

N° d'ordre :

N° de série :



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université d'El-Oued



Faculté des science et technologie
Département des sciences et technologie
Filière d'hydraulique

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme Licence (LMD) en Hydraulique

Option: gestion des ressources en eau

THEME

**Caractérisation hydrochimique des nappes aquifères
de la région d'Oum Elbouaghi**

Encadré par :

ZAIR Nadjat

Présenté par :

LALMI Razika

MAAROUFI Dalal

Promotion : Juin 2014

remerciements

*Nous remercions tout d'abord **ALLAH** le tout puissant qui nous a fourni l'aide et la confiance pour réaliser ce travail*

Au terme de ce travail, nous ne manquons d'adresser nos sincères remerciements a tous ce qui ont contribué de près ou de loin ,a la réalisation de ce mémoire.

Nos premières reconnaissances sont adressées tout d'abord à notre promoteur,

***Mlle ZAIR Nadjat** qui a déployé ses efforts, pour nous faire profiter de ces*

Vastes oeud, de part son suivi continu et ces conseils fructueux et judicieux.

Il nous a permis d'élaborer ce mémoire et qui sans aides, ce travail n'aurait point vu de jour.

*Nous remercions toute l'équipe de la **DHW d'Oum El Bouaghi** particulièrement MR:*

***ABD EL ALI**, qui a met à notre disposition tous les documents nécessaires,*

***Mr. KHECHANA** Salim chef du département d'hydraulique, pour leur soutien moral et leur accueil chaleureux constituant la base de ce travail.*

Egalement, nous remercions affectueusement tout nos professeur



Sommaire

SOMMAIRE

Numéro	Titre	page
	Sommaire	i
	Liste de figure	iii
	Liste de tableaux	v
	Liste des abréviations	vi
	Introduction Générale	1
	CHAPITRE I : contexte générale de la région d'étude	
1-	La Géographie	2
1-1-	Situation géographique	2
1-2-	Le réseau hydrographique	4
1-3-	Le climat	5
1-4-	La végétation	5
1-5-	Aperçu Socio-économique	5
2-	Géologie	5
2-1-	Introduction	5
2-2-	La disposition de la chaîne Alpine	6
2-2-1-	Domaine interne	6
2-2-2-	Le sillon de flysch	6
2-2-3-	La domaine externe	6
2-3-	Analyse stratigraphique	7
2-4-	Description structurale et tectonique	12
2-5-	Formations aquifères	12
3-	Hydrogéologie	16
3-1-	L'aquifère Karstique carbonaté du Crétacé inférieur	16
3-2-	L'aquifère du Mio-Plio- Quaternaire	16
3-3-	Bilan et Statistique	18
3-4-	La piézométrie	21
	Conclusion	23
	CHAPITRE II :Hydro-climatologie	
	Introduction	24
1-	Cadre d'étude	24
2-	Etude des paramètres hydro climatologiques	25
2-1-	Les précipitations	25
2-2-	Les températures	26
2-3-	Autres paramètres	27
2-3-1-	indice de MARTONNE ou indice d'aridité	27
2-3-2-	Climagramme de L. EMBERGER	28
3-	Relation Température Pluies	30
3-1-	Diagramme Ombro-thermométrique de GAUSSEN et BAGNOULS	30
3-2-	Méthode d'EUVERT (humidité du sol)	31
3-3-	Calcul l'évapotranspiration et le déficit d'éco	31
3-4-	L'évapotranspiration réelle ou ETR	35
3-5-	Calcul du ruissellement (R) et de l'infiltration (I)	36
3-6-	Essai du bilan hydrologique	36
	Conclusion	38

	CHAPITRE III: Caractérisation hydro-chimique des eaux de l'aquifère Moi-Plio Quaternaire d'Oum El-Bouaghi	
	Introduction	39
1-	Hydrochimie de la plaine de Souk Naamane ,BirChouhada et OuledZouai	39
1-1-	Carte de conductivité électrique et résidu-sec	39
1-2-	Carte de calcium Ca^{+2}	40
1-3-	Carte de Magnésium Mg^{+2}	41
1-4-	Carte de Chlorures	41
1-5-	Carte de sodium Na^{+}	42
1-6-	Carte de sulfate SO_4^{-2}	42
1-7-	Carte de pH	43
2-	Etudes les rapports caractéristiques et l'origine des éléments chimique	44
2-1-	Couple de Cl^{-} et Mg^{+2}	44
2-2-	Le couple Na^{+} et Cl^{-}	44
2-3-	. Le couple Cl^{-} -TDS	44
2-4-	Le couple SO_4^{-2} – TDS	44
2-5-	Le couple SO_4^{-2} – Cl^{-}	44
2-6-	Le