

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf – Mila

Institut des Sciences et de la Technologie

Département des sciences et Technique



N° Réf :

Mémoire préparé en vue de l'obtention du diplôme de
MASTER

Spécialité : **Sciences Hydrauliques**

**Etude hydrochimique des eaux souterraines de la
plaine de Gadaïne - Ain Yaghout (Nord – est de
Batna).**

Réalisé par :

- MEROUANI Mohamed.
- CHEBITA Younes.

Soutenu devant le jury :

- | | | |
|-----------------------------------|-----------------|--------------|
| - M ^{me} BENCHAIBA Leila | M.A.A CUAB MILA | Président. |
| - M ^{me} ALIA Zineb | M.A.A CUAB MILA | Examinateur. |
| - M ^{me} DIB Imane | M.A.A CUAB MILA | Promoteur. |

Année universitaire : 2015/2016

REMERCIEMENTS

- ✓ Nous avons abouti un travail qui a été le résultat d'un cheminement de tout un parcours pédagogique, qui a duré tout le long de notre parcours éducatif dans l'enseignement supérieur et tout cela grâce à tout en précisant **DIB Imène** notre Encadreur, qui a grâce a ces compétences dans la matière que nous avons arrivé a achevé ce travail.
- ✓ Nous tenons remercier et à saleur le président du jury **M^{me} BENCHAIBA Leila** à son effort pour présider ce travail.
- ✓ Nous tenons remercier **M^{me} ALIA Zyneb** pour participer à juger ce modeste travail.

Dédicace

Tous mes remerciements à mon dieu qui m'aide bien à finir mon travail

Et voici mon perle assiduité je la dédie :

- ✓ A la source de chaleur et tendresse, l'origine de douceur et patience à vous ma mère « *Aicha* ». Pour mon père « *Ali* »
- ✓ A mes frères « *Sami, aymen* » .
- ✓ Mes tantes et mes oncles.
- ✓ Mon binôme « *Chebita Younes* ».
- ✓ A mes amis : « *Mourad, Salah, Kamel, Fares* »
- ✓ A toute la promotion 2^{ème} Master Hydraulique 2016.

A tous ce qui n'est pas écrit mais ils sont dans mon cœur.

Je vous offre ce modeste travaille comme un petit cadeau.
Pour vous, pour mon esprit, ma personne et pour moi je la perle de mon assiduité.

MOHAMMED

Dédicace

Tous mes remerciements à mon dieu qui m'aide bien à finir mon travail.

Et voici mon perle assiduité je la dédie :

- ✓ A la source de chaleur et tendresse, l'origine de douceur et patience à vous ma mère « *H'mama* ».
- Pour mon père « *Saleh* »
- ✓ A mes frères.
- ✓ Mes tantes et mes oncles.
- ✓ Mon binôme « *MEROUANI Mohamed* ».
- ✓ A tous mes amis.
- ✓ A toute la promotion 2^{ème} Master hydraulique 2016.

A tous ce qui n'est pas écrit mais ils sont dans mon cœur.

Je vous offre ce modeste travaille comme un petit cadeau.
Pour vous, pour mon esprit, ma personne et pour moi je la perle de mon assiduité.

YOUNES

TABLE DES MATIERES

Liste des abréviations

Liste des unités

Liste des figures

Liste des tableaux

Résumé

INTRODUCTION GENERAL	1
CHAPITRE I : CADRE GEOGRAPHIQUE	
Introduction	2
I.1. Situation géographique	2
I.2. Géomorphologie	3
I.3. Réseau hydrographique	3
I.4. Climat	4
I.5. Couverture végétale	4
I.6. Aperçu socio-économique	5
Conclusion	5
CHAPITRE II : CADRE GEOLOGIQUE	
Introduction	7
II.1. Géologie régionale	7
II.1.1. Domaine interne	7
II.1.2. Domaine médium ou de nappes des flyschs :	7
II.1.3. Domaine extérieur :	7
II.1.3.1. les séries tellinnes :	7
II.1.3.2.L'avant pays :	7
II.1.3.2.1. L'avant pays allochtone :	8
II.1.3.2.2. l'avant pay autochtone :	8

II.1.3.2.2.1. le parautochtone nord-aurésien	8
II.1.3.1.2.2. L'autochtone nord-aurésien :	8
II.2. Géologie locale	9
II.2.1. Formations du Quaternaire	9
II.2.2. Formations du Mio-pliocène (MP) :	10
II.2.3. Formations de l'ensemble allochtone Sud-sétifien	10
II.2.4. Ensemble parautochtone et autochtone aurésien	12
II.3. Analyse tectonique et structurale	15
II.3.1. Principales phases tectoniques	15
II.3.2. La phase atlasique	15
II.3.3. La phase alpine	15
II.4. Détermination des différents ensembles réservoirs	18
II.4.1. Formations du recouvrement	18
II.4.2. Formations des réservoirs des formations carbonatées	18
II.4.2.1. Formations carbonatées de l'ensemble allochtone sud-sétifien	18
II.4.2.2. Formations carbonatées de l'ensemble autochtone et parautochtone aurésiens	18
Conclusion	18

CAPITRE III : CADRA CLIMATOLOGIQUE

Introduction	20
III.1. Aperçu sur la zone d'étude	20
III.2. Analyse des paramètres climatologiques	20
III.2.1. Précipitation.....	21
III.2.1.1. Répartition mensuelle et saisonnière des précipitations :	21
III.2.1.2. Répartition annuelle des précipitations :	23
III.2.2. Température de l'air	24
III.2.3. Relation température-précipitation	26

III.2.3.1. Diagramme ombro-thermique de Gaussen et Bagnouls :	26
III.2.3.2. Déterminations de l'humidité du sol parla méthode d'Euverte	26
III.2.3.3. Indice de De. Martone	27
III.2.3.4. Climagramme de L.Emberger	27
III.2.4. Humidité relative	29
III.2.5. Vent	29
III.2.6. Insolation	29
III.2.7. Evaporation	30
III.2.8. Gelée blanche et la neige	30
III.3. Evapotranspiration	30
III.3.1. Evapotranspiration potentielle (ETP)	31
III.3.2. Evapotranspiration réelle (ETR) et déficit d'écoulement :	32
III.4. Bilan hydrologique	34
III.4.1. Ruissellement superficiel	35
III.4.2. Infiltration	35
Conclusion.....	35

CHAPITRE : HYDROGEOLOGIQUE

Introduction	36
IV.1. Formations aquifères	36
IV.1.1. Aquifère superficiel d'âge Mio-Plio-Quaternaire	36
IV.1.2. Complexe aquifère profond d'âge Jurassico-Crétacé	36
IV.1.2.1. Formations du Crétacé	36
IV.1.2.2. Formations du jurassique	36
IV.2. Conditions aux limites	37
IV.3. Piézométrie	37
IV.3.1. Inventaire des points d'eau :	37
IV.3.2. Interprétation de la carte piézométrique :	38

V.3.3. Calcul du gradient hydraulique	39
IV.4. Etude des caractéristiques hydrodynamiques des aquifères	41
IV.4.1. Interprétation des pompages d'essai	41
Conclusion	45

CHAPITRE : HYDROCHIMIQUE

Introduction :	46
V.1. Etude des paramètres physico-chimiques :	46
V.1.1. paramètres physiques :	46
V.1.1.1. La Température T (°C) :	46
V.1.1.2. Potentiel hydrogène PH :	47
V.1.1.3. Conductivité électrique :	48
V.1.2. Paramètres chimiques :	49
V.1.2.1. Titre alcalinométrique: (T.A)	49
V.1.2.2. Titre alcalinométrique complet : (T.A.C)	49
V.1.2.3. Dureté totale : (D.H.T)	50
V.1.2.4. étude des éléments chimiques majeurs :	50
V.1.3. Etude des valeurs relatives :	55
V.1.3.1. Rapports caractéristiques :	55
V.1.3.2. Indice d'échange de base (i.e.b) :	57
V.3. Classification des eaux :	57
V.3.1. Classification d'après les formules ioniques ou caractéristiques (STABLER) :	57
V.2.3. classification de SCHOELEER-Berkaloff :	58
V.3.3. Classification de PIPER :	61
V.4. Potabilité chimique des eaux :	63
V.5. Qualité des eaux pour l'irrigation :	64
Conclusion :	66

Liste des abréviations

AEP : Alimentation en eau potable.

ANRH : Agence nationale des ressources hydrauliques.

CE: conductivité électrique

ETP : Evapotranspiration Potentiel

ETR : Evapotranspiration Réelle

Hr : humidité relative

OMS: Organisation Mondiale de La Santé

ONM: Office National De Météorologie.

PH : potentiel Hydrogène

r : quantité en réaction

SAR : Sodium Adsorption Ratio.

TA : Titre Alcalimétrique ;

TAC : Titre Alcalimétrique Complet

TH : Titre Hydrotimétrique

LISTE DES UNITES

cm : centimètre

°C : Degré Celsius

°F : Degré français

g : Gramme

g/l : Gramme par litre

h : Heure

m : Mètre

m³ : mètre cube

m³/h : mètre cube par heure

m³/s : mètre cube par seconde

m³/j : mètre cube par jour

meq.l⁻¹ : Milliéquivalent par litre

mg : milligramme

mg/l : Milligramme par litre

mS/cm : Milli siemens par centimètre

ml : millilitre

mn : minute

Liste des figures

Figure 1 : Situation du terrain d'étude dans les principaux ensembles géomorphologiques du Nord de l'Algérie.....	3
Figure 2 : carte du réseau hydrographique de la plaine de Gadaïne - Ain Yaghout. (Extrait des cartes topographiques au 1/200000 : Constantine et Khenchela).	4
Figure 3 : Un couvert végétal steppique et halophyte.....	5
Figure 4 : Esquisse structurale du Nord- Est Algérien, (W.Wildi ,1983).....	9
Figure 5 : Esquisse géologique de la plaine de Gadaine - Ain Yaghout (D'après J.M.Vila-1977)	11
Figure 6 : Schéma structural simplifié de la de la plaine de Gadaïne - Ain Yaghout. (Extrait des cartes géologiques aux 1/50000 de : Ain Yaghout et Ain El ksar)	16
Figure 7 : coupes géologiques interprétatives (d'après J.M.Vila, 1977).....	17
Figure 8: Grands bassins versants de l'Algérie. (Annuaire hydrogéologique de l'Algérie), (1985-1986).....	21
Figure 9 : Précipitations moyennes mensuelles de la station d' l'aéroport de Batna.	22
Figure 10 : Précipitations moyennes saisonnières de la station d' l'aéroport de Batna (1989-2015).....	23
Figure 11 : Précipitations annuelles de stations d' l'aéroport de Batna (1989-2015).23	
Figure 12 : Températures moyennes mensuelles et annuelles pour à la station d'l'aéroport de Batna. Période (1989 - 2015).....	24
Figure 13 : Températures annuelles de stations d' l'aéroport de Batna. Période. (1989-2015).....	25
Figure 14 : Diagramme ombro - thermique de la station d' l'aéroport de Batna.....	26
Figure 15 : Diagramme Climagramme L. EMBERGER.....	28
Figure 16 : Carte d'inventaire des points d'eau de la plaine de Gadaïne- Ain Yaghout.	38

Figure 17 : Carte piézométrique de la plaine de Gadaïne - AinYaghout (Mai 2015).	38
Figure 18 : Courbe de descente du Forage « F15 ».....	42
Figure 19 : Courbe de remontée du Forage « F15 ».....	43
Figure 20 : Courbe de descente du Forage « F01 ».....	44
Figure 21 : Cartes de conductivité de la plaine de Gadaine- Ain yaghout.	47
Figure 22 : carte d'isoteneur en calcium (mé/l).	49
Figure 23 : carte d'isoteneur en magnésium (mé/l).	50
Figure 24 : carte d'isoteneur en sodium et potassium (mé/l).	50
Figure 25 : carte d'isoteneur en chlorures (mé/l).	51
Figure 26 : carte d'isoteneur en sulfates (mé/l).	52
Figure 27: carte d'isoteneur en bicarbonate (mé/l).	53
Figure 28. a : Représentations graphiques selon Schoeller -Berkaloff	57
Figure 28. b : Représentations graphiques selon Schoeler -Berkaloff.....	58
Figure 28. c : Représentations graphiques selon Schoeler -Berkaloff	59
Figure 29 : Diagramme de piper	60
Figure 30: Diagramme de Wilcox des eaux	64

Liste des tableaux

Tableau 1 : Population de la commune d'Ain yaghout de 1966 à 2008.	5
Tableau 2 : Colonne litho stratigraphique et hydrogéologique (Ensemble allochtone Sud sétifien et autochtone et paraautochtone aurésien).	14
Tableau 3 : Colonne litho stratigraphique et hydrogéologique (Ensemble autochtone et paraautochtone aurésien).....	15
Tableau 4 : Coordonnées Lambert et internationales de la station de l'aéroport de Batna.	20
Tableau 5 : Précipitations moyennes mensuelles à la Station d'aéroport de Batna. Période (1989-2015).....	21
Tableau 6 : Températures moyennes mensuelles et annuelles pour à la station d'aéroport de Batna .période (1989 - 2015).	22
Tableau 7 : Températures moyennes interannuelles à la station d'aéroport de Batna. Période. (1989 - 2015).	23
Tableau 8 : Valeurs du rapport P/T à la station d' aéroport de Batna. Période (1989-2015).	25
Tableau 9 : Humidité relative en (%) à la station d' l'aéroport de Batna. Période (1989-2015).....	27
Tableau 10 : vitesses moyennes mensuelles du vent à la station d'aéroport de Batna. Période (1989-2012).	27
Tableau 11 : Valeurs moyennes mensuelles de l'insolation à la station d' l'aéroport de Batna Période (1989-2015).	28
Tableau 12 : Evaporation moyenne mensuelle à la station d'aéroport de Batna Période. (1989-2015).....	28
Tableau 13 : Moyenne mensuelle de la gelée blanche et la neige à la Station de l'aéroport de Batna (2005- 2015).....	28
Tableau 14 : Calcul de l'ETP selon la méthode de Thornthwaite à la station d' l'aéroport de Batna. Période (1989-2015).	30

Tableau 15 : Bilan hydrique d'après Thornthwaite à la station d'aéroport de Batna. (1989-2015).....	32
Tableau 16 : détermination de quelques valeurs du gradient hydraulique.....	39
Tableau 17 : L'agressivité ou l'incrustante de l'eau.	45
Tableau 18 : Classification des eaux souterraines en fonction de la conductivité. ...	46
Tableau 19 : Classification d'eau en fonction de la dureté.....	48
Tableau 20 : Calcul des rapports caractéristiques.....	54
Tableau 21 : Classification des eaux souterraines selon STABLER.....	56
Tableau 22 : Normes Algériennes de potabilité:.....	61
Tableau 23 : Classification de potabilité des eaux d'après la norme algérienne	62
Tableau 24 : Résultats du S.A.R.....	63

ملخص:

يعد الماء ذات أهمية كبيرة لحياة الإنسان ومحيطه.
الهدف من هذه الأطروحة هو تقديم الخصائص الجيولوجية الهيدروجيولوجية و الهيدروكيميائية الرئيسية للمياه الجوفية في منطقة سهل قداين – عين ياقوت ولاية باتنة.
الدراسة الهيدروكيميائية أوضحت وجود نوعان من السحنات الكيميائية و هي سحنة الكلور و سحنة كبريتيات الصوديوم.
القياسات الناقلة للكهرباء أظهرت أنها جد عالية و هذا راجع إلى تأثير السبخات و الشطوط.
كلمات مفتاحية : الماء, الهيدروكيميائية, المياه الجوفية, سهل قداين – عين ياقوت.

Résumé :

L'eau est d'une grande importance dans la vie de l'homme.

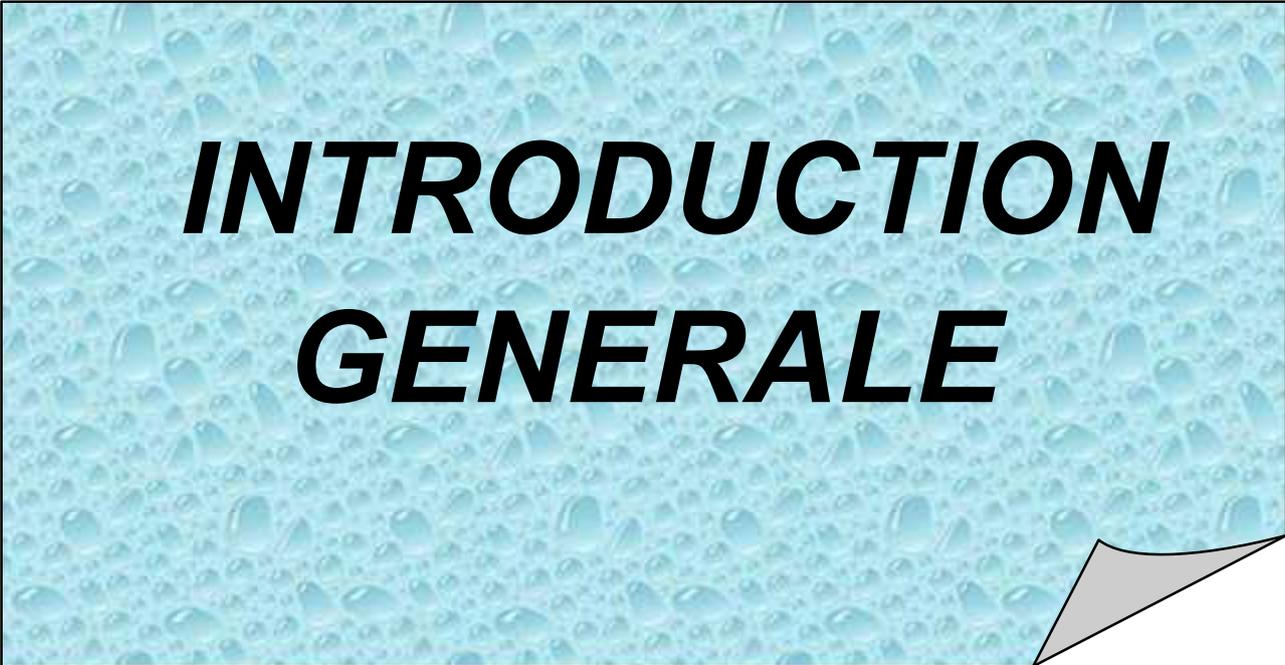
Le but de cette étude est de fournir des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques et hydrochimiques principale des eaux souterraines dans la plaine Gadaïne - Ain yaghout de la wilaya Batna.

Etude hydrochimique a montré la présence de deux types de faciès chimique un chlore et sulfate de sodium.

Les mesures de la conductivité électrique qu'ils ont montré très élevé et cela est de la sebkha et chotte.

Mots – clés : eau, hydrochimie, eau souterraine, plaine Gadaïne, Ain yaghout

Abstract :



***INTRODUCTION
GENERALE***

INTRODUCTION GENERALE

L'évolution industrielle et l'accroissement démographique dans la région de Batna, nécessitent un besoin de plus en plus croissant en eau.

Pour cela, on se propose de faire une étude hydrochimique d'une région située au Nord-est de Batna qui est la plaine de Gadaïne - Ain Yaghout. Cette étude a été menée en tenant compte des facteurs géologiques et des caractéristiques hydroclimatiques qui conditionnent les possibilités d'avoir des aquifères dans cette plaine caractérisée par la présence des chotts.

Le but de cette étude est la recherche des ressources en eaux souterraines dans la région de Gadaïne - Ain Yaghout qui souffre non seulement de manque d'eau mais de sa salinité élevée.

A partir de la connaissance des caractères géologiques, hydrologiques, hydrogéologiques et hydrochimiques de cette plaine on veut mettre en relief la qualité, l'aptitude à l'irrigation et la potabilité des eaux souterraines.

Pour atteindre ces objectifs, le travail a adopté le plan suivant :

- Un aperçu géographique de la région de Gadaïne - Ain Yaghout.
- Une étude du cadre géologique consistera à définir la lithologie des formations constituant la région, les différentes structures et les déformations tectoniques.
- Une étude hydroclimatologique permettra d'évaluer les apports d'eau alimentant les réserves d'eau souterraine.
- Une étude hydrogéologique afin d'analyser l'état piézométrique de la nappe superficielle et évaluer les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère profond.
- Une étude hydrochimique permettant de définir les différentes origines des éléments chimiques constituant les eaux souterraines ainsi leur potabilité et aptitude à l'irrigation.
- En fin une conclusion générale qui permettra de synthétiser toute l'étude.



CHAPITRE I :
CADRE
GEOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : CADRE GEOGRAPHIQUE

Introduction :

L'étude géographique a pour but de présenter les différentes caractéristiques géographiques de la plaine Gadaïne - Ain Yaghout.

I.1. Situation géographique :

La région d'étude fait partie de la frange Nord-Ouest des hautes plaines Sud constantinoises. Elle est comprise entre le Néritique constantinois au Nord et la zone atlasique au sud (les Aurès).

La région d'étude se situe au Nord-est de la wilaya de Batna.

La plaine a une altitude moyenne de 820 m, Elle est limitée géographiquement :

- ❖ Au Nord par chott Tinsilt, Djebel Guedmane, (1132 m), Djebel Merzguène (922 m) et Djebel Tizourit (1048 m).
- ❖ Au Sud par les Djebel Taфраout (1046 m), Djebel Koudiat Tfouda (1080 m), Djebel Merfegue El Tissane (951m).
- ❖ A l'Est par les monts d'Ain Yaghout.
- ❖ A l'Ouest par chott Gadaïne.

Notre zone d'étude est limitée par les coordonnées Lambert suivantes :

$X1=819(\text{km}) - X2 = 844(\text{km})$

$Y1= 270 (\text{km}) -Y2 = 296(\text{km})$

La superficie de la plaine est de l'ordre de 416 km².

CHAPITRE I : CADRE GEOGRAPHIQUE

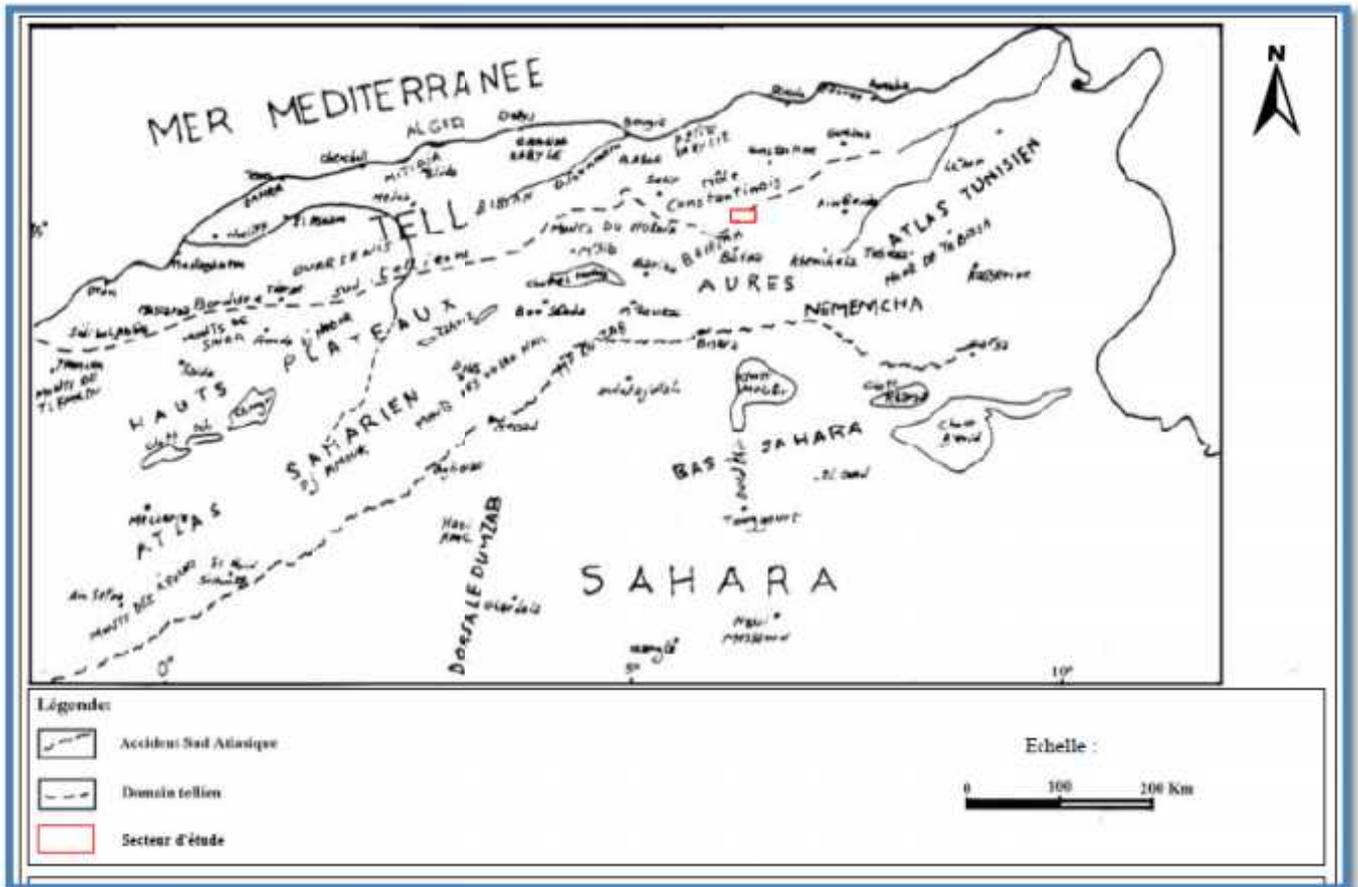


Figure 1 : Situation du terrain d'étude dans les principaux ensembles géomorphologiques du Nord de l'Algérie, (Guiraud, 1973).

I.2. Géomorphologie :

La géomorphologie de la plaine de Gadaïne – Ain Yaghout se présente en deux zones distinctes ; l'une d'effondrement correspondant à la plaine où la partie la plus basse est occupée par des chotts et l'autre correspond à un soulèvement formé par des massifs environnantes tels que les Djebels de : Guedmane, Tizourit, et les monts d'Ain Yaghout.

Cet effondrement et ce soulèvement sont liés à la tectonique cassante prédominante.

I.3. Réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique est lié à l'organisation des reliefs. Nous remarquons l'existence de nombreux cours d'eau temporaires prenant naissance au niveau des hauts reliefs tels que : Oued El Madher, Oued Gadaïne, Oued Merzeguène et Oued Ben Zerhaïb, dont les eaux de ces oueds se déversent vers la zone basse occupée par les chotts ce qui traduit l'existence d'un système hydrogéologique endoréique.

CHAPITRE I : CADRE GEOGRAPHIQUE



Figure 3 : Exemple d'un couvert végétal steppique et halophyte dans la région d'étude.

I.5. Aperçu socio-économique :

Ain Yaghout et Souk Naâmane sont des agglomérations qui présentent les centres urbains les plus importants. Les mechtas sont réparties près des oueds ainsi que les puits qui sont utilisés pour leurs besoins quotidiens, usages domestiques et agricoles.

La commune d'Ain Yaghout présente une population importante, dont l'accroissement démographique a été rapide, selon les deux derniers recensements :

Tableau 1 : Population de la commune d'Ain Yaghout de 1966 à 2008.

Années	1966	1977	1984	1998	2008
Population	4358	5220	7 000	8 988	10 856

La plaine de Gadaïne - Ain Yaghout est essentiellement une région à vocation agricole à monoculture (les céréales) et d'élevage surtout d'ovin.

Conclusion :

La plaine de Gadaïne – Ain Yaghout est caractérisée par :

- Une cuvette d'effondrement entourée par des massifs calcaires dont l'axe de direction NE - SW est occupée par des chotts.

CHAPITRE I : CADRE GEOGRAPHIQUE

- Les cours d'eau temporaires prennent naissance au niveau des hauts reliefs pour se jeter dans les chotts salés formant ainsi un système endoréique.
- Le climat régnant sur la plaine est semi-aride.
- La végétation de la plaine est de type steppes à armoise et halophile avec une culture intense des céréales et d'élevage des ovins.



CHAPITRE II :
CADRE
GEOLOGIQUE

CHAPITRE II : CADRE GEOLOGIQUE

INTRODUCTION :

La géologie constitue la base fondamentale d'une étude hydrogéologique. Elle détermine les formations susceptibles de contenir des nappes aquifères à partir de leur lithologie. Ainsi que la détermination des relations pouvant existées entre eux.

II.1. Géologie régionale :

L'Algérie du Nord-est, qui passant par Bejaia et allant jusqu'à la frontière algéro - tunisienne, est constituée par l'empilement anormale de plusieurs séries variées et différentes par leur structure et leur faciès et qui s'étalent du Trias au Priabonien.

On peut distinguer du Nord vers le Sud les domaines structuraux suivants, (Fig.4) :

II.1.1. Domaine interne :

Il comprend le socle kabyle cristallin et sa couverture sédimentaire paléozoïque peu ou pas métamorphisée et la chaîne calcaire ou dorsale kabyle.

II.1.2. Domaine médium ou de nappes des flyschs :

Il comprend trois grands types de séries :

❖ Les flyschs maurétaniens et massyliens :

Constitués par des formations grès-pélitiques qui se sont déposées du Barrémien à l'Albien, au Nord le flysch maurétanien et au Sud le flysch massylien.

❖ Le flysch numidien :

Il occupe une position structurale allochtone la plus haute de l'édifice alpin. Il comporte une formation pélitique de base d'âge Oligocène, des alternances de grosses barres de grès et de pélites de l'Oligocène et de l'Aquitainien et des argiles et silexites sommitales du Burdigalien inférieur.

