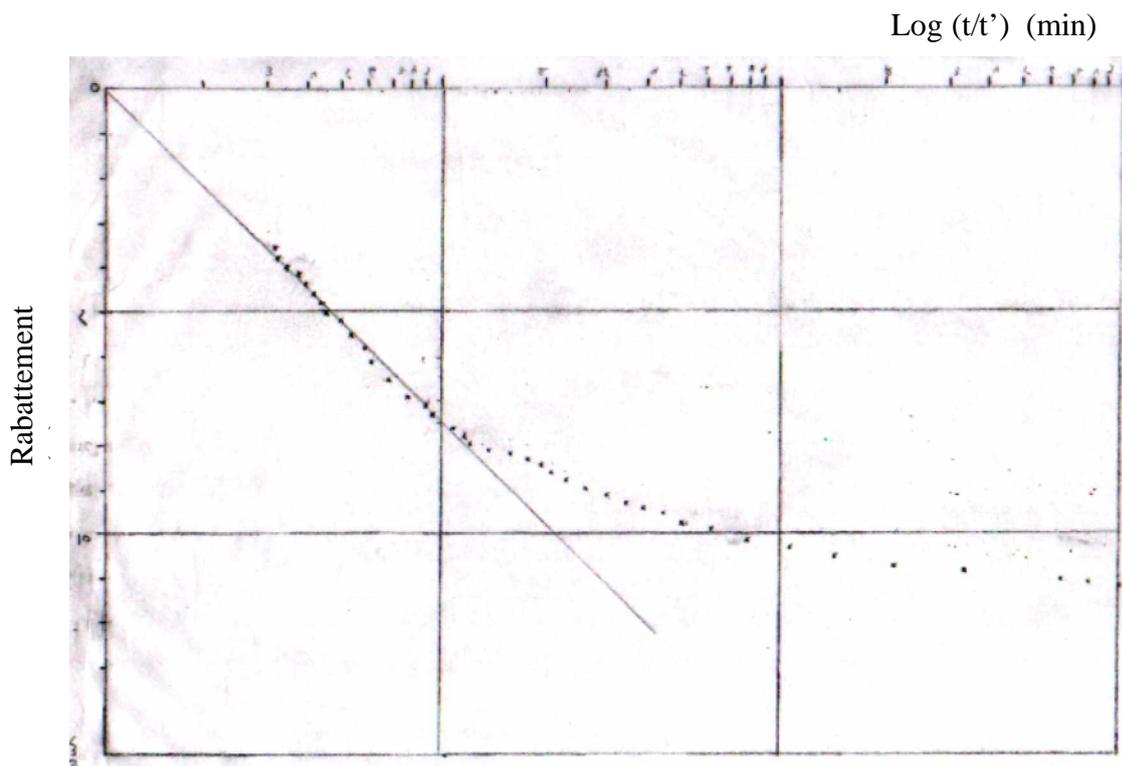
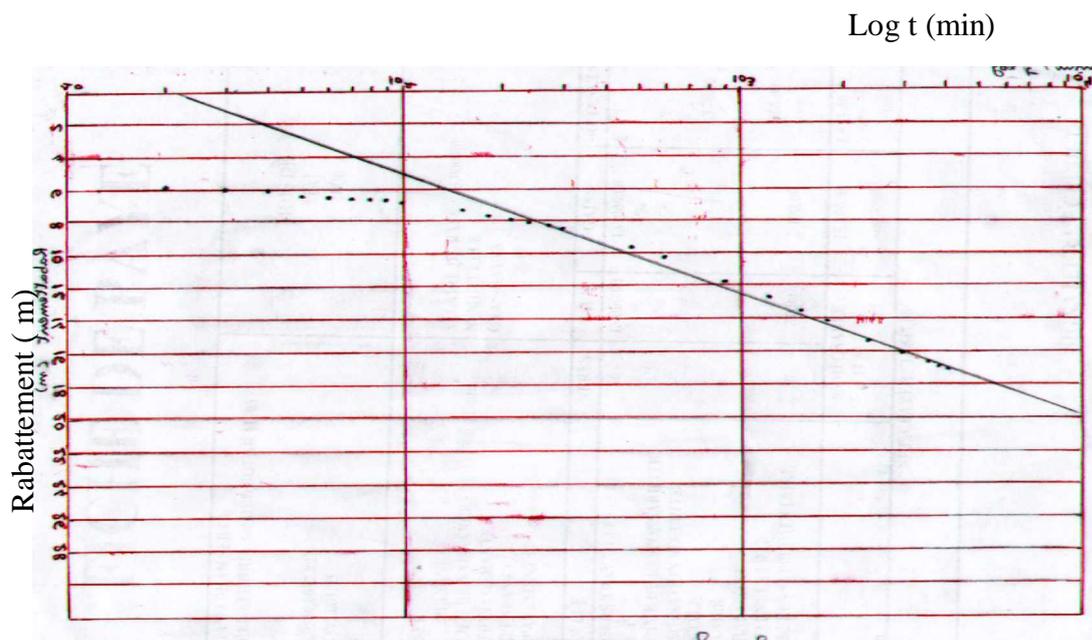


Figure 49B : Courbe De Rabattement Spécifique En Fonction Du Temps Au Forage De Nerdi



Transmissivité = $7.32 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$

Figure 50 : Courbes De Descente Et De Remontée Au Forage De Tijdad

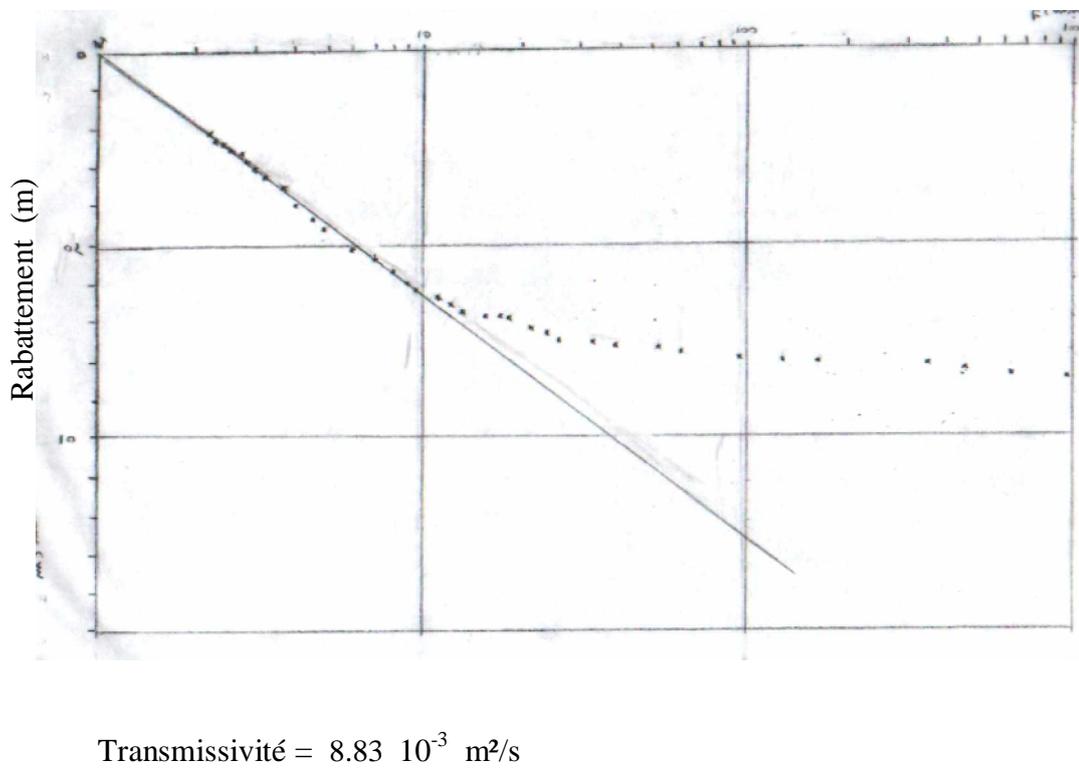
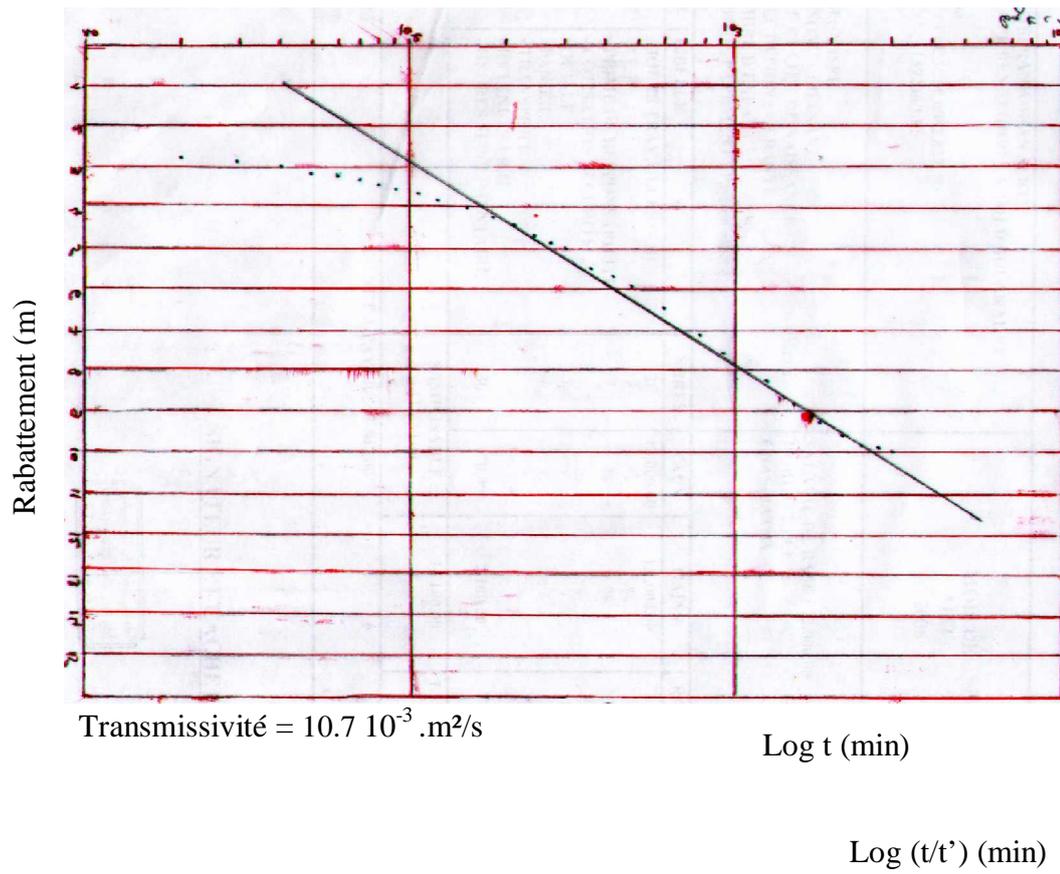


Figure 51 : Courbe De Descente Et De Remontée Au Forage De Nardi

6- CONCLUSION :

Le synclinal de Bouzina est le siège des aquifères suivants :

- Ø L'important système du Maestrichtien et du Landénien.
- Ø La nappe du Lutétien dans la plaine de Nerdi, dans la région de vieux Bouzina et dans la partie aval de Bouzina.
- Ø La nappe du Miocène.
- Ø La nappe aquifère du quaternaire.

Pour le système aquifères éocène_maestrichtien, les apports latéraux et par le bas sont jugés insignifiants :

- Ø Compte tenu du contexte structural, un apport latéral à partir de l'anticlinal du DJ El Azreg ou de l'anticlinal d'Igguedelène peut être exclu.
- Ø L'aquifère profond de l'Aptien_Albien est séparé du Maestrichtien par plusieurs centaines de mètres de sédiments à perméabilité verticale très faible (campanien et coniacien marneux). Un éventuel apport au Maestrichtien par drainance de ces couches doit être très faible et négligeable.

En dors des périodes avec un ruissellement de surface, donc pendant la plus grande partie de l'année, les sources de vieux Bouzina et de Nerdi représentent l'apport largement dominant de l'oued Bouzina.

L'examen des cartes piézométriques montre un écoulement sous terrain se dirige du Nord-Est vers le Sud-Ouest.

La piézométrie des sources se concorde avec celle des forages au niveau de la plaine de Nerdi, où elle montre cependant certains axes qui se dirigent vers le centre de la plaine, mais le sens général de l'écoulement est toujours orienté NE-SW.

Pour les forages dans la partie centrale de la vallée, les courbes de niveau deviennent plus resserrées (prés de Vieux Bouzina).

On a pu évaluer à partir des essais de pompage effectués au niveau des forages de Nerdi qui capte l'aquifère du lutétien et Tidjdad qui capte l'aquifère carbonaté du éocène-maestrichtien les valeurs de la transmissivité qui sont respectivement $6.14 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$, $9.16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ qui indiquent l'excellence de ces réservoirs.

CHAPITRE V

HYDROCHIMIE

1- INTRODUCTION :

L'eau est le facteur principal qui façonne les roches et transforme le paysage. Lors de son écoulement, elle dissout des minéraux, se sature et précipite d'autres minéraux. Par suite, elle acquiert un chimisme qui est le résultat de ses interactions avec la roche et de l'influence de facteurs externes naturels ou anthropiques.

L'eau joue donc deux rôles complémentaires : (*Bakalowicz, 1979*)

- 1- Réactif chimique qui dissout les minéraux et les matières organiques,
- 2- Agent transporteur d'énergie et de matière.

Plusieurs facteurs peuvent intervenir dans l'acquisition du chimisme de l'eau, dans le cas présent, l'étude portera sur la comparaison du chimisme des eaux de l'ensemble des sources et des forages afin de dégager des caractéristiques liées aux aquifères qu'ils drainent.

14 échantillons sont prélevés et analysés pour la campagne de Novembre 1998 et 06 échantillons pour la campagne d'Avril 2007 ; afin de comprendre l'origine et l'évolution de la qualité d'eau.

Ces analyses ont été réalisées au laboratoire des eaux de l'ANRH (Agence National Des Ressources Hydriques) de Constantine. Les paramètres suivants ont été mesurés pour tous les prélèvements : alcalinité, dureté, la conductivité, PH, température,

Les éléments chimiques cations : Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ et K^+

Anions: Cl^- , SO_4^{--} , HCO_3^- et NO_3^- .

2- ETUDE DES PARAMETRES PHYSIQUES ET CHIMIQUES :**2-1- PARAMETRES PHYSIQUES :**

Ces paramètres sont très importants, car ils jouent un rôle majeur dans la solubilité de l'eau et aident à la détermination de son origine, pour cela, on va étudier quatre paramètres : température, PH, la minéralisation et la conductivité.

a- TEMPERATURE :

Il est important de connaître la température de l'eau avec une précision, en effet celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous, donc sur la conductivité électrique, ainsi que sur le PH.

La température des eaux superficielles est influencée par la température de l'air et ceci d'autant plus que l'origine est moins profonde.

La température moyenne annuelle de l'air dans la région est $14,16\text{ C}^\circ$, et la température des eaux prélevées oscille entre 14.5 et 17.9 C° .

b- POTENTIEL HYDROGENE PH :

Le **PH** exprime le module de représentation en ion $[H^+]$ d'une solution. Par définition le PH est le log décimal de l'inverse de cette concentration totale $PH = Log \left[\frac{1}{H^+} \right]$

L'échelle du PH varie de : 0 à 14.

- Ø Pour un milieu neutre $(H^+) = (OH^-)$ ou $PH = 7$
- Ø Pour un milieu acide $(H^+) > (OH^-)$ ou $PH < 7$
- Ø Pour un milieu basique $(H^+) < (OH^-)$ ou $7 < PH < 14$

Les eaux de la région d'étude ont des PH légèrement basiques variant de 7,1 à 8.

c- LA MINERALISATION :

Elle représente la totalité des sels dissous dans l'eau, elle est en relation avec la conductivité.

Elle varie en fonction de la géologie des terrains traversés.

Pour le secteur d'étude, les valeurs de minéralisations de la nappe Eocène_Maestrichtien sont comprises entre 248 et 620mg/l (forage Mezline 248mg/l, forage de Tidjdad 372mg/l, Tagoust 375mg/l, forage de Nerdi 620mg/l).

d- CONDUCTIVITE ELECTRIQUE :

La conductivité d'une eau caractérise la propriété à laisser passer le courant électrique, elle augmente avec la concentration des ions dans la solution et la température. Elle correspond à la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface, et séparées l'une de l'autre de 1 cm, exprimées en $\mu S / cm$ à $T = 20^{\circ}C$.