II.1.3. Domaine extérieur :

Il est caractérisé par les séries telliennes et les séries de l'avant payé.

II.1.3.1. Les séries telliennes : elles sont constituées par un empilement de trois grandes séries qui sont du Nord vers le Sud :

❖ La série ultra-tellienne :

Caractérisée par des formations calcaireuses et marno-calcaireuses d'âge Crétacé à Eocène. Elle affleure dans la région d'Oued Zenati entre Constantine et Guelma.

❖ La série tellienne sensu stricto :

Caractérisée essentiellement par des dépôts terrigènes du Crétacé inférieur, elles affleurent essentiellement dans la région de Sétif (nappe de Djemila).

❖ La nappe péni-tellienne :

A faciès néritique prépondérant du Crétacé supérieur à l'Eocène. La nappe apparaît en lambeaux, charriés sur les massifs néritiques de Djebel Grouz, Djebel Kheneg et Chettaba, et en fenêtres sous les marnes noires des nappes telliennes de Djebel Akhal.

II.1.3.2. L'avant pays :

Il comporte l'avant pays allochtone et l'avant pays autochtone :

CHAPITRE II : CADRE GEOLOGIQUE

II.1.3.2.1. L'avant pays allochtone :

Il regroupe trois grandes unités qui sont :

- ❖ L'ensemble Sud Sétifien.
- ❖ L'unité Néritique constantinoise.
- ❖ L'unité de type Sellaoua.

II.1.3.2.2. L'avant pays autochtone :

II.1.3.2.2.1. Le parautochtone 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'Ain Yaghout et par les Djebels (Hanout, Guellif, Sidi Reghis) dans la région d'Ain 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 cœur d'un vaste pli couché.

II.1.3.1.2.2. L'autochtone nord-aurésien :

Il s'agit là du domaine atlasique, caractérisé par des séries sédimentaires mésozoïques, plissées à la fin de l'Eocène selon des directions atlasiques, et par un Trias diapirique d'âge Aptien plus à l'Est, dans la région de l'Ouenza et les monts de Tébessa. Les séries plissées se localisent au niveau de l'Atlas Saharien, des monts du Hodna, de Batna, de Belezma et des Aurès.

CHAPITRE II : CADRE GEOLOGIQUE

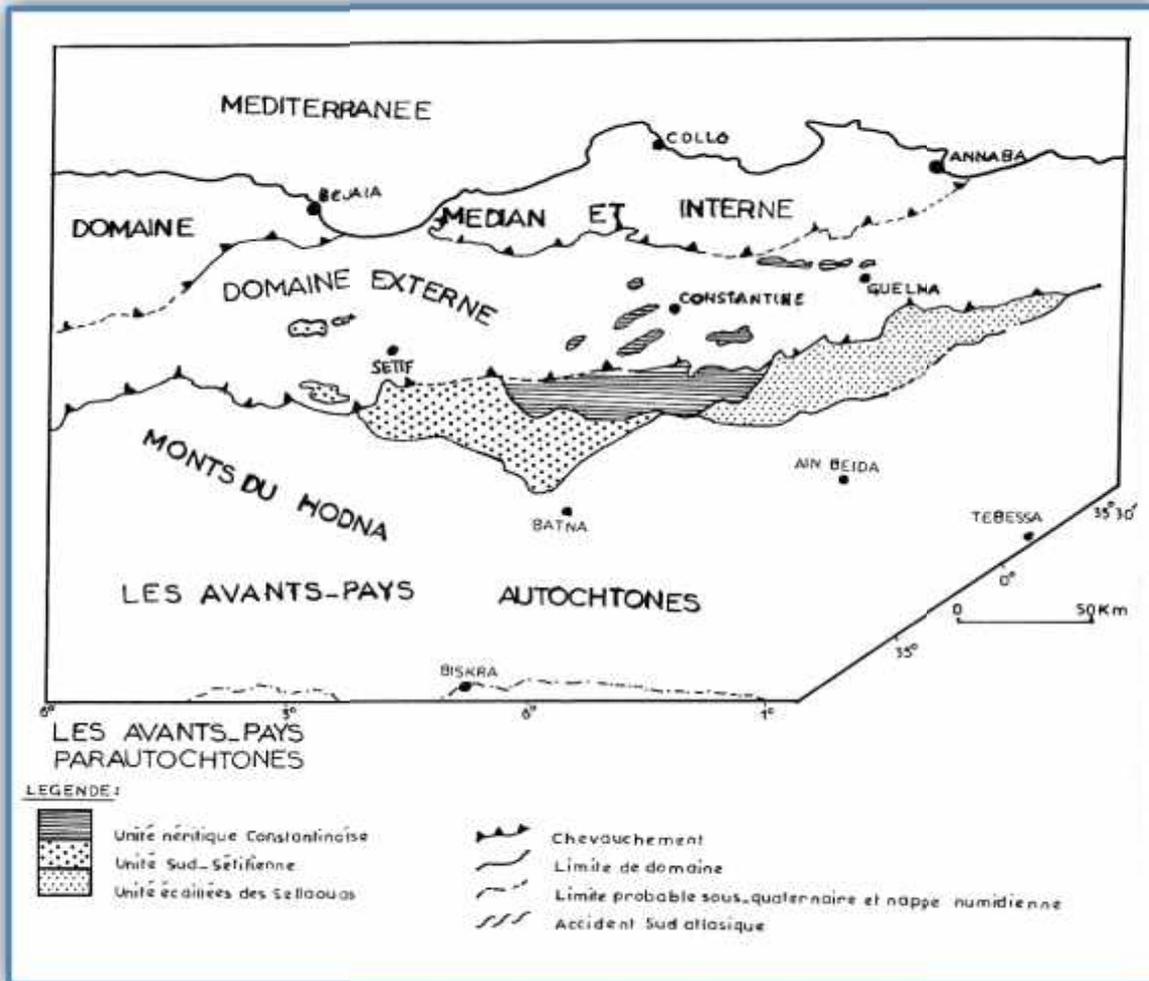


Figure 4 : Esquisse structurale du Nord- est Algérien, (W.Wildi ,1983).

II.2. Géologie locale :

Dans notre zone d'étude, nous avons deux unités qui sont, (Fig.5):

- ❖ Au Nord, il s'agit de l'ensemble allochtone sud sétifien composé par les écaillés de Dj Guedmane, Tizourit et Merzguène d'âge Crétacé.
- ❖ Au Sud et à l'Est, les reliefs appartiennent aux formations parautochtones et autochtones nord aurésiennes constituées par les écaillés des monts d'Ain Yaghout, Dj Tafraout, Koudiat Tfouda et Dj Sarif d'âge Jurassique - Crétacé.
- ❖ Une couverture mio-plio- quaternaire occupe toute la plaine.

Du point de vue lithologique la zone d'étude comprend du haut vers le bas les formations suivantes :

II.2.1. Formations du Quaternaire :

❖ Eboulis (e) :

Les éboulis à blocs sont peu développés dans la région où les reliefs sont assez faibles en raison de la morphologie. Les éboulis en masse sont localisés sur le

CHAPITRE II : CADRE GEOLOGIQUE

versant Nord du Dj Sarif et qui sont apparus comme des vastes zones d'épandage de blocs.

❖ **Sols de sebkha (s) :**

Ce sont des vases qui occupent des terrains presque inondés au chott Tinsilt et souvent asséchés au chott Taricht Teniet Saïda où ils sont dépourvus de toutes végétations.

❖ **Limons salés périodiquement inondés (Q^{sr}):**

Ces limons bordent le chott Tinsilt .Ils ont permis l'installation des salants des lacs.

❖ **Sols salés anciens (Q^s):**

Ils forment de vastes étendues plates à végétation caractéristique de ces sols (les salsolacées) et correspondent à d'anciens sols hydromorphes salés. Ils sont surélevés de 0.5 m à 1m au dessus du niveau du chott Gadaïne.

❖ **Terres arables, formations de pente, alluvions anciennes et quaternaire indéterminé (Q):**

C'est un ensemble représenté par des limons et graviers sur lesquels se sont installés des sols bruns le plus souvent peu calcaires.

❖ **Glacis polygéniques nappant les reliefs (Q^t):**

C'est la forme de relief la plus caractéristique des hautes plaines constantinoises. Ces glacis correspondent à des surfaces très faiblement pentées près des plaines et dont la pente augmente progressivement vers les reliefs. Ils sont recouverts d'un matériel clastique faiblement calibré et très fragmenté vers le bas devenant plus anguleux et plus grossier au voisinage des reliefs.

II.2.2. Formations du Mio-Pliocène(MP) :

❖ **Mio-Pliocène continental :**

Les formations attribuées au Mio-Pliocène affleurent de façon très accentuée dans la partie Nord-Ouest et au centre près des monts d'Ain Yaghout. Ils s'agissent de conglomérats mal cimentés, d'argiles sableuses et de calcaires lacustres mal stratifiés.

II.2.3. Formations de l'ensemble allochtone sud-sétifien:

Les formations de cette unité forment les affleurements du Dj Merzeguène, Dj Tizourit et Dj Guedmane.

❖ **Aptien (n⁵) :**

C'est une série de 150 m, constituée essentiellement de calcaires en petits bancs et de micrites renfermant une microfaune représentée par des Orbitolines et des Miliolidés.

❖ **Barrémo-Aptien (n⁵⁻⁴) :**

C'est une corniche massive de calcaires compacts riches en microfaunes tel que : les lamellibranches et les échinodermes.

❖ **Barrémien (n^{4b}) :**

C'est un ensemble formé par une épaisse série d'une centaine de mètres. Il est constitué de : calcaires, de dolomies et de grès, qui sont séparés par des intercalations de marnes sableuses ou argileuses.

CHAPITRE II : CADRE GEOLOGIQUE

❖ Néocomien-Barrémien (n¹⁻⁴):

Il est représenté par des calcaires massifs oolithiques ou graveleux et par des dolomies.

❖ Jurassique supérieur (J⁶) :

Ce sont des biomicrites à Dasycladacés formant la série jurassique dont le sommet apparaît à Dj Guedmane sur 80 m environ près de Teniet Saïda. La série se complète vers la base par une cinquantaine de mètres de calcaires massifs au Dj Merzeguène.

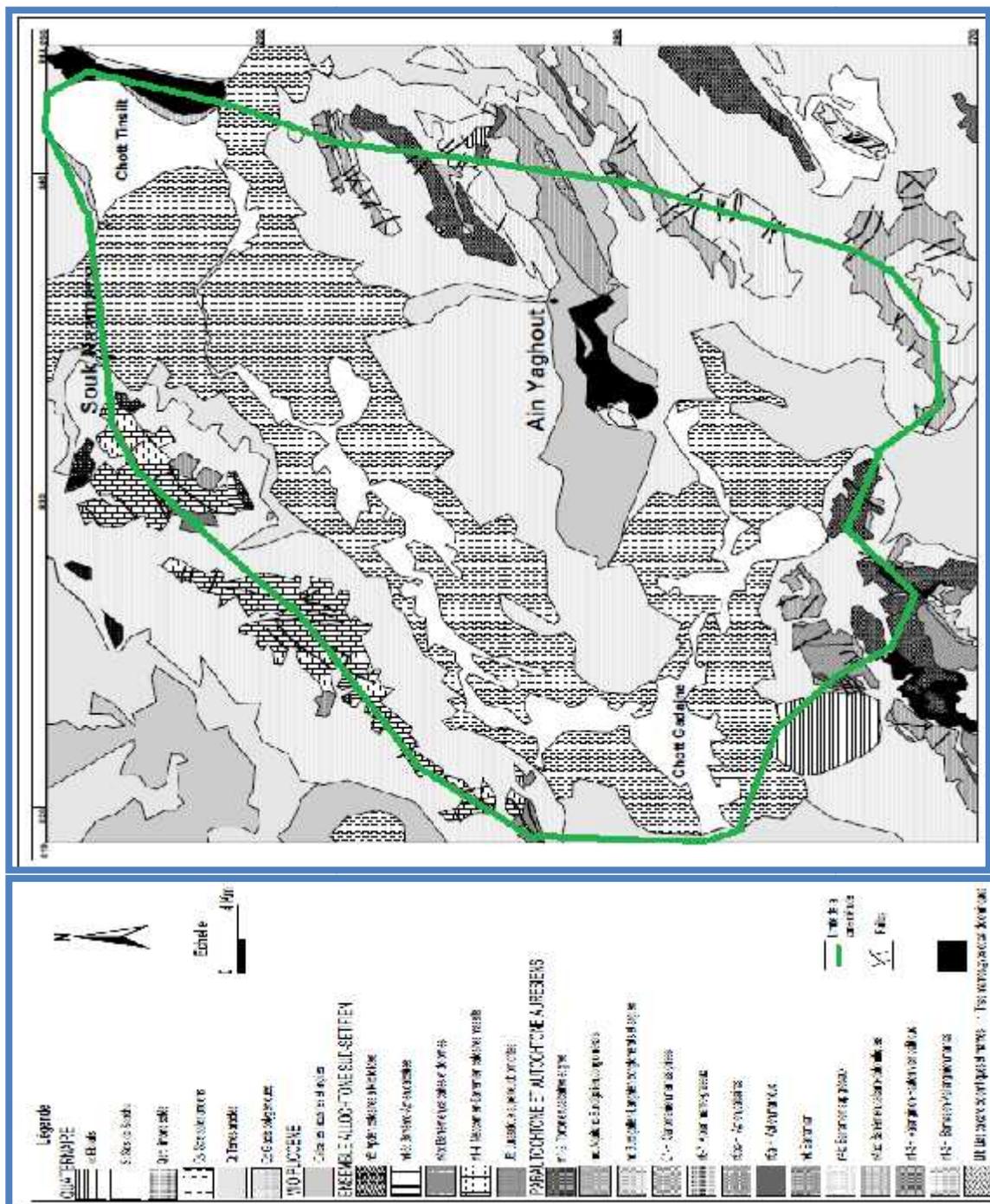


Figure 5 : Esquisse géologique de la plaine de Gadaïne - Ain Yaghout.
(D'après J.M.Vila-1977)

CHAPITRE II : CADRE GEOLOGIQUE

II.2.4. Ensemble parautochtone et autochtone auréliens :

Les affleurements de cet ensemble forment les monts d'Ain Yaghout, Dj Taфраout, K^{at} Tfouda et Dj Sarif.

❖ **Tortonien (m¹⁻²) :**

Ce sont des calcaires à la base et des grès au sommet. Il affleure au Sud Est du Dj Taфраout.

❖ **Aquitano-Burdigalien (m^c) :**

Ce sont des conglomérats qui affleurent au Merfegue et Tissane.

❖ **Burdigalien- Langhien (m) :**

Il est représenté par des conglomérats, des argiles et des marnes bleues à Ostréidés.

❖ **Cénomaniens (C_H¹) :**

C'est une alternance de marnes grises et de calcaires massifs beiges. Il affleure au Dj Tarbennt et au Dj Haouïa.

❖ **Albien (n_H⁶⁻⁷) :**

Ce sont des grès et des marnes gréseuses à la base et des marnes au sommet. Ils ne sont visibles qu'à la base de la série renversée de Dj Tarbennt et le flanc Nord du pli déversé d'Ain Yaghout au Dj Haouïa.

❖ **Aptien supérieur (n^{5bc}_H) :**

Il est organisé en une dizaine de grosses barres de calcaires bien lités en bancs métriques riches en Miliolidés avec des intercalations d'Oosparites bioclastiques brunes et des bancs dolomitiques ocre à jaunes. L'Aptien calcaire forme une barre de 350 m d'épaisseur. Il constitue l'arrête nord des Dj Tarbennt, Haouïa et Dj Azem.

❖ **Aptien inférieure (n^{5a}_H) :**

Il s'agit d'une série à dominance marneuse de 70 à 80 m d'épaisseur. Il affleure au Merfegue Et Tissane, Azem et au Dj Haouïa.

❖ **Barrémien (n⁴) :**

Il est représenté par des formations complexes organisées calcaires et dolomies séparées par des zones plus tendres ou apparaissent assez mal des intercalations de petits niveaux de grès.

❖ **Barrémien (n^{4d}_H) :**

C'est un grès à intercalations dolomitiques ou biosparitiques de 200 à 250 m d'épaisseur. Il affleure au Dj Haouïa, Dj Azem et Dj Taфраout.

❖ **Barrémien (n₄^{bc}) :**

Il est constitué de calcaires dolomitiques à intercalations argileuses ou argilo-silteuses, et de petits niveaux de grès. Ces formations affleurent au Dj Azem et Dj Taфраout.

❖ **Néocomien (n¹⁻³_H) :**

C'est un ensemble de 80m de puissance ; il est induit par la tectonique tangentielle.

CHAPITRE II : CADRE GEOLOGIQUE

❖ **Jurassique ($J^{s-n1}_H, J^{mr}_1, J^{mF}$) :**

C'est une série qui comprend des calcaires écrasés ; 15m d'épaisseur de calcaires noduleux à Djebel Sarif ; et de 75m d'épaisseur de calcaire à silex.

❖ **Trias exotique ou extrusif (f) :**

Il affleure à l'Est du chott Tinsilt, près de Draa Gadaïne, K^{at} Tfouda et Dj Sarif. Il est constitué de marnes bariolées, de gypse bréchique et de calcaire dolomitique

CHAPITRE II : CADRE GEOLOGIQUE

Tableau 2 : Colonne litho stratigraphique et hydrogéologique.
(Ensemble allochtone sud sétifien et autochtone et parautochtone aurésiens.)

Unité	Ere	Système	Sous-système	Etage et sous-étage	Symbole	Coupe	Lithologie	Epaisseur (m)	Perméabilité relative	Nature de l'aquifère		
Formations per ou pas recouvertes	Quaternaire				e		Eboulis à blocs et en masses		Perméable			
					s		Vases.		Perméable	Aquifère		
		Néogène	Mio-Pliocène		Q ¹		Limons sables.		Perméable	poroux du		
					Q ²		Sols sables micieux hydromorphes.		Perméable	Mio-Plio-		
					Q ³		Alluvions, limons et graviers.		Perméable	Quaternaire		
					Q ⁴		Glacis polygéniques.		Perméable			
Ensemble Allochtone Sud Sétifien	Secondaire	Crétacé	Inférieur	Aptien	n ⁵		Micrites Calcaires massifs.	150	Perméable	Aquifère karstique		
				Barrémio-Aptien	n ^{4,5}		Calcaires compacts.	120	Imperméable	Substratum		
				Barrémien	n ^{4b}		Grès à intercalations marneuses. Dolomies. Calcaires.		Perméable	Aquifère		
				Néocomien-Barrémien	n ^{1,1}		Dolomies. Calcaires.	150 à 200	Perméable	karstique		
	Tertiaire	Néogène	Mioène	Supérieur	Tortonien	m ^{1,2}		Grès. Calcaires.	80	Perméable		
					Aquitano-Burdigalien. Burdigalien-Tanguien.	m ¹		Conglomérats. Conglomérats marins		Perméable Semi-perméable	Aquifère poreux	
	Ensemble Autochtone et Parautochtone Aurésiens.	Secondaire	Crétacé	Néocomien	Supérieur	Cénomaniens sup.	C ¹ _H		Alternances de marnes grises et calcaires	150	Semi-perméable	Aquifère karstique
					Albien	n ⁶⁻⁷		Marnes.		Imperméable	Substratum	
						n ¹¹		Marno-gréseux. Grès.	60	Semi-perméable	Aquifère poreux	
					Aptien sup	n ^{5a}		Calcaires dont la partie médiane contient des bancs dolomitiques.	350	Perméable	Aquifère Karstique	
n ^{5b}							Marnes.	70 à 80	Imperméable	Substratum		
Barrémien					n ⁴		Grès dont le milieu contient des passées de micrites et de dolomies.		Perméable	Aquifère		
					n ^{4d}		Grès à intercalations dolomitiques.	200 à 250	Perméable	poroux		
					n ^{4c}		Calcareo-dolomitiques avec des niveaux de grès.		Perméable	Aquifère karstique		
Valanginien-Hauteriviien					n ¹⁻¹		Argilo-péliniques.	800	Imperméable	Substratum		
Berriasien et valanginien					n ¹⁻²		Marnes avec intercalations grés-quarstiques à la base et calcaires micritiques au sommet.		Semi-perméable	Aquifère Karstique		

CHAPITRE II : CADRE GEOLOGIQUE

Tableau 3 : Colonne litho stratigraphique et hydrogéologique.
(Ensemble autochtone et parautochtone aurésiens.)

Unité	Ere	Système	Sous système	Etage et sous étage	Symbole	Coupe	Lithologie	Epaisseur (m)	Perméabilité relative	Nature de l'aquifère		
Ensemble Autochtone et Parautochtone Aurésiens	Secondaire	Jurassique	Supérieur	Tithonique Berrisien	J ^{J-K 1}		Calcaires avec des alternances marno-micrites.	110	Semi perméable	Aquifère		
					J ^{S H}		Marno calcaires.	50	Semi perméable			
				Moyen	J ^{S=H}		Marno-calcaires.		Semi perméable	Karstique		
					J ^M		Calcaires argileux à silex		Semi perméable			
			Inférieur	Lias sup- Jurassique inf	Is-J ^{S H}		Marnes		Imperméable	Substratum		
				Lias sup	Is ^M		Marnes. Marno-calcaires		Semi perméable	Aquifère		
					Dolomies.							
			Lias	L ^H		Calcaro-dolomiques	400	Perméable	Karstique			
			Trias				t		Calcaro-dolomiques Gypses bréchiques.		Imperméable	Substratum
									Marnes bariolées.			

II.3. Analyse tectonique et structurale :

La structure des réservoirs est conditionnée par la tectonique, cette dernière joue un rôle important dans le développement de la karstification d'une part, la forme du réservoir et le sens d'écoulement des eaux d'autre part.

II.3.1. Principales phases tectoniques :

L'histoire tectonique de la région est caractérisée par deux grandes phases orogéniques qui sont responsables des structures rencontrées dans la région d'étude, (Fig.7).

II.3.2. La phase atlasique :

C'est une phase priabonienne qui commençait dès la fin du Crétacé supérieur jusqu'au Lutétien supérieur - Priabonien. Cette phase est caractérisée par un plissement des formations qui provoquait l'apparition des anticlinaux et des synclinaux orientés généralement SW-NE, elle donne les premières nappes de charriages dans la partie septentrionale.

II.3.3. La phase alpine :

Il s'agit essentiellement de la phase miocène (Tortonienne) qui déformait la chaîne plissée priabonienne en créant de nouvelles nappes de charriages dans l'avant pays et conduisait à l'apparition des plis emboîtés.

CHAPITRE II : CADRE GEOLOGIQUE

L'accumulation des sédiments plio-quadernaires, rarement déformés correspond à un comblement des reliefs dans le domaine des hautes plaines constantinoises et au pied des Aurès. Après le Tortonien supérieur deux phases successives de distension et de compression affectaient l'édifice des nappes tortoniennes en le plissant et en le faillant intensément, créant ainsi les reliefs actuels (Vila J.M., 1980).

Ces phases tectoniques donnent deux grands ensembles structuraux bien distincts qui sont de haut en bas et du Nord vers le Sud :

- L'ensemble allochtone sud sétifien.
- Les formations parautochtones et autochtones aurésiennes.

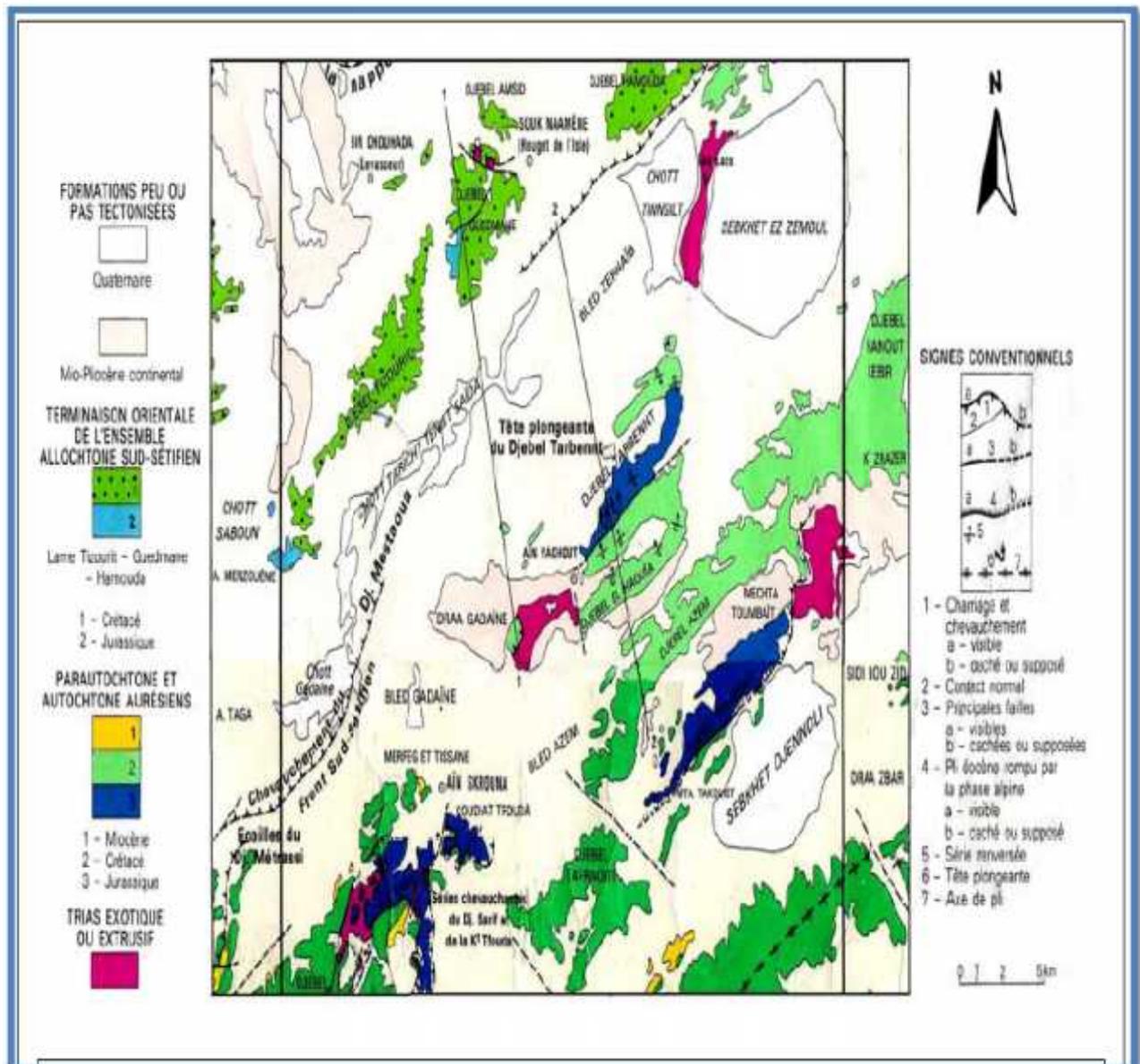


Figure 6 : Schéma structural simplifié de la de la plaine de Gadaïne - Ain Yaghout. (Extrait des cartes géologiques aux 1/50000 de : Ain Yaghout et Ain El ksar).

CHAPITRE II : CADRE GEOLOGIQUE

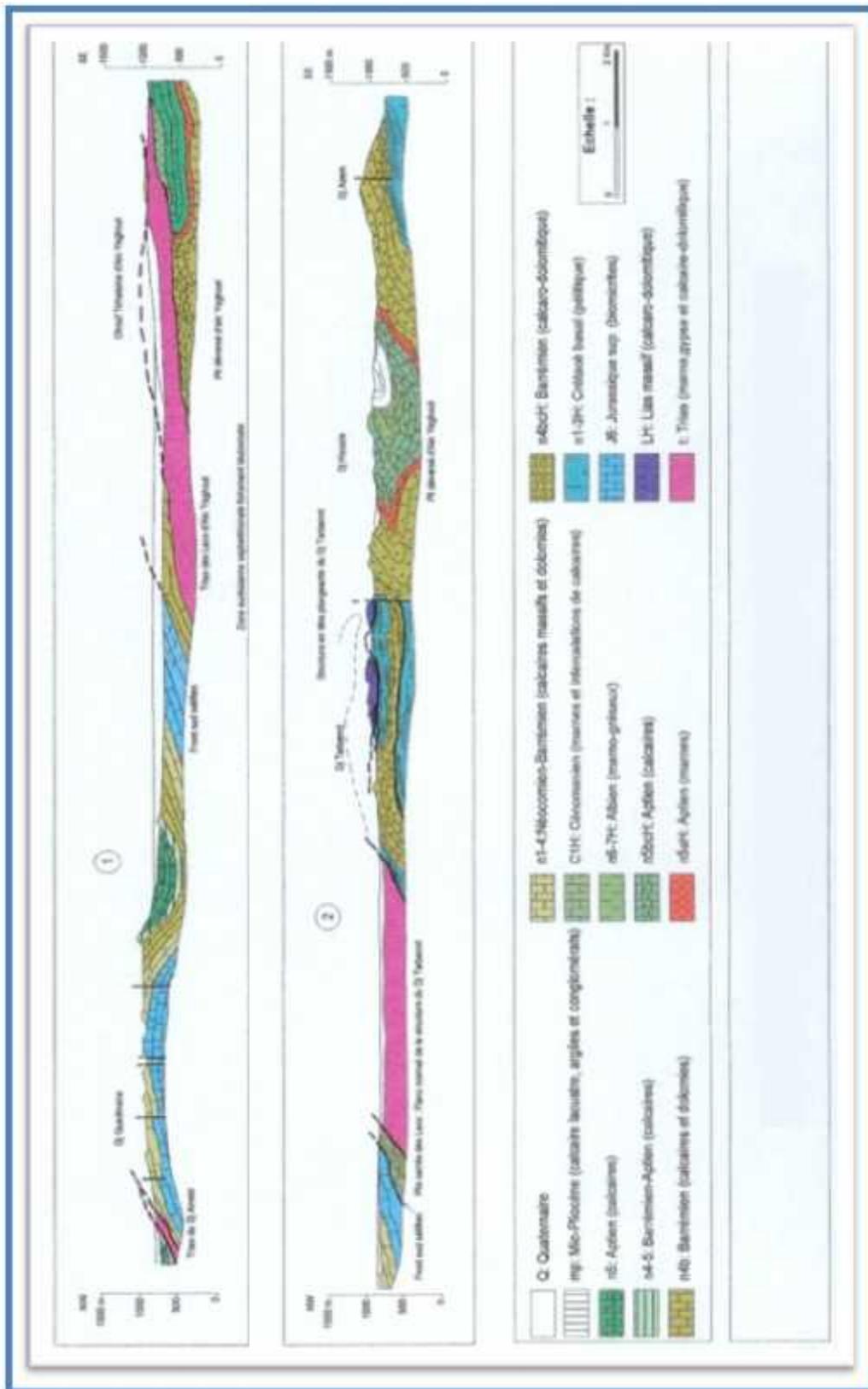


Figure 7 : Coupes géologiques interprétatives(d'après J.M.Vila,1977)

CHAPITRE II : CADRE GEOLOGIQUE

II.4. Détermination des différents ensembles réservoirs :

Le réservoir est la formation géologique perméable susceptible de stocker l'eau souterraine. La localisation des ensembles réservoirs existants est basée sur la nature lithologique des terrains et leur extension dans l'espace.