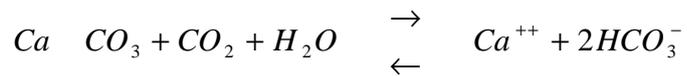
La conductivité ou son inverse qui est la résistivité permet donc une estimation de la minéralisation des eaux. On sait qu'une eau salée est très conductrice, par contre une eau pure est très résistante.

Les résultats montrent que: les eaux de la région de vieux Bouzina (groupes des sources de Tabgha) sont moyennement chargées en sels dissous, leur conductivité varie entre 423 et 488 $\mu mho/cm$, par contre dans la partie Nord au niveau de la plaine Nerdi les eaux sont plus chargées (forage Nerdi 1315 $\mu mho/cm$, source d'El Ouast 1302 $\mu mho/cm$).

2-2-ETUDE DES ELEMENTS CHIMIQUES MAJEURS :

2.2.1. LE CALCIUM Ca^{++} :

Cet élément est fréquent dans les roches sédimentaires, il provient essentiellement de la dissolution des roches carbonatées suite à la présence du gaz carboniques. Le calcium peut provenir également des formations gypsifères ($Ca SO_4, 2H_2O$), qui sont facilement solubles selon l'équation suivante :



La teneur en calcium varie entre 44.6mg/l à source Tamridjet et 376mg/l au forage Ali Ouyaha, avec la prédominance des points qui ont des teneurs inférieures à 90mg/l (Fig53)

Le rapport Na^+ / Ca^{++} montre une prédominance nette du calcium sur le sodium pour tout les forages et les sources.

Dans la région d'étude le Ca^{++} provient essentiellement de la dissolution des calcaires.

2-2-2- LE MAGNESIUM Mg^{++} :

C'est un élément qui accompagne souvent le calcium, et provient de la dissolution des dolomies, des calcaires dolomitiques, des minéraux ferromagnésiens.

Les valeurs minimales sont observées au niveau du forage du Samer avec une valeur de 12mg/l, tandis que la valeur maximale (46 mg/l) correspond à source de Tasserift située au Sud Ouest du secteur étudié (Fig54).

Les rapports $r Mg^{++} / Ca^{++}$ et $r Mg^{++} / Na^+$, mettent en valeur la prédominance des ions de Ca^{++} sur Mg^{++} et la prédominance du Mg^{++} sur Na^+ , sauf les deux sources de Tabgha et d'Iggueribene qui montrent une tendance sodique.

Le magnésium que renferment les eaux du synclinal de Bouzina est probablement lié à la présence de niveaux argileux (formations du Lutétien).

2-2-3-LE SODIUM ET POTASSIUM Na^+ et K^+ :

Leur concentration est généralement faible dans les eaux karstiques, ils sont proviennent des formations riches en NaCl, des formation argileuses et argilo-marneuses et du rejet des eaux usées d'origine industrielle et domestique qui n'est pas le cas ici .

Dans la zone d'étude les valeurs de Na varient entre 4mg/l pour la source El Ouast et 205mg/l pour source Tabgha, Les valeurs les plus élevées se trouvent au niveau du vieux Bouzina et à Ali Ouyaha (Fig 56,57)

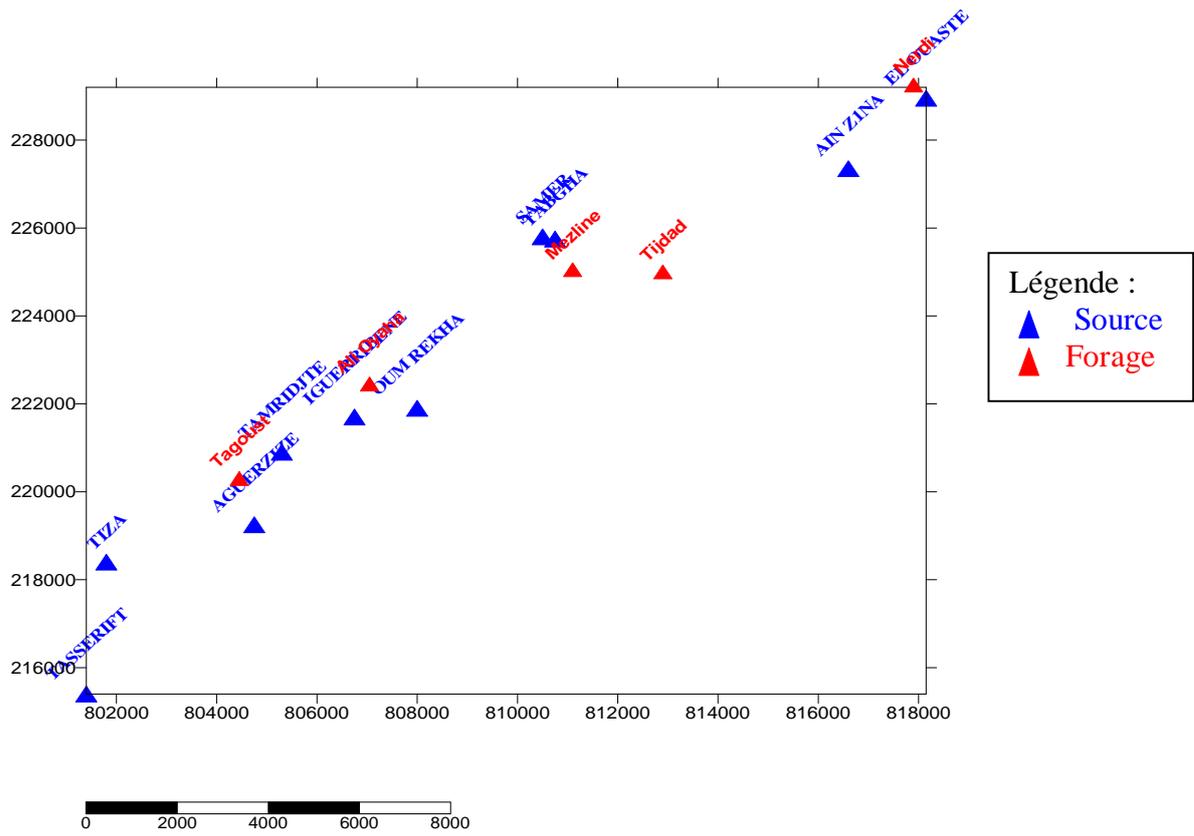


Figure 52 : Carte De Positionnement Des Points D'Eaux Sources Et Forages

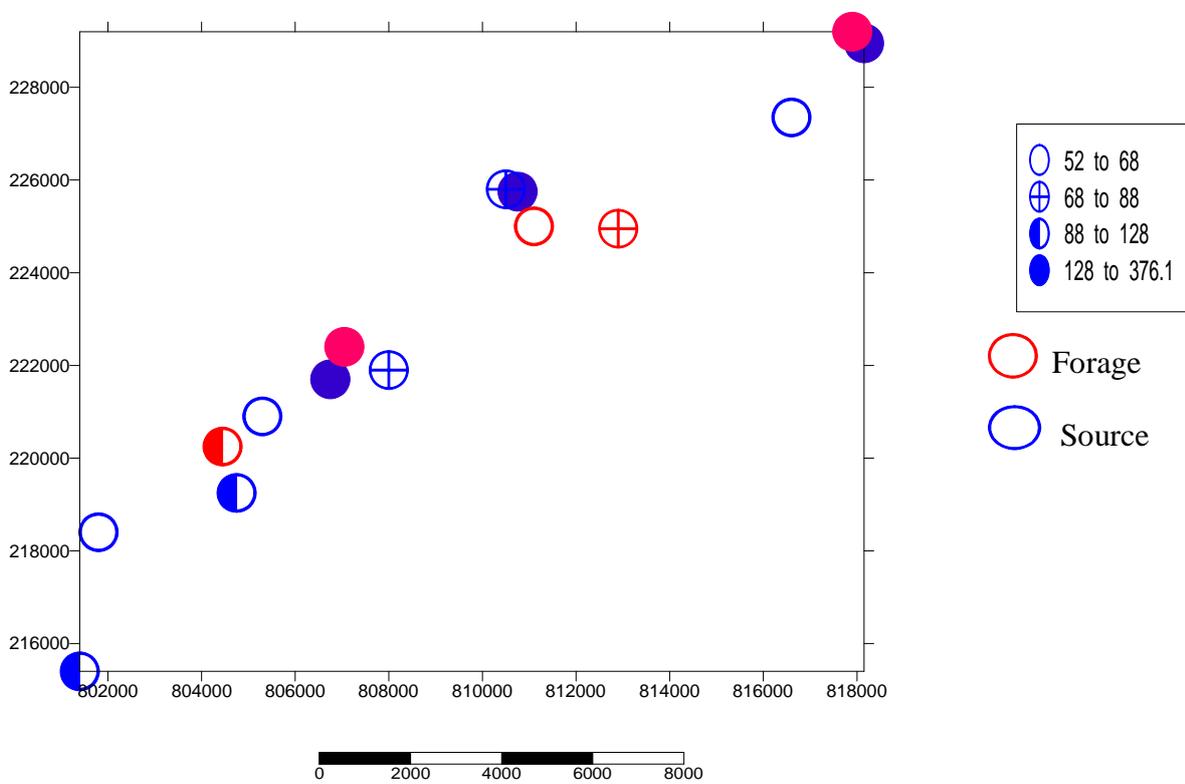


Figure 53: Carte Des Teneurs En Calcium (mg/l) Dans Le Bassin De Bouzina

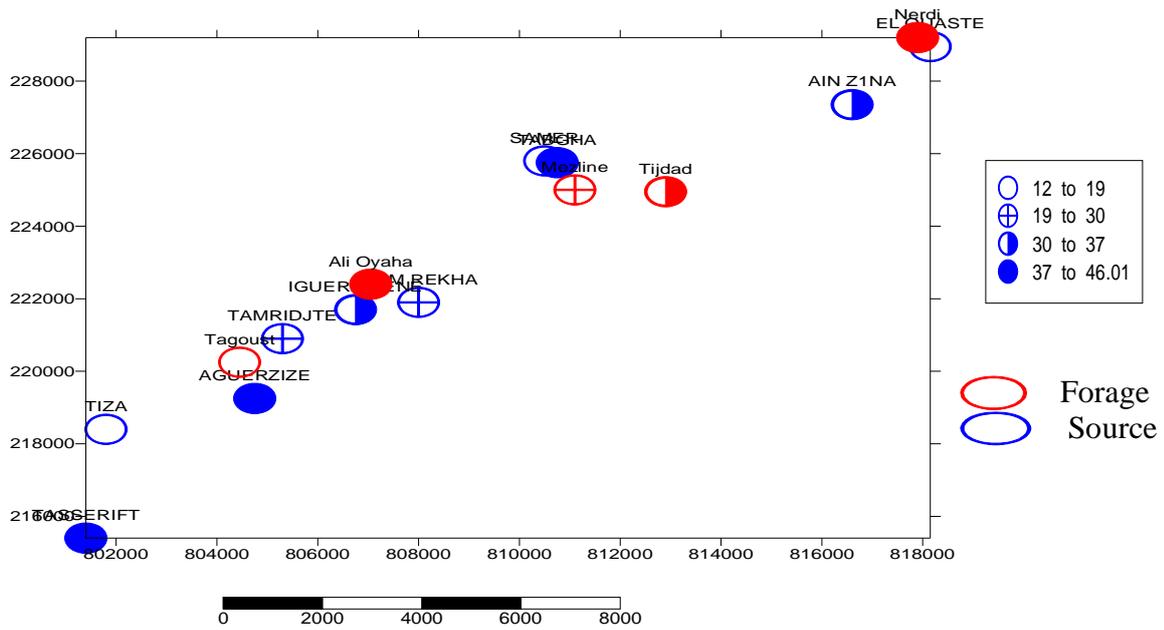


Figure 54 : Carte Des Teneurs En Magnésium (mg/l) Dans Le Bassin De Bouzina.

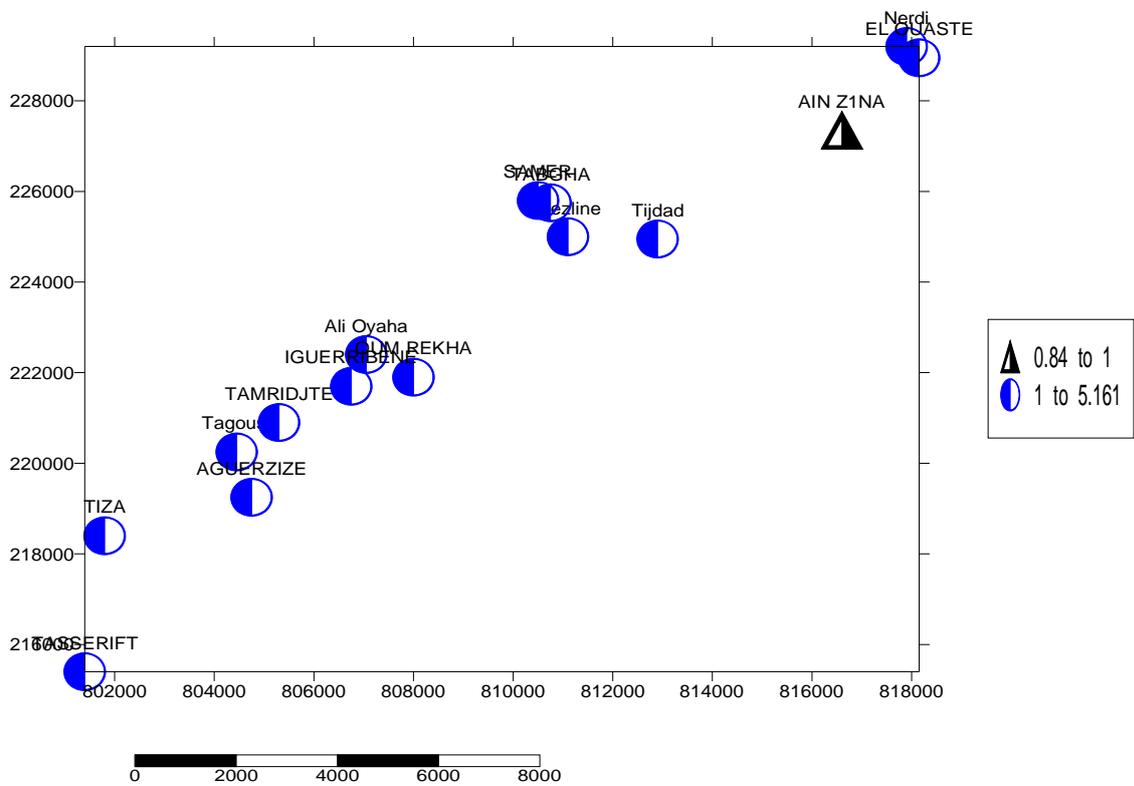


Figure 55 : Carte Des Rapports r Ca⁺ / Mg⁺

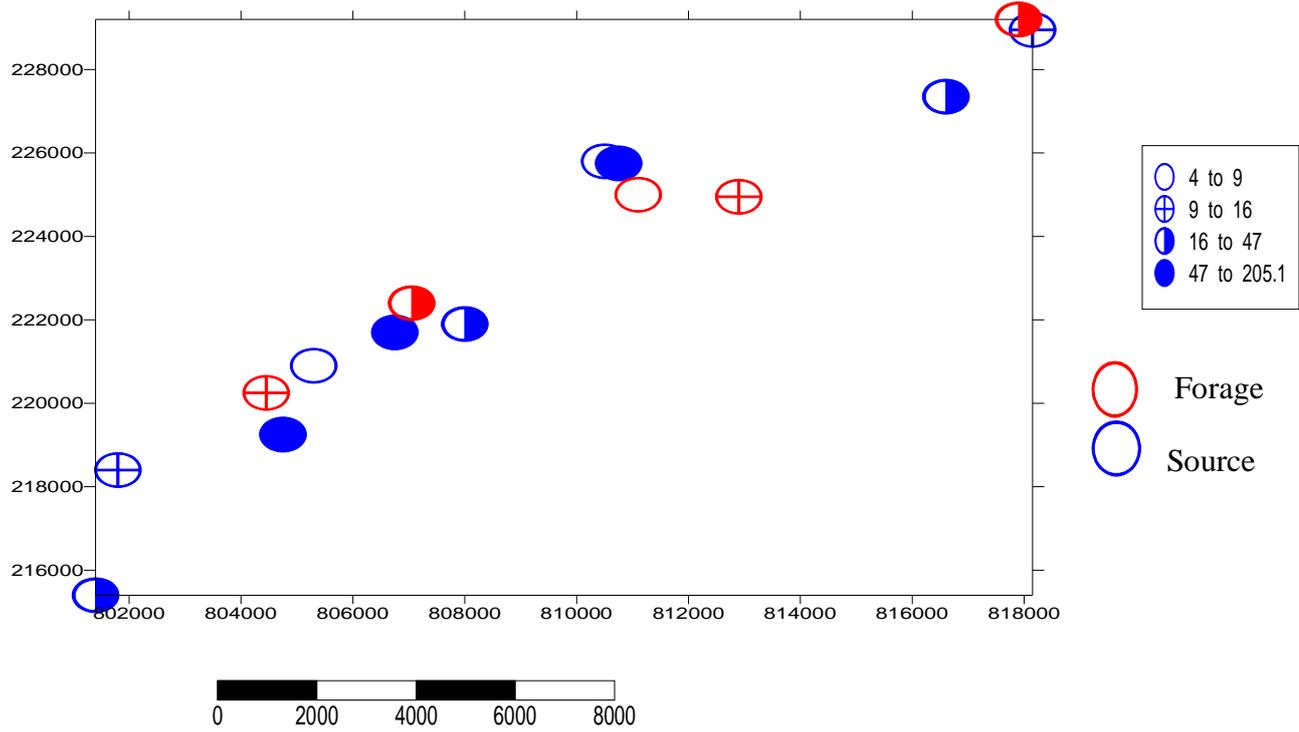


Figure 56: Carte Des Teneurs En Sodium (mg/l) Dans Le Bassin De Bouzina

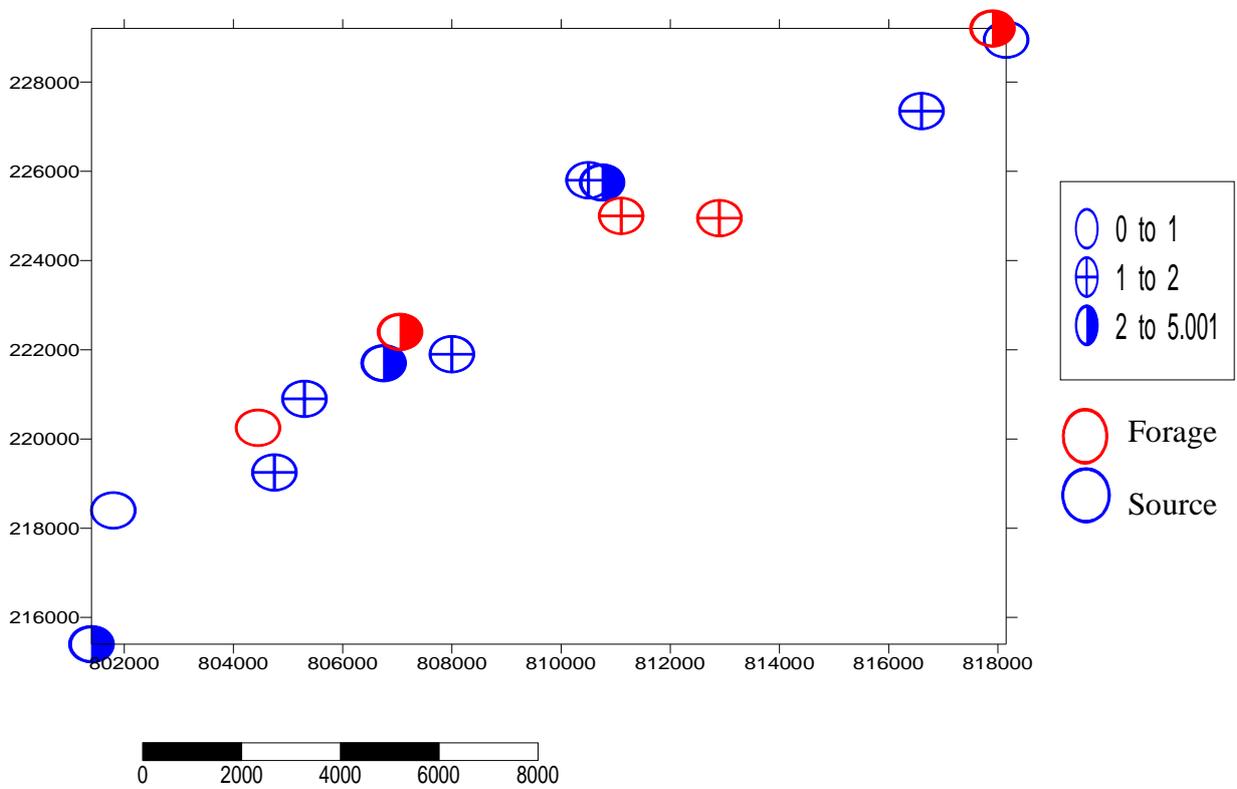


Figure 57: Carte Des Teneurs En Potassium (mg/l) Dans Le Bassin De Bouzina

2-2-4-LES CHLORURES Cl⁻:

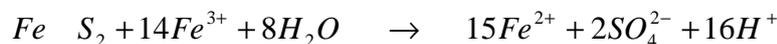
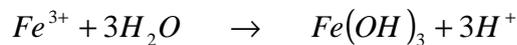
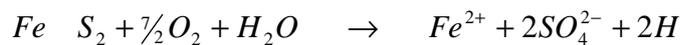
Les teneurs de Cl⁻ varient entre 5mg/l pour le forage de Mezline et 285 mg/l pour la source de Tabgha (Fig 58).

Le rapport r Cl⁻/ HCO₃⁻ est inférieur à l'unité d'où la prédominance des carbonates sur les chlorures, excepté la source de Tabgha qui montre prédominance des chlorures qui peut être considéré comme marqueur de l'eau stockée près de surface et subissant l'ETR et même indicateur de source de pollution.(SCHOELLER.1959).

2-2-5- LES SULFATES SO₄²⁻ :

Ils sont présents dans les eaux naturelles à des profondeurs très variables. Il peuvent provenir de :

- Ø La dissolution du gypse. Ce dernier peut être triasique, comme il peut être associé à des formations plus récentes comme les argiles du Miocène et du Quaternaire.
- Ø La dissolution des minéraux sulfurés d'une manière générale à l'exemple de la pyrite (D'après W. Stoumm et J. J. Morgan, 1970 in Bakalowicz 1979) :



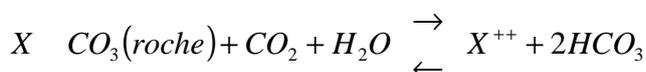
Ø L'oxydation des sulfures d'hydrogène et des oxydes de soufre émis dans l'atmosphère. Dans notre zone d'étude, ce sont les formations géologiques qui fournissent ce minéral à partir des argiles, des marnes et du gypse.

Les résultats des analyses chimiques, donnent des valeurs qui varient de 64 mg/l à Ain Zina, à 888 mg/l à Ali Ouyaha.

Le rapport r SO₄²⁻/ Cl⁻ montre une prédominance des sulfates sur les chlorures pour la totalité des points. Ces fortes concentrations peuvent être dues au lessivage du gypse présent dans le Lutétien.

2-2-6-LES BICARBONATES :

Les bicarbonates résultent de l'équilibre physico - chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique selon l'équation générale suivante :



Leur origine principale est la dissolution des roches carbonatées et gypsifères, donc sa concentration dans l'eau est fonction des paramètres suivants :

- Ø Concentration du CO₂ dissous ;
- Ø Température de l'eau ;
- Ø pH de l'eau.

Les teneurs dans le secteur d'étude varient entre : 85 mg/l (forage Samer) et 305 mg/l (source Tasserift).

Les rapports $r_{SO4^2-/HCO3^-}$ et $r_{Cl^-/HCO3^-}$ montrent la prédominance des bicarbonates sur les sulfates et les chlorures, à l'exception des forages de Nardi, Mazline et Ali Ouyaha et les sources de Tabgha, Oum Rekha, Iggueribene , Aggarzize et Tiza .