II.4.1. Formations du recouvrement :

Ce sont des formations d'âge Mio-Plio-Quaternaire. Elles sont formées de conglomérats ; d'alluvions et de calcaires lacustres. Elles constituent un ensemble de réservoirs importants d'une épaisseur de 120m.

II.4.2. Formations des réservoirs des formations carbonatées :

II.4.2.1. Formations carbonatées de l'ensemble allochtone sud-sétifien :

Il s'agit des formations du Crétacé inférieur comme le barrémien (calcaires et dolomies) de 300m d'épaisseur, et du Jurassique supérieur (calcaires massifs) d'une épaisseur de 80m d'environ.

II.4.2.2. Formations carbonatées de l'ensemble autochtone et parautochtone aurésiens :

Il s'agit d'une part, des calcaires du Crétacé comme ceux de l'Aptien et du Barrémien ainsi les calcaires et les dolomies du Néocomien-Barrémien. L'épaisseur totale est de l'ordre 650m d'environ. D'autre part, les formations du Jurassiques comme le Malm (calcaires), Dogger (calcaires argileux) et lias (calcaires et dolomies) sont d'une épaisseur totale 440m.

Les formations du recouvrement constituent un ensemble réservoir important qui repose sur l'ensemble réservoir des formations carbonatées du Jurassique et du Crétacé inférieur. Les deux ensembles sont séparés en plusieurs endroits par des niveaux argileux.

Conclusion :

Selon la nature lithologique des formations rencontrées, nous distinguons trois classes de terrains susceptibles d'être aquifère ou d'accumulation d'eau.

❖ Formations favorables pour constituer des aquifères à porosité d'interstice :

Les formations qui peuvent constituer un aquifère à porosité d'interstice sont :

- ❖ **Les dépôts du Mio-Plio-Quaternaire:** constitués par des calcaires lacustres, des conglomérats et des dépôts de piémonts.
- ❖ **Les formations de l'allochtone Sud Sétifien :** qui sont :
 - Les micrites de l'Aptien.
 - Les grès du Barrémien.
- ❖ **Les formations de l'autochtone et parautochtone aurésiens :** qui sont :
 - Les grès du Tortonien.
 - Les conglomérats du Miocène inférieur.
 - Les grès de l'Aptien inférieur.
 - Les grès du Barrémien.

❖ Formations favorables pour constituer des aquifères karstiques :

Les formations qui peuvent constituer un aquifère karstique sont :

CHAPITRE II : CADRE GEOLOGIQUE

- ❖ **Les formations de l'allochtone Sud Sétifien** : Il s'agit :
 - Des calcaires de l'Aptien et du Barrémien.
 - Des calcaires et les dolomies du Néocomien-Barrémien.
 - Des calcaires du Jurassique supérieur.
- ❖ **Les formations de l'autochtone et parautochtone aurésiens** : Il s'agit
 - Des calcaires dolomitiques de l'Aptien supérieur, du Barrémien et du Lias.
 - Des calcaires du Tithonique-Berriasien.
- ❖ **Formations imperméables** :

Les différents horizons aquifères de la région sont séparés par des terrains imperméables appartenant aux **formations de l'autochtone et parautochtone aurésiens**.

- Les marnes grises du Cénomaniens moyen-supérieur.
- Les marnes de l'Albien et de l'Aptien inférieur.
- Les marnes et les argiles pélitiques du Valanginien-Hautérivien.
- Les marnes du Jurassique supérieur et du Lias supérieur.
- Le gypse bréchiqque et les marnes bariolées du Trias.



CHAPITRE III :
CADRE
HYDROCLIMATOLOGIQUE

CHAPITRE III : CADRE HYDROCLIMATOLOGIQUE

Introduction :

L'étude hydroclimatique est basée sur les données des précipitations et des températures, des vents, de l'humidité...etc. Elle permet de définir le bilan hydrologique en se basant sur l'évapotranspiration réelle, le ruissellement et l'infiltration qui participe à l'alimentation et au renouvellement des aquifères.

III.1. Aperçu sur la zone d'étude :

Notre zone d'étude appartient au sous bassin (07- 03) du grand bassin versant des hautes plaines constantinoises ayant une superficie de 9587 km². Les coordonnées de la station météorologique concernée pour l'étude (Aéroport de Batna) sont présentées dans le tableau 4.

Tableau 4 : Coordonnées Lambert et internationales de la station de l'aéroport de Batna.

Station	X (km)	Y (km)	Longitude	Latitude	Altitude (m)
Aéroport de Batna	836.00	281.60	6°19'E	35°45'19N	821.29

III.2. Analyse des paramètres climatologiques :

Nous avons utilisé les données relatives à la station climatologique de l'aéroport de Batna dont les données disponibles pour la série de (1989-2015) sont : les précipitations, températures, vents, humidité relative, insolation, gelée blanche, neige et évaporation.

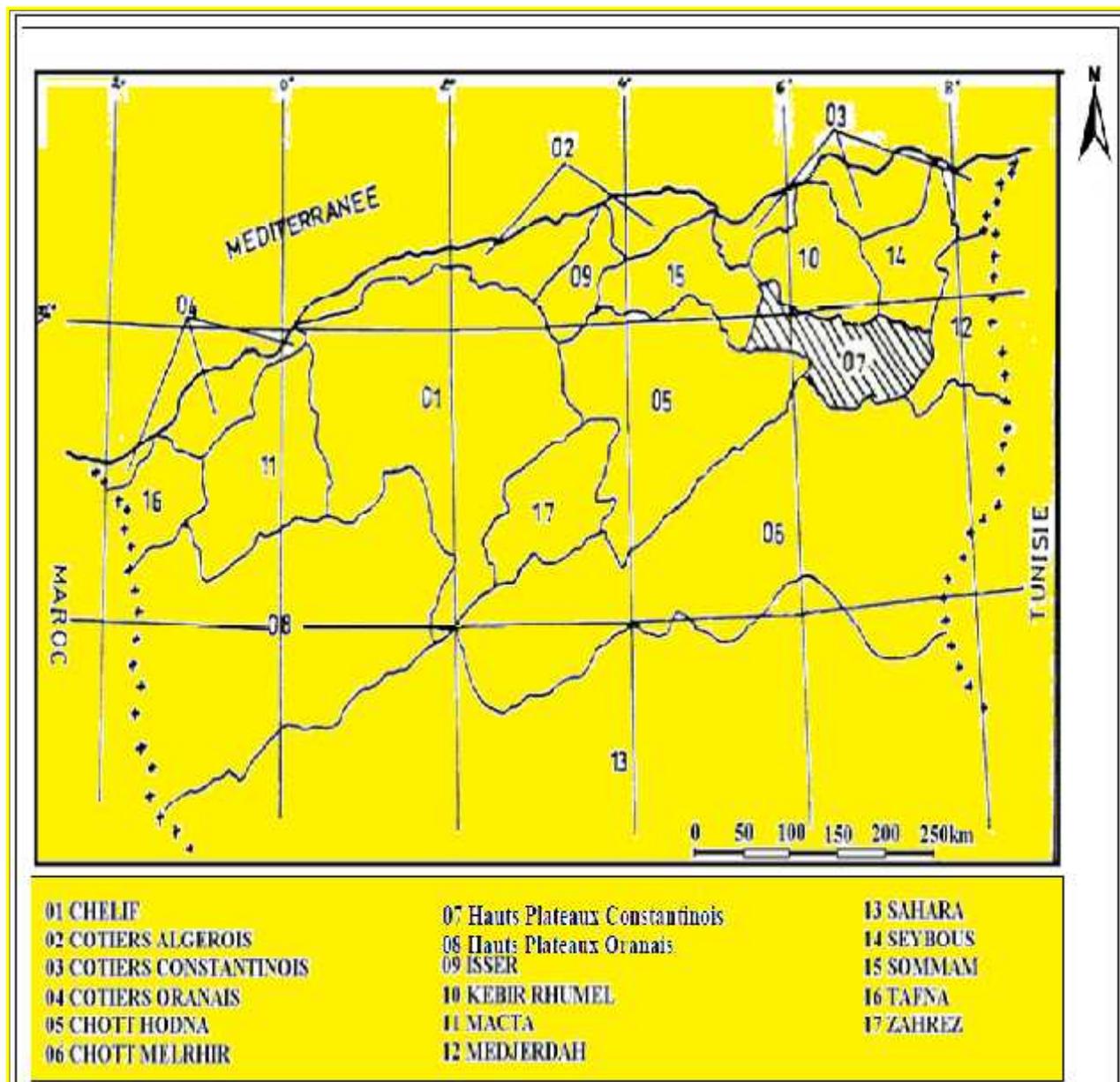


Figure 8 : Grands bassins versants de l'Algérie.
(Annuaire hydrogéologique de l'Algérie, 1985-1986)

III.2.1. Précipitation :

La précipitation est la totalité de la lame d'eau quantifiée par la pluviométrie. Elle est d'origine diverse : pluie, neige, grêle...etc.

III.2.1.1. Répartition mensuelle et saisonnière des précipitations :

Le tableau .5 et la (Fig.9) résume la répartition moyenne mensuelle et saisonnière des précipitations dans la station de l'aéroport de Batna, dont :

- Le maximum des précipitations moyennes mensuelles observé est de 44.68 mm durant le mois de Mai.
- Le minimum des précipitations moyennes mensuelles est observé au mois de Juillet avec 7.11mm.

CHAPITRE III : CADRE HYDROCLIMATOLOGIQUE

Tableau 5 : Précipitations moyennes mensuelles à la station de l'aéroport de Batna. Période (1989-2015).

Station		Automne			Hiver			Printemps			Eté			Année
		Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fèv	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	
l'aéroport de Batna	P. mensuelle	34.91	24.37	24.34	30.27	32.9	24.95	33.25	36.44	44.68	17.16	7.11	21.9	332.28mm
	P. saisonnière (mm)	83.62			88.12			<u>114.37</u>			<u>46.16</u>			
	P. saisonnière (%)	25.16			26.52			<u>34.42</u>			<u>13.9</u>			

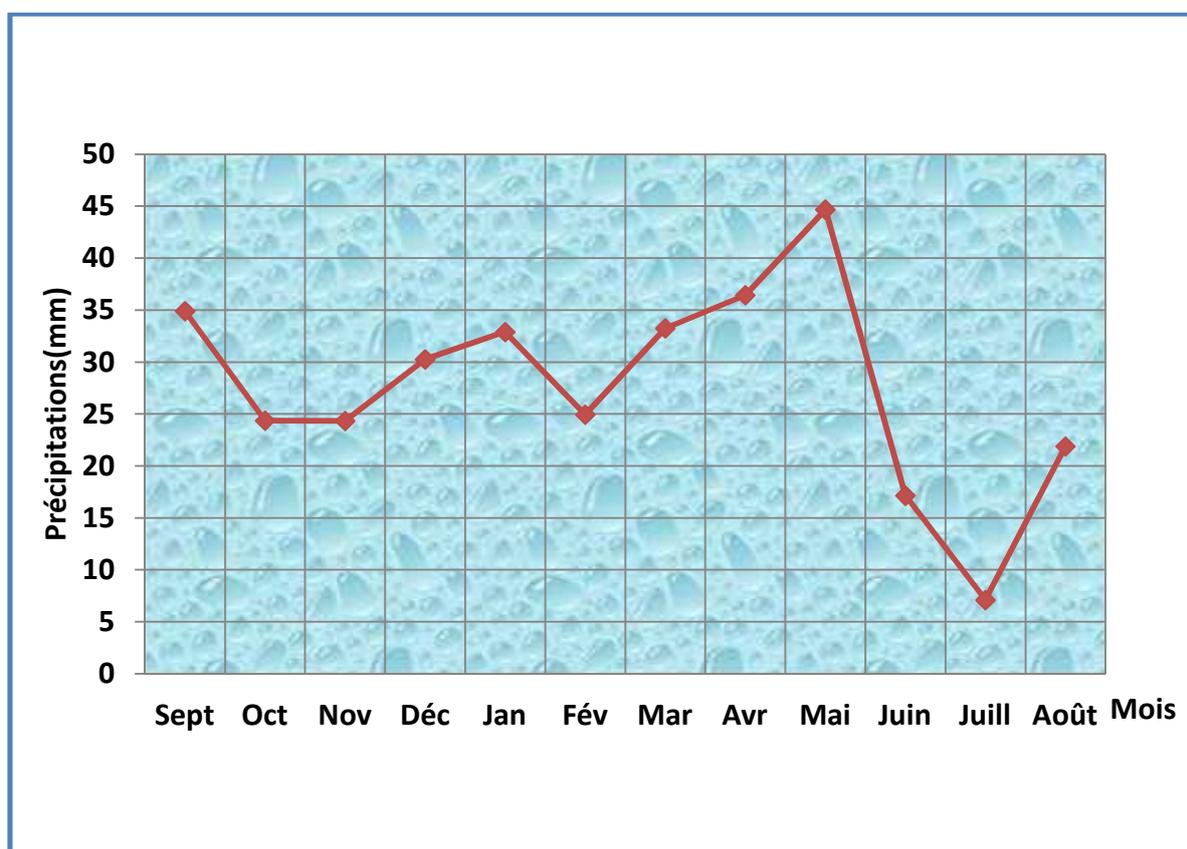


Figure 9 : Précipitations moyennes mensuelles de la station de l'aéroport de Batna.

Pour le régime saisonnier (Fig.10), la saison la plus pluvieuse est le printemps avec 114.37mm tandis que, la saison la plus sèche est l'été avec 46.16mm.

Le climat présente donc une période relativement pluvieuse regroupant l'hiver et le printemps, quand à la saison sèche, elle correspond à l'été.

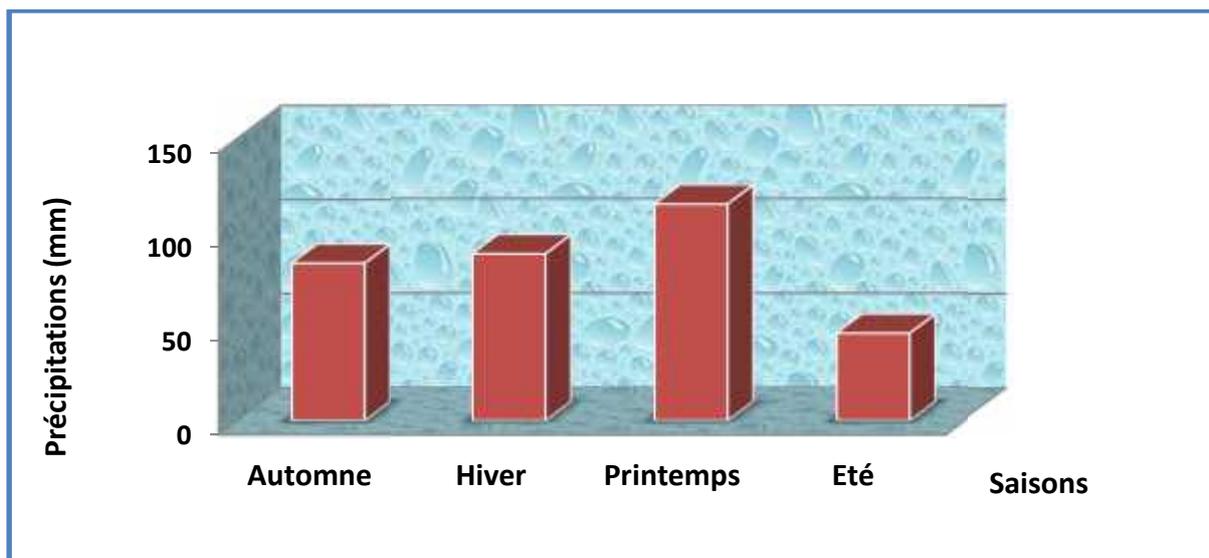


Figure 10 : Précipitations moyennes saisonnières de la station de l'aéroport de Batna (1989-2015).

III.2.1.2. Répartition annuelle des précipitations :

On remarque qu'il y'a une irrégularité dans la répartition annuelle des précipitations (Fig.11). L'année la plus pluvieuse est celle de (2003-2004) avec une précipitation de 596.8 mm, alors que le minimum est enregistré en (2000-2001) avec une précipitation de 172.3 mm.

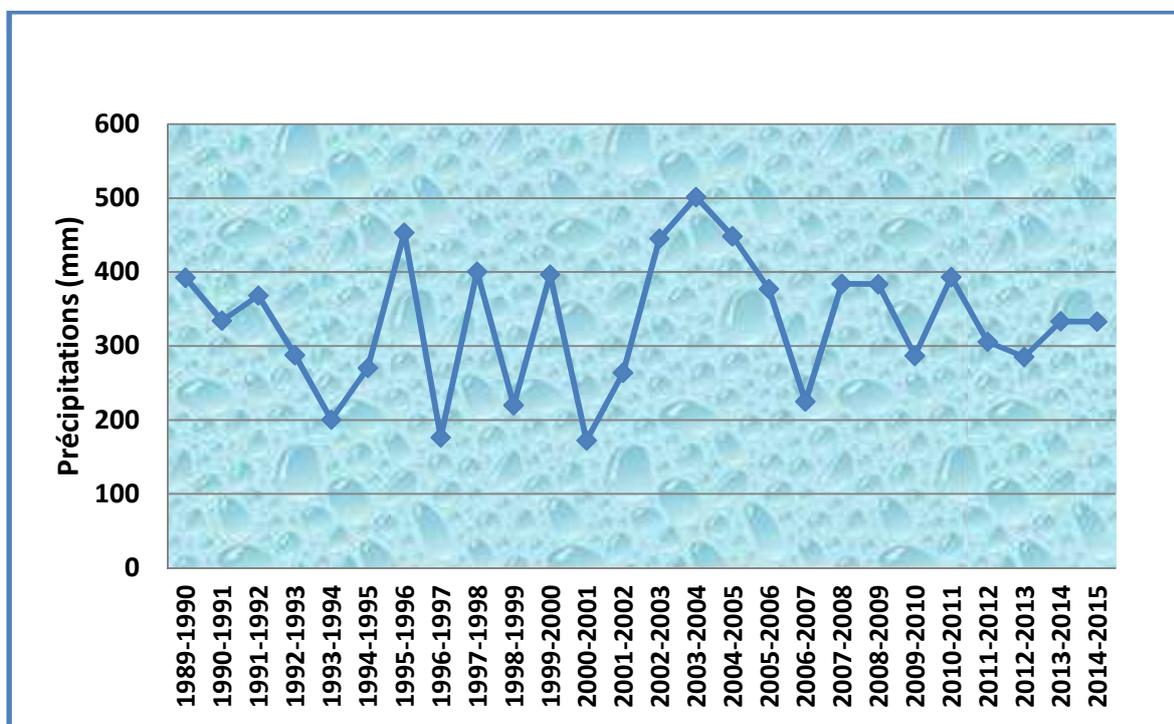


Figure 11: Précipitations annuelles de la station de l'aéroport de Batna (1989-2015).

CHAPITRE III : CADRE HYDROCLIMATOLOGIQUE

III.2.2. Température de l'air :

La température de l'air est un paramètre ayant une grande influence sur le bilan hydrologique. Elle conditionne l'évaporation et l'évapotranspiration.

Le tableau 6. montre les variations moyennes mensuelles de la température pour la station de l'aéroport de Batna durant la période (1989-2015). Selon ce tableau:

- ❖ Les températures atteignent le maximum au mois de Juillet avec (35.76°C) et Août avec (35.02 °C).
- ❖ La température moyenne de l'été est de 25.18 °C et celle de l'hiver est de 6.7 °C.
- ❖ La température moyenne durant la période d'observation (1989-2015) est de l'ordre de 15.53°C.

Tableau 6 : Températures moyennes mensuelles et annuelles à la station de l'aéroport de Batna pour la période (1989-2015).

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté			Moyenn Annuelle
	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fèv	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	
T° moy max(M)	29.35	24.1	17.23	12.75	12.03	13.31	16.97	20.28	25.97	31.82	35.76	35.02	22.89°C
T° moy min(m)	14.02	10.09	4.78	1.34	0.17	0.62	3.07	5.7	9.77	14.36	17.14	16.98	8.17°C
T° moy (M+m)/2	21.69	17.08	11.02	7.05	6.1	6.96	10.02	13	17.87	23.1	26.45	26	15.53°C
	16.60			6.7			13.63			25.18			

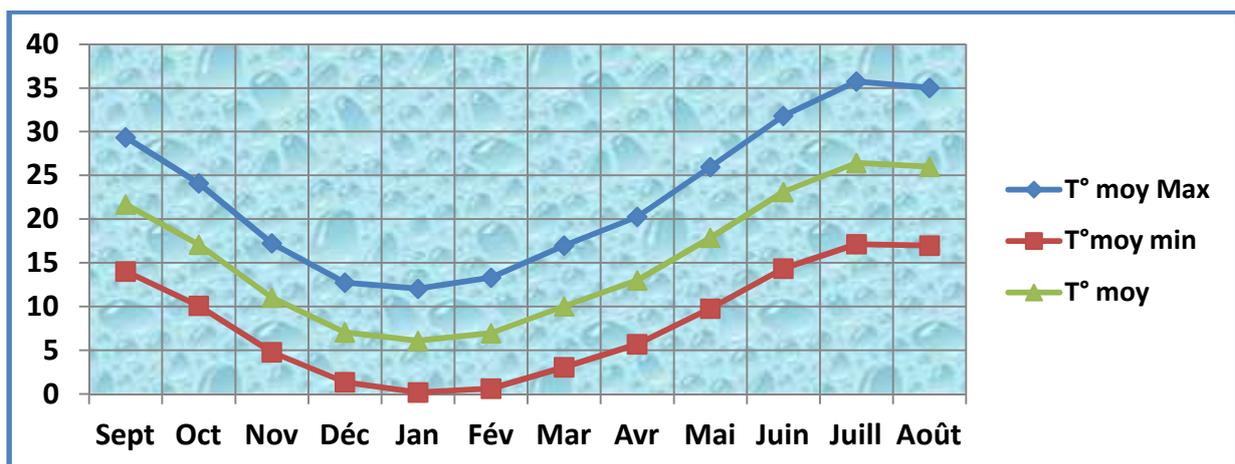


Figure 12 : Températures moyennes mensuelles et annuelles à la station de l'aéroport de Batna. Période (1989 - 2015).

Max : La température moyenne mensuelle des maximas (°C).

Min : La température moyenne mensuelle des minimas (°C).

(Max+Min)/2 : La température moyenne mensuelle (°C).

CHAPITRE III : CADRE HYDROCLIMATOLOGIQUE

D'après le tableau.7, qui révèle les températures moyennes interannuelles à la station de l'aéroport de Batna, on remarque que :

- ❖ La moyenne annuelle de la série (1989 - 2015) est de 15.53 °C
- ❖ La température maximale est observée durant l'année 2000-2001, avec une valeur de 16.30°C.
- ❖ Par contre, la température minimale (13.73 °C) est enregistrée durant l'année (1991-1992).

Tableau 7 : Températures moyennes annuelles à la station de l'aéroport de Batna. Période (1989 - 2015).

Année	1989-1990	1990-1991	1991-1992	1992-1993	1993-1994	1994-1995	1995-1996	1996-1997	1997-1998	1998-1999	1999-2000	2000-2001	2001-2002
Température (°C)	15.63	14.54	<u>13.73</u>	15	15.39	15.1	14.97	15.84	15.36	15.87	16.06	<u>16.3</u>	16.2
Année	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015
Température (°C)	15.79	15.24	15.45	15.85	16	15.71	15.1	16.04	15.56	15.51	15.64	15.86	15.97

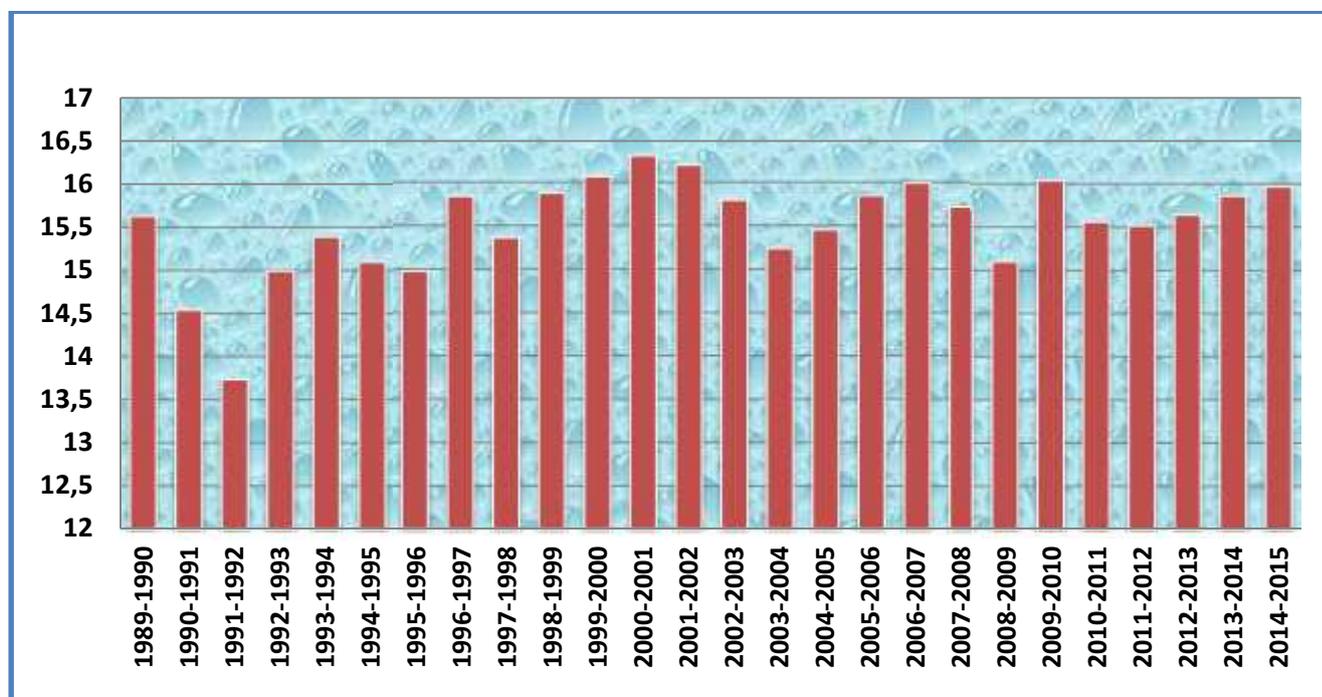


Figure 13 : Températures annuelles à la station de l'aéroport de Batna. Période (1989-2015).

CHAPITRE III : CADRE HYDROCLIMATOLOGIQUE

III.2.3. Relation température - précipitation :

III.2.3.1. Diagramme - ombro thermique de Gausсен et Bagnouls :

Le diagramme ombro thermique (Fig.14) est établi selon la méthode de Gausсен et Bagnouls dont les précipitations sont reportées à l'échelle double des températures.

Cela permet de déterminer la période sèche durant laquelle la moyenne mensuelle des précipitations du mois est inférieure ou égale au double de la température ($P \leq 2T$).

D'après les deux courbes ombro - thermiques, nous constatons que la période déficitaire en eau (sèche) s'étale depuis la quatrième semaine de Mai jusqu'à la première semaine du mois de Novembre.