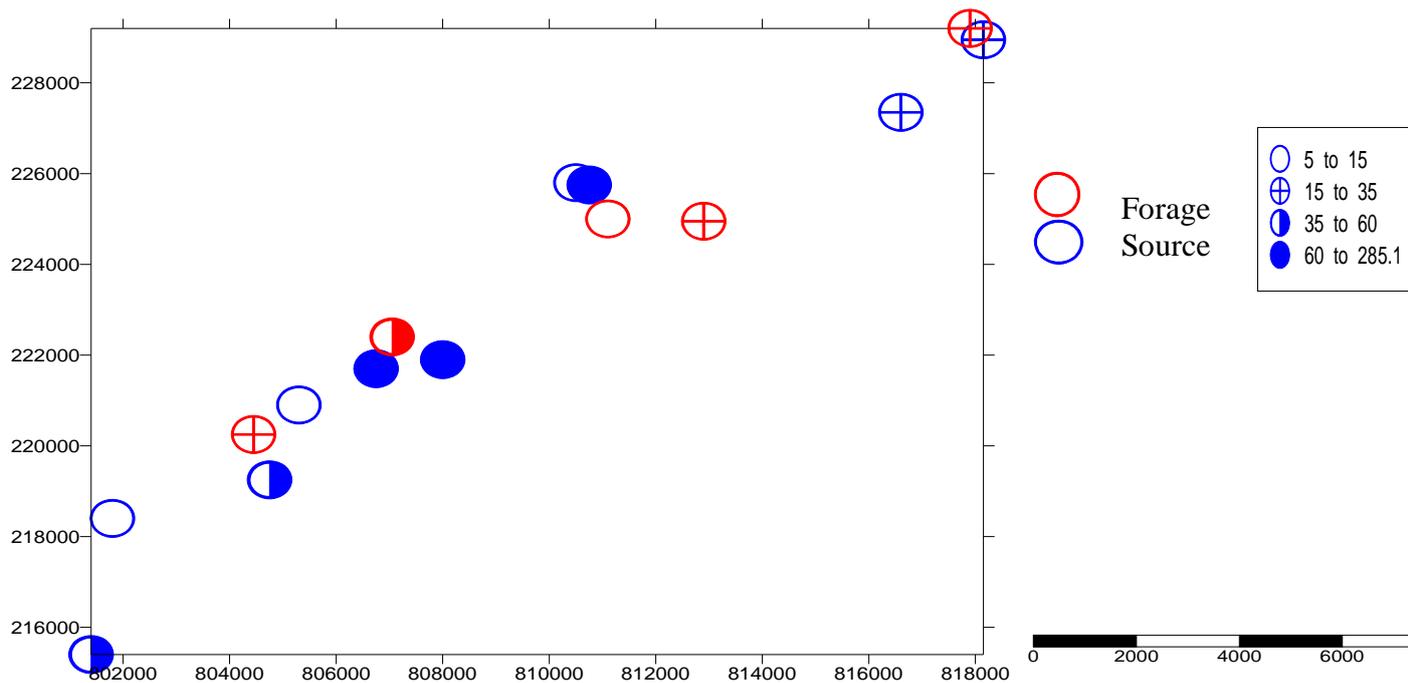


Figure 58: Carte Des Teneurs En Chlore (mg/l) Dans Le Bassin De Bouzina

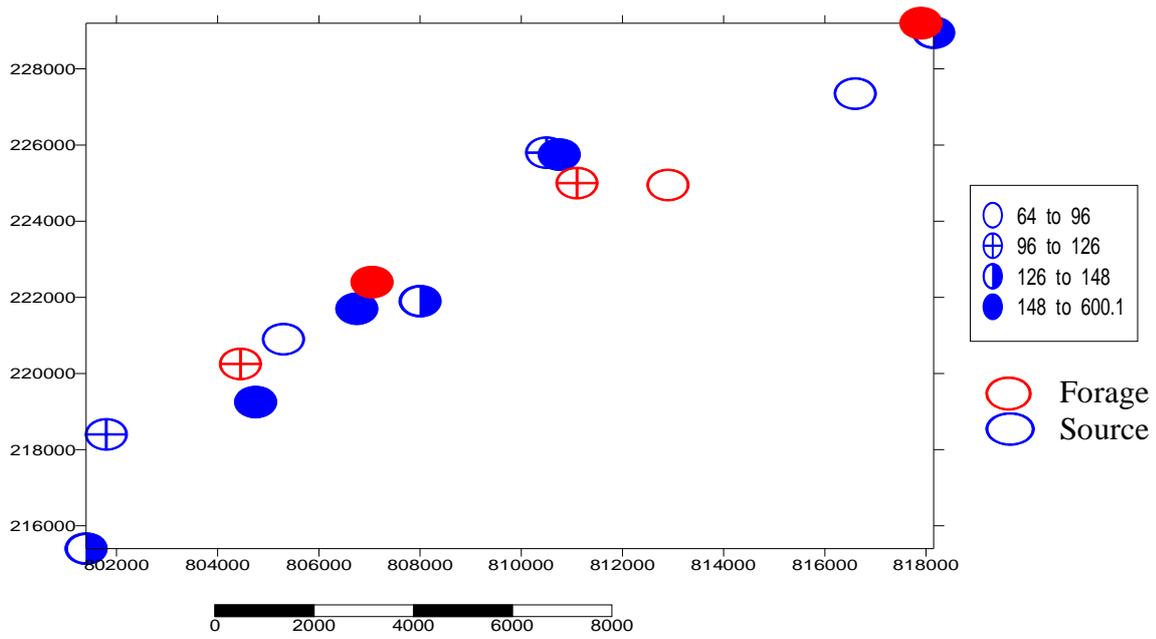


Figure 59 : Carte Des Teneurs En Sulfates (mg/l) Dans Le Bassin de Bouzina

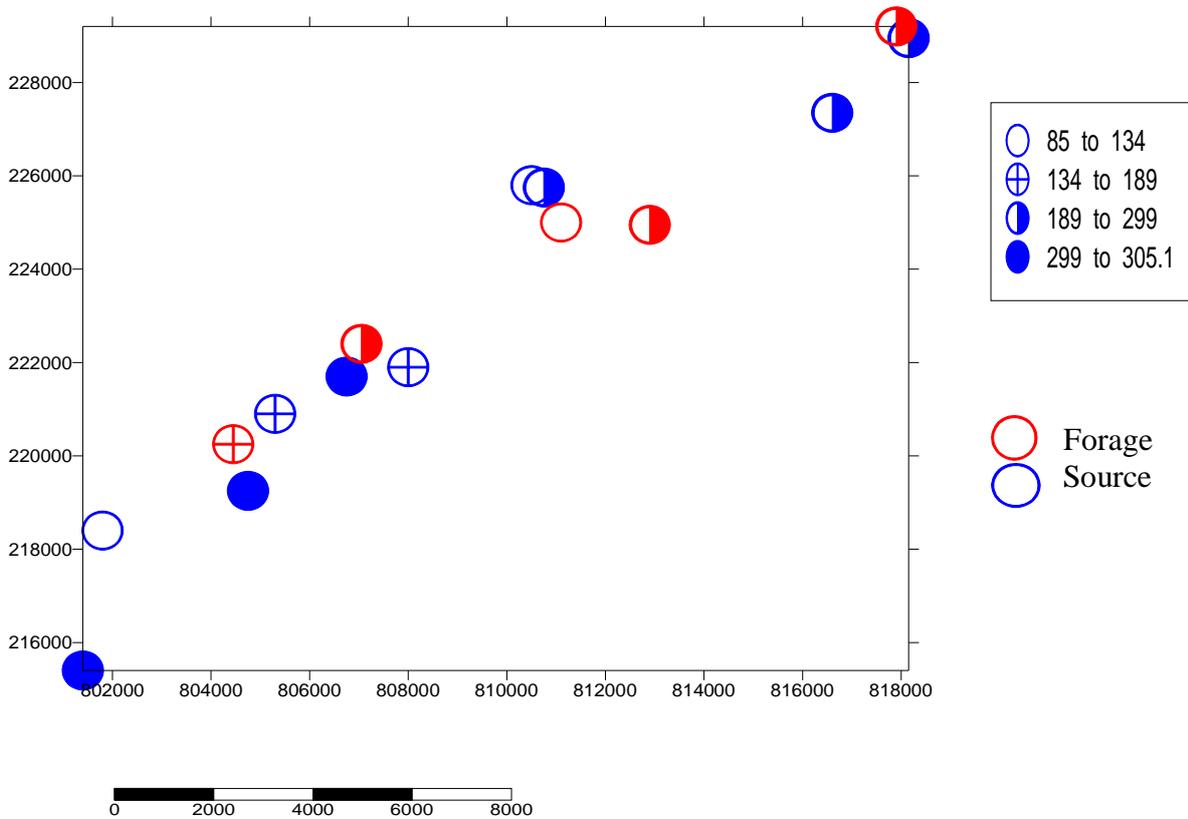


Figure 60: Carte Des Teneurs En Carbonates (mg/l) Dans Le Bassin e Bouzina

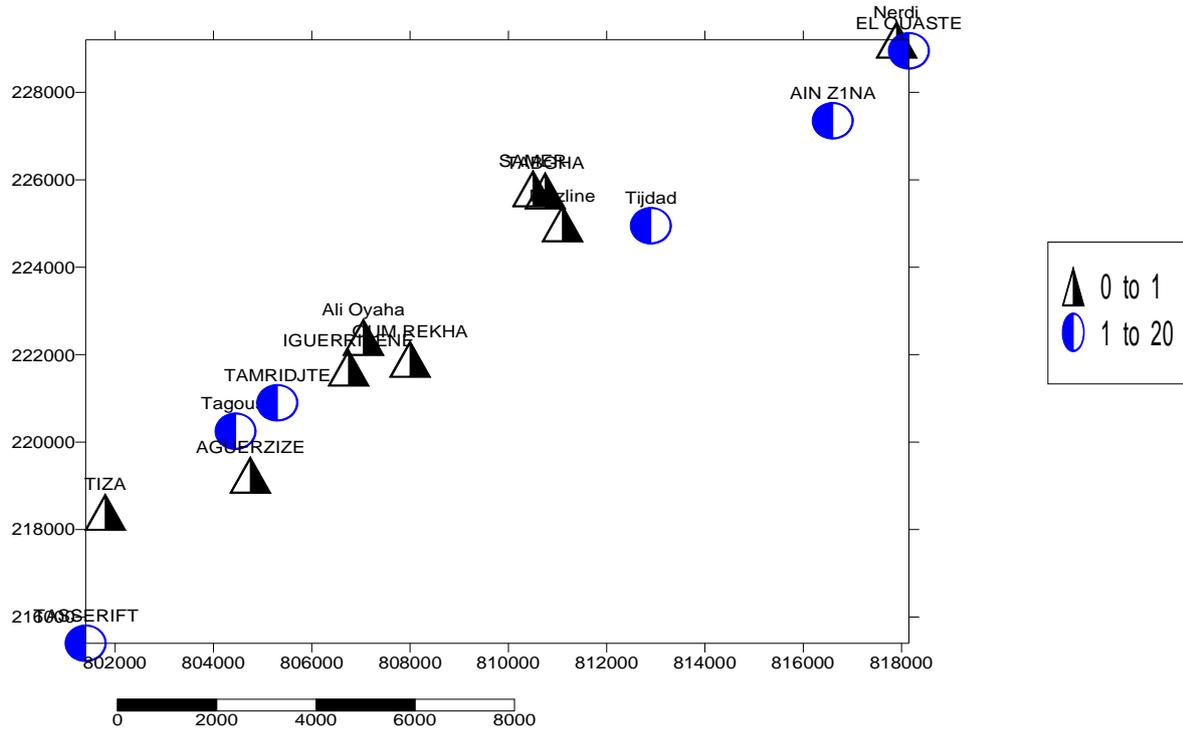


Figure 61 : Carte Du Rapport Du r HCO₃⁻/SO₄⁻

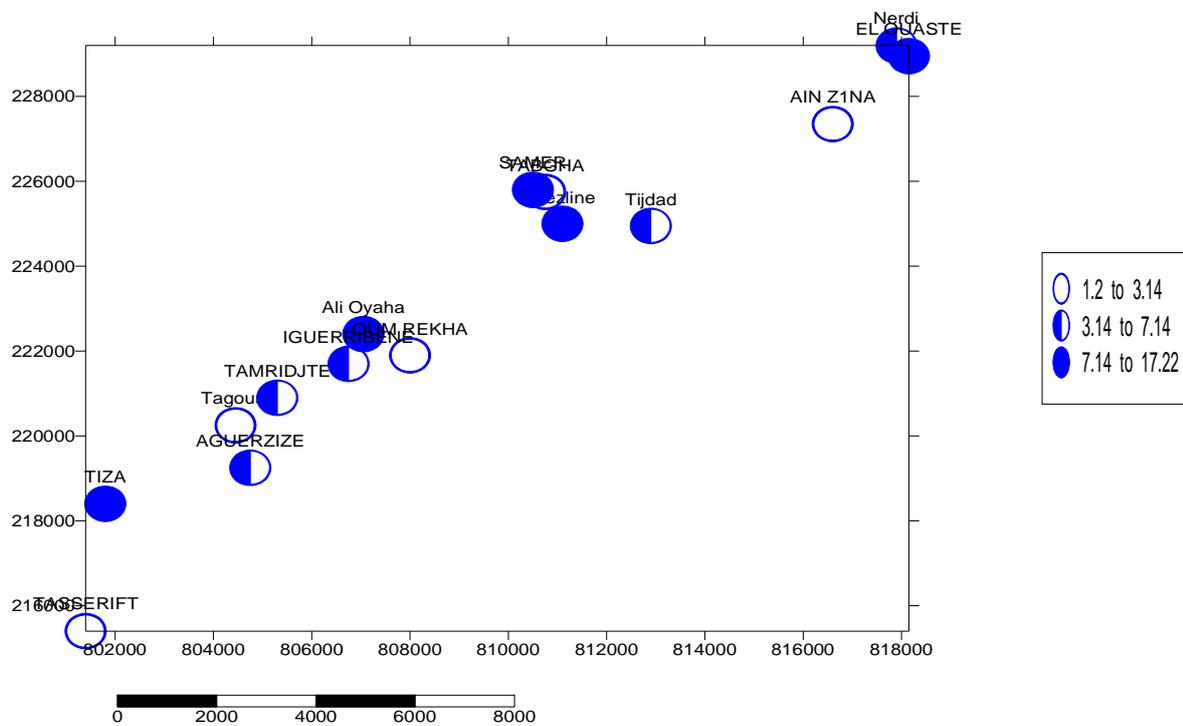


Figure 62 : Carte Du Rapport r SO₄⁻/Cl⁻

3- LES FACIES CHIMIQUES :**3-1-EVALUATION DES PROPORTIONS ENTRE LES IONS SUR LEDIAGRAMME DE PIPER :**

La présentation des analyses chimiques des différentes campagnes sur ce type de diagramme permet d'avoir une approche globale de la composition chimique des eaux souterraines.

- Ø La projection des points d'eaux sur le diagramme de PIPER montre une tendance des cations vers le pôle Calcique, et une tendance des anions vers le pôle Bicarbonaté sauf les sources d'El Ouast et Igguribene
- Ø Les analyses des eaux de sources (fig63) représentent en général sur le diagramme de PIPER deux types de faciès :
 - chloruré et sulfatée calcique et magnésien
 - bicarbonatés calcique et magnésien.
- Ø Pour les forages (fig65), la plus part présentent des eaux chlorurée et sulfatée calcique et magnésiennes. Pour les forage de Tagoust et Tidjdad les eaux sont bicarbonatées calciques et magnésiennes.

3-3- DIAGRAMME DE SCHOELLER – BERKALOFF : (fig64, 66)

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.

Ø La représentation des résultats des analyses des sources montre que:
La plus part des analyse indique sur le diagramme la même allure, avec cependant des pôles bien distinguée qui sont le Ca, Mg et SO₄. L'ensemble des sources présente des eaux bicarbonatées calciques et magnésien. Sauf les sources d'Igguribene et Oum Rekha qui présente des mesure élevées en SO₄ et NA+K.

- Ø La représentation des analyses des eaux de forages a permis d'identifier les grandes familles chimiques suivantes :
 - eaux bicarbonatées calciques
 - eaux sulfatées calciques

Figure 63 :

Diagramme de Piper_ sources de bouzina

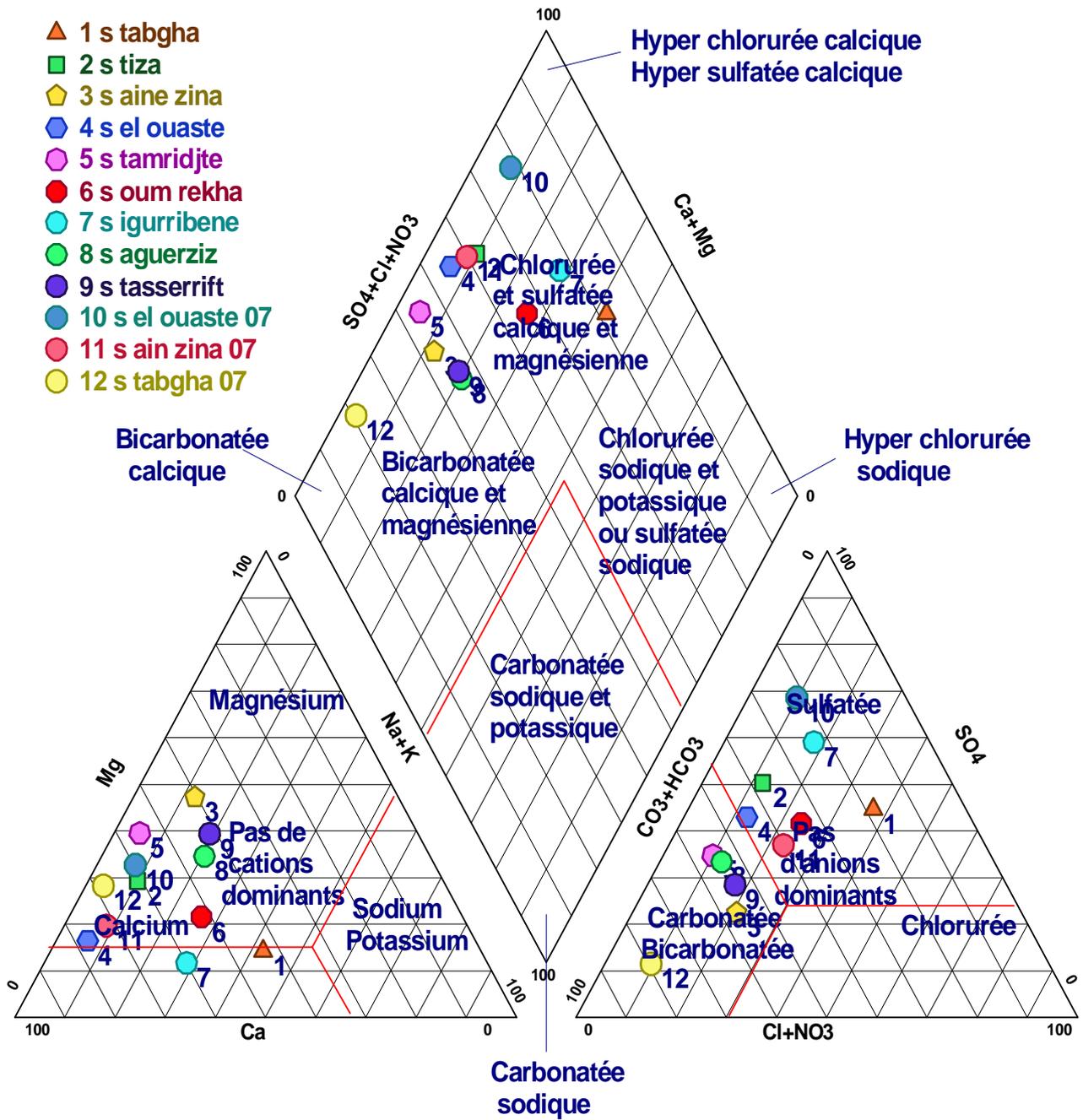


Figure 64 :
diagramme de schoeller berkaloff _ sources de bouzina

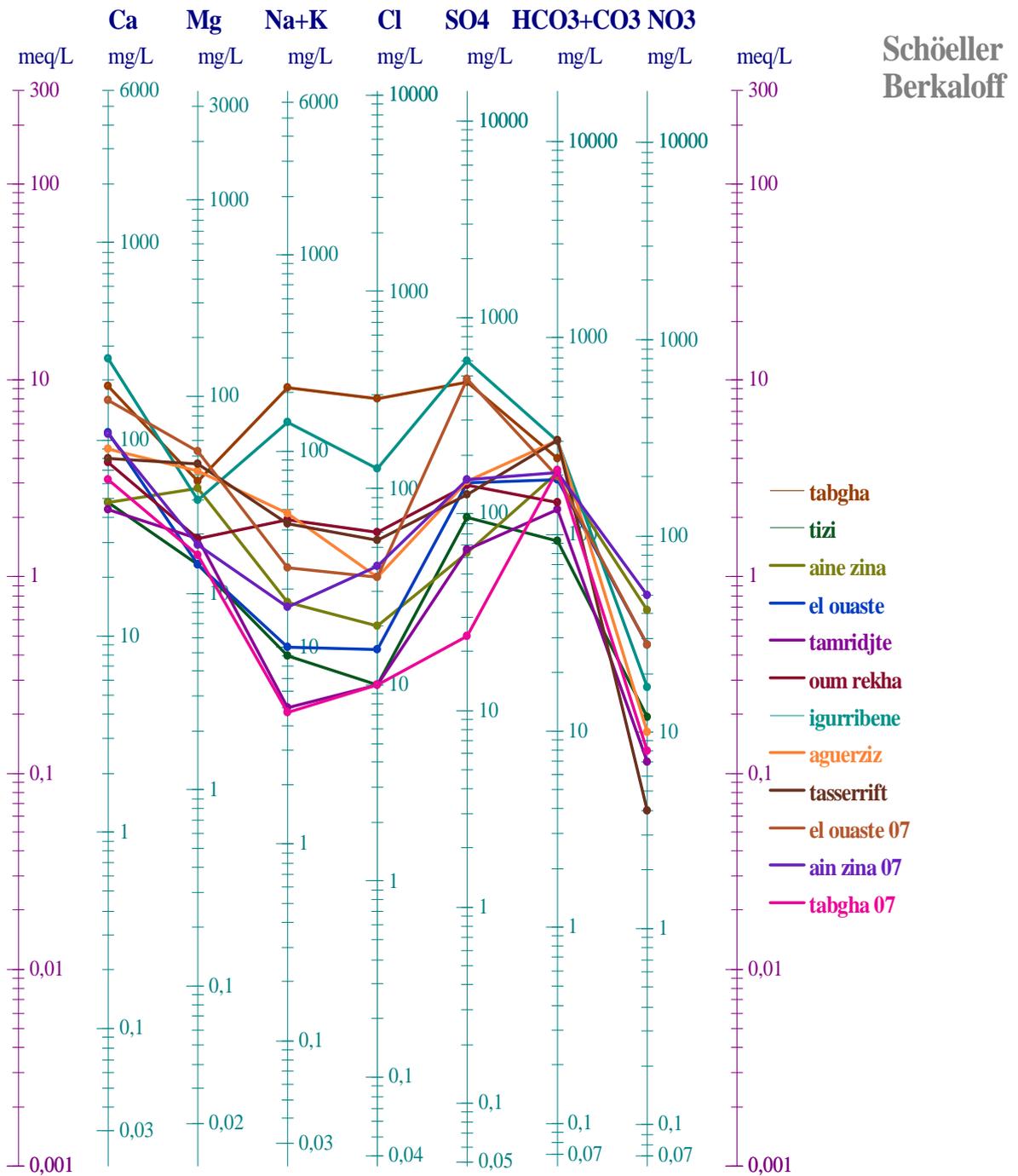


Figure 65 :

Diagramme de Piper_forages de Bouzina

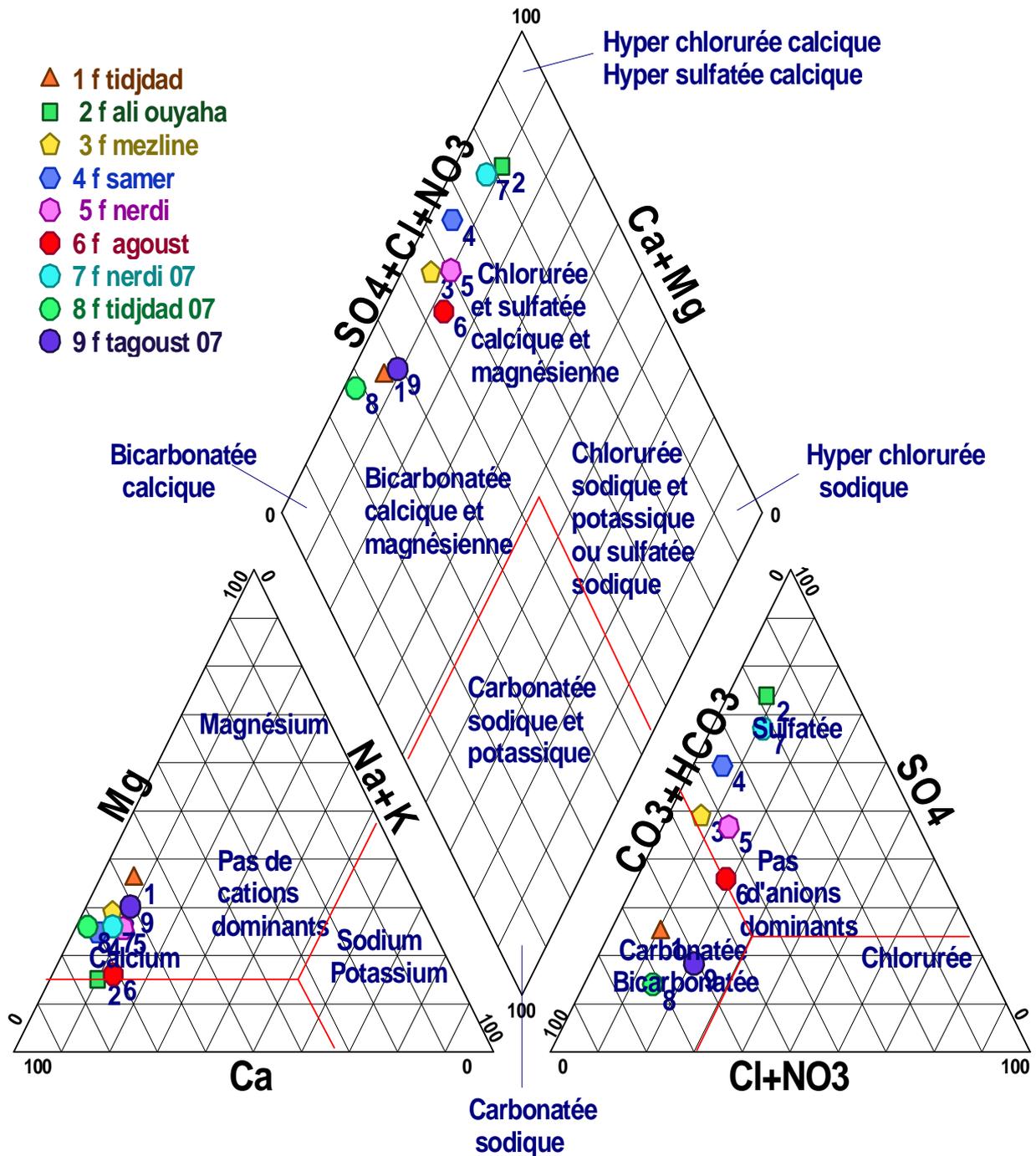
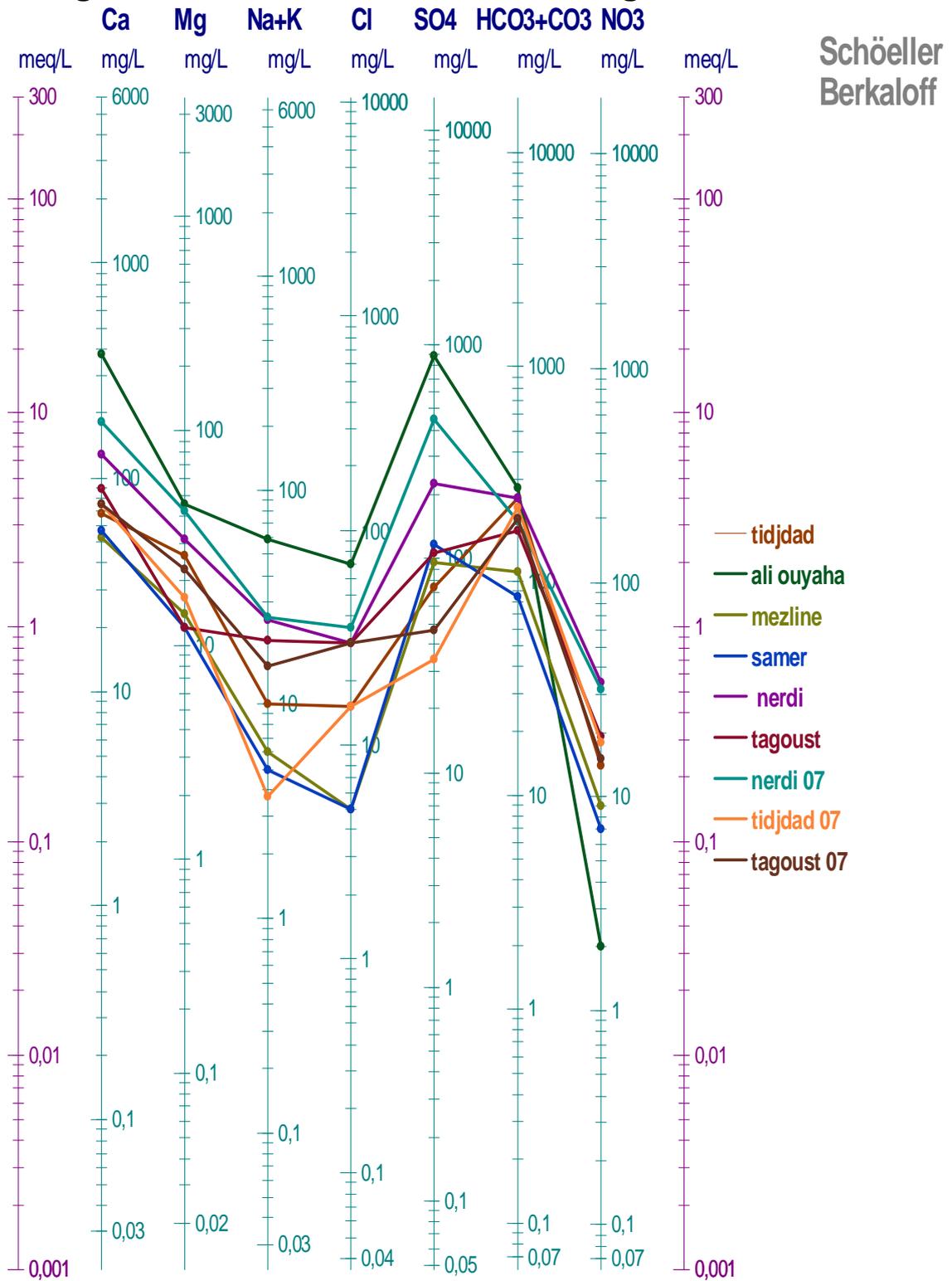


Figure 66 :
diagramme schoeller berkalooff_forages de bouzina



3-4- FORMULES CARACTERISTIQUES :

Nous distinguons les familles d'eaux suivantes :

Type de faciès	Formules caractéristiques	Pourcentage (%)	échantillons correspondants
Bicarbonaté calcique	R HCO ₃ > r Cl > r SO ₄ R Ca > r Mg > r(Na+K)	46.66	f1.f3.f6.s4.s5.s6.s9
Bicarbonaté magnésien	R HCO ₃ > r Cl > r SO ₄ R Mg > r Ca > r(Na+K)	6.66	S3
Sulfatée calcique	R SO ₄ > r Cl < r HCO ₃ R Ca > r Mg > r(Na+K)	46.66	f2.f4.f5.S1.S2.S7.S8

Selon la classification de STABLER ; les analyses montrent deux familles principales :

- _ bicarbonatée calcique.
- _ sulfatée calcique.

Ceci nous amène à penser que les eaux des sources et des forages appartiennent aux mêmes aquifères ou à des aquifères communicants.

La présence du faciès sulfaté calcique et magnésien est l'impact des formations gypseuses du Lutétien surtout au niveau du forage Ali Ouyaha avec une concentration de 888 mg/l pour les sulfates qui dépasse les normes de l'OMS. Ce forage est destinée à l'irrigation vue sa mauvaise qualité chimique.

4- INDICE D'ECHANGE DE BASE (i.e.b) :

L'indice d'échange de base proposé par SCHOELLER en 1934 et qui est défini comme le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existants dans l'eau. Il est obtenu par la relation suivante :

$$i.e.b = \frac{rCl^- - r(Na^+ + K^+)}{rCl^-}$$

Cette capacité d'échange est particulièrement élevée pour les argiles.

- Ø Si l'i.e.b est négatif, les ions Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺ de l'eau sont échangés contre les ions K⁺ et Na⁺ des formations encaissantes.
- Ø Par contre si l'i.e.b est positif, les ion Na⁺ et K⁺ de l'eau sont remplacés par les ions Mg⁺⁺ et Ca⁺⁺ des formations encaissantes.

Ø Si l'i.e.b = 0, il y a un équilibre entre les compositions chimiques de l'eau et celle du terrain encaissant.

L'utilisation de cet indice est importante car il met en évidence les modifications du chimisme de l'eau au cours de son trajet souterrain.

L'interprétation des données des i.e.b calculés montre que la majorité des eaux souterraines de bassin de Bouzina ont un i.e.b négatif variant de -0.72 à -1.102 donc les eaux échangent les ions (Ca, Mg) contre les ions Na du terrain.

Seule les forages de Tidjdad, Tagoust et la source d'iggueribene présentent un i.e.b positif, ou les ions Na de l'eau sont échangé contre les ions Ca et Mg du terrain.

<i>Echantillons</i>	<i>Valeur de i.e.b</i>
F Nardi	-0.016
F Nardi07	-0.02
F Tidjdad	0.023
F Tidjdad07	0.7
F Mezline	-0.64
F Samer	-0.35
F Ali ouyaha	-0.24
F Tagoust	0.22
F Tagoust07	0.32
S El Ouast	-0.023
S Nardi07	-0.03
S Ain Zina	-0.25
S Ain Zina07	0.44
S Tabgha	-0.12
S Tabgha 07	0.45
S Oum Rekha	-0.14
S Tiza	-0.39
S Iggueribene	-0.72
S Tamrijte	0.32
S Agazize	-1.102
S Tasserift	-0.18

Les valeurs calculées sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau N° 26: Les Indices D'Echange De Base Des D'Éférentes Points D'Eaux

--	--

5- QUALITE CHIMIQUE DES EAUX DE LA VALLEE DE BOUZINA :

Afin de définir la potabilité des eaux souterraines, nous allons nous baser sur deux types de normes: Ceux de l'O.M.S (Organisation Mondiale De La Santé) et ceux basé sur le D.H.T (Degré Hydrométrique Total)

5-1- POTABILITE DES EAUX :

5-1-1- Selon l'O.M.S :

Ces normes définissent deux types de concentrations maximales (Tableau 36) qui traduisent les limites de potabilité. On distingue :

- Ø Une concentration maximale acceptable à partir de laquelle une eau provoque une certaine réticence chez le consommateur ;
- Ø Une concentration maximale admissible qui correspond à la quantité maximale de substance à tolérer et dont la teneur supérieure peut être dangereuse pour la santé.

L'examen du tab 21 montre que tous les échantillons ont des teneurs en Mg^{+} Cl^{-} et NO_3^{-} inférieures aux normes maximales admissibles. Pour les sulfates 80 % des eaux ont des teneurs inférieures aux normes, les sources de Tabgha, Igguribene et le forage d'Ali Ouyaha présentent des concentrations de sulfate supérieur à la concentration maximale admissible.

La concentration maximale admissible pour le sodium est dépassée niveau de la source de Tasserift avec une concentration de 205mg/l.

Tableau N°27: Normes de potabilité de l'O.M.S

<i>Eléments chimiques</i>	<i>Concentration maximale acceptable (mg/l)</i>	<i>Concentration maximale admissible (mg/l)</i>	<i>des échantillons ayant une concentration inférieure à la concentration maximale admissible</i>
<i>Calcium</i>	75	200	86.66
<i>Magnésium</i>	50	150	100
<i>Sulfates</i>	200	400	80
<i>Chlorures</i>	200	600	100
<i>sodium</i>	15	200	93.33
<i>Nitrates</i>	50	100	100
<i>Ph</i>	7.0 -8.5	6.5 – 9.2	100

De manière générale, les eaux de bassin de Bouzina présentent une potabilité admissible selon l'O.M.S sauf quelques points qui présentent des anomalies (Forage Ali Ouyaha, sources d'Iggeribene et Tabgha), dues au lessivage des terrains gypseux traversées par ces eaux.

5-1-2- Normes selon le degré hydrométrique total (D.H.T) :

Le degré hydrométrique ou la dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en calcium et en magnésium.

$$DHT = rCa^{++} + rMg^{++} \quad (\text{en } m\acute{e}q/l)$$

$$DHT = (rCa^{++} + rMg^{++}) \times 5 \quad (\text{en degré Français } ^\circ F)$$

Une eau est dite très dure si $DHT > 54^\circ f$

De ces résultats, nous constatant que plus de 80 % des eaux prélevées au niveau de notre secteur d'étude sont assez douce à dure, dont le D.H.T est inférieur à $54^\circ F$.

Tableau N°27: Dureté Des Eaux en (W. THEOBALD et A. GAMA, 1969)

<i>D.H.T (en °F)</i>	<i>0 - 7</i>	<i>7 - 22</i>	<i>22 - 32</i>	<i>32 - 54</i>	<i>> 54</i>
<i>Qualification de l'eau</i>	<i>Douce</i>	<i>Modérément douce</i>	<i>Assez douce</i>	<i>Dure</i>	<i>Très dure</i>
<i>Pourcentage des points</i>	<i>00</i>	<i>26.66</i>	<i>26.66</i>	<i>26.66</i>	<i>20</i>

5-2- APTITUDES A L'IRRIGATION :

Deux paramètres peuvent nous indiquer si une eau est bonne pour l'irrigation, ce sont le pourcentage de sodium et S.A.R (Sodium Absorption Ratio).

5-2-1- POURCENTAGE EN SODIUM :

L'usage agricole d'une eau exige un pourcentage en sodium inférieur à 60 %, seuil maximal admissible. Ce pourcentage en Na^+ est donné par la relation suivante :

$$Na\% = [(Na^+ + K^+) \cdot 100] / [Ca^{++} + Mg^{++} + (Na^+ + K^+)] \quad \text{en meq/l}$$

L'analyse des résultats obtenue montre que les points d'eau de la région ont un pourcentage de Na^+ inférieur au 60%. Ce qui les rend apte à l'irrigation.

5-2-2- LE SAR

L'abondance de sodium dans l'eau d'irrigation peut provoquer également la dispersion et une destruction de la structure du sol, si la teneur en sodium est au moins trois fois supérieure à celle du calcium (R. S. AYERS et D. W. WESTCOT, 1988). Dans de telles conditions, il peut devenir extrêmement difficile de satisfaire les besoins en eau de la culture. Le risque est déterminé à partir de la valeur du sodium absorbable, « Sodium Absorption Ratio » (S.A.R). Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé. Le SAR est donné par la formule ci-dessous, il est utilisé en combinaison avec la conductivité électrique de l'eau.

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}, \text{ où tous les éléments sont exprimés en méq/l.}$$

Le tableau suivant récapitule les résultats du calcul $Na\%$ et le SAR

Tableau N°29: Le $Na\%$ Et Le SAR Pour Les Différentes Points D'Eaux

<i>ECHANTILLONS</i>	<i>COMPAGNE 1999</i>		<i>COMPAGNE 2007</i>	
	<i>Na %</i>	<i>SAR</i>	<i>Na%</i>	<i>SAR</i>
F1	5.97	2.98	5.26	2.6
F2	25.16	12.01	/	/
F3	3.99	2.03	/	/
F4	4.03	2.02	/	/
F5	10.04	4.89	13.65	6.64
F6	6.15	3.09	6.25	3.07
S1	21.82	9.77	4.56	2.25
S2	4.04	2.07	/	/
S3	6.04	3.04	7.49	3.68
S4	7.05	3.51	13.5	6.57
S5	4.01	2.01	/	/
S6	7.57	3.85	/	/
S7	21.74	9.86	/	/
S8	10.26	5.02	/	/
S9	9.84	4.81	/	/

L'examen des échantillons montre que la totalité des eaux du bassin présente des valeurs de SAR inférieur à 10 d'ou leur aptitude à l'irrigation. Seul le forage de Ali Ouyaha présente des eaux de mouvaie qualité même pour l'irrigation.

La représentation graphique de SAR en fonction de la conductivité, nous permet de déduire la classe à la quelle appartient l'eaux analysée.

Après avoir reporté les différentes valeur sur le graphe (Fig 67) nous remarquant que les eaux du secteur étudié appartiennent au classe suivantes :

- Eaux présente un degré de salinité moyenne (C3) et un degré d'alcalinité faible (S1) (Forage Tidjdad et Tagoust et source de Tabgha).
- Eaux présente un degré de salinité élevée (C3) et un degré d'alcalinité moyenne (S1) (Forage Nerdi et sources d'El Ouast et Ain Zina).