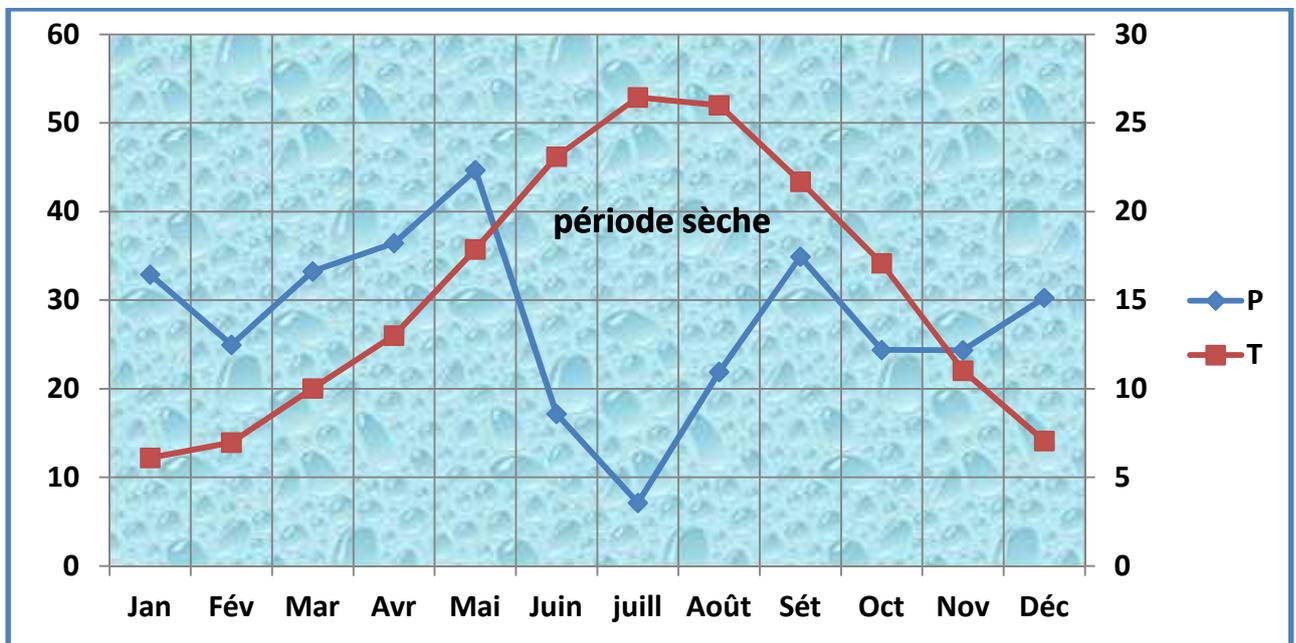


Figure 14 : Diagramme ombro - thermique à la station de l'aéroport de Batna.

III.2.3.2. Déterminations de l'humidité du sol parla méthode d'Euverte :

Cette méthode consiste à l'établissement du rapport P/T qui nous permet de connaître l'évolution de l'humidité du sol. On distingue 4 régimes. Si :

- ❖ $P/T < 1$: Le régime est très sec.
- ❖ $1 < P/T < 2$: Le régime est sec.
- ❖ $2 < P/T < 3$: Le régime est sub-humide.
- ❖ $P/T > 3$: Le régime est humide.

D'après le tableau 8:

- ❖ Le régime est très sec aux mois de : Juin, Juillet et Août.
- ❖ Le régime est sec aux mois de : Septembre et Octobre.
- ❖ Le régime est sub-humide aux mois de : Novembre, Avril et Mai.
- ❖ Le régime est humide aux mois de : Décembre, Janvier, Février et Mars.

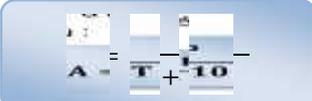
CHAPITRE III : CADRE HYDROCLIMATOLOGIQUE

Tableau 8 : Calcul Valeurs du rapport P/T à la station de l'aéroport de Batna.
Période (1989-2015).

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fèv	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août
P (mm)	35.6	25	24	30.73	32.2	24.55	32.55	35.95	43.65	18.48	7.16	22.15
T (°C)	21.89	17.09	11.02	6.82	6.02	6.88	10.05	12.95	17.85	23	26.40	26.09
P/T	1.62	1.46	2.17	4.50	5.34	3.56	3.24	2.77	2.44	0.80	0.27	0.85

III.2.3.3. Indice de De. Martone :

Le géographe De. Martone a défini l'indice d'aridité (A) en se basant sur la température et la précipitation selon la formule : Où :



$$A = \frac{P - T}{10} \quad (III.1)$$

P : La précipitation moyenne annuelle en (mm).

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

A la station d' l'aéroport de Batna, on a : P = 332.28 mm et T = 15.53°C ; donc :

A = 13.02

De. Martone a proposé selon la valeur de (A) la classification suivante :

20 < A < 30 : Le climat est tempéré.

10 < A < 20 : Le climat est semi-aride.

7.5 < A < 10 : Le climat est steppique.

5 < A < 7.5 : Le climat est désertique.

A < 5 : Le climat est hyperaride.

Dans notre cas, la valeur de (A) est comprise entre 10 et 20, donc il s'agit d'un régime semi-aride lié à la répartition saisonnière des températures et des précipitations.

III.2.3.4. Climagramme de L.Emberger :

Pour déterminer le climat de la région étudiée, on utilise le Climagramme d'Emberger, qui est un abaque comportant en ordonnées les valeurs du Q₂ qui sont données par la relation (III.2) et en abscisses la température moyenne des minimas de la saison froide.



$$Q_2 = \frac{P \times 1000}{(M + m)(M - m)} \quad (III.2)$$

Avec :

Q₂ : Le quotient pluvio - thermique d'Emberger.

P : La précipitation moyenne annuelle en (mm).

M : La température maximum du mois le plus chaud, en degré kelvin (K).

m : La température minimum du mois le plus froid, en degré kelvin (K).

CHAPITRE III : CADRE HYDROCLIMATOLOGIQUE

Avec :

$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273.15 \quad (\text{III.3})$$

A la station de l'aéroport de Batna, on a : $P = 332.28 \text{ mm}$, $M = 35.76 + 273.15 = 308.91^{\circ}\text{K}$, $m = 0.17 + 273.15 = 273.32^{\circ}\text{K}$, on obtient : $Q_2 = 32.07$

Le point A obtenu aux coordonnées (0.17, 32.07) montre que le climat à la station de l'aéroport de Batna est de type : semi-aride (Fig. 15), cela est concordant avec l'indice de De. Martone.

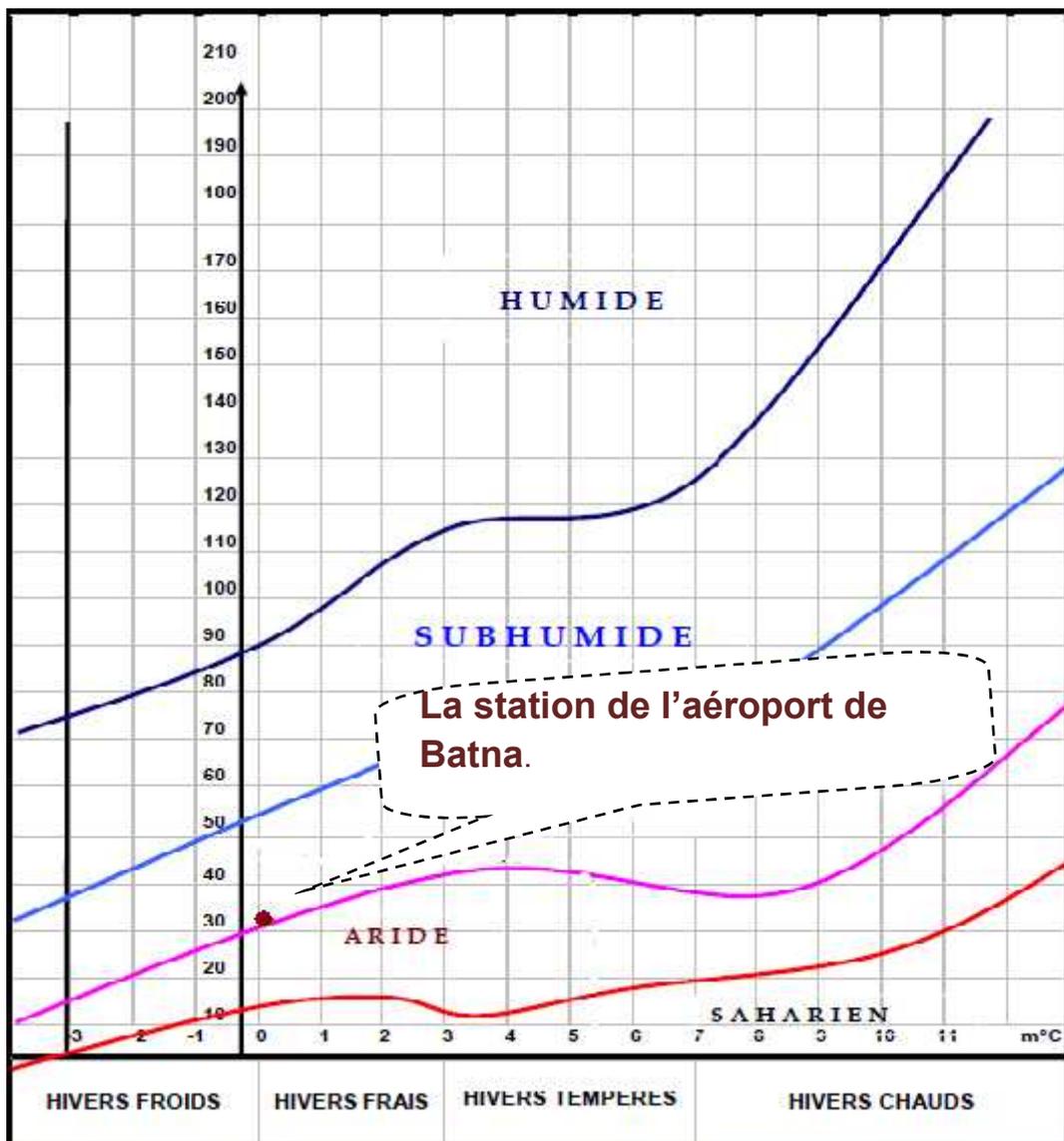


Figure 15 : Climagramme de L. EMBERGER.

On peut dire que les différentes méthodes utilisées montrent que la région d'étude est caractérisée par une période sèche qui débute du mois de Mai et s'étale jusqu'au mois de Novembre ce qui lui donne le caractère d'un climat semi - aride et le met sous l'influence d'un régime méditerranéen en hiver et saharien en été.

CHAPITRE III : CADRE HYDROCLIMATOLOGIQUE

III.2.4. Humidité relative :

Elle résulte de l'influence du soleil sur l'eau de surface ou du sol. Elle correspond au rapport de la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air sur la quantité de vapeur d'eau maximale possible. Elle est exprimée en %. D'après P.Seltzer, l'humidité relative moyenne est déduite des lectures faites à l'Hygromètre à : 7 h 00, 13 h 00 et 18 h 00 de la journée.

Selon le tableau 9, on remarque que le mois d'Octobre a une moyenne maximale d'humidité de l'ordre de 85.40 % tandis que le mois de Juillet enregistre une moyenne minimale d'humidité égale à 39.59 %.

Tableau 9 : Humidité relative en (%) à la station de l'aéroport de Batna. Période (1989-2015).

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fèv	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Moyenne annuelle
Moyenne mensuelle en (%)	55,96	85,40	67,29	73,88	74,03	68,33	63,37	59,96	55,81	46,66	<u>39,59</u>	43,44	61,14

III.2.5. Vent :

Les masses d'air dominantes dans la région d'étude sont d'origine méditerranéenne occidentale, avec une prédominance des vents de l'Ouest et du Nord - ouest.

D'après le tableau 10, on constate que la vitesse moyenne mensuelle maximale est enregistrée au mois d'Avril (3,91m/s), tandis que le mois de Janvier enregistre une vitesse moyenne mensuelle minimale (2.74m/s).

Tableau 10: Vitesses moyennes mensuelles du vent à la station de l'aéroport de Batna. Période (1989-2012).

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fèv	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Moyenne annuelle
Moyenne mensuelle en (m/s)	3.35	3.06	3.22	3.05	<u>2.74</u>	3.18	3.51	3.91	3.65	3.72	3.65	3.52	3.38

III.2.6. Insolation:

Elle traduit la durée en heures par jour (h/j) du rayonnement solaire sur une région donnée. Les valeurs sont consignées dans le tableau 11.

On remarque que les maxima de l'insolation sont enregistrés en été avec une valeur de 350.76h/j au mois Juillet, tandis que les minimas sont enregistrés en hiver avec une valeur de 165.76 heures au mois de Décembre.

CHAPITRE III : CADRE HYDROCLIMATOLOGIQUE

Tableau 11 : Valeurs moyennes mensuelles de l'insolation à la station de l'aéroport de Batna Période (1989-2015).

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fèv	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Moyenne Annuelle
Moyenne mensuelle en(h)	170,55	189	226,18	247,88	295,70	318,29	<u>351,03</u>	318,18	249,40	241,70	187,96	<u>167,66</u>	246.96
Moyenne mensuelle en (h/j)	5.68	6.3	7.54	8.26	9.85	10.97	<u>11.70</u>	10.60	8.31	8.05	6.26	<u>5.59</u>	8.23

III.2.7. Evaporation :

Les relevés d'évaporation à la station de l'aéroport de Batna, concernant la période (1989-2015), sont mentionnés dans le tableau 12 qui montre que le maximum d'évaporation a lieu au mois de Juillet (310.15 mm) et le minimum au mois de Janvier (52.37 mm).

Tableau 12 : Evaporation moyenne mensuelle à la station de l'aéroport de Batna. Période (1989-2015).

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fèv	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Moyenne annuelle
Evaporation (mm)	191.19	138.6	88.15	87.81	<u>52.37</u>	68.85	105.85	140.03	183.70	250.40	<u>310.15</u>	284.44	158.46

III.2.8. Gelée blanche et la neige :

Les effets de la gelée blanche sont néfastes sur la végétation et les cultures. Le nombre des jours de gelée blanche par an est de l'ordre de 59 jours Tableau 13. Les gelées sont concentrées dans les mois les plus froids allant de Décembre à Mars. Pour la neige, le nombre des jours est de 6 jours par année, concentrés dans les mois d'hiver.

Tableau 13 : Moyenne mensuelle de la gelée blanche et la neige à la Station de l'aéroport de Batna (2005- 2015).

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fèv	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Total
Gelée (nombre des jours)	0	0	2	13	16	10	4	1	0	0	0	0	59
Neige (moyenne)	0	0	0	1	2	2	1	0	0	0	0	0	5.9

CHAPITRE III : CADRE HYDROCLIMATOLOGIQUE

III.3. Evapotranspiration :

C'est la restitution de l'eau à l'atmosphère à partir d'une surface quel que soit sa nature : sol, végétation, surface d'eau libre, neige ou glace, par transformation de l'eau en vapeur. Ce processus est le résultat de deux phénomènes :

- ❖ L'évaporation (E) : s'effectue à partir des surfaces évaporantes telles que : les surfaces d'eau libre et les sols humides.
- ❖ La transpiration (T) ou évaporation physiologique : est l'évaporation biologique des plantes.

III.3.1. Evapotranspiration potentielle (ETP) :

Elle représente la température d'un couvert végétal en pleine croissance alimenté en eau continuellement. Cette grandeur correspond donc à un concept théorique et représente les possibilités maximales d'évaporation dans les conditions climatiques données.

Pour le calcul de ce paramètre, Thornthwaite a proposé la formule suivante :

$$ETP = 16 \times \left(\frac{T}{I} \right)^a \quad (III.4)$$

Où :

ETP : L'évapotranspiration potentielle non corrigée, (mm).

T : La température moyenne mensuelle, en °C.

I : L'indice annuel de chaleur

i : L'indice mensuel de chaleur

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad (III.5)$$

$$I = \left(\frac{T}{5} \right) \quad (III.6)$$

a : L'exposant climatique, dont :

$$ETP_c = ETP \times K \quad (III.7)$$

$$K = \left(\frac{0.016}{I} \right)^a \quad (III.8)$$

ETP_c : L'évapotranspiration potentielle corrigée, (mm).

K : Le facteur de correction fonction de la durée d'ensoleillement.

Les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau 14 avec : I = 72.3 et a = 1.65.

Donc, **ETP_c** = 847mm, soit 254.9% des précipitations.

CHAPITRE III : CADRE HYDROCLIMATOLOGIQUE

Tableau 14 : Calcul de l'ETP selon la méthode de Thornthwaite à la station de l'aéroport de Batna pour la période (1989-2015).

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fèv	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Année
P (mm)	34.91	24.34	24.34	30.27	32.9	24.95	33.25	36.44	44.68	17.16	7.11	21.9	332.28
T(c°)	21.69	17.08	11.02	7.05	6.1	6.96	10.02	13	17.87	23.1	26.45	26.	15.53
I	9.22	6.42	3.30	1.68	1.35	1.64	2.86	4.24	6.87	10.14	12.45	12.13	72.36
ETP (mm)	98.73	66.44	32.13	15.32	12.05	15	27.44	42.25	71.61	108.6	137.19	133.34	761.13
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	/
ETPc (mm)	101.7	64.44	27.63	13.02	10.48	12.75	28.26	46.06	86.65	132.61	168.74	154.67	847

III.3.2. Evapotranspiration réelle (ETR) :

C'est la quantité d'eau évaporée par le sol et la végétation, elle tient compte de la lame d'eau de la surface évaporant, celle-ci est inférieure ou égale à l'ETP qui correspond à une restitution hydrique maximale à l'atmosphère.

Ce paramètre est calculé par plusieurs méthodes, parmi lesquelles nous pouvons citer :

❖ Formule de Turc :

Elle est valable pour tout type de climat. Elle est fonction de la précipitation et de la température.

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad (III.9)$$

Ou :

ETR : L'évapotranspiration réelle, en (mm).

P : La précipitation annuelle, en (mm).

L : Un paramètre calculé en fonction de la température selon la formule :

$$L = 300 + \frac{25T + 0.05T^2}{10} \quad (III.10)$$

T : La température moyenne annuelle en °C.

▪ Application numérique :

On a : P = 332.02 mm, T = 15.53 °C et L = 700.30.

On aura donc : ETR = 284mm, soit 85.47 % des précipitations.

❖ Formule de Coutagne :

Cette formule fait intervenir la pluviométrie et la température comme suit :

$$\lambda = \frac{I}{0.8 + 0.14T} \quad (III.11)$$

$$ETR = P - \lambda P \quad (III.12)$$

CHAPITRE III : CADRE HYDROCLIMATOLOGIQUE

Avec :

Cette formule n'est valable que pour des valeurs du P comprise entre $1/8\lambda < P < 1/2\lambda$.

Où : **P** : La précipitation moyenne annuelle, en m.

T : La température moyenne annuelle, en °C.

▪ Application numérique :

On a : $\lambda = 0.336$, $1/2\lambda = 1.49$, $1/8\lambda = 0.372$ et $P = 0.332$ m.

La valeur de P n'est pas comprise dans l'intervalle $1/2\lambda$, $1/8\lambda$; donc la formule de Coutagne n'est pas applicable dans notre cas.

❖ Bilan de Thornthwaite :

Pour établir le bilan hydrique, il faut d'abord calculer la RFU qui est la réserve facilement utilisable. Cette RFU est nécessaire pour le bon fonctionnement physiologique des plantes.

Thornthwaite, dans ses calculs, utilisait une valeur moyenne de la RFU = 100 mm, en 1954 Hallaire, a proposé une méthode permettant d'améliorer la connaissance de la réserve en eau du sol qui est donnée par la relation suivante :


$$RFU = \left(\frac{C - F}{100} \right) \times h \times D + 30 \quad (\text{mm}) \quad (\text{III.13})$$

Où :

RFU : Réserve facilement utilisable en (mm) ;

C : Capacité de rétention aux champs ;

F : Capacité du point de flétrissement des plantes; c'est la limite inférieure de l'eau absorbable par les plantes.

h: Profondeur du sol en (mm) ;

D : Densité apparente du sol (Hallaire propose de prendre $D = 1$) ;

Les 30mm supplémentaires correspondent au déracinement capillaire.

Hallaire propose :

$C - F = 05 \%$ → pour un sol sablo – limoneux ;

$C - F = 10 \%$ → pour un sol limoneux ;

$C - F = 20 \%$ → pour un sol argilo – limoneux ;

- Nous avons pris $C - F = 5 \%$ et $h = 300$ mm (profondeur moyenne d'enracinement des cultures de la région d'après le service de pédologie de l'A.N.R.H de Constantine).

- La RFU calculée donne une valeur égale à 45 mm ($RFU_{\min} = 0$ mm et $RFU_{\max} = 45$ mm).

- A partir des données des pluies mensuelles et l'ETP calculée par la formule de Thornthwaite, plusieurs cas peuvent être envisagés :

1- Si : $P > ETP$ → $ETR = ETP$ → $RFU = P - ETP$.

2- Si : $P = ETP$ → Les précipitations sont suffisantes pour alimenter le sol mais il n'y aura pas de surplus pour alimenter la RFU → $[RFU = 0]$.

3- Si : $P < ETP$ → il y aura épuisement des réserves, dans ce cas on aura un déficit du bilan ($ETP - ETR$), ou encore $(ETP - P)$ qui représentera la quantité d'eau qu'il faudra ajouter à l'ETR pour atteindre l'ETP.

CHAPITRE III : CADRE HYDROCLIMATOLOGIQUE

- Les résultats de calculs sont mentionnés dans le tableau 15 :

- ❖ Si on examine l'évolution de l'ETPc à l'échelle mensuelle, on constate l'existence de deux saisons bien distinctes : l'une pendant laquelle les précipitations sont *inférieures* à l'ETP (Décembre - Mars) et la seconde (Avril - Novembre) on a l'inverse;
- ❖ Pendant la saison froide, le bilan hydrique est positif où les précipitations couvrent les besoins de l'ETP et permettent la formation d'une réserve facilement utilisable RFU ;
- ❖ Dès le mois de Mai apparaît un déficit agricole qui montre une période sèche et qui se poursuit jusqu'à l'épuisement de la RFU ;
- ❖ L'ETR est égale à 320.41mm, soit 96.42 % des précipitations.

Tableau 15 : Bilan hydrique d'après Thornthwaite à la station de l'aéroport de Batna, (1989-2015).

Mois	Sépt	Oct	Nov	Déc	Jan	Fèv	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Année
P (mm)	34.91	24.37	24.34	30.27	32.9	24.95	33.25	36.44	44.68	17.16	7.11	21.9	332.28
ETPc	101.7	64.44	27.63	13.02	10.48	12.74	28.26	46.06	86.65	132.61	168.74	154.67	847
P-ETPc	-66.79	-40.07	-3.29	17.25	22.42	12.21	4.99	-9.62	-41.97	-115.45	-161.63	-132.77	/
ETR	34.91	24.37	24.34	13.02	10.48	12.74	28.26	46.06	80.06	17.16	7.11	21.9	320.41
RFU	0	0	0	17.25	39.67	45	45	35.38	0	0	0	0	/
Déficit	66.79	40.07	3.29	0	0	0	0	0	6.59	115.45	161.63	132.77	526.59
Ex	0	0	0	0	0	6.88	4.99	0	0	0	0	0	11.87

❖ Discussion des résultats :

Les valeurs de l'ETR calculées par les différentes méthodes sont relativement proches l'une de l'autre dont celle de Thornthwaite étant un peu *supérieure* que la méthode de Turc, ce qui nous a conduit prendre la moyenne de ces deux valeurs qui est 302.20 mm, soit 90.94 % des précipitations. L'ETPc est calculée uniquement par la formule de Thornthwaite, elle est de l'ordre 847 mm.

III.4. Bilan hydrologique :

Le bilan hydrologique permet d'évaluer la répartition des précipitations entre les différents composants de ce bilan, à savoir : l'écoulement, l'infiltration et l'évapotranspiration.

Le bilan est établi selon la formule suivante :

CHAPITRE III : CADRE HYDROCLIMATOLOGIQUE

$$P = ETR + R + I \quad (III.14)$$

Où :

P : La précipitation moyenne annuelle en (mm).

ETR : L'évapotranspiration réelle en (mm).

R : Le ruissellement en (mm).

I : L'infiltration en (mm).

III.4.1. Ruissellement superficiel :

Il est estimé à partir de la formule de Tixeront-Berkaloff qui est la suivante :

$$R = \frac{p^2}{3(ETPc)^2} \quad (III.15)$$

On a :

$P = 332.28$ mm, $ETPc = 847$ mm, $R = 17.04$ mm. Ce qui représente 5.13 % des précipitations.

III.4.2. Infiltration :

L'infiltration est le passage de l'eau à travers la surface du sol, il est exprimé par la formule suivante :

$$I = P - (ETR + R) \quad (III.15)$$

Donc : $I = - 5.17$ mm.

Cette valeur peut être liée, d'une part à l'évaluation de l'ETR déterminée par la méthode de Thornthwaite où l'échelle mensuelle est critiquable. D'autre part, elle est en relation avec la RFU max qui n'est pas assez précise selon la méthode de Thornthwaite. Comme ce résultat pourrait être expliqué au non fiabilité des données climatiques. Tenant compte de cela, l'aquifère pourrait être alimenté soit latéralement, soit par remontée à partir de l'aquifère profond.

Conclusion :

- ❖ Le climat qui règne dans notre région d'étude est semi-aride, il est caractérisé par des hivers froids et pluvieux et des étés chauds et secs.
- ❖ Le secteur d'étude appartient à une zone peu pluvieuse, avec une précipitation moyenne annuelle de l'ordre 332.28 mm.
- ❖ La température moyenne annuelle est de l'ordre de : 15.53 °C.
- ❖ L'évapotranspiration potentielle et l'évapotranspiration réelle moyenne sont respectivement de 847 mm, soit 254.9 % des précipitations et 300.69 mm, soit 90.49 % des précipitations.
- ❖ Le déficit agricole estimé est de 526.59 mm étalé sur la période, soit 158.47 % des précipitations.
- ❖ Le ruissellement calculé est de l'ordre de 17.04 mm étalé sur la période allant de Mai jusqu'à Novembre soit 5.13 % des précipitations.
- ❖ La valeur de l'infiltration est reste discutable.



CHAPITRE IV :
CADRE
HYDROGEOLOGIQUE

CHAPITRE IV : CADRE HYDROGEOLOGIQUE

Introduction :

L'étude hydrogéologique aura pour buts d'identifier les différents aquifères de la plaine de Gadaïne- Ain Yaghout, en se basant sur l'analyse litho stratigraphique et structurale des formations géologiques, de déterminer ses caractéristiques hydrodynamiques à partir de l'interprétation des essais de pompage, ainsi de comprendre le mécanisme de circulation de l'eau souterraine, dans ces systèmes aquifères.

IV.1. Formations aquifères :

A partir de l'analyse litho stratigraphique de la plaine d'étude, on peut distinguer deux types d'aquifère :

- ✚ L'un superficiel; qui est l'aquifère Mio-Plio-Quaternaire.
- ✚ L'autre profond; qui est l'aquifère Jurassico-Crétacé.

Nous essayons de voir dans ce qui suit les caractéristiques de ces deux grands ensembles.

IV.1.1. Aquifère superficiel d'âge Mio-Plio-Quaternaire :

C'est un aquifère hétérogène constitué essentiellement par des calcaires lacustres, des conglomérats et des alluvions. Ces formations occupent presque tout le terrain d'étude à l'exception des reliefs.

L'alimentation de cette nappe se fait directement par les précipitations sur la plaine et par les écoulements des glacis qui nappent les reliefs, par les apports des crues occasionnelles et enfin par l'aquifère profond au niveau des failles. La nappe peut être affleurant dans l'axe des dépressions occupées par les chotts.

Son exutoire naturel est chott Tinsilt se trouvant à la côte 788m.

IV.1.2. Complexe aquifère profond d'âge Jurassico-Crétacé:

IV.1.2.1. Formations du Crétacé :

Ces formations sont de nature carbonatée, affleurent en bordures de la plaine formant les reliefs sous forme des massifs tels que : Dj Tizourit, Dj Taфраout et les monts d'Ain Yaghout.

Au centre de la plaine, ces formations plongent sous une grande épaisseur des formations du recouvrement mio-plio-quaternaire.

IV.1.2.2. Formations du jurassique :

Ce sont de formations carbonatées, dont leurs toit est marneux avec parfois des agiles et des galets calcaires à Dj Merzeguène, entre autre.

Les plus importantes zones d'alimentation se situent dans les massifs ainsi que sur les piémonts qui sont recouverts d'une faible couche d'alluvions ou dans la plaine quand il n'y a pas d'écran imperméable séparant l'aquifère superficiel ce qui permet l'infiltration des eaux météoriques. L'alimentation se fait également par l'intermédiaire d'un réseau de fractures acheminant de grandes quantités d'eau.

Les exutoires naturels des aquifères karstiques sont les sources.

CHAPITRE IV : CADRE HYDROGEOLOGIQUE

IV.2. Conditions aux limites :

En dehors des infiltrations directes des eaux des précipitations, la nappe superficielle reçoit toutes les eaux qui dévalent les flancs internes des massifs carbonatés qui sont :

- Dj Guedmane au Nord.
- Dj Sarif et Taфраout au Sud.
- Les monts d'Ain Yaghout et Dj Tarbennt à l'Est.
- Dj Merzeguène et Tizourit à l'Ouest.

Ces massifs constituent une limite à flux imposé entrant.

Au Sud, au niveau du seuil alluvionnaire enserré entre Koudiat Tfouda et Dj Taфраout, on a une alimentation par les eaux de surface d'oued El Madher, donc c'est une limite à flux imposé entrant aussi.

Les limites Nord-est et Sud-ouest sont occupées par chott Tinsilt et chott Gadaïne, ce sont des limites à flux imposé.

Le substratum de cet aquifère correspond aux formations marneuses et argileuses dans quelques endroits, et considéré comme les formations calcareuses du Crétacé et du Jurassique dans la majorité de la surface de la plaine, donc une alimentation souterraine est très probable.

IV.3. Piézométrie :

La carte piézométrique à une date donnée est la distribution spatiale des charges et des potentiels hydrauliques, ainsi que des conditions aux limites hydrodynamiques. Elle est établie par l'interpolation des mesures ponctuelles du niveau piézométrique des points d'eau qui sont reportés sur un fond topographique. L'équidistance est choisie d'une façon à obtenir une représentation claire.