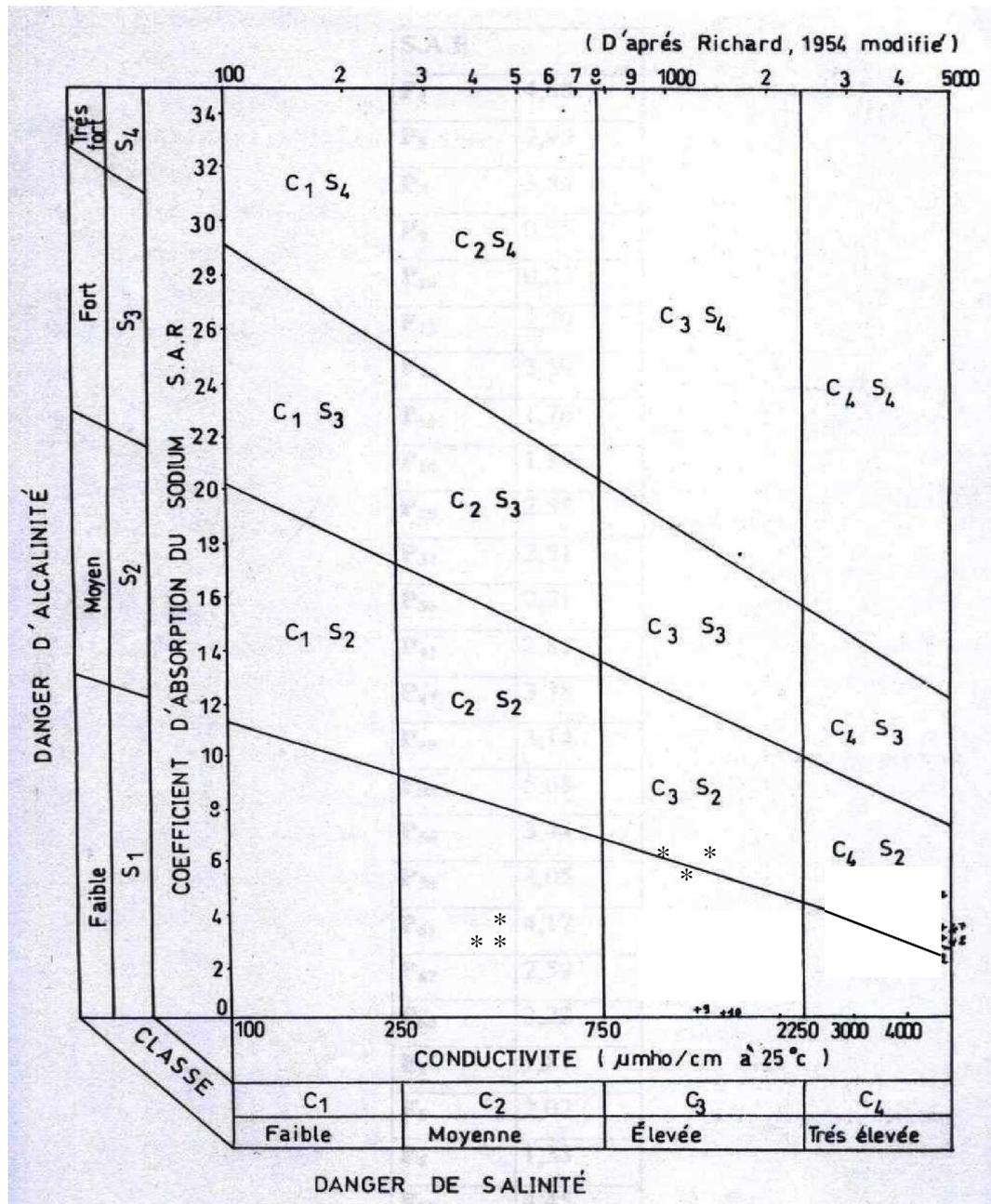


Figure 67: Classification Des Eaux D'irrigation (Méthode De SAR)

6- APERÇU SUR LA POLLUTION

La pollution détériore la qualité de l'environnement en provoquant aussi de grands dangers pour les eaux souterraines et superficielles.

Les facteurs de pollution sont multiple : industrie, agriculture, vie domestique et vie biologique, ainsi d'autre types de pollution liée aux formations géologiques qui se produit grâce à leur lessivage par les eaux.

Dans la région étudiée, il y a trois sources principales de la pollution :

- _ **Pollution d'origine domestique et urbaine** : Due à l'usage de l'eau par les foyers domestiques, ce type de pollution caractérise la partie sud ouest et la partie centrale du bassin versant, mais reste relativement peu importante du fait du nombre assez réduit d'habitants (15939 habitant en 1998) dans cette zone.
- _ **Pollution d'origine agricole** : Due à l'usage excessif des engrais chimiques pour la fertilité des sols surtout dans la partie nord au niveau de la plaine de Nerdi. Cette forme de pollution est également très limitée.
- _ **Pollution Naturelle** : Elle est le résultat de lessivage des formations géologiques qui existent dans la région.

7- CONCLUSION

L'étude hydrochimique de la nappe éocène_maestrichtien au niveau de bassin de Bouzina, nous a permis de ressortir un certain nombre d'éléments :

- _ l'influence des terrains géologiques et de la pluviométrie sur la concentration des éléments chimiques
- _ La variation des faciès chimiques est due au phénomène de dilution.
- _ La majorité des échantillons analysés a permis d'identifier deux grandes familles chimiques suivantes :
 - eaux bicarbonatées calciques.
 - eaux sulfatées calciques.
- _ La présence du faciès sulfaté calcique et magnésien est l'impact des formations gypseuses du Lutétien.
- _ La minéralisation est essentiellement due aux ions de Ca^{++} et SO_4^- , quant à la teneur des Chlorures est généralement supérieur à 100mg/l.
- _ Les eaux de bassin de Bouzina présentent une potabilité admissible selon l'OMS sauf quelques points qui présentent des anomalies,

Ceci nous amène à penser que les eaux des sources et des forages appartiennent aux mêmes aquifères ou à des aquifères communicants.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE :

Le but principal de notre étude est la localisation des aquifères susceptible d'être exploités pour différents besoins de la région et d'apprécier leurs qualités chimiques. Nous avons pu sur la base de différentes données géologiques et géophysiques, préciser d'avantage les capacités hydriques que recèle le bassin de Bouzina.

Le massif de l' Aurès, constitué l'extrémité nord orientale de la chaîne Atlasique.

Du point de vue stratigraphique, il est caractérisé par des dépôts détritiques du Cétacé inférieur, et des dépôts argilo carbonates du Crétacé supérieur, et du Jurassique. Les sédiments tertiaires sont à dominante carbonatée du Paléocène jusqu' à L'Eocène moyen, tandis que le Néogène est essentiellement détritique.

Sur le plan structural, les structures anticlinales et synclinales résultent de l'effet de la phase Atlasique (Fini Lutétien) et ont été accentuées au cours de la phase post Miocène supérieur.

En ce qui concerne les cassures : 04 directions préférentielle ont été identifiées : NW- SE, NE -S, E-W et Nord -Sud. Ces directions correspondent à des accidents dextres et / ou senestre, parfois à des failles présentant une composante normale ou inverse, ayant joué au moins à partir de la phase Emsherienne jusqu' au Miocène voir même au Plio-Quaternaire.

Du point de vu stratigraphique, le bassin de Bouzina est caractérisé par des dépôts argileux carbonatés du Crétacé supérieur, Les sédiments tertiaires sont essentiellement détritiques.

Sur le plan structural, le synclinal de Bouzina d'orientation Atlasique est subdivisé par un petit repli anticlinal culminant à Koudiet El Arar, ce dernier sépare la plaine de Nerdi au NE, du vieux Bouzina au SW. Un deuxième repli anticlinal plus important au SW, le Dj Bouss- Adrar Moudhaff permet d'imposer une limite structurale au bassin hydrogéologique.

L'examen des cartes d'isorésistivité et les coupes géoélectriques corrélés avec la géologie ont permis de bien cerner la géométrie et l'extension des Aquifères de Lutétien, Landénien et Maestrichtien.

Le bassin de Bouzina appartient au sous bassin de Oued Abdi (qui fait partie du bassin 06 Chott Melghir), il est soumis à deux régimes climatiques : *Climat subhumide* à hivers froids dans la partie Nord Est avec une précipitation annuelle moyenne qui varie de 400 mm à 450 mm dans la partie amont, au sommet de Dj Mahmel et Rharab, et une température moyenne annuelle de 12.22° C, et *un climat semi aride* hivers frais (partie Sud Ouest) avec une précipitation annuelle moyenne de l'ordre de 300 mm au centre du bassin et

qui diminue plus au Sud et une température moyenne annuelle de 14.16°C, ce bassin présente une altitude moyenne avoisinant 1450 m.

Le pouvoir évaporant approchés par la formule d'estimation d'évapotranspiration réelle de Thornthwaite au stations S'gag, Bouzina et Menâa, sont respectivement de l'ordre de 298,33 mm soit 66% des précipitations 280,46 mm soit 95% des précipitations et 236.96mm soit 97% des précipitations moyennes annuelles. Les infiltrations sont de l'ordre $6.20 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ /an à la station de S'gag, de $0.26 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ /an à la station de Bouzina, et de $0.205 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ /an à la station de Menâa.

L étude hydrologique montre que les formations carbonatées fissurées de l'Eocène Maestrichtien sont les siège d'une nappe captive, artésienne par endroits et libre aux bordures, qui repose sur un complexe marneux imperméable du Campanien et Coniacien. Leur alimentation est assurée par les infiltrations directes lors des précipitations et surtout celle sous forme de neige.

Cette nappe présente deux exutoires naturels importants qui sont les sources de Tabgha (vieux Bouzina) et Tasserift avec des débits moyenne de 80-60 l/s. La surface piézométrique de cette aquifère garde la même morphologie suivant la topographie, avec fluctuation en fonction des différentes saisons et de la pluviométrie. Le sens d'écoulement préférentiel est du Nord Est vers le Sud Ouest vers l'extérieur de la zone étudiée.

On constate que le volume écoulé des sources et celui des prélèvements équivalent pratiquement le volume infiltré moyen annuel; c'est à dire que seules les réserves renouvelables sont exploitées (sources plus pompages).

Parfois quand les débit d'exploitation des forages, notamment privés, dépassent un certain seuil, les débits de sources enregistrent une baisse et créent ainsi des tensions entre population et exploitants.

La partie hydrochimie a mis en évidence la prédominance du faciès bicarbonatés calcique provenant des calcaires, et du faciès sulfaté calcique et Magnésiens provenant des formations gypseuses du Lutétien.

Quelques points d'eau se singularisent cependant par une qualité médiocre aussi bien pour l'AEP que l'agriculture (ex : forage de Ali Ouyaha).

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE :

- § *ABCHICHE M. (1999)* : étude hydrogéologique de la vallée de Oued Abdi et Bouzina (w. Batna). 56p.
- § *ACHI K. (1995)* ingénieur hydrogéologue ANRH: Etude hydrogéologique des vallées Aurasiennes. 70p.
- § *AIDAOUI S. (1994)* : ressource en eau et aménagement hydro-agricole dans la région de Biskra « Ziban » Algérie .Thèse doctorat université de Nancy II.
- § *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.
- § *ANRH (BATNA)* : Données pluviométriques.
- § *ANRH (BISKRA)* : Données pluviométriques.
- § *ANRH (CONSTANTINE)* : Analyses chimiques des eaux.
- § *ATHAMENA M. (2006)* : Etude des ressources thermales de l'ensemble allochtone Sud Sétifien. Mémoire magister .univ Hadj Lakhdar-Batna.130p.
- § *BAKALOWIEZ M. (1979)* : Contribution de la géochimie des eaux à la connaissance de l'aquifère karstique et de la karstification. thèse univ Paris VI.269p.
- § *BALLAIS J.L (1981)*: Recherches géomorphologiques dans les Aurès (*Algérie*). A.N.R.T., Lille III, 2vol. 626p.
- § *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.
- § *BERNBARD G. (1984)* : la pratique des pompages d'essai en hydrogéologie, manuels et méthodes. éditions du BRGM.134p.
- § *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 Biskra, Mémoire Magister, université Badji Mokhtar- Anaba. 103p.
- § *CASTANY G (1982)* : Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Edit. Dunod. Paris. P 236.

- § *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.*
- § *COIFFAIT P E. (1992): Un bassin post-nappe dans son cadre structural l'exemple du bassin de Constantine (Algérie Nord Orientale). Thèse Sc Nancy I502p.*
- § *DERIAS T (2004) : Aquifère hétérogène sous climat semi-aride : Aspect ydrodynamiques et hydrochimiques. Exemple de la plaine de Tèbessa. Mémoire magister, univ Houari Boumedienne Alger. 107p.*
- § *DHW (BATNA) : Coupes Lithostratigraphiques des Sondages et Essais de Pompages*
- § *ENHYD (1997) : Etude de la faisabilité du barrage de Menâa rapport de synthèse.*
- § *GENETIER.B (1985) : la pratique des pompages d'essai en hydrogéologie, manuels et méthodes N°9. Editions du BRGM.*
- § *GUIRAUD R. (1973) : 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. Thèse 3ecycle, Université de Nice.*
- § *GUIRAUD R. (1974) : A la recherche du rheimatisme de l'Algérie du Nord et des régions voisines. Annales Scientifiques de l'Université de Besançon. 3 ème série, Fasc. 22.*
- § *GUIRAUD R. (1986) : Corrélations entre les principaux évènements géodynamiques enregistrés du Trias à nos jours sur les marges alpine et atlantique de la plaque africaine. Mém. de la Fac. des Sci. de Marrakech.*
- § *GUIRAUD R. (1978) : Le « continental terminal » en Algérie. Ann. Fac. SC. Dakar, t31, p 85-87.*
- § *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.*
- § *HERKAT M. (1991) : Cycle eustatiques et cadre paléogéographique du Crétacé supérieur des Aurès (Algérie 2^{ème} 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.*
- § *KAZI-TANI. N (1986) : Evolution géodynamique de la bordure Nord Africaine : le domaine intraplaque nord algérien. Approche mégaséquentielle. Thèse doct d'Etat. Univ. Pau. 886p.*

- § *LAFFITE R. (1939) : Etude géologique de l'Aurès (Algérie). Propositions données par la Facul sciences d'Alger. 484p.*
- Carte géologique des Aurès au 1/200 000.
- § *MANGIN.A (1975) : Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstique. Thèse de Doctorat ès Sciences, Université de Dijon.*
- § *MANGIN. A (1978) : Le karst, entité physique abordé par l'étude du système karstique. Le karst: son originalité physique, son importance économique, Tarbes, geoexpo, p 21-37.*
- § *MARCILY.G (1981) : hydrogéologie quantitative. Masson paris 194p.*
- § *MASSAAD E (2005) : les aquifères karstiques de l'anti-Liban et du nord de la plaine de la Bekaa : caractéristiques, fonctionnement, évolution et modélisation, d'après l'exemple du système karstique anjarchamsine (Liban). Thèse doctorat. Univ MONTPELLIER II et SAINT JOSEPH. 293p.*
- § *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.*
- § *RADIER J (1990): l'analyse de l'eau eaux naturelles eaux résiduaires eaux de mer chimie phisico-chimie –microbiologie, biologie interprétation des résultats.*
- § *RAOULT.J (1974) : Géologie du centre de la chaîne numidique (Nord du Constantinois Algérie). Thèse Science Paris, Mém. Soc Géol.Fr nouv. Ser , III n°121.p 1-163.*
- § *SAVORNIN.J (1920) : Etude géologique de la région du Hodna et du plateau setifien. Thèse Sc.bull. serv carte Géol. Algérie, 2eme série, n° 7. 502p.*
- § *SCHOELLER H. (1959) : hydrogéologie des régions arides, progrès récentes.*
- § *SELTZER.P (1946) : le climat de l'Algérie recueil de données météo. Université Alger.219p.*
- § *YAHIAOUI A. (1990): La partie inférieure de la série marno-calcaire du Crétacé supérieur (Cénomanién supérieur à Coniacien inférieur, entre Batna et El Kantara). Algérie orientale : Stratigraphie, Sédimentologie et Paléogéographie. Thèse de Doctorat, Univ. Nancy I.*
- § *VILA J.M. (1980): La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens. Thèse ès Sci. Paris VI,2 t., 665 p.*
- § *WILDI W. (1983) : La chaîne tello-rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie) : structure stratigraphique et évolution du Trias au Miocène. Rev. Géol. dyn. Et Géogr. Phys, n°24, n° 3, p. 201-298.*

ANNEXES

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 01 : Carte De La Situation De La Commune De BOUZINA

ANNEXE 02 : Carte géologique des Aurès Laffitte (1939) (1/200000).

ANNEXE 03 : Teste d'homogénéisation des séries.

ANNEXE 04:

TABLEAU 01 : données des précipitations de la station de Bouzina période (1971-2000).

TABLEAU 02 : données des précipitations de la station de Menaâ période (1971-2000).

TABLEAU 03 : données des précipitations des stations de Ain Touta, Thniet El Abed et S'gag.

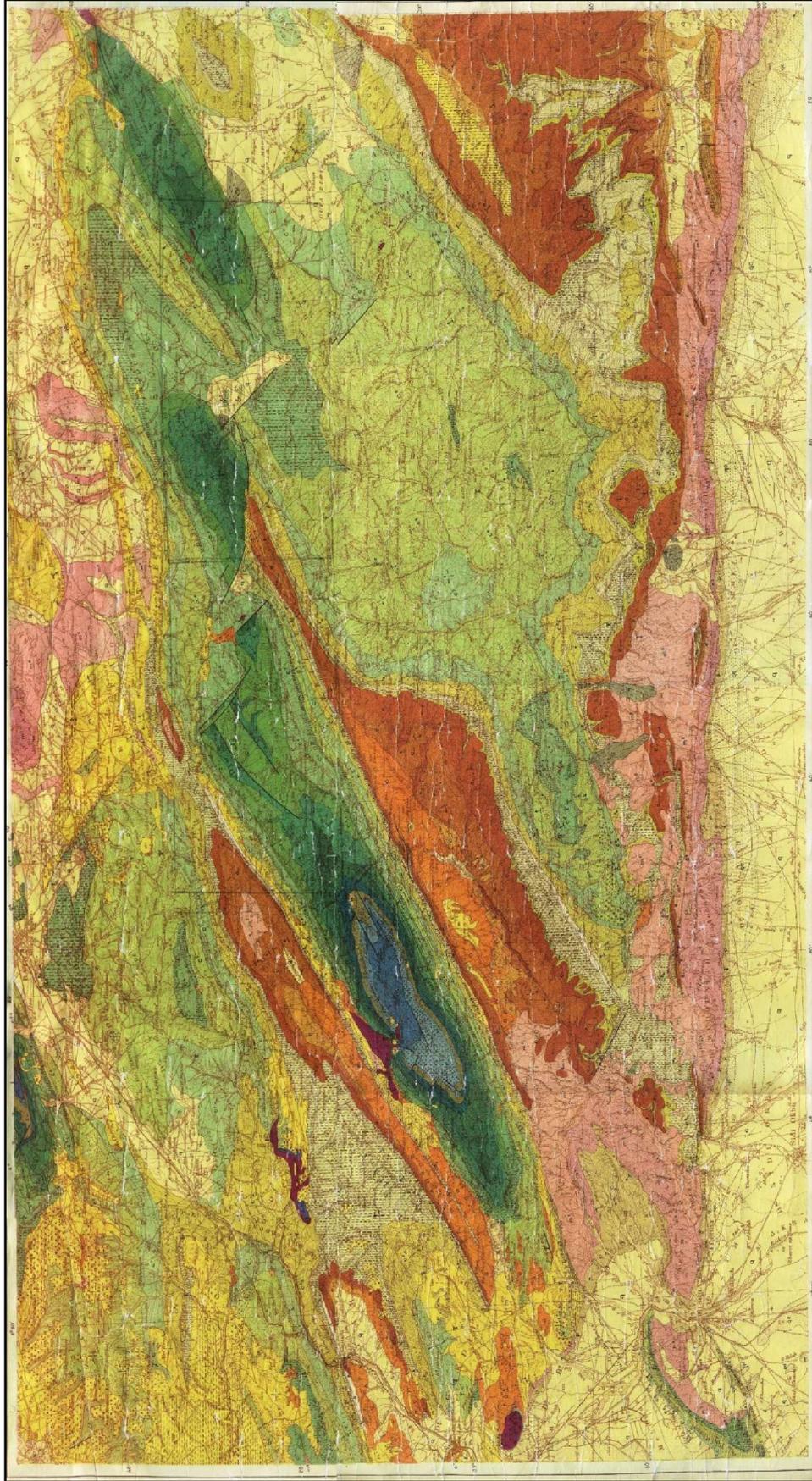
ANNEXE 05 : tableau récapitulatif des sources dans la vallée de Bouzina et plan de localisation.

ANNEXE 06 : analyse des sources et des forages ; campagnes de novembre 1999.

(Laboratoire chimie des eaux_ ANRH CONSTANTINE).

ANNEXE 07 : les valeurs des paramètres physiques des différents points d'eaux.

ANNEXE 08 : analyse des sources et des forages campagnes d'avril 2007.



ANNEXE 02 : Carte géologique des Aurès Laffitte (1939) (1/200000).

ANNEXE 03 : TESTE D’HOMOGENESATION DES SERIES

Pour tester l’homogénéité des séries observées, on a utilisé le test de Wilcoxon.

Le procédé est comme suit :

- on divise la série des pluies d’origine en deux séries X et Y tel que N1 et N2 sont respectivement les tailles des deux séries, généralement N2 > N1.
- Puis il faut construire la série XUY après avoir classé la série d’origine en ordre croissante, puis on attribue à chaque valeur son rang en précisant à quel sous groupe elle appartient.

Wilcoxon a montré que la série est homogène avec une probabilité de 95 % si :

$$W_{min} < W_x < W_{max}$$

Avec $W_{max} = \sum \text{rang } X$

$$W_{min} = [(N_1 N_2 + 1) N_1 - 1] / 2 - 1.96 [(N_1 N_2 (N_1 + N_2 + 1) / 12)]^{1/2}$$

$$W_{max} = (N_1 + N_2 + 1) N_1 - W_{min}$$

Avec : W_x : somme des rangs de sous série X.

N1 : taille de sous série X.

N2 : taille de sous série Y.

STATION DE BOUZINA :

On divise la série initiale en deux sous série (X : N1= 10 _ Y : N2= 12)

X	Y	Rang	Série croissante	Rang	Série croissante
215.3	432.7	1	165	13	280
229.5	389	2	184.8	14	286
256.6	280.2	3	205	15	297
237.96	257.5	4	215.3	16	315.5
248	220.5	5	220.5	17	317.5
440.8	297	6	229.5	18	389
269.4	553.6	7	237.96	19	432.7
315.5	205	8	244.8	20	440.8
317.5	286	9	256.6	21	553.6
244.8	184.8	10	257.5	22	553.6
	265	11	265		
	165	12	269.4		

$$W_x = \sum \text{rang } X = 114$$

$$W_{min} = 84.78 \quad \Rightarrow 84.78 < 114 < 145.22 \text{ donc la série est homogène.}$$

$$W_{max} = 145.22$$

STATION DE MENAA:

X	Y	Rang	Série croissante	Rang	Série croissante
211.3	235.5	1	116.8	18	244.7
170.5	211.0	2	128.3	19	249.3
355	191.7	3	132.6	20	256.3
317	266.2	4	133.9	21	266.2
132.6	240.1	5	134.1	22	274.3
244.7	128.3	6	142.8	23	307.1
224.1	327.6	7	143.2	24	307.8
431.8	116.8	8	158.2	25	317
134.1	143.2	9	170.5	26	318.3
232.3	191.5	10	191.5	27	327.6
249.3	452.2	11	191.7	28	355
551.7	256.3	12	211	29	356.1
318.3	274.3	13	211.3	30	431.8
142.8	158.2	14	224.1	31	452.2
307.8	133.9	15	232.3	32	551.7
	356.1	16	235.5		
	307.1	17	240.1		

$$W_x = \sum \text{rang } X = 267$$

$$W_{\min} = 195$$

} $\Rightarrow 195 < 267 < 300$ donc la série est homogène.

$$W_{\max} = 300$$

STATION DE S'GAG:

X	Y	Rang	Série croissante	Rang	Série croissante
379.76	311.98	1	95.6	14	272.14
397.36	360.18	2	135.4	15	273.3
212.3	456.31	3	147.1	16	311.98
473.3	255.5	4	176.71	17	324.9
473.5	234.1	5	184.7	18	360.18
268.5	448.7	6	212.3	19	379.76
324.9	95.6	7	220.68	20	382.44
382.44	229.9	8	222.11	21	397.36
172.71	135.4	9	229.9	22	448.7
272.14	184.7	10	234.1	23	456.31
222.11	147.1	11	255.5	24	473.5
	256.2	12	256.2		
	220.68	13	268.5		

$$W_x = \sum \text{rang } X = 161$$

$$W_{\min} = 103.17$$

} $\Rightarrow 103.17 < 161 < 171.83$ donc la série est homogène.

$$W_{\max} = 171.83$$

ANNEXE 04 :

Tableau 01 : Données Des Précipitations De La Station De Bouzina période (1971-2000)

Mois Années	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
1971	59.0	9.0	60.0	34.0	28.0	13.0	9.5	43.5	16.5	46.5	3.08	19	347
1972	86.0	4.5	25.75	25.78	17.74	23.6	61.5	28.5	3.5	7.0	16.5	12.36	329.2
1973	37.74	5.0	11.6	39.8	5.8	20.0	62.9	23.9	5.1	12.1	0.0	2.0	225.9
1974	19.4	3.5	2.5	0.0	9.6	56.4	33.1	28.04	26.48	14.7	3.08	12.36	209.2
1975	37.74	35.69	25.75	25.78	17.47	25.19	26.98	28.04	26.48	14.7	3.08	0.0	266.9
1976	65.0	35.69	27.8	25.78	17.47	25.19	26.98	28.04	97.3	7.5	3.08	12.36	372.2
1977	37.74	35.69	25.75	8.0	15.5	17.5	12.5	35.0	12.6	0.0	0.0	24.0	224.3
1978	4.5	59.1	3.4	6.0	33.8	23.0	20.8	42.3	2.7	15.7	0.0	4.0	2015.3
1979	35.3	35.69	28.1	0.0	6.8	16.0	47.7	41.3	42.4	3.5	0.0	7.8	229.5
1980	39.0	0.0	65.7	55.6	1.0	28.0	21.8	18.0	3.0	18.0	0.0	6.5	256.6
1981	37.7	10.1	1.0	39.7	5.0	37.0	33.0	55.6	6.0	0.0	0.5	12.36	237.96
1982	18.5	41.0	88.5	12.0	0.0	13.0	6.5	35.0	8.0	8.5	0.0	17.0	248.0
1983	0.0	318.0	3.5	6.0	5.0	35.0	7.8	14.5	13.0	19.5	0.0	18.0	440.5
1984	3.5	63.0	24.0	14.7	15.0	28.0	37.7	10.5	72.5	0.0	0.0	0.0	269.4
1985	17.5	40.5	45.5	26.0	15.0	42.5	90.0	14.0	2.5	7.0	0.0	5.0	315.5
1986	85.5	58.5	23.2	26.0	16.0	37.0	9.5	15.0	17.0	19.0	10.0	1.5	317.7
1987	8.0	33.0	25.5	52.5	12.0	2.0	16.7	19.5	17.0	58.6	0.0	0.0	244.8
1988	84.0	11.0	24.5	55.5	1.0	62.5	6.5	46.0	47.0	44.0	3.08	47.6	432.68
1989	26.5	30.0	13.5	16.0	19.0	0.0	26.5	62.5	90.5	13.5	11.0	71.0	389.0
1990	14.5	70.0	38.0	41.5	6.0	30.0	24.5	22.0	1.0	5.0	1.0	26.2	389.0
1991	0.0	47.0	12.0	21.0	23.0	17.0	31.5	23.5	61.5	0.0	15.5	5.5	257.5
1992	58.0	13.5	41.0	21.0	2.0	33.58	12.5	8.0	25.0	0.0	2.0	4.0	220.5
1993	18.5	6.5	13.0	23.0	23.0	6.5	30.5	7.5	0.0	14.7	3.08	9.8	138.3
1994	78.0	49.0	19.0	7.0	30.5	2.0	43.0	205	18.5	16.5	0.0	13.0	297.0

1995	89.5	32.0	26.0	49.6	64.0	114.5	89.0	27.5	28.5	10.5	16.0	7.0	553.6
1996	16.5	0.0	0.0	20.0	43.0	27.3	10.5	57.0	0.0	14.7	0.0	16.0	190.3
1997	57.0	21.5	1.5	36.5	12.5	19.5	13.01	65.5	20.5	34.5	0.0	7.0	310
1998	21.5	14.5	15.5	18.0	20.0	11.8	14.5	9.0	12.0	36.0	1.5	9.5	256
1999	32.0	17.0	64.5	52.0	0.0	0.0	3.0	10.0	86.5	0.0	0.0	0.0	265.7
2000	30.5	4.0	11.0	28.0	52.0	7.0	0.0	1.5	31.5	0.0	0.0	0.0	256

Tableau 02 : Données Des Précipitation De La Station De Menâa période (1971-2000)

Mois Années	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
1971	32.9	15.2	86.4	31.7	55.3	2.5	31.6	66.1	16.3	14.2	0.0	2.8	355.0
1972	95.5	36.6	27.0	30.2	31.7	21.7	38.2	19.9	0.0	16.5	0.0	0.0	317.0
1973	0.0	0.0	0.0	27.6	0.0	14.2	59.2	11.3	0.0	16.2	0.0	4.1	132.6
1974	52.8	0.0	17.2	0.0	7.4	31.9	26.5	12.5	91.0	0.0	0.0	5.2	244.7
1975	42.5	0.0	18.9	9.7	0.0	50.6	19.7	5.2	31.1	38.4	0.0	8.0	224.1
1976	105.7	35.4	40.6	17.2	92.9	0.0	2.5	33.1	98.4	0.0	0.0	6.0	431.8
1977	45.0	0.0	27.46	33.76	9.0	12.5	3.0	17.2	7.5	12.49	0.0	34.9	199.5
1978	4.0	11.7	0.0	0.0	24.9	17.3	29.9	40.3	0.0	6.0	0.0	0.0	134.1
1979	35.4	24.4	0.0	0.0	13.5	44.5	38.5	35.6	38.4	2.0	0.0	0.0	232.3
1980	31.6	0.0	75.9	59.6	0.0	21.0	15.2	27.2	0.0	13.8.	0.0	5.0	249.3
1981	3345	9.0	0.0	405.0	0.0	40.7	13.4	50.1	0.0	0.0	0.0	0.0	551.7
1982	19.4	59.0	75.4	4.0	0.0	7.6	45.0	0.0	82.0	0.0	0.0	16.9	318.3
1983	0.0	24.5	0.0	1.7	5.0	65.2	10.5	0.0	0.0	16.2	0.0	19.8	142.9
1984	0.0	41.3	33.3	4.0	38.6	41.2	67.9	11.5	57.0	12.49	0.0	0.0	307.2
1985	0.0	16.8	46.3	15.9	18.7	46.8	73.8	12.2	0.0	0.0	0.0	5.0	235.5