La carte piézométrique est la synthèse la plus importante d'une étude hydrogéologique. Elle constitue le document de base de l'analyse du comportement hydrodynamique de l'aquifère.

Elle permet principalement :

- ✓ D'analyser la morphologie et d'estimer la profondeur de la surface piézométrique.
- ✓ De tracer les lignes de courant et par conséquent les directions d'axes principaux d'écoulement, ainsi que les zones d'alimentation et ou de drainage.
- ✓ De calculer le gradient hydraulique à différents endroits.

IV.3.1. Inventaire des points d'eau :

Notre zone d'étude présente un certain nombre de puits et de forages qui sont dispersés dans la plaine et qui sont destinés à l'alimentation en eau potable, à l'irrigation et aux autres usages domestiques.

Afin de réaliser cette étude, nous avons sélectionné 25 points d'eau exploitant l'aquifère superficiel du Mio-Plio-Quaternaire et qui sont retenus pour le suivi piézométrique.

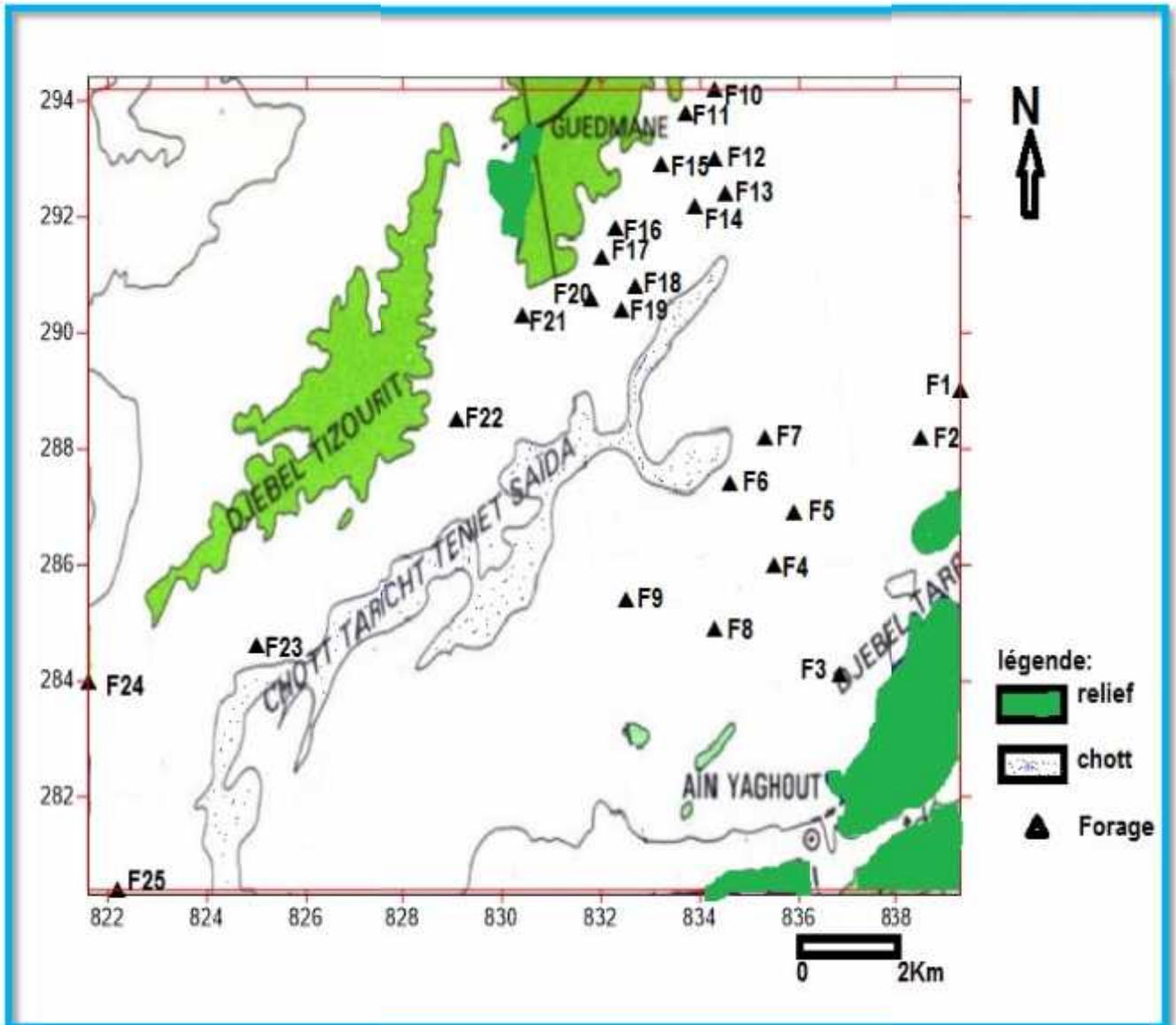


Figure 16 : Carte d'inventaire des points d'eau de la plaine de Gadaïne-Ain Yaghout.

IV.3.2. Interprétation de la carte piézométrique :

Cette carte exprime la morphologie de la surface piézométrique de la nappe à une date déterminée (notre cas : Mai 2016).

Les courbes isopièzes donnent une idée précieuse sur la continuité de la nappe ainsi que la détermination du sens d'écoulement des eaux souterraines entre les zones d'alimentation et les exutoires.

Notre carte piézométrique montre que l'organisation générale des écoulements est orientée du Sud-Est vers le Nord-Ouest dans la partie est de la plaine et du Nord-Ouest vers le Sud-Est à l'Ouest. Ces écoulements convergent vers la zone de drainage du chott Gadaïne et chott Tinsilt.

CHAPITRE IV : CADRE HYDROGEOLOGIQUE

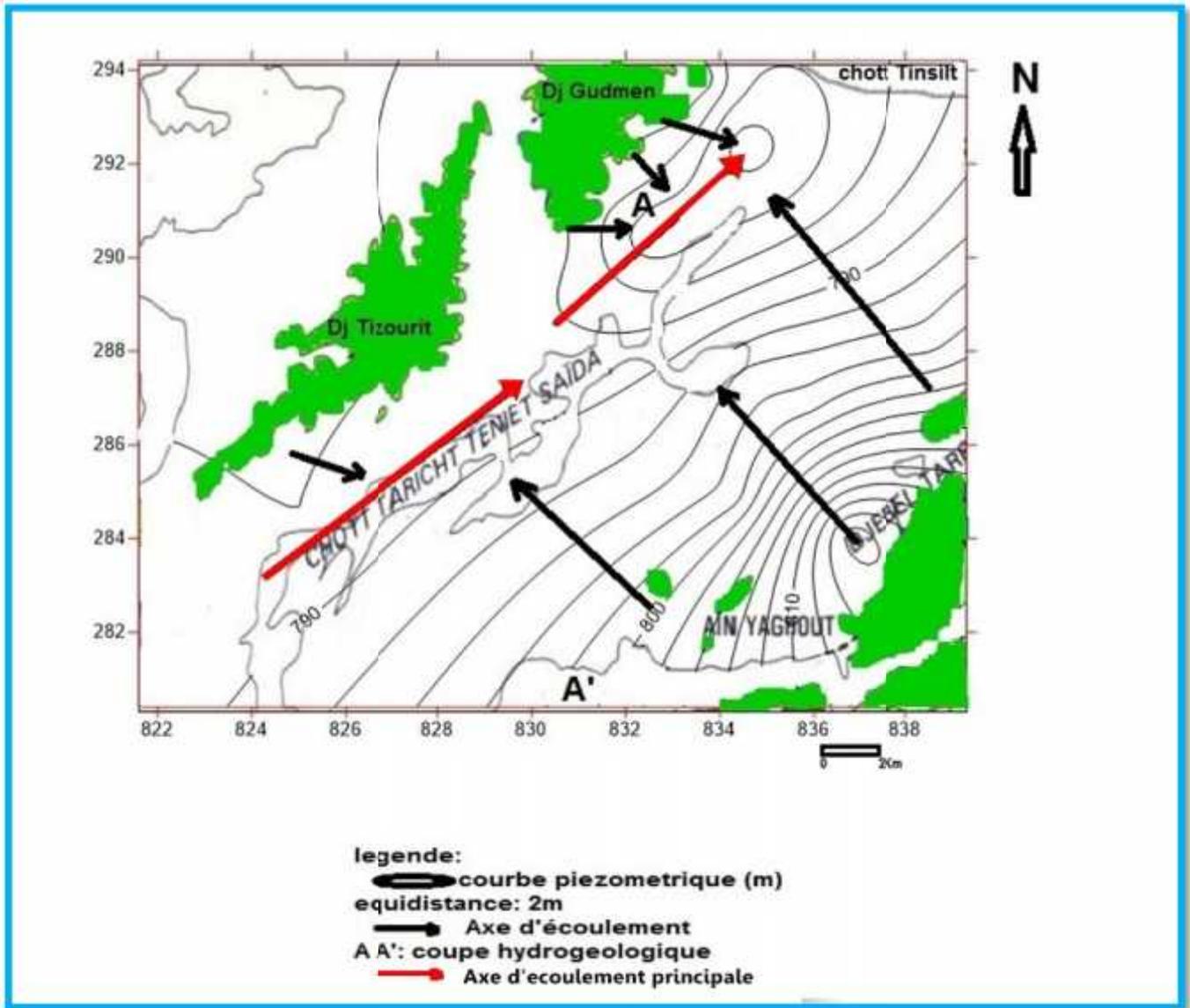


Figure 17 : Carte piézométrique de la plaine de Gadaïne – Ain Yaghout (Mai 2016).

IV.3.3. Calcul du gradient hydraulique :

L'écartement des courbes piézométriques est fonction du gradient hydraulique, qui est d'autant plus fort que les courbes sont plus serrées. Il est donné par la formule suivante :

$$i = \frac{H_1 - H_2}{L}$$

Avec :

H_1, H_2 : les niveaux piézométriques déterminés par les courbes isopièzes en m.

L : la distance entre les deux points des niveaux piézométriques H_1, H_2 déterminée par l'échelle de la carte en m.

Le gradient hydraulique est lié à la perméabilité du milieu, dont il est faible dans un milieu à perméabilité élevée et l'inverse.

CHAPITRE IV : CADRE HYDROGEOLOGIQUE

Tableau 16 : Valeurs du gradient hydraulique.

zone	H2 (m)	H1 (m)	L (m)	Gradient hydraulique
S.E	816	792	2500	$9,6 \times 10^{-3}$
S.W	796	790	3400	$1,7 \times 10^{-3}$
N.E	790	780	3400	$2,9 \times 10^{-3}$

D'après le tableau.16, on constate que le gradient hydraulique est variable d'un point à l'autre dans la zone d'étude.

IV.4. Etude des caractéristiques hydrodynamiques des aquifères :

La détermination des caractéristiques hydrauliques des aquifères se fait par l'interprétation des pompages d'essai. Cette méthode consiste à représenter graphiquement les fonctions mathématiques régissant l'écoulement des eaux souterraines vers les ouvrages de captage. L'étude de ces graphiques permet :

- ❖ La prévision de l'évolution du rabattement en fonction du débit ;
- ❖ La mesure des paramètres hydrodynamiques des aquifères tels que la transmissivité et le coefficient d'emménagement ;
- ❖ De voir en temps réel l'effet de l'exploitation de l'aquifère.

La conduite des essais de débit et leur interprétation repose sur le régime d'écoulement des eaux souterraines vers les ouvrages de captage. C'est pourquoi, il est recommandé d'être prudent sur le choix des formules à appliquer et de leurs conditions limites.

IV.4.1. Interprétation des pompages d'essai :

Les pompages d'essai ont été exécutés dans les forages, à des débits Q , durant un temps t . On mesure le rabattement à des intervalles de temps définis, en mètre. Au cours du pompage, le niveau dynamique dans le forage baisse en fonction du temps. Dans certains cas, le niveau dynamique connaît une amorce de stabilisation soit à cause du phénomène de débit retardé qui caractérise les nappes semi - libres, soit une source de captage au voisinage du forage. L'interprétation d'un pompage d'essai en régime transitoire, partant d'une conception nouvelle du comportement hydrodynamique de l'aquifère, repose sur des méthodes de résolution graphique, des expressions mathématiques d'approximation logarithmique.

Ces méthodes sont toutes basées sur les hypothèses suivantes :

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

CHAPITRE IV : CADRE HYDROGEOLOGIQUE

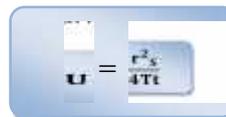
L'exécution et l'interprétation des données brutes (rabattements et temps,) reposent sur l'emploi des expressions d'hydrodynamique en régime transitoire, établies par Theis (1935) et ses successeurs Wenzel (1942) et Jacob (1950).

❖ En 1935, Theis établit les expressions des équations de l'écoulement de l'eau souterraine vers les ouvrages de captage en régime transitoire.



Δ : rabattement observé à l'instant t dans le puits d'observation, en mètre.

$W(u)$: est la fonction caractéristique où :



T: transmissivité de l'aquifère, en m^2/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 m^2/s ou m^3/s ;

t: durée de pompage, en secondes.

Jacob (1905) a établi une expression logarithmique applicable pour des durées de pompage longues, cette formule est comme suit :



Après développement on aura :



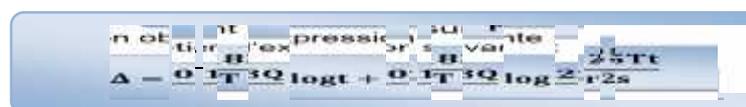
L'expression de Jacob est la plus utilisée, elle comporte deux parties :

➤ **Partie - 1 - lors de la descente :**

❖ **Calcul de la transmissivité:** l'équation de Jacob lors de la descente est comme suit :

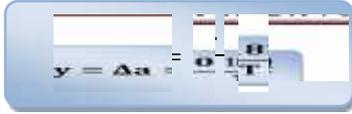


Après développement, on obtient l'expression suivante :

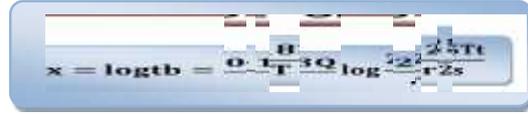


C'est l'équation d'une droite de la forme $y = ax+b$, avec :

CHAPITRE IV : CADRE HYDROGEOLOGIQUE



$$y = \Delta a = 0.183 \frac{B}{T} Q$$



$$x = \log tb = \frac{0.183 Q}{T r^2 s} \log \frac{2.25 T t}{r^2 s}$$

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

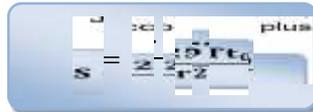
La transmissivité est calculée par la pente de la droite représentative qui est déterminée par l'accroissement des rabattements, à l'aide d'un module logarithmique, noté «a». La transmissivité est calculée par l'expression :



$$T = \frac{0.183 B Q}{a \Delta}$$

❖ 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:



$$S = \frac{2.25 T t_0}{r^2}$$

Il faut noter que ce paramètre ne peut être calculé correctement que si on a des mesures au niveau d'un piézomètre, ce qui n'est pas le cas pour les présents essais.

➤ Partie - 2 - lors de la remontée :

On utilise l'expression suivante :



$$\Delta r = \frac{0.183 Q}{T r^2} \log \frac{t}{t'}$$

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 de pompage (temps de remontée), en secondes.

➤ Interprétation du pompage d'essai effectué dans le forage « F15 » :

L'essai de pompage à débit constant (06 l/s), a été effectué dans le forage « F15 » implanté dans la partie centrale de la plaine, par la direction d'hydraulique de la wilaya de Batna (DRE). Ce forage est de 100 m de profondeur, donc il capte l'aquifère profond.

CHAPITRE IV : CADRE HYDROGEOLOGIQUE

la courbe de descente:

Le graphe (Fig.18) représente un droite avec une pente, ce qui confirme l'hypothèse d'un aquifère limité latéralement par une structure étanche.

On peut calculer la transmissivité par la pente de la première droite qui est déterminée par l'accroissement du rabattement sur un cycle logarithmique :



$T_d = \frac{Q}{4 \cdot a}$

On a : $Q = 6 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ et $a = 1.22$

Donc : $T_d = 9 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

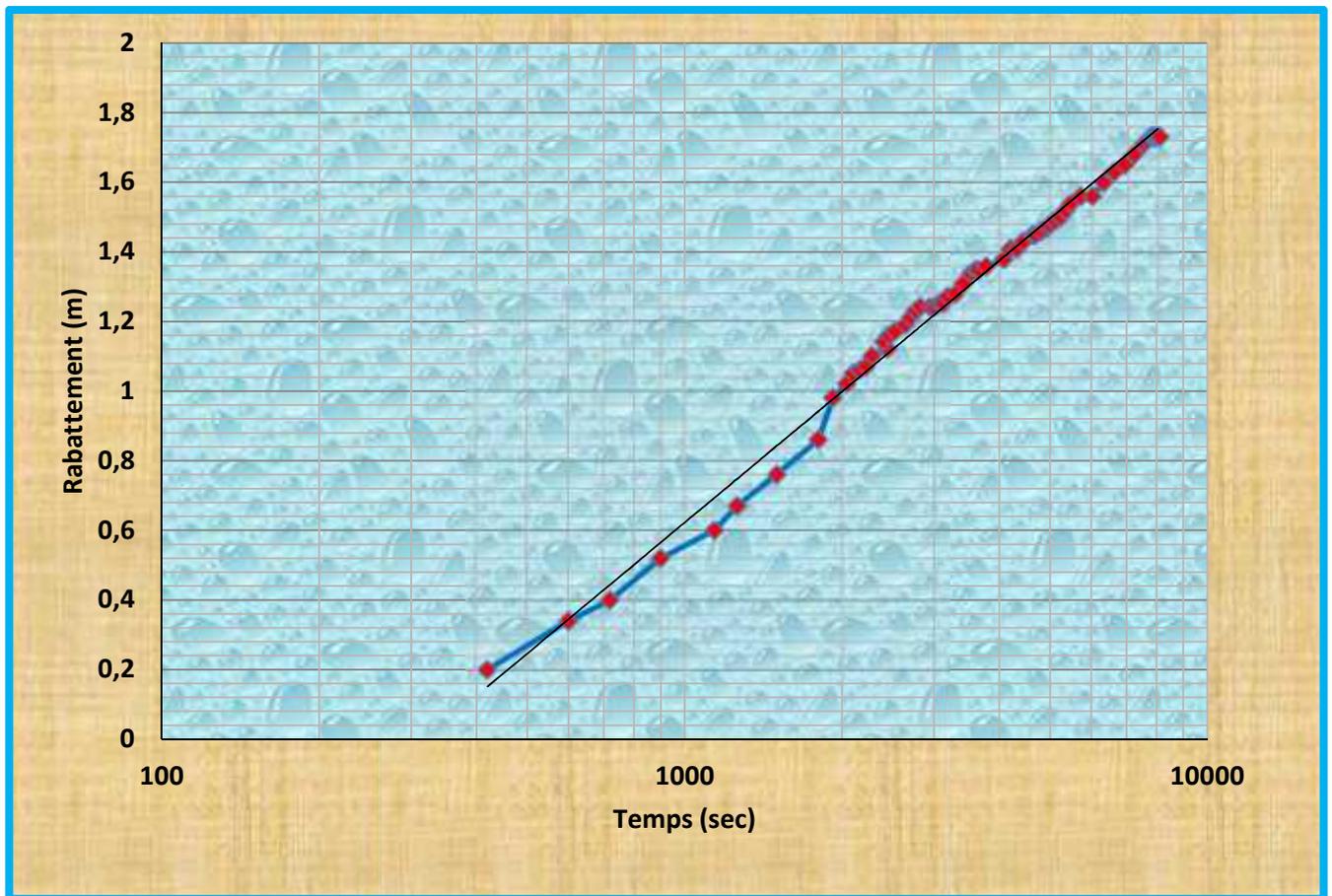
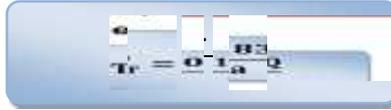


Figure 18 : Courbe de descente du Forage « F15 ».

CHAPITRE IV : CADRE HYDROGEOLOGIQUE

✚ La courbe de remontée :



On a : $Q = 6 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ et $a = 3.25$

Donc : $T_r = 3.37 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$

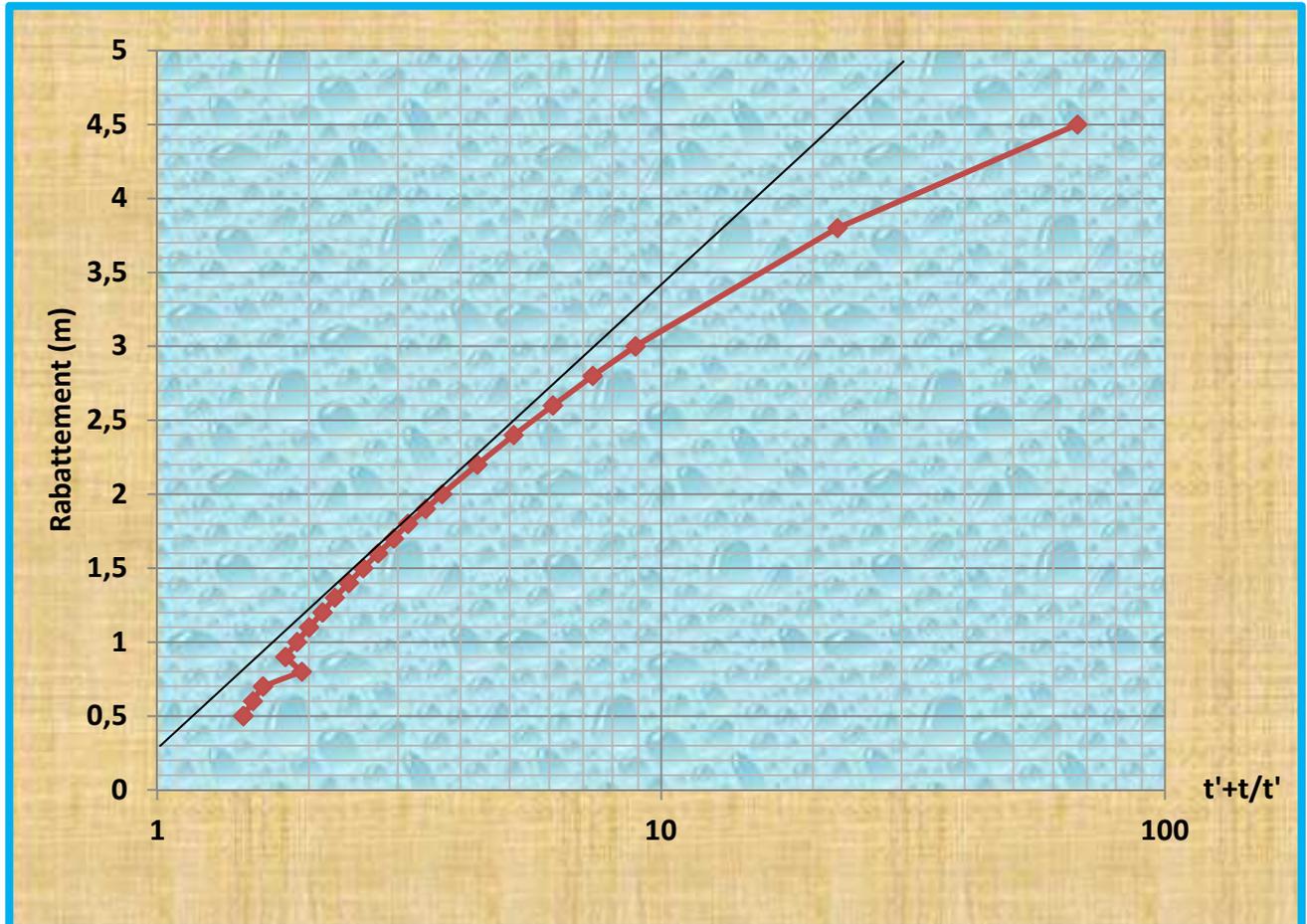


Figure 19 : Courbe de remontée du Forage « F15 ».

Donc, la transmissivité moyenne : $T_{\text{moy}} = \frac{T_d + T_r}{2} = 6.18 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

➤ **Interprétation du pompage d'essai effectué dans le forage « F01 » :**

L'essai de pompage a été effectué par la D.R.E dans le forage F01 situé aussi au centre de la plaine. Le pompage a été fait par un débit de 30l/s et il a duré 72h. Après l'arrêt du pompage, nous n'avons pas pu avoir les données concernant cette phase. La courbe de descente (Fig.20) représente une droite avec une seule pente.

On a : $Q = 30 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$. et $a = 0.04$

Donc : la transmissivité $T = 1.37 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$.

CHAPITRE IV : CADRE HYDROGEOLOGIQUE

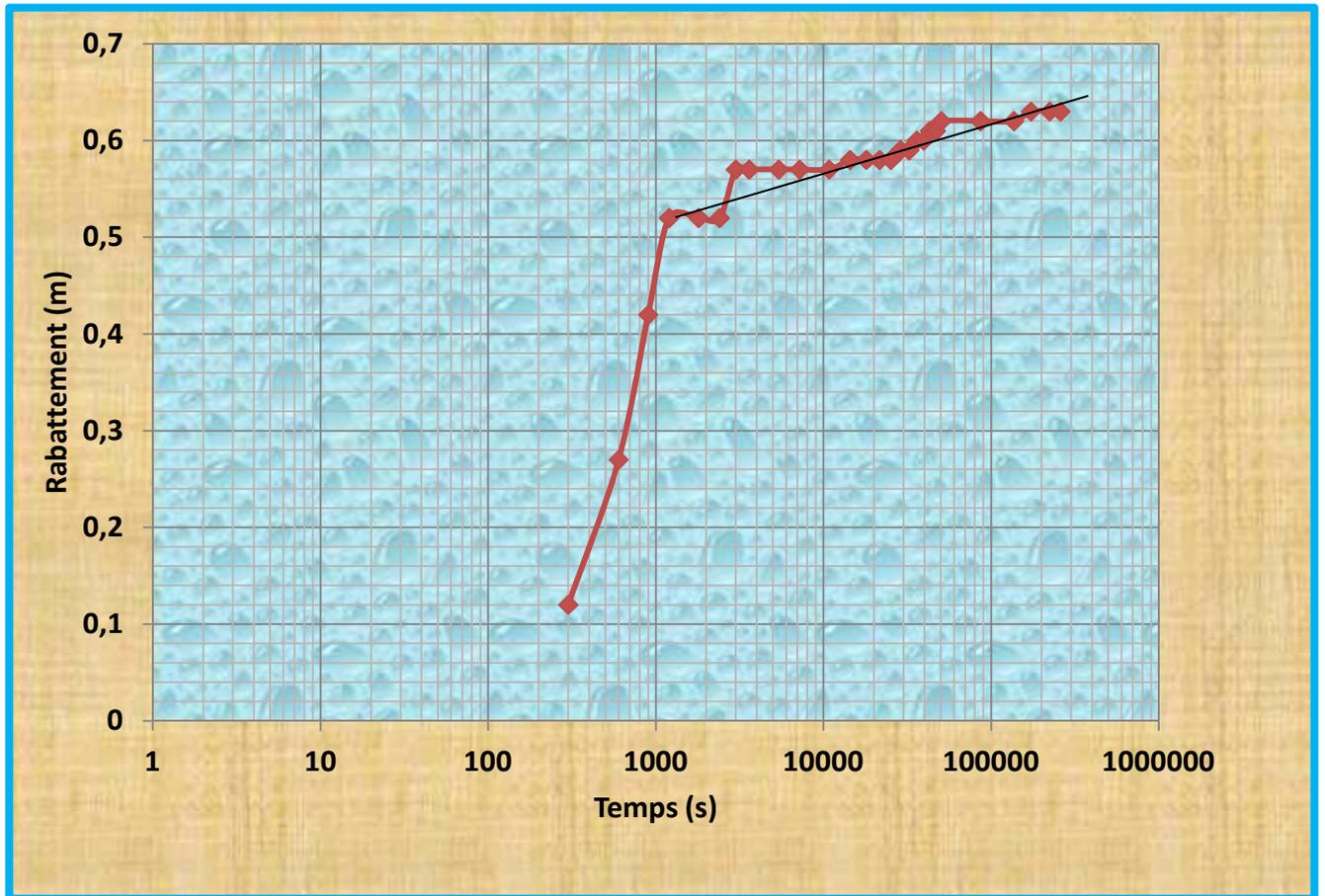


Figure 20 : Courbe de descente du Forage « F01 ».

Conclusion :

- L'ensemble du système aquifère de Gadaïne-Ain Yaghout est constitué de deux aquifères, l'un superficiel d'âge Mio-Plio-Quaternaire, et l'autre profond carbonaté d'âge Jurassico-Crétacé.
- D'après la carte piézométrique synthétique de notre zone d'étude, nous concluons que :
 - ✚ L'écoulement souterrain a un aspect qui converge vers chott Gadaïne où par la suite les eaux sont drainées vers chott Tinsilt.
 - ✚ Les valeurs du gradient hydraulique sont variables de $(9,6 \times 10^{-3})$ dans la région sud-est de la plaine et de $(1,7 \times 10^{-3})$ dans la partie sud-ouest.
 - ✚ Les chotts (Tinsilt, Taricht Teniet Saïda et Gadaïne) représentent le niveau le plus bas de la nappe superficielle.
- Les pompages d'essai, nous ont permis d'estimer la transmissivité moyenne pour l'aquifère profond qui est de l'ordre de $6,18 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ pour le forage F15 et de $1,37 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$ pour le forage F01.
- Enfin, les deux réservoirs (du Mio-Plio-Quaternaire et du Jurassico-Crétacé) peut se trouver en contact dans plusieurs zones, ce qui donne la possibilité à l'eau de passer d'un aquifère à l'autre donc un drainage.



CHAPITRE V :
CADRE
HYDROCHIMIQUE

CHAPITRE V : CADRE HYDROCHIMIQUE

Introduction :

L'hydrochimie est la connaissance des caractéristiques physico-chimiques de l'eau c'est-à-dire les processus de leurs acquisitions et de leur évolution, ainsi que les lois qui régissent les échanges entre l'eau, le sol et le sous-sol ou l'interaction eau/roche,

Cette étude est très utile et indispensable et a pour but de montrer :

- ✓ La répartition des différents éléments majeurs constituant l'eau.
- ✓ Les différents paramètres ayant subi une influence sur l'évolution de la chimie des eaux.
- ✓ Les différents faciès chimiques des eaux et leur qualité pour usage domestique et agricole.

Pour cela une campagne de prélèvement de 15 échantillons a été effectuée durant la période de Mai 2016 par les étudiants. Fouad et Tahar (Master hydrogéologie de l'université de Constantine).

Le choix des lieux de prélèvement d'échantillons a été basé sur deux critères :

- Répartition spatiale des différents points d'eau à couvrir tout le secteur.
- Nature lithologique des émergences des différents points d'eau.

Pour atteindre les objectifs précités, il faut déterminer les caractéristiques physiques de l'eau telles que : le PH, la température (T), la minéralisation (Min) et la conductivité, ainsi les concentrations des différents éléments chimiques comme : Ca^{++} , Mg^{++} , $\text{Na}^+ + \text{K}$, Cl^- , HCO_3^- et SO_4^{--} . On partant de ces résultats, on peut définir le faciès chimique des eaux souterraines, de les comparer et de suivre leur évolution spatiale. Il sera également étudié la qualité des eaux souterraines vis-à-vis la potabilité et leur aptitude à l'irrigation.

V.1. Etude des paramètres physico-chimiques : (annexe 4)

V.1.1. paramètres physiques :

Ces paramètres sont très importants car ils jouent un rôle majeur dans la solubilité des sels dissous dans l'eau et la détermination de leur origine. Pour cela, quatre paramètres ont été étudiés : la température, le potentiel d'hydrogène, la minéralisation et la conductivité électrique.

V.1.1.1. La Température T (°C) :

La température joue un rôle très important dans la solubilité des sels et la dissociation des sels dissous, et par conséquent sur la conductibilité électrique et la détermination du PH. Elle permet également de différencier les eaux qui circulent près de la surface de celles qui circulent en profondeur et donne une idée sur la thermalité des eaux et éventuellement leur origine.

La température moyenne annuelle de l'air dans la région est de 15.53°C et la température des eaux prélevées oscille entre 17 et 23°C, elle ne dépasse pas oncles

CHAPITRE V : CADRE HYDROCHIMIQUE

normes fixées par l'organisation mondiale de la santé « OMS » (25°C). La variation thermique des eaux souterraines peut être fonction de la profondeur de l'aquifère. S'il est très profond, les eaux ne sont influencées que par le gradient géothermique, généralement ces eaux ne présentent pas de grandes variations de température. Par contre si l'aquifère n'est pas profond, il sera influencé par les variations climatiques.

1.1.2. Potentiel d'hydrogène pH :

Le pH de l'eau est défini par la concentration en ions H^+ contenus dans la solution. Il exprime l'alcalinité ou l'acidité du milieu et renseigne sur le caractère agressif ou incrustant de l'eau.

❖ Alcalinité ou acidité des eaux :

La concentration des ions (H^+) est exprimée par le logarithme décimal de l'inverse de cette concentration :


$$pH = \log \left[\frac{1}{[H^+]} \right] \quad (V.1)$$

L'échelle du pH varie de 0 à 14 :

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

Le pH mesuré sur terrain ou niveau des forages et des puits varie entre 6.8 et 7.8.

❖ Equilibres calco-carboniques :

Cette nature de l'eau est liée, généralement à la teneur du gaz carbonique et à la dureté calcique.

A partir du diagramme logarithmique de SHOELLER - BERKALOFF, on peut déterminer le pH d'équilibre pour déduire l'agressivité et l'incrustante des eaux analysées :

- ✓ Si le pH d'équilibre est supérieur au pH mesuré, **l'eau est dite aggressive.**
- ✓ Si le pH d'équilibre est inférieur au pH mesuré, **l'eau est incrustante.**
- ✓ Si le pH d'équilibre est égal au pH mesuré, **l'eau est neutre.**

L'examen du (tableau.17) montre que la majorité des points d'eau sont caractérisés par une eau incrustante.

Tableau 17 : L'agressivité ou l'incrustante de l'eau.

pH	Pourcentage des points d'eau
$pH_{mesure} = pH_{équilibre}$	0
$pH_{mesure} > pH_{équilibre}$	13
$pH_{mesure} < pH_{équilibre}$	2

CHAPITRE V : CADRE HYDROCHIMIQUE

V.1.1.3. Conductivité électrique :

La conductivité électrique d'une eau caractérise sa faculté à laisser passer le courant électrique, elle augmente avec la concentration des ions en solution et la température. Elle correspond à la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface, séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est exprimée en $\mu\text{S} / \text{cm}$. Généralement les valeurs sont ramenées à 25° C. La conductivité, ou son inverse 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.

Le tableau.18 montre que la majorité des eaux de la plaine de Gadaïne-Ain Yaghout, ont une forte conductivité, donc un degré de minéralisation élevé. Les valeurs de conductivité de ces eaux restent supérieures à la norme de potabilité fixée par l'OMS ($\sigma < 1500 \mu\text{S}/\text{cm}$).

D'après la (fig. 21), la conductivité augmente dans le sens d'écoulement des eaux souterraines, c'est-à-dire à partir des piémonts des massifs vers les chotts où affleurent les formations géologiques salées.

Tableau 18 : Classification des eaux souterraines en fonction de la conductivité.

Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 25 °C	Degré de minéralisation	Pourcentage des points d'eau (Mai 2016)
< 45	Très faible	0
450-750	Faible	0
750-1500	Moyen	0
1500-2300	Moyennement élevé	2
2300-3000	Elevé	5
> 3000	Très élevé	8

CHAPITRE V : CADRE HYDROCHIMIQUE

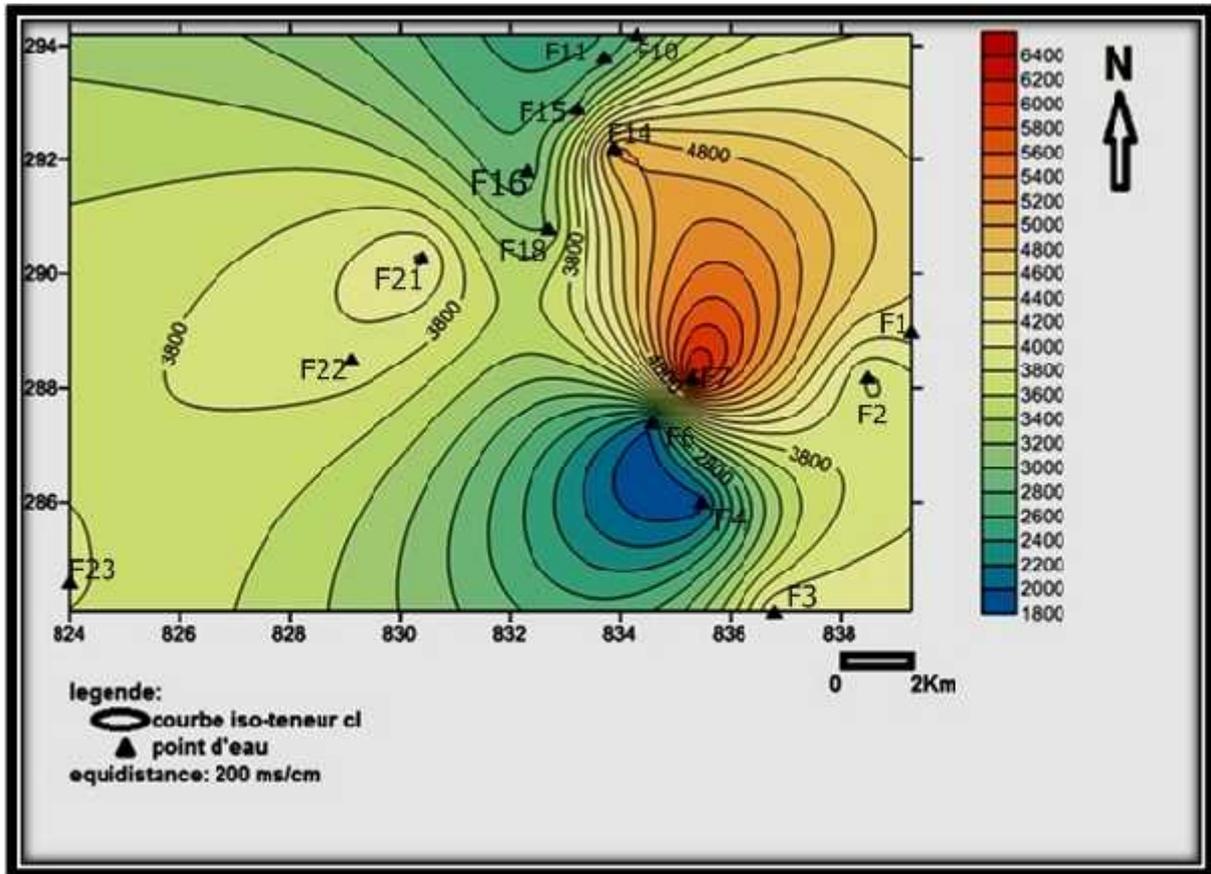


Figure 21 : Carte de conductivité des eaux de la plaine de Gadaïne - Ain Yaghout.

V.1.2. Paramètres chimiques :

La chimie des eaux souterraines est fonction des terrains traversés, du temps de séjour et du temps de contact eau-roche.

V.1.2.1. Titre alcalimétrique(T.A) :

Le titre alcalimétrique représente la teneur en hydrate alcalins Na, K(OH), carbonates alcalins (Na+K) CO₃ et les alcalino-terreux (Ca, Mg).

V.1.2.2. Titre alcalimétrique complet (T.A.C) :

Le T.A.C exprime la teneur en carbonate (CO₃), bicarbonate (HCO₃), alcalins (Na+k) et alcalino-terreux (Ca, Mg) dans l'eau, il est exprimé en degré français (°F) et d'une manière générale le T.A.C est défini comme suit :

$$T.A.C (°F) = \left(\frac{CaCO_3}{100} + \frac{MgCO_3}{100} + \frac{Ca(OH)_2}{17} \right) \times 5 \quad (V.2)$$

Les résultats obtenus montrent que le T.A.C des eaux dans le secteur d'étude varie entre 19.5°F pour le puits (F2) et 33 °F pour (F11), avec la grande majorité des valeurs dépassant 20°F.

V.1.2.3. Dureté totale (D.H.T) :

CHAPITRE V : CADRE HYDROCHIMIQUE

La dureté totale exprime la teneur totale en sels de calcium (Ca^{++}) et magnésium (Mg^{++}). Elle est exprimée en ($^{\circ}\text{F}$) et est définie ainsi par :

$$D_{\text{total}} (^{\circ}\text{F}) = (r\text{Ca}^{++} + r\text{Mg}^{++}) \times 2.5 \quad (\text{V.3})$$

Où : $r\text{Ca}^{++}$ et $r\text{Mg}^{++}$, désigne respectivement la quantité en réaction du calcium et du magnésium.

Les valeurs de la dureté totale sont généralement importantes et varient entre 26°F (F6) et 94°F pour (F7). Selon les critères du (tableau.18), Il en ressort que les eaux de la plaine sont très dures.

Tableau 18 : Classification d'eau en fonction de la dureté totale.

Dureté ($^{\circ}\text{F}$)	0 à 3	3 à 15	15 à 30	>30
eau	Très douce	Douce	Dure	Très dure

V.1.2.4. Etude des Eléments Chimiques Majeurs :

a. Cations :

Les principaux cations sont : le calcium (Ca^{++}), le magnésium (Mg^{++}) et sodium avec le potassium ($\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$).

Le calcium (Ca^{++}) :

Cet élément est fréquent dans les roches sédimentaires, il provient essentiellement de la dissolution des roches carbonatées en présence du gaz carbonique, le phénomène se passe comme suite :



Le calcium peut provenir également des formations gypsifères ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

D'après la carte d'isoteneur en calcium (Fig. 22), les teneurs en ions Ca^{++} augmentent progressivement des bordures de la plaine (où les affleurements de calcaire) vers le centre, ces valeurs varient de 112.2 mg/l pour (F16) jusqu' à 364.6 mg/l (F3) dont les concentrations les plus élevés sont observées à proximité des formations salifères des chotts. On note aussi que l'évolution des teneurs en calcium augmente de l'ouest vers l'Est.

CHAPITRE V : CADRE HYDROCHIMIQUE

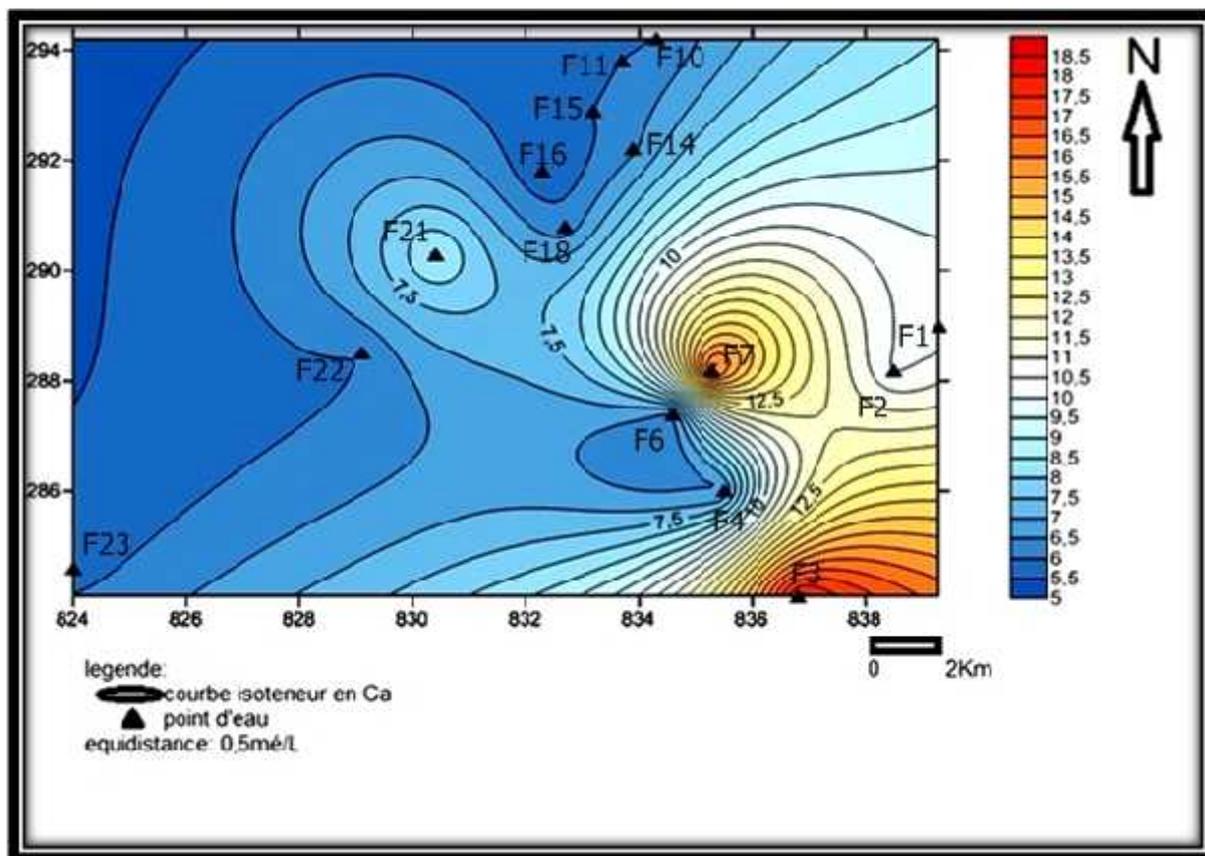


Figure 22 : Carte d'isoteneur en calcium (mé/l).

Le Magnésium Mg^{++} :

L'existence des ions du magnésium dans les eaux souterraines résulte généralement de l'infiltration de l'eau de surface à travers les formations dolomitiques, les réactions chimiques sont accélérées par la présence de l'acide carbonique dans l'eau. Le Magnésium peut aussi résulter de la dissolution du $MgSO_4$, dans les terrains gypseux.

D'après la carte d'isoteneur en magnésium (Fig. 23), les valeurs de Mg^{++} varient entre 47.88mg/l (F6) et 254.04mg/l (F7). Ce qui veut dire que les valeurs extrêmes sont observées à proximité du Dj Merzguène. Dans notre cas le Mg^{++} provient surtout des calcaires dolomitiques et des dolomies du Jurassique supérieur.

CHAPITRE V : CADRE HYDROCHIMIQUE

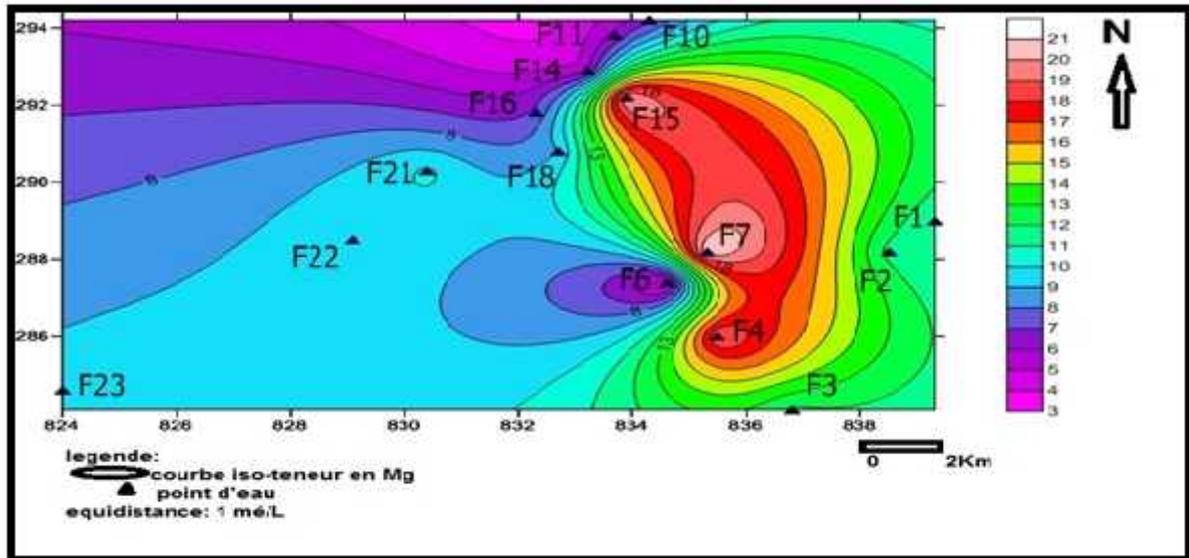


Figure 23 : Carte d'isoteneur en magnésium (mé/l).

Le sodium et le potassium (Na^+ , K^+) :

Le sodium est toujours présent dans les eaux naturelles en proportion très variable, il provient essentiellement du lessivage des formations géologiques riches en NaCl et en minéraux silicatés, ainsi des eaux usées de différentes origines.

Dans le secteur d'étude les valeurs de ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) varient entre 11.78 mg/l et 236.94 mg/l.

La carte d'isoteneur en « $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ » (Fig. 24) montre que les valeurs élevées se trouvent près des chotts et diminuent aux piémonts des massifs.

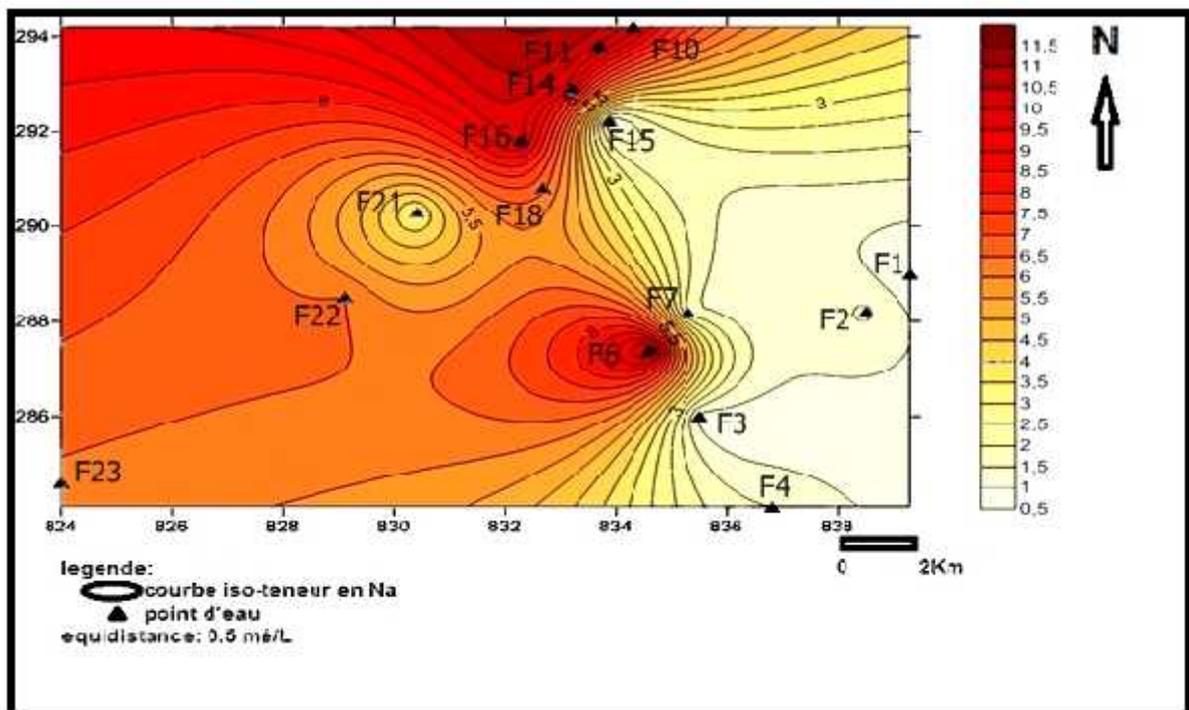


Figure 24 : carte d'isoteneur en sodium et potassium (mé/l).

CHAPITRE V : CADRE HYDROCHIMIQUE

b: Anions :

Les principaux anions analysés sont : les chlorures (Cl^-), les sulfates SO_4^{2-} et les bicarbonates (HCO_3^-).

Les chlorures (Cl^-) :

L'eau contient presque toujours des chlorures mais à des proportions variable, leur origine est divers, ils proviennent :

- ✓ Des rejets des eaux d'origine domestique.
- ✓ Des rejets d'origine industrielle tels que l'acide chlorhydrique (HCl).
- ✓ De la dissolution des sels naturels par lessivage des terrains salifères.

Dans la région d'étude, les teneurs des chlorures varient entre 266.25 mg/l pour (F4) et 340.8mg/l pour (F3).

En examinant la carte d'isoteneur en chlorure (Fig. 25), nous constatons que les teneurs augmentent des bordures des massifs vers le centre de la plaine, au même temps, on remarque qu'au N.E de la plaine les valeurs sont relativement élevées. Celâtes dû, d'une part à l'utilisation d'engrais vu que la région est à vocation agricole et d'autre part, au rejet des eaux usées d'origines domestiques.

Par contre, les valeurs faibles au centre de la plaine sont liées à la dissolution des sels par le lessivage des terrains salifères.

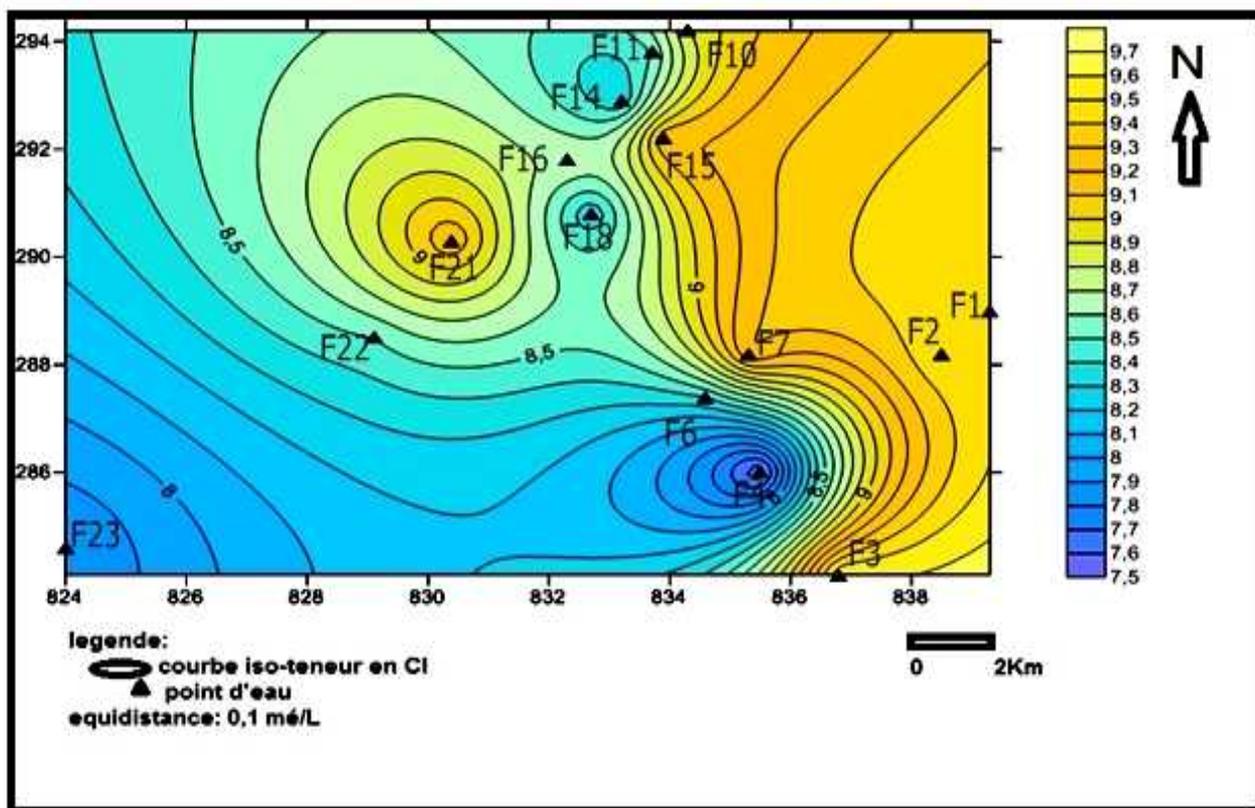


Figure 25 : Carte d'isoteneur en chlorures (mé/l).

CHAPITRE V : CADRE HYDROCHIMIQUE

Les sulfates SO_4^{2-} :

La présence des sulfates dans l'eau est liée à :

- ✓ La légère solubilité des sulfates du calcium (CaSO_4) des formations gypseuses.
- ✓ L'oxydation des sulfates.
- ✓ Le lessivage des terrains argileux et marneux.
- ✓ Les eaux usées industrielles contenant de l'acide sulfurique (H_2SO_4) et du lessivage des engrais.

Dans la région d'étude les teneurs des sulfates varient entre 302.5 mg/l pour (F6) et 735 mg/l pour (F7).

D'après la carte d'isoteneur en sulfates (Fig.26), la concentration augmente suivant le sens d'écoulement des eaux souterraines dont les valeurs les plus élevées se trouvent près des chotts.

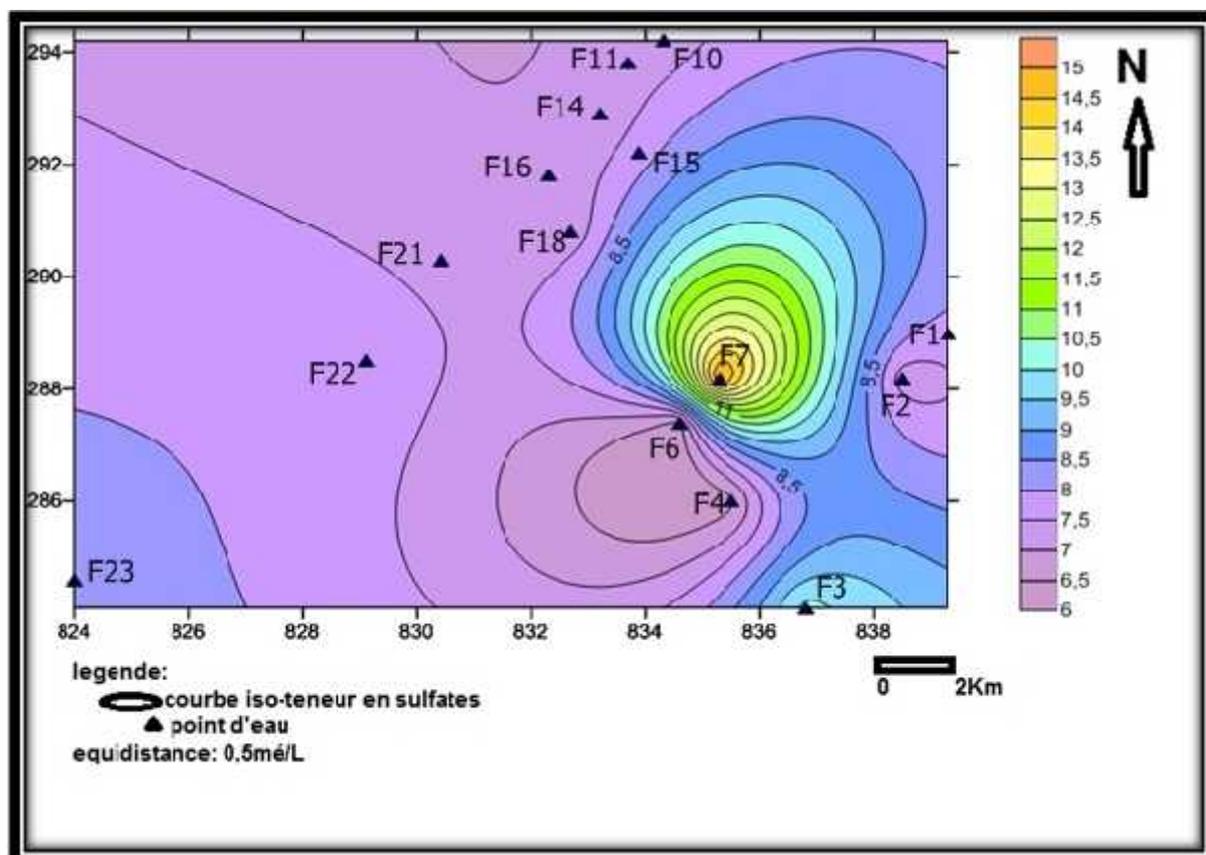


Figure 26 : Carte d'isoteneur en sulfates (mé/l).