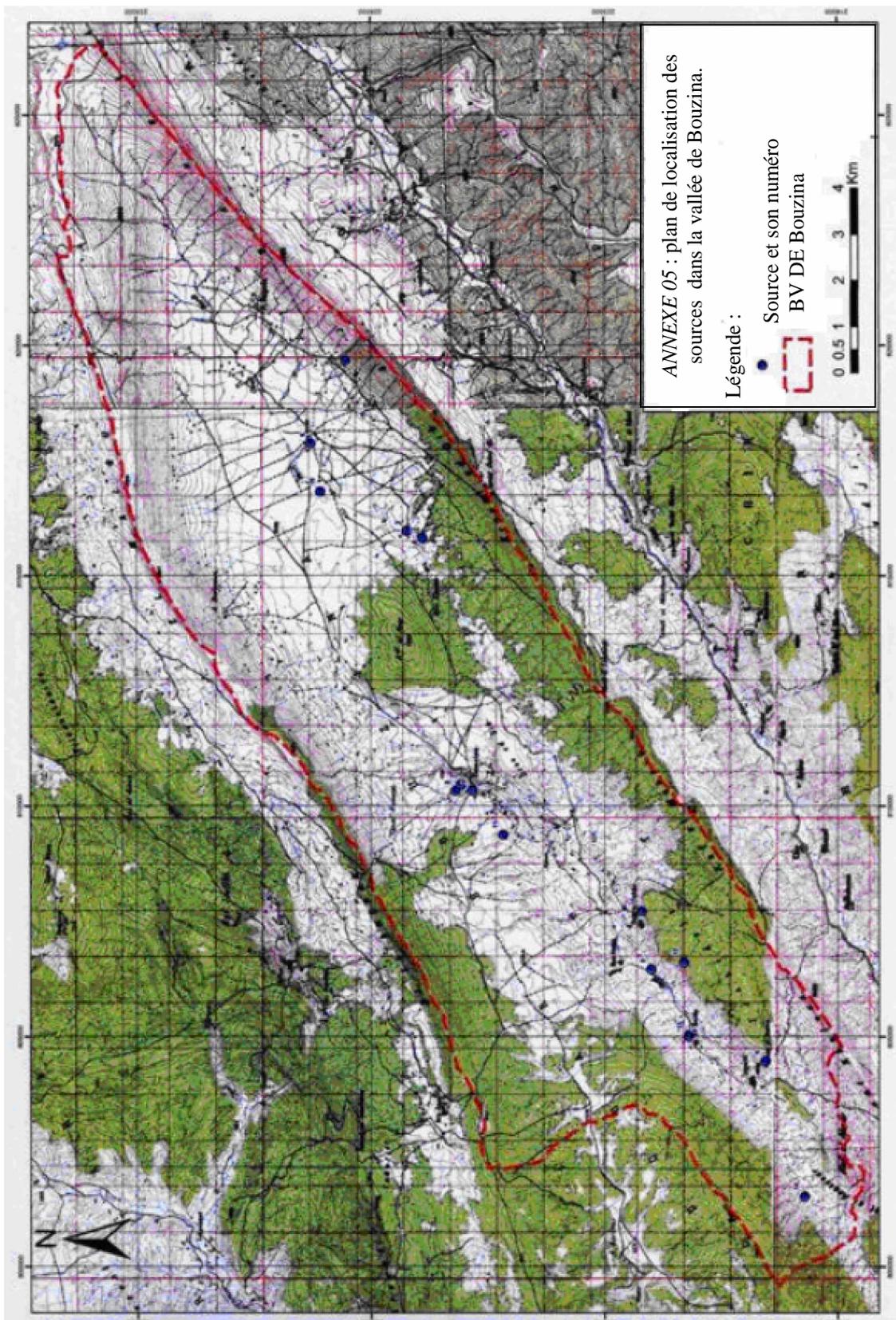
1986	49.5	64.1	18.2	21.9	11.7	25.4	9.7	0.0	5.5	5.0	0.0	0.0	211.0
1987	7.5	33.8	10.2	58.0	8.0	0.0	14.2	8.2	12.2	39.6	0.0	0.0	191.7
1988	35.3	2.7	10.4	31.0	21.86	44.8	0.0	35.7	16.1	55.8	0.0	12.8	266.2
1989	35.3	12.3	13.9	9.0	21.9	0.0	25.4	47.2	52.2	0.4	0.0	22.5	240.1
1990	10.4	0.0	17.1	8.8	2.1	21.4	49.5	11.3	0.0	0.5	33.0	7.2	128.3
1991	7.0	65.2	15.2	21.6	28.0	15.1	29.3	16.2	72.5	12.49	0.0	12.0	327.6
1992	21.8	10.0	33.0	0.0	0.0	30.9	17.1	0.0	19.4	16.4	0.0	0.0	116.8
1993	1.6	21.7	34.5	11.9	19.4	16.3	31.2	2.5	0.0	5.7	0.0	0.0	143.2
1994	50.9	54.1	22.9	0.0	16.7	0.0	26.8	6.0	0.0	3.6	0.0	41.0	452.2
1995	76.7	29.8	0.0	26.2	52.5	8.6	104.0	33.1	10.4	31.9	0.0	41.0	452.2
1996	9.6	0.0	0.0	10.3	21.7	7.4	52.0	45.6	0.0	6.7	0.0	94.0	256.3
1997	22.0	9.2	83.5	23.5	7.8	10.7	12.0	50.4	14.3	40.4	0.0	0.5	274.3
1998	19.6	11.8	62.0	6.7	19.7	4.3	3.4	5.6	7.7	0.7	0.0	16.7	158.2
1999	23.0	10.0	40.4	36.5	1.0	0.0	3.6	15.4	4.0	0.0	0.0	0.0	133.9
2000	31.6	21.7	5.5	40.4	39.6	6.8	0.0	0.0	1.7	13.4	0.0	11.61	177.7

Tableau 03 : Données Des Précipitation De La Station De Ain Touta , Thniet El abed et S'gag

années	Ain touta	Thniet El Abed	S'gag
71-72	/	241.43	507.4
72-73	/	184.54	740.5
73-74	/	131.56	306.0
74-75	342	189.21	381.8
75-76	334	379.76	592.0
76-77	154	397.36	558.5
77-78	211	212.3	318.6
78-79	222	273.3	237.6
79-80	246	473.5	361.8
80-81	184	268.0	553.0
81-82	185	324.9	399.0
82-83	210	382.44	337.5
83-84	305	176.71	262.1
84-85	382	272.14	506.2
85-86	225	449.62	491.1
86-87	164	224.48	389.6
87-88	233	222.11	132.9
88-89	250	311.98	579.6
89-90	196	360.18	690.6
90-91	317	245.47	319.0
91-92	192	456.31	540.3
92-93	100	255.5	344.9
93-94	280	208.08	197.1
94-95	300	234.1	
95-96	260	448.7	
96-97	240	95.6	
97-98	131	229.9	
98-99	243	135.4	
99-00	180	184.7	
00-01	136	147.1	

ANNEXE 05 : tableau récapitulatif des sources dans la vallée de Bouzina

N°	Nom	localité	Coordonnées Lambert		Z
			X	Y	
1	Thifassour	Nerdi	819947	228218	1575
2	Ain Zina	Nerdi	816243	226911	1389
3	Ain Louci	Nerdi	816097	226583	1392
4	Agguerzize	Tagoust	804750	219250	1150
5	Ath El Hadj Ali	Vieux Bouzina	810625	225511	1215
6	Igueribene	Ali Ouyaha	806750	221700	1150
7	Tabgha	Vieux Bouzina	810750	225750	1290
8	Source Du Seuil	Vieux Bouzina	810609	225876	1280
9	Elouaste	Nerdi	818150	228950	1440
10	Anouandi	Nerdi	817100	228750	1420
11	Khebraz	Vieux Bouzina	809650	224850	1300
12	Boukerkour	Ali Ouyaha	906900	221000	1340
13	Tzmridjt	Tagoust	805300	220900	1100
14	Tiza	Tagoust	801800	218400	1120
15	Oum Rekha	Ali Ouyaha	808000	221900	1260



ANNAXE 06 : ANALYSE DES SOURCES ET DES FORAGES
CAMPAGNES DE NOVEMBRE 1999
(LABORATOIRE CHIMIE DES EAUX _ANRH CONSTANTINE)

LES ANALYSE DES FORAGES

points d'eau	X Lamb	Y Lamb	Z	Ça mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	CO3H mg/l	NO3 mg/l	rCA/rMG	rHCO3- /rSO4-	rSO4/rCL	rSO4- /rNa
Nerdi	817900	229200	1421	128	31	20	5	30	226	244	34	2.48	0.85	5.59	5.41
Tijdad	812900	224950	1330	68	26	9	1	15	74	244	14	1.16	2.59	3.66	3.94
Ali Oyaha	807050	222400	1140	376	46	54	5	70	888	275	2	4.9	0.24	9.39	7.9
Tagoust	804450	220250	1110	88	12	15	0	30	106	171	19	4.4	1.27	2.61	3.38
Mezline	811100	225000	1280	52	14	5	1	5	96	110	9	2.24	0.95	14.28	9.52

LES ANALYSE DES SOURCES

points d'eau	X Lamb	Y Lamb	Z	Ça mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	CO3H mg/l	NO3 mg/l	rCA/rMG	rHCO3- /rSO4-	rSO4/rCL	rSO4- /rNa
TASSERIFT	801400	215400	950	80	46	41	2	55	126	305	4	1.04	1.9	1.7	1.47
TABGHA	810750	225750	1290	186	37	205	5	285	466	244	0	3.01	0.41	1.2	1.08
TIZA	801800	218400	1120	48	14	9	0	10	96	92	12	2.06	0.75	7.14	5.12
AIN ZINA	816600	227350	1350	48	34	16	1	20	64	207	42	0.84	3.25	1.85	1.5
EL OUASTE	818150	228950	1440	108	14	10	0	15	144	189	28	4.65	1.03	7.14	6.97
TAMRIDJTE	805300	220900	1100	44	19	4	1	10	66	134	7	1.39	1.59	4.89	8.05
OUM REKHA	808000	221900	1260	76	19	44	1	60	140	146	0	2.4	0.82	1.72	1.52
IGUERRIBENE	806750	221700	1150	258	30	138	3	125	600	299	17	5.16	0.39	3.55	2.08
SAMER	810500	225800	1300	56	12	4	1	5	116	85	7	2.8	0.053	17.21	14.17
AGUERZIZE	804750	219250	1150	90	42	47	1	35	148	305	10	1.28	0.08	3.14	1.5

ANNEXE 07 : LES VALEURS DES PARAMETRES PHYSIQUES DES DIFFERENTES POINTS D'EAUX

Points d'eaux	Températures (°)	Conductivité μs	Salinité %	TDS mg/l
Forage Tidjdad	15	423	0,2	192
Source Ain Zina	14,7	782	0,4	378
Source Nerdi	14,5	1308	0,6	631
Forage Nerdi	15,9	1315	0,6	639
Forage Ben Fatouma	15, 2 9,3	954 631	0,4 0,3	462 297
Puit ALARCH	12,2	555	0,3	263
Puit Yousfi	14,5	420	0,2	200
S Vieux Bouzina site 1	14,5	423	0,2	202
S Vieux Bouzina site 2	15 17, 9	488 641	0,2 0,3	234 309
S Vieux Bouzina site 3	15,6 15,9	2730 2770	1,4 1,5	1350 1380
Forage Tagoust	16,5	3130	1,6	1520
Puit *	12,9	1640	0,7	795
Puit *				
Puit Séchie				
Puit Salah				

ANNEXE 08 : Agence Nationale Des Ressources En Eaux
 Laboratoire de la chimie des eaux
 Analyse de sources et forages
 Campagnes de avril 2007

Les ions	Analyse 01 F NERDI		Analyse 02 F TIDJDAD		Analyse 03 F TAGOUST		Analyse 04 S NERDI		Analyse 05 S AIN ZINA		Analyse 06 S V BOUZINA	
	P mg/l	R(mé/l)	Pmg/l	R(mé/l)	Pmg/l	R(mé/l)	Pmg/l	R(mé/l)	Pmg/l	R(mé/l)	Pmg/l	R(mé/l)
Ca++	180,60	9,03	74,93	3,74	5,07	3,75	160,8	8,03	106,60	5,33	62,02	3,10
Mg++	42,57	3,56	16,57	1,38	22,55	1,87	52,82	4,40	17,73	1,47	15,60	1,3
Na++	20,21	0,87	1,78	0,077	10,29	0,44	20,67	0,89	12,01	0,52	1,78	0,077
K+	5,36	0,13	1,92	0,049	4,82	0,123	4,8	0,12	4,04	0,10	2,94	0,075
Cl-	35	0,98	15	0,42	30	0,84	35	0,98	40	1,12	10	0,28
So4-	450	0,93	34	0,7	46	0,95	490	10,20	150	3,12	24	0,5
Hco3-	189,1	3,1	219,6	3,6	195,20	3,2	198,1	3,24	207,4	3,4	213,5	3,5
No3-	32	0,51	18	0,29	15	0,24	28	0,45	50	0,80	8	0,12
Ph	7,16		7,51		7,26		7,28		7,63		7,38	

ABSTRACT

The study area which is the basin Bouzina, belongs to the Aures Mountains, which is the eastern part of the chain Atlasique.

From the point of view stratigraphic it is characterized by clay deposits Upper Cretaceous carbonate. The Tertiary sediments are mainly detritic.

On the structural, synclinal of Bouzina guidance Atlasique is subdivided in the basin by a small decline anticline tops at El Koudiet Arar, the latter separates the plains of Nerdi NE, the old Bouzina SW. A second largest decline anticline SW, Dj Bouss-Moudhaff Adrar, to impose a structural limit pelvic hydrogeological.

An examination of cards and isorésistivité cuts géoélectriques correlated with the geology helped to identify the geometry and expansion of Lutétien of aquifers, and Landenian Maestrichtien.

The basin Bouzina under Basin Oued Abdi, belonging to the large pool of Chott Melghir (06), with an area of 194 sq km, has an average altitude of around 1450m. This basin subject to two weather patterns: Climate subhumid to cold winters in the Northeast, with a mean annual precipitation of 450 mm in the upstream, at the top of Dj Mahmel and Rharab. An annual average temperature of 12.22 °C.

And a semi arid climate winters costs (south west) with a mean annual precipitation ranges from 300 mm in the center of the basin, up to 250 mm in the southern part with an annual average temperature of 14.16 °C at 15.97 °C.

hydrological study shows that the fractured carbonate formations of Eocene Maestrichtien are the headquarters of an artesian aquifer in places, in other captive and free in most parts, based on a complex of marl impervious Campanian and Coniacian. Their food is provided by direct infiltration during rainfall and especially in the form of snow. The slick has two natural outlets, which are important sources of Tabgha (Bouzina old) and Tasserift. The piezometric surface of the aquifer will keep the same morphology following topography, with fluctuations depending on the season and rainfall. The flow direction is preferential to the North East South West to the outside of the study area.

The hydrochemistry highlighted the dominance of facies bicarbonatés calcium from limestone, and the facies and Magnesians calcium sulfate from the Lutétien gypseuses formations.

RESUME

La région d'étude qui correspond au bassin de **Bouzina**, appartient aux Monts des Aurès, qui est la partie orientale de la chaîne Atlastique.

Du point de vu stratigraphique il est caractérisé par des dépôts argileux carbonatés du Sénonien, Les sédiments Tertiaires sont essentiellement détritiques.

Sur le plan structural, le synclinal de Bouzina d'orientation Atlasique est subdivisé dans le bassin par un petit repli anticlinal culminant à Koudiet El Arar, ce dernier sépare la plaine de Nardi au NE, du vieux Bouzina au SW. Un deuxième repli anticlinal plus important au SW, le Dj Bouss- Adrar Moudhaff. Permet d'imposer une limite structurale au bassin hydrogéologique.

L'étude géologiques et géophysiques ont montré des niveaux susceptible de joué un rôle au plan géologique ce sont : des carbonates du maëstrichtien, les carbonates du l'éocène inférieur particulièrement le Landénien et les grés et les conglomérats, se rapportant à divers horizons de l'Oligocène et du Miocène continental.

L'examen des cartes d'isorésistivité et les coupes géoélectriques corrélés avec la géologie ont permis de bien cerner la géométrie et l'extension des Aquifères de Lutétien, Landénien et Maëstrichtien.

Le bassin de Bouzina appartenant au sous bassin de Oued Abdi (qui fait partie du bassin 06 Chott Melghir), il est soumise à deux régimes climatiques : Climat subhumide à hivers froids dans la partie Nord Est avec une précipitation annuelle moyenne qui varie de 400 mm à 450mm dans la partie amont, au sommet de Dj Mahmel et Rharab et une température moyenne annuelle de 12.22°C, et un climat semi aride à hivers frais (partie Sud Ouest) avec une précipitation annuelle moyenne de l'ordre de 300 mm au centre du bassin et qui diminue plus au Sud, et une température moyenne annuelle de 14.16°C. Ce bassin présente une altitude moyenne avoisinant 1450m.

L'étude hydrogéologique montre que les formations carbonatées fissurées de l'Eocène Maëstrichtien sont les siège d'une nappe captive, artésienne par endroit et libre aux bordures, qui repose sur un complexe marneux imperméables du Campanien et Coniacien. Leur alimentation est assurée par les infiltrations directes lors des précipitations et surtout celle se forme de neige.

Cette nappe présente deux exutoires naturels importants qui sont les sources de Tabgha (vieux Bouzina) et Tasserift. La surface piézométrique de cette aquifère garde la même morphologie suivant la topographie, avec fluctuation en fonction des différentes saisons et de la pluviométrie. Le sens d'écoulement préférentiel est du Nord Est vers le Sud Ouest vers l'extérieur de la zone étudiée.

L'étude hydrochimique a révélé l'influence des formations géologique sur la nature des faciès chimiques des eaux souterraines :

- faciès bicarbonatés calcique qui doit son origine aux formations carbonatées.
- faciès sulfaté calcique et Magnésiens provenant des formations gypseuses du Lutétien.