Bicarbonates HCO_3^- :

La dissolution des roches carbonatées est l'origine principale des carbonates, ces dernières résultent de l'équilibre physico-chimique entre la roche et l'eau et le gaz carbonique selon l'équation générale suivante :



CHAPITRE V : CADRE HYDROCHIMIQUE

Dans l'eau la concentration des bicarbonates dépend de plusieurs paramètres tels que :

- ✓ La tension du CO₂ dissous.
- ✓ Le pH et la température de l'eau.
- ✓ La nature des terrains traversés.

Dans notre plaine, la concentration en bicarbonates varie de 262.3 mg/l pour (F7) jusqu'à 402.6 mg/l pour (F11).

En générale les valeurs élevées de (HCO₃⁻) sont observées à proximité des massifs carbonatés et plus on s'en éloigne ces teneurs diminuent.

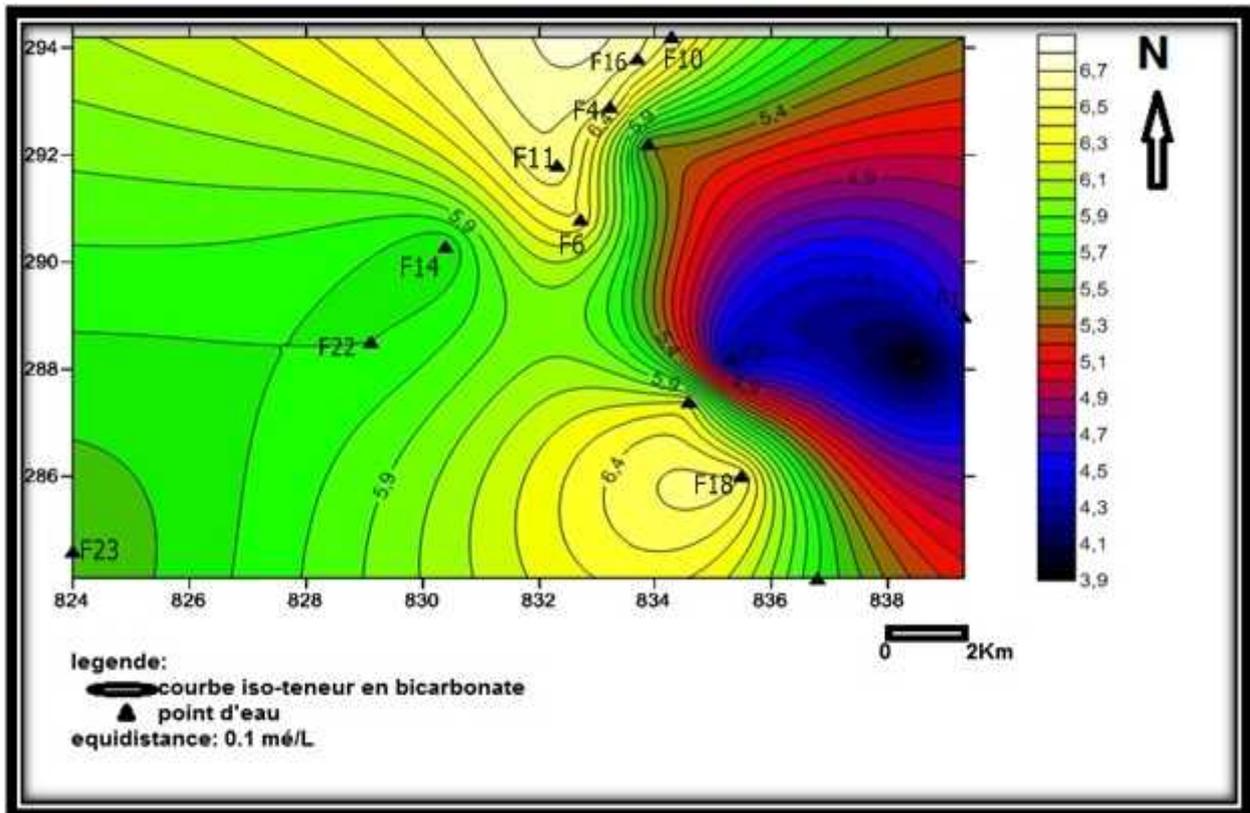


Figure 27 : Carte d'isoteneur en bicarbonate (mé/l).

V.1.3. Etude des valeurs relatives :

V.1.3.1. Rapports caractéristiques :

Un rapport caractéristique désigne le rapport de certains éléments chimiques exprimés en milliéquivalent par litre (me/l). Les rapports que nous avons utilisé dans notre étude sont :

$$\frac{r_{Mg^{++}}}{r_{Ca^{++}}} \quad \frac{r_{SO_4}}{r_{Cl^-}} \quad \frac{r_{HCO_3^-}}{r_{SO_4}} \quad (V.7)$$

CHAPITRE V : CADRE HYDROCHIMIQUE

Ces rapports donnent une indication sur les zones d'alimentation et la circulation des eaux dans la nappe. Les résultats de calcul des rapports caractéristiques sont indiqués dans le tableau ci-dessous :

Tableau 20 : Calcul des rapports caractéristiques.

Forage	$r \text{Mg}^{++} / r \text{Ca}^{++}$	$r \text{SO}_4^{-} / r \text{Cl}^{-}$	$r \text{HCO}_3^{-} / r \text{SO}_4^{-}$
F1	0.65	0.83	0.60
F2	0.66	0.76	0.54
F3	0.38	1.06	0.84
F4	1.8	0.84	1.02
F6	0.36	0.75	0.98
F7	0.77	1.64	0.28
F10	0.67	0.81	0.90
F11	0.63	0.85	0.90
F14	1.9	0.84	0.70
F15	0.56	0.86	0.90
F16	0.77	0.82	0.91
F18	0.87	0.85	0.90
F21	0.71	0.79	0.76
F22	0.96	0.93	0.72
F23	0.97	1.06	0.66

Rapport $r \text{Mg}^{++} / r \text{Ca}^{++}$:

La majorité des points d'eau présentent des valeurs de ce rapport supérieur à 1, ce qu'il traduit la prédominance du magnésium. Donc, on admet que ces eaux sont liées au lessivage des dolomies (MgCO_3) du Jurassique.

Rapport $r \text{SO}_4^{-} / r \text{Cl}^{-}$:

La plus part des points d'eau montre un rapport inférieur à 1, donc la prédominance des chlorures qui proviennent essentiellement de lessivage des terrains salifères des chotts et des formations triasiques ainsi aux rejets des eaux usées d'origine domestiques dans les fosses septiques.

Rapport $r \text{HCO}_3^{-} / r \text{SO}_4^{-}$:

La quasi-totalité des points d'eau révèlent un rapport inférieur à 1. Le lessivage des formations gypsifères et l'utilisation des engrais chimiques impliquent une prédominance des sulfates dans la majeure partie de la plaine.

CHAPITRE V : CADRE HYDROCHIMIQUE

V.1.3.2. Indice d'échange de base (i.e.b) :

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

$$\text{i.e.b} = \frac{r_{\text{Cl}} - r_{\text{Cl}}}{r_{\text{Cl}}} \quad (\text{V.7})$$

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. Par contre, si l'i.e.b est positif, les ions Na^+ et K^+ de l'eau sont remplacés par les ions Mg^{++} et Ca^{++} des formations encaissantes. Dans le cas où l'i.e.b est négatif, c'est-à-dire lorsqu'il y a un échange des alcalino-terreux de l'eau contre les alcalins des permutolites, il est préférable de calculer l'i.e.b par la formule :

$$\text{i.e.b} = \frac{r_{\text{Cl}} + r_{\text{Cl}}}{r_{\text{Cl}}} \quad (\text{V.8})$$

- Si l'i.e.b < 0, l'eau est d'origine cristalline.
- Si l'i.e.b > 0, l'eau est d'origine sédimentaire.

L'interprétation des résultats de calcul de l'i.e.b a montré que la majorité des eaux souterraines de notre plaine ont un i.e.b positif, donc ces eaux sont d'origine sédimentaire et ayant subi un échange de base.

V.3. Classification des eaux :

Il existe trois classifications principales qui présentent un intérêt pour l'hydrogéologie par la composition chimique et l'origine de l'eau :

- Classification de STABLER.
- Classification de SCHOELLER-BERKALOFF.
- Classification de PIPER.

V.3.1. Classification d'après les formules ioniques ou caractéristiques (classification de STABLER) :

La formule caractéristique selon STABLER consiste à calculer le pourcentage de chaque ion par rapport à la concentration totale.

$$r\% = \left(\frac{r}{c} \right) \times 100 \quad (\text{V.9})$$

Avec :

r : la quantité en réaction de l'ion considéré, en méq/l.

c : la concentration totale.

On classe séparément les anions et les cations par ordre décroissant. Les résultats obtenus permettent de distinguer les faciès qui figurent dans le (tableau 21).

CHAPITRE V : CADRE HYDROCHIMIQUE

L'examen de ce tableau montre que, les eaux des points d'eau analysés ont des faciès « chlorurées sodique et magnésien » et « sulfatées calcique et magnésien ». Les principales familles « chlorurées et sulfatées » représentent respectivement 80% et 20% des points d'eau dont leur prédominance est due à la présence des évaporites riches en chlorures et en sulfates, dans le terrain d'étude.

Tableau 21 : Classification des eaux souterraines selon STABLER.

Points d'eau	Formule caractéristique		Facies Chimique
	Anions%	Cations%	
F6	$r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^-$	$r (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+}$	Chloruré Sodique
F10	$r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^-$	$r (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+}$	
F11	$r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^-$	$r (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+}$	
F15	$r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^-$	$r (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+}$	
F16	$r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^-$	$r (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+}$	
F1	$r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^-$	$r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+} > r (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	
F2	$r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^-$	$r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+} > r (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	
F4	$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-}$	$r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+} > r (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	
F14	$r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^-$	$r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+} > r (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	
F18	$r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^-$	$r \text{Mg}^{2+} > r (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r \text{Ca}^{2+}$	
F21	$r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^-$	$r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+} > r (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	
F22	$r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^-$	$r \text{Mg}^{2+} > r (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r \text{Ca}^{2+}$	
F3	$r \text{SO}_4^{2-} > r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^-$	$r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+} > r (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Sulfaté calcique
F7	$r \text{SO}_4^{2-} > r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^-$	$r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+} > r (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Sulfaté magnésium
F23	$r \text{SO}_4^{2-} > r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^-$	$r \text{Mg}^{2+} > r (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r \text{Ca}^{2+}$	

V.2.3. Classification de SCHOELEER-BERKALOFF :

C'est un diagramme semi logarithmique. Il est utilisé pour la représentation graphique des analyses chimiques des eaux, la classification tient compte de l'importance des principaux anions et cations et détermine le type de faciès des eaux. Ce type de diagramme permet de représenter plusieurs points d'eaux sur un même diagramme.

Après la représentation de résultats des analyses chimiques sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff (fig. 28.a,b et c), on a pu distinguer deux types de faciès :

CHAPITRE V : CADRE HYDROCHIMIQUE

- Faciès sulfaté calcique et magnésium.
- Faciès chloruré sodique et magnésium.

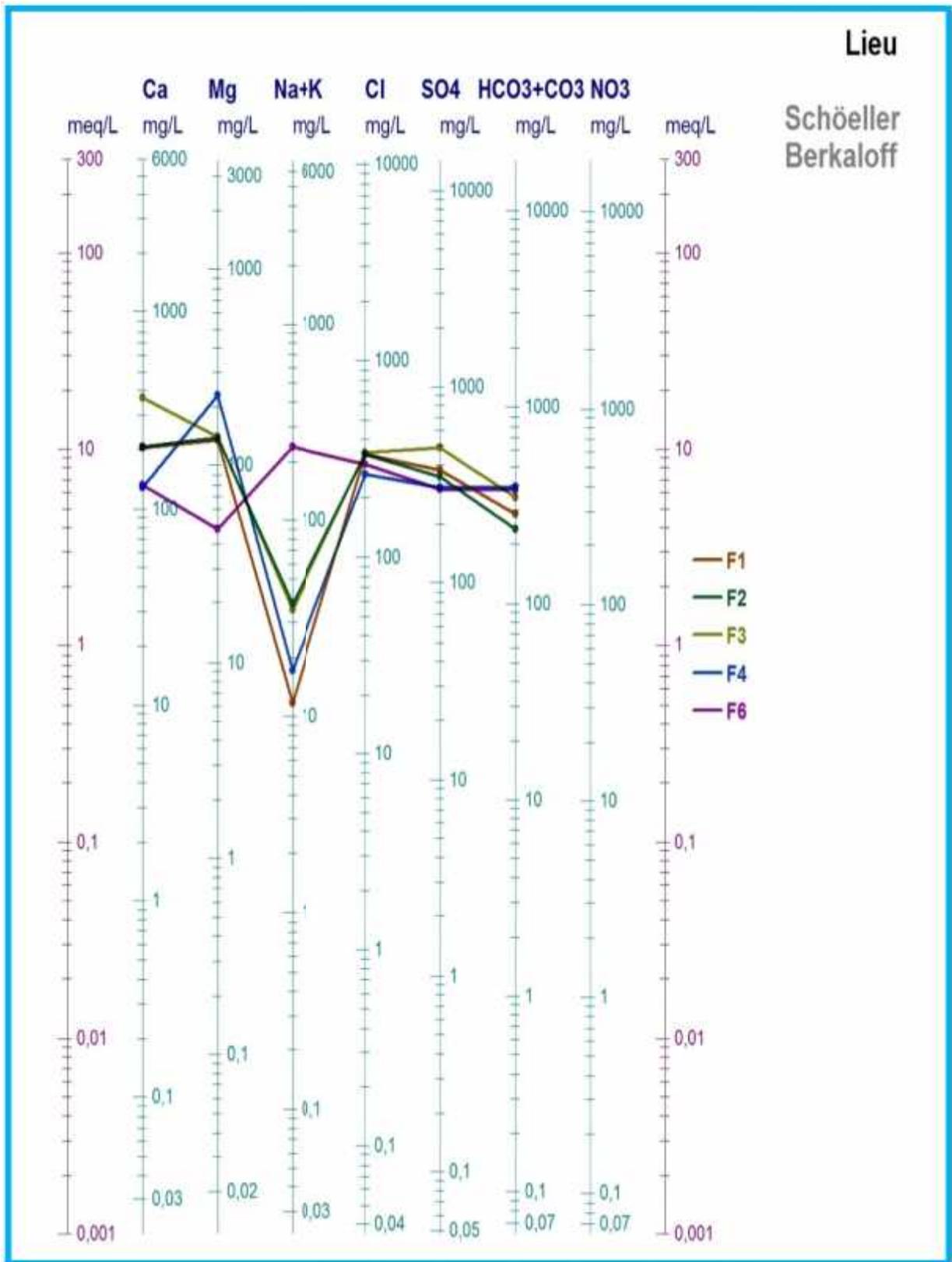


Figure 28.a : Représentation des eaux de la plaine de Gadaine–Ain Yaghout sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff.

CHAPITRE V : CADRE HYDROCHIMIQUE

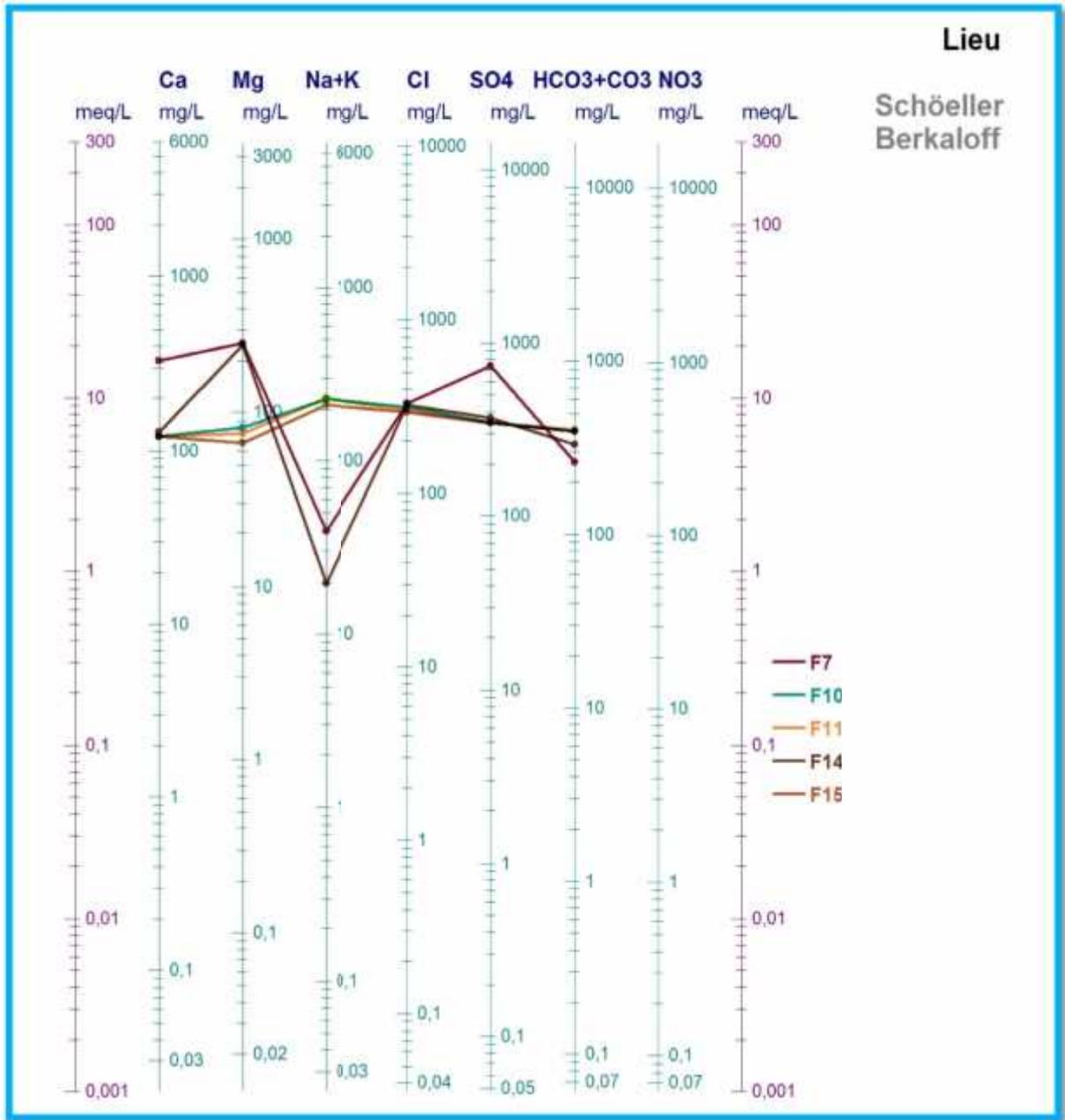


Figure 28.b : Représentation des eaux de la plaine de Gadaïne – Ain Yaghout sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff.

CHAPITRE V : CADRE HYDROCHIMIQUE

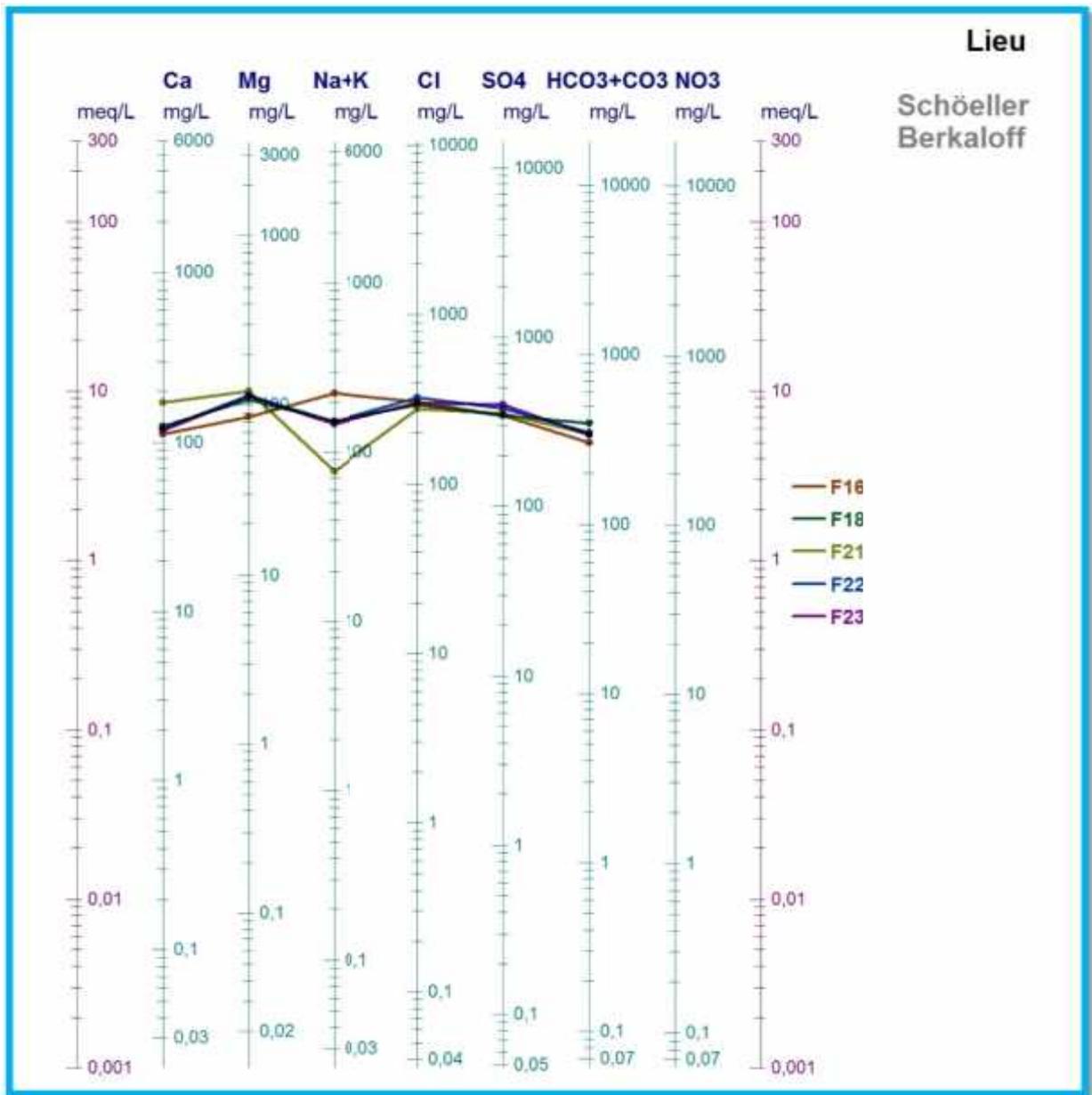


Figure 28.c : Représentation des eaux de la plaine de Gadaïne–Ain Yaghout sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff.

V.3.3. Classification de PIPER :

Le diagramme de PIPER permet d'établir une classification simple qui différencie les faciès chimiques des eaux.

Ce diagramme comporte un losange A.B.C.D et deux triangles équilatéraux dont les cotes sont divisés en 100 parties égales correspondant à des quantités en réaction d'ions par rapport à la somme des ions de même signe.

$$\% X = \frac{\text{concentration de } X}{\text{somme des concentrations}} \times 100 \quad (V.10)$$

CHAPITRE V : CADRE HYDROCHIMIQUE

La représentation des données sur ce diagramme (Fig. 29) a permis de distinguer les faciès chimiques suivants :

- ✚ Chloruré et sulfaté calcique et magnésien.
- ✚ Chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique.

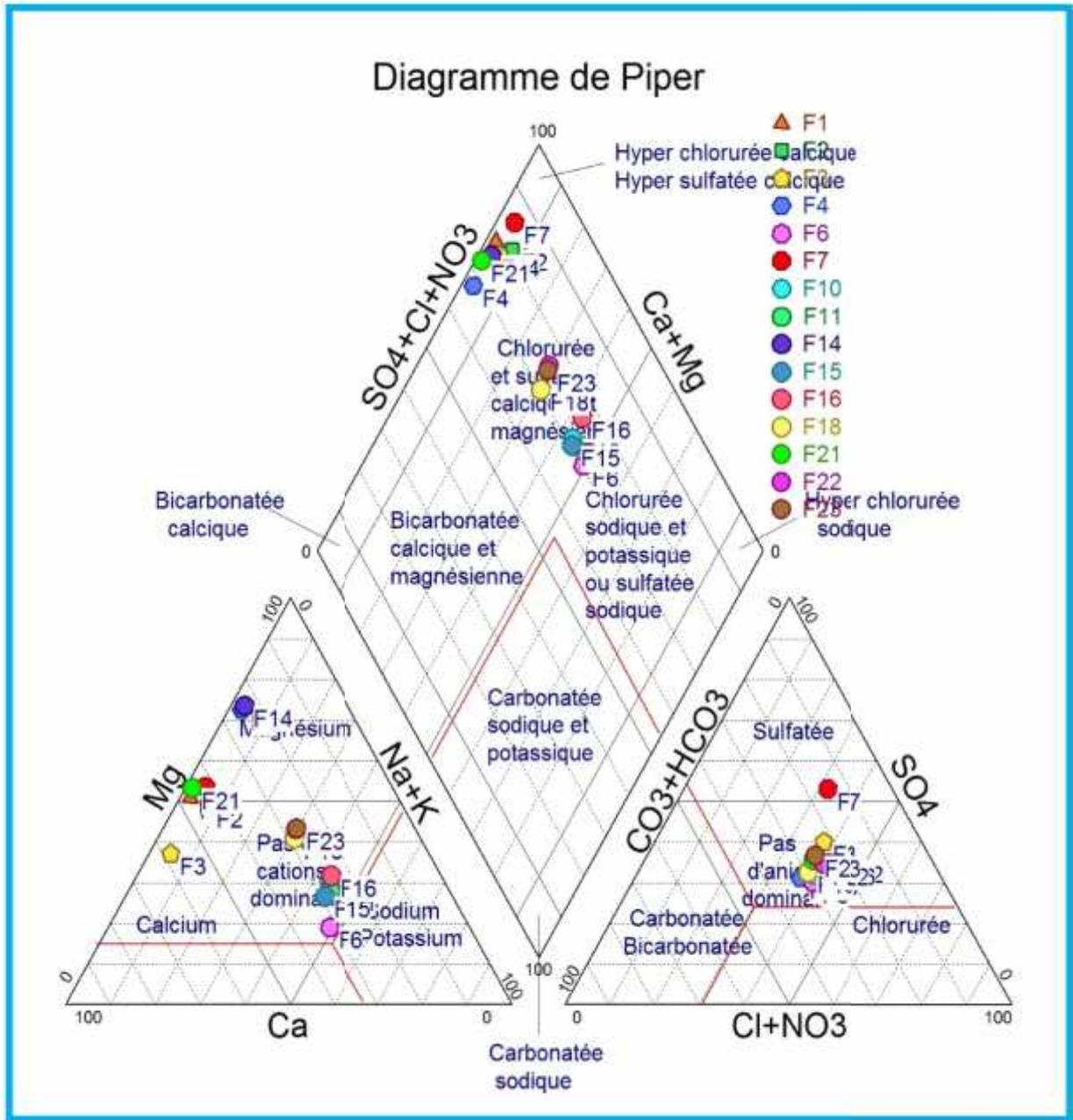


Figure 29 : Représentation des eaux de la plaine de Gadaïne – Ain Yaghout sur le diagramme de Piper.

CHAPITRE V : CADRE HYDROCHIMIQUE

V.4. Potabilité chimique des eaux :

L'eau destinée à l'alimentation humaine en eau potable (AEP) ne doit pas contenir de substances chimiques ou de germes nocifs pour la santé. L'évaluation de cette qualité se fait en fonction de la réglementation algérienne en vigueur (Tableau.22).

Tableau 22 : Normes algériennes de potabilité.

Paramètres	Unités	Concentration maximale admissible(CMA)
PH	/	6.5 – 8.5
Conductivité	uS/cm à 20 °C	2880
Résidu sec	mg/l après séchage à 180°C	2000
Dureté Totale	mg/l de CaCO ₃	500
Calcium	mg/l	200
Magnésium	mg/l	150
Sodium	mg/l	200
Potassium	mg/l	20
Sulfates	mg/l	400
Chlorures	mg/l	500
Nitrates	mg/l	50
Nitrites	mg/l	0.1

L'analyse du tableau ci- après (tableau.23), nous montre que :

- ✚ Dans la plaine de Gadaïne-Ain Yaghout, les eaux sont potables et de bonne qualité au niveau des forages de F14, F18, F22 et F23.
- ✚ Les valeurs de calcium varient entre 112.2 mg/l et 364.6 mg/l. A l'exception des forages F1, F2, F3 et F7, tous les points d'eau présentent des concentrations en calcium conformes à la norme de potabilité (200 mg/l).
- ✚ Les teneurs en magnésium sont comprises entre 47.88 mg/l et 254.04 mg/l. Toutes les concentrations sont conformes à la norme de potabilité (150 mg/l), sauf les forages F4, F7, et F11 qui présentent des valeurs dépassant la CMA.
- ✚ Les valeurs du sodium et potassium oscillent entre 11.78 mg/l et 236.94 mg/l. Les concentrations dépassent la norme de potabilité (220 mg/l) au niveau des forages F6, F10, F11 et F16.
- ✚ A l'exception du forage F7, tous les points présentent des concentrations en sulfate inférieures à la norme de potabilité (400 mg/l).
- ✚ Toutes les eaux de la plaine d'étude présentent des concentrations en chlorure inférieurs à la CMA (500mg/l).

CHAPITRE V : CADRE HYDROCHIMIQUE

Tableau 23 : Classification des eaux d'après la norme algérienne en vue de potabilité.

Paramètres	PH	CE	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺ +K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	Potabilité
Normes	6.5 - 8.5	2880	200	150	200	500	400	
F1	6.8	4200	204.4	134.16	11.78	333.7	375	Eau moyennement potable
F2	7.5	2880	208.4	138.96	37.71	337.25	347.5	Eau potable
F3	7.6	4150	364.6	141.24	34.69	340.8	490	Eau moyennement potable
F4	7.2	1920	128.2	230.28	17.34	266.25	305	Eau moyennement potable
F6	7.5	2060	132.2	47.88	236.94	298.2	302.5	Eau moyennement potable
F7	7.1	6460	328.6	254.04	39.38	330.15	735	Eau non potable
F10	7	2880	120.2	81.48	226.31	315.95	347.5	Eau moyennement potable
F11	7.1	2750	120.2	76.68	229.80	301.75	350	Eau moyennement potable
F14	6.9	5120	128.2	244.68	19.78	326.6	372.5	Eau moyennement potable
F15	7.8	2880	120.2	66.96	211.31	294.6	345	Eau potable
F16	7.2	2770	112.2	86.28	222.81	308.85	345	Eau moyennement potable
F18	7.2	2770	124.2	107.88	152.61	294.65	342.5	Eau potable
F21	7.1	3900	172.2	122.28	76.90	276.9	352.5	Eau moyennement potable
F22	7.1	2750	120.2	115.08	149.88	326.6	380	Eau potable
F23	7.3	2750	116.2	112.68	146.76	301.75	397.5	Eau potable

V.5. Qualité des eaux pour l'irrigation :

Etant donné que la plaine de Gadaïne-Ain Yaghout est une zone à vocation agricole et destinée essentiellement à la monoculture céréalière, les eaux utilisées pour l'irrigation des cultures et selon leurs teneurs élevées en certains éléments chimiques, peuvent présenter un véritable danger. Pour ce fait, on va utiliser la méthode du S.A.R.

Cette méthode fait intervenir la salinité et le risque d'alcalinisation des sels. Le S.A.R (Sodium Absorption Ratio) est défini comme étant une mesure du pouvoir de remplacement des ions Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺ par le Na⁺ dans les argiles et les colloïdes, il peut être estimé par la relation de RICHARD (1954) :

S.A.R = $\frac{Na}{\sqrt{Ca + Mg/2}}$

(V.11)

Na, Ca et Mg : concentrations du sodium, calcium et magnésium respectivement, en méq/l.

CHAPITRE V : CADRE HYDROCHIMIQUE

S.A.R < 10 : eaux à faible danger d'alcalinisation des sols, (eaux excellentes).

10 < S.A.R < 18 : eaux avec un danger d'alcalinisation assez appréciable, (eaux bonnes).

18 < S.A.R < 26 : eaux avec un danger d'alcalinisation important, (eaux convenables).

S.A.R > 26 : eaux présentant un danger d'alcalinisation très fort, (eaux médiocres).

D'après l'analyse du tableau 23, toutes les eaux représentent un faible danger d'alcalinisation des sols (eaux excellentes).

Tableau 23 : Qualité de l'eau en fonction du S.A.R

Forage	SAR	Qualité de l'eau
F1	0.156	Eau excellente
F2	0.494	Eau excellente
F3	0.389	Eau excellente
F4	0.210	Eau excellente
F6	4.517	Eau excellente
F7	0.394	Eau excellente
F10	3.889	Eau excellente
F11	4.012	Eau excellente
F14	0.235	Eau excellente
F15	3.816	Eau excellente
F16	2.406	Eau excellente
F18	2.406	Eau excellente
F21	1.090	Eau excellente
F22	2.333	Eau excellente
F23	2.314	Eau excellente

CHAPITRE V : CADRE HYDROCHIMIQUE

Selon le diagramme de Wilcox (fig. 30), la majorité des points d'eau analysés sont caractérisés par une conductivité élevée et un degré de salinité faible.

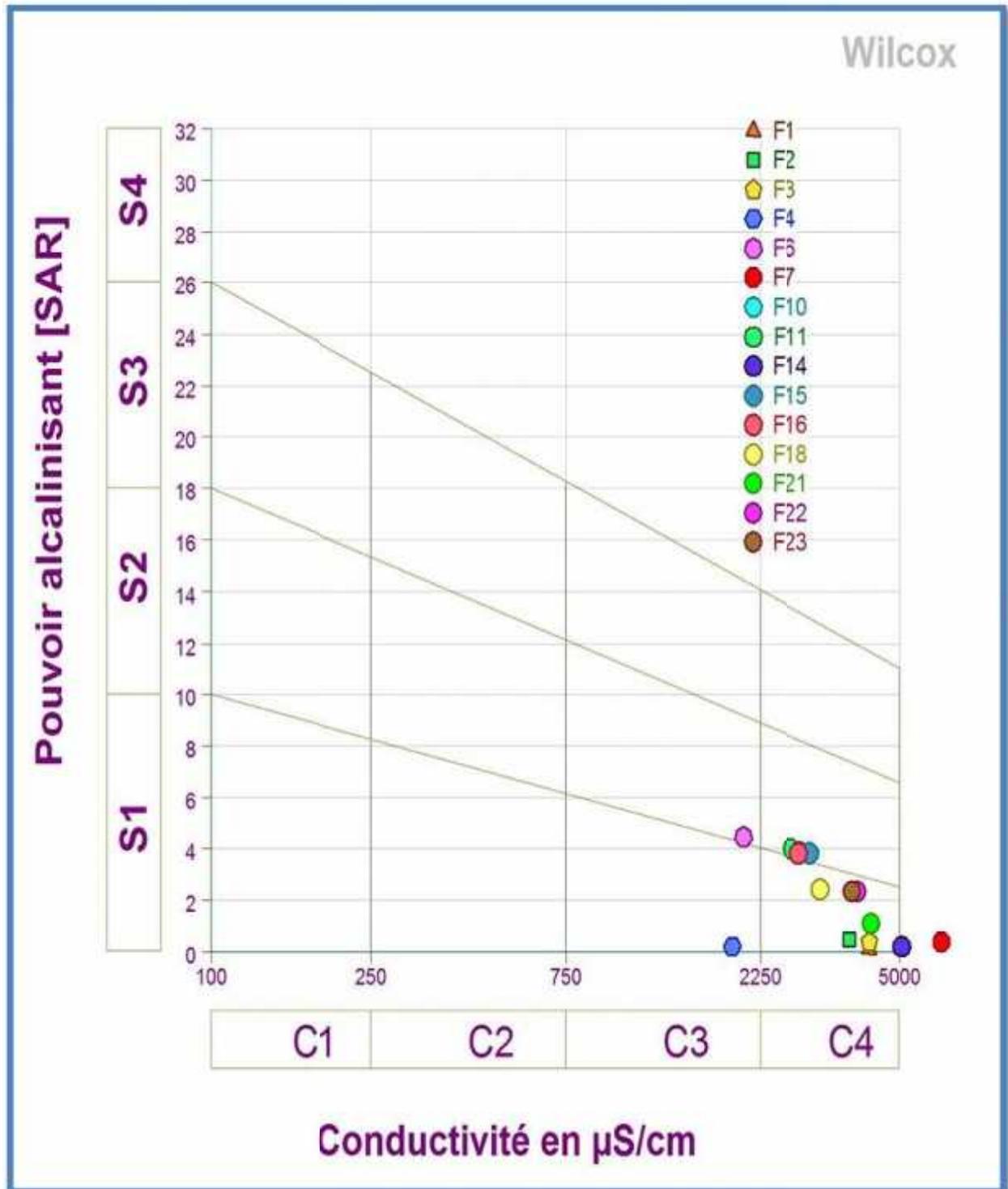


Figure : 30 Diagramme de Wilcox des eaux.

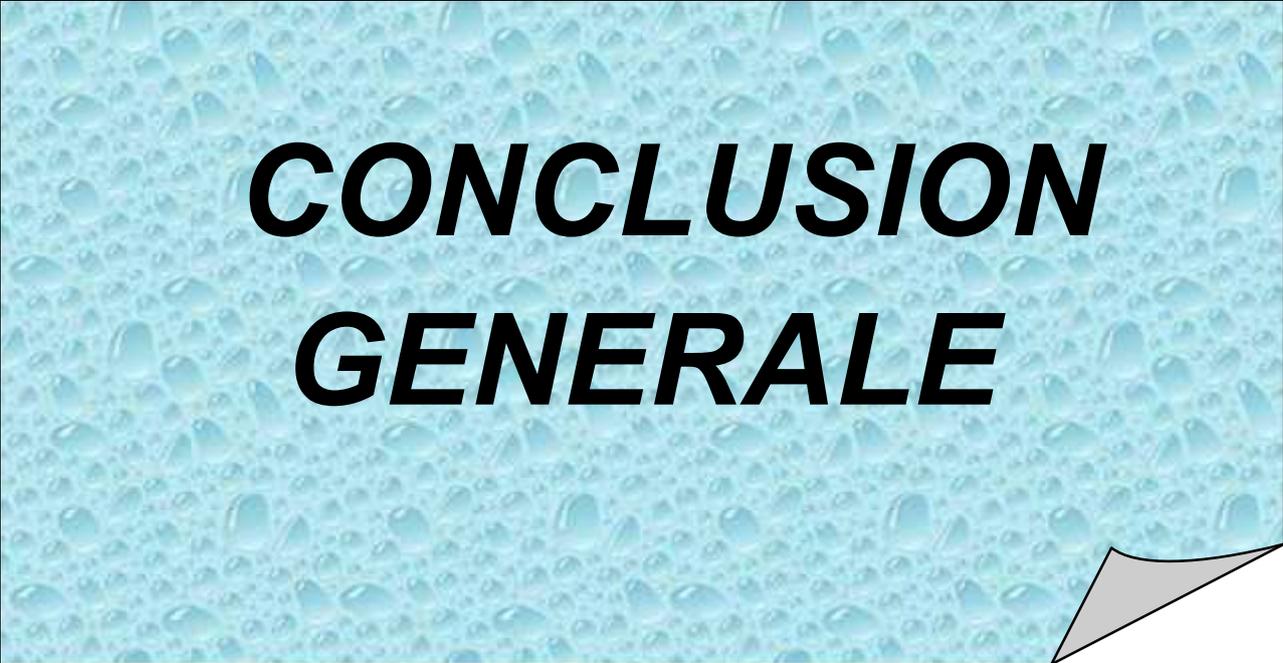
Avec : **C1** : Faible, **C2** : Moyenne, **C3** : Elevée et **C4** : Très élevée.
S1 : Faible, **S2** : Moyen, **S3** : Elevé et **S4** : Très élevé.

CHAPITRE V : CADRE HYDROCHIMIQUE

Conclusion :

L'étude hydrochimique des eaux souterraines de la plaine de Gadaïne – Ain Yaghout montre que :

- ✚ La majorité des eaux sont incrustantes, très dures et ont une conductivité élevée à très élevée.
- ✚ L'étude des cartes d'isoteneur du calcium, magnésium et des bicarbonates montrent que ces éléments ont des concentrations élevées à proximité des massifs. Cette augmentation est due à l'influence des formations carbonatées telles que les calcaires et les calcaires dolomitiques. Par contre, les chlorures, les sulfates et le sodium sont caractérisés par des teneurs élevées à l'Est et au centre de la plaine, cela est dû à l'influence des formations salifères comme le gypse, ainsi les marnes et les argiles.
- ✚ Les faciès chimiques caractérisant les eaux de la région d'étude sont :
 - Le faciès chloruré sodique et magnésium.
 - Le faciès sulfaté calcique et magnésium.
- ✚ Ces eaux se classent donc parmi les eaux dures à caractère incrustant et à potabilité moyenne. Malgré leur qualité médiocre, elles sont utilisées pour l'alimentation en eau potable.



***CONCLUSION
GENERALE***

CONCLUSION GENERALE

L'objectif de cette étude hydrochimique est la reconnaissance des ressources en eaux souterraines et leur qualité dans la région de Gadaïne-Ain Yaghout.

La plaine de Gadaïne- Ain Yaghout appartient au domaine des hautes plaines constantinoises compris entre la zone tellienne et la zone atlasique.

Du point de vue géomorphologique, la région d'étude est une cuvette d'effondrement entourée par des massifs dont l'axe de direction NE-SW de cette cuvette est occupé par des chotts. Elle est caractérisée par un réseau hydrographique peu dense et une végétation de type steppes à armoise et halophile.

L'étude géologique nous a permis de distinguer deux aquifères :

- ✓ Le premier réservoir est constitué de conglomérats, de grés et de calcaires lacustres appartenant au Mio-Plio-Quaternaire.
- ✓ Le deuxième est constitué par des formations carbonatées du Crétacé et du Jurassique formant l'aquifère profond.

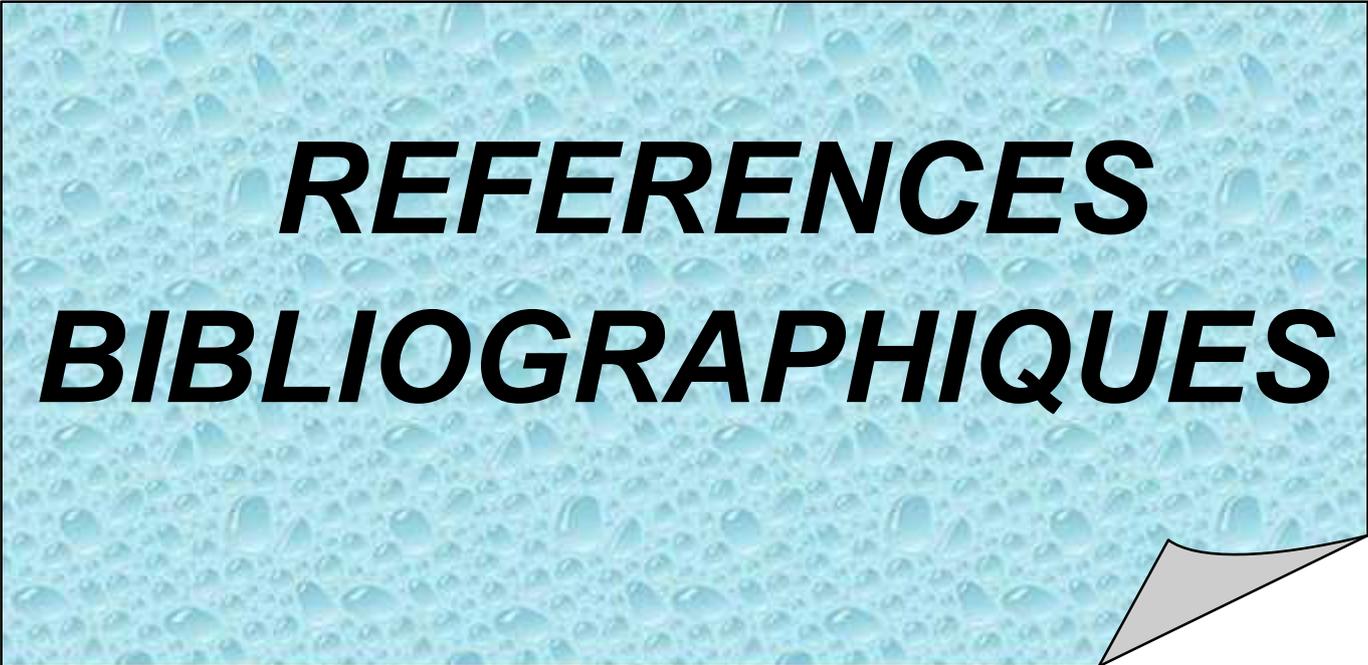
La région étudiée est caractérisée par un climat semi-aride. Ainsi, les précipitations moyennes sont de l'ordre de 332,28 mm/an et la température moyenne est de 15.53 °C. L'évapotranspiration réelle moyenne annuelle est de l'ordre de 320,41 mm, soit 96,42 % des précipitations. Le déficit agricole estimé est de 526,59 mm étalé sur la période allant de Mai jusqu'à Novembre. L'étude de la piézométrie de la plaine de Gadaïne - Ain Yaghout montre que l'aquifère superficiel est beaucoup plus alimenté par les massifs entourant la plaine et que l'écoulement souterrain converge vers la zone des chotts. Les valeurs du gradient hydraulique sont variables : de $(9,6 \times 10^{-3})$ à la limite Sud-Est de la plaine, de $(1,7 \times 10^{-3})$ dans la partie Sud - Ouest de la plaine et de $(2,9 \times 10^{-3})$ dans la zone Nord - Est de la plaine.

L'interprétation des pompages d'essai nous a permis d'estimer la transmissivité moyenne pour l'aquifère profond qui est de l'ordre de $6,18 \times 10^{-1} \text{m}^2/\text{s}$ pour le forage « F15 » et de $1,37 \times 10^{-1} \text{m}^2/\text{s}$ pour le forage « F01 ».

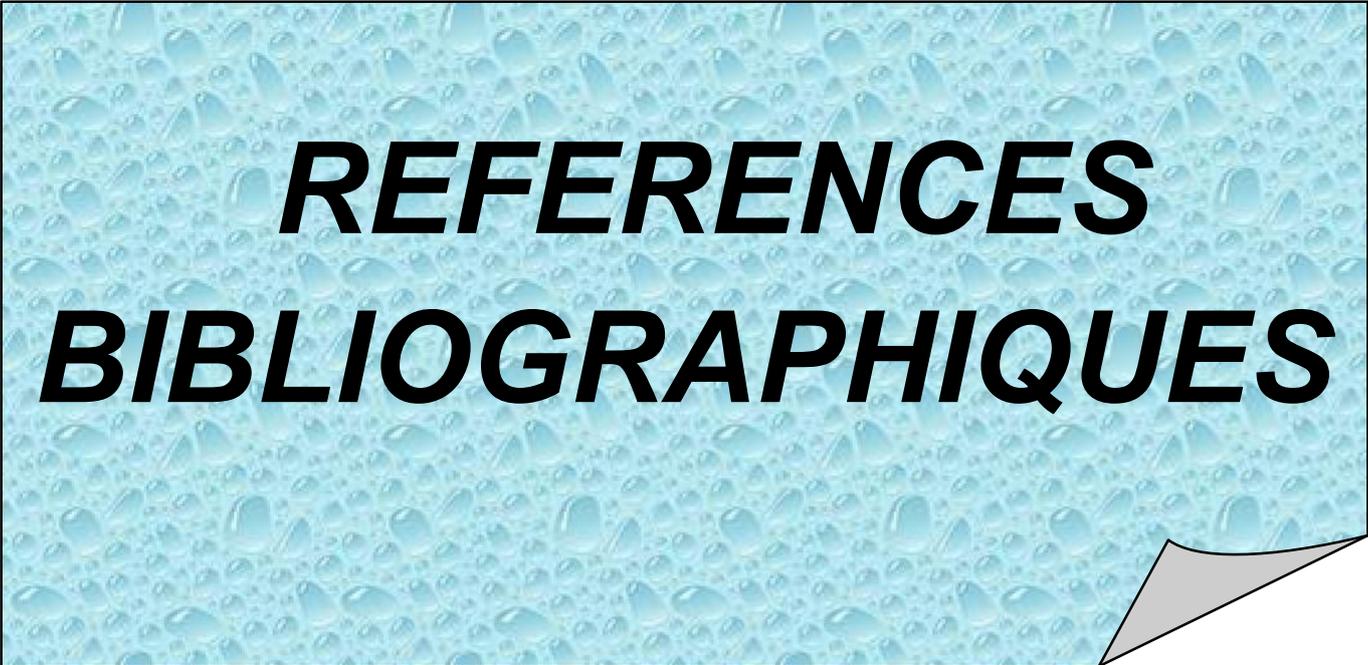
L'étude hydrochimique des eaux de la plaine de Gadaïne – Ain Yaghout montre que :

Les eaux sont incrustantes avec une conductivité élevée à très élevée, caractérisées par un faciès chloruré sodique et magnésium et un faciès sulfaté magnésium et calcique.

Ces eaux se classent donc parmi les eaux dures à caractère incrustant et à potabilité moyenne à médiocre. De ce fait, on recommande de traiter les eaux souterraines de la plaine de Gadaïne – Ain Yaghout pour rendre potable, ou chercher d'autres sources d'eau.



REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES



***REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES***



ANNEXES

ANNEXE 01 :

Les points d'eau de Mai 2016 :

N° du point d'eau	Altitude du point d'eau Z(m)	Niveau d'eau	Niveau piézométrique(m)
F1	800	3	797
F2	809	14	795
F3	868	75	793
F4	821	24	797
F5	809	16	793
F6	805	20	785
F7	806	17	789
F8	830	47	783
F9	809	28	781
F10	798	25	783
F11	798	10	788
F12	800	13	787
F13	797	11	786
F14	798	15	783
F15	810	27	783
F16	815	30	785
F17	812	23	789
F18	804	16	788
F19	803	15	788
F20	807	18	789
F21	818	29	789
F22	802	18	784
F23	800	17	783
F24	810	27	783
F25	811	28	783

ANNEXE 02 :

Essai de pompage :

Essai de pompage Forage N°15(descente)					
T (sec)	Niveau dynamique (m)	Rabattement (m)	T (sec)	Niveau dynamique (m)	Rabattement (m)
420	10.2	0.2	3600	11.35	1.35
600	10.34	0.34	3660	11.35	1.35
720	10.4	0.4	3780	11.36	1.36
900	10.52	0.52	4080	11.38	1.38
1140	10.6	0.6	4200	11.41	1.41
1260	10.67	0.67	4320	11.41	1.41
1500	10.76	0.76	4440	11.43	1.43
1800	10.86	0.86	4620	11.45	1.45
1920	10.98	0.98	4680	11.45	1.45
2040	11.02	1.02	4800	11.46	1.46
2100	11.05	1.05	2920	11.47	1.47
2160	11.06	1.06	4980	11.48	1.48
2220	11.07	1.07	5100	11.49	1.49
2280	11.1	1.1	5220	11.5	1.5
2440	11.12	1.12	5340	11.52	1.52
2400	11.14	1.14	5460	11.54	1.54
2460	11.16	1.16	5700	11.56	1.56
2520	11.17	1.17	6000	11.56	1.56
2640	11.19	1.19	6300	11.6	1.6
2700	11.21	1.21	6600	11.63	1.63
2760	11.23	1.23	6900	11.65	1.65
2820	11.24	1.24	7200	11.68	1.68
2940	11.24	1.24	7500	11.71	1.71
3000	11.24	1.24	7620	11.72	1.72
3060	11.25	1.25	7740	11.73	1.73
3120	11.25	1.25	7800	11.73	1.73
3180	11.27	1.27	7860	11.73	1.73
3300	11.28	1.28	7920	11.73	1.73
2420	11.31	1.31	7980	11.73	1.73
Essai de pompage Forage N°15(remontée)					
t'(sec)	t'/t	Rabattement résiduel (m)	t' (sec)	t'/t	Rabattement résiduel (m)
120	68	4.5	3570	3.25	1.5
360	23.33	3.8	3885	3.06	1.4
915	9.78	3	4221	2.9	1.3
1121	7.28	2.8	4557	2.76	1.2
1355	6.19	2.6	4973	2.61	1.1
1632	5.92	2.4	5398	2.48	1
1952	5.11	2.2	5858	2.37	0.9
2332	4.44	2	5383	2.27	0.8
2539	4.16	1.9	6963	2.15	0.7
2789	3.87	1.8	7594	2.05	0.6
3009	3.67	1.7	8289	1.96	0.5
3281	3.45	1.6			

Sondage : Ain Yaghout F54

Carte : AinYaghout 1/50000

Date de travaux : du 14.08.68 au 17.10.68

Echelle de la coupe : 1/2000

X : 833.740

Y : 284.500

Z : 829.500

Profondeur et cotes	Tubage et cimentation	Plan d'eau	Coupe	Description géologique	Etage	
0						
20	17 ³ / ₄ Tube plein Ø12"			Argile brune et débris calcaires	MIO - PLOCENE	
40				Calcaires cryptocristallins gris fissurés		
60				Argile avec intercalations de calcaire		
80				Calcaires cryptocristallins fissurés		
100	11 ³ / ₄ Tube plein Ø6"			Marne faiblement fissuré	CRETACE SUPERIEUR	
120				Calcaire argileux		
140						
160						
180				Marne avec intercalations de calcaire		
200						
220						
240						
260					Calcaire fissuré	CRETACE INFÉRIEUR - APTIEN
280					Alternance de marne et de calcaire	
300	7 ³ / ₄ Ø127 mm			Calcaire avec intercalations de marne		
320				Alternance de marne et de calcaire		
340						
360				Calcaire dolomitique		
380	5 ³ / ₄ Ø108 mm					
400						
420						

ANNEXE 4 :

Résultats des analyses chimiques :

Point d'eau	Unité	Cations				Anions			
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	∑ mé/l	Hco ₃ ⁻	So ₄ ²⁻	Cl ⁻	∑ mé/l
F1	mg/l	204.4	134.16	11.78	21.91	286.7	375	333.7	21.91
	mé/l	10.22	11.18	0.51		4.7	7.81	9.4	
	r%	46.64	51.02	2.32		21.45	35.64	42.90	
F2	mg/l	208.4	138.96	37.71	23.63	237.9	347.5	337.25	20.63
	mé/l	10.42	11.58	1.63		3.9	7.23	9.5	
	r%	44.09	49	6.89		18.90	35.04	46.04	
F3	mg/l	364.6	141.24	34.69	31.5	347.7	490	340.8	25.3
	mé/l	18.23	11.77	1.50		5.5	10.20	9.6	
	r%	57.87	37.36	4.76		21.73	40.31	37.94	
F4	mg/l	128.2	230.28	17.34	26.35	396.5	305	266.25	20.35
	mé/l	6.41	19.19	0.75		6.5	6.35	7.5	
	r%	24.32	72.82	2.84		31.94	31.20	36.85	
F6	mg/l	132.2	47.88	236.94	20.7	378.2	302.5	298.2	21.25
	mé/l	6.41	3.99	10.30		6.20	6.30	8.4	
	r%	30.39	19.27	49.75		29.17	29.64	39.52	
F7	mg/l	328.6	254.04	39.38	39.31	26.2.3	735	330.15	28.91
	mé/l	16.43	21.17	1.71		4.3	15.31	9.3	
	r%	41.79	53.85	4.35		14.87	52.95	32.16	
F10	mg/l	120.2	81.48	226.31	22.63	396.5	347.5	315.95	22.63
	mé/l	6.01	6.79	9.83		6.5	7.23	8.9	
	r%	26.55	30	43.43		28.72	31.94	39.32	
F11	mg/l	120.2	76.68	229.80	22.39	402.6	350	301.75	22.39
	mé/l	6.01	6.39	9.99		6.6	7.29	8.5	
	r%	26.84	28.53	44.61		29.47	32.55	37.96	
F14	mg/l	128.2	244.68	19.78	27.66	329.4	372.5	326.6	22.36
	mé/l	6.41	20.39	0.86		5.4	7.76	9.2	
	r%	23.17	73.71	3.10		24.15	34.7	41.14	
F15	mg/l	120.2	66.96	211.31	20.77	396.5	345	294.65	21.98
	mé/l	6.01	5.58	9.18		6.5	7.18	8.3	
	r%	28.93	26.86	44.19		29.57	32.66	37.76	
F16	mg/l	112.2	86.28	222.81	22.48	302.6	345	308.85	22.48
	mé/l	5.61	7.19	9.68		6.6	7.18	8.7	
	r%	24.95	31.98	43.06		29.35	31.93	38.7	
F18	mg/l	124.2	107.88	152.61	21.83	395.28	342.5	294.65	21.91
	mé/l	6.21	8.99	6.63		6.48	7.13	8.3	
	r%	28.44	41.18	30.37		29.57	32.54	37.88	

F21	mg/l	172.2	122.28	6.90	22.14	341.6	352.5	276.9	22.14
	mé/l	8.61	10.19	3.34		5.6	7.34	9.2	
	r%	38.88	46.02	15.08		25.29	33.15	41.55	
F22	mg/l	120.2	115.08	149.88	22.08	347.7	380	326.6	22.11
	mé/l	6.01	9.56	6.51		5.7	7.91	8.5	
	r%	27.21	43.29	29.48		25.78	35.77	38.44	
F23	mg/l	116.2	112.68	146.76	21.58	335.5	397.5	301.75	21.58
	mé/l	5.81	9.39	6.38		5.5	8.28	7.8	
	r%	26.92	43.51	29.56		25.48	38.36	36.14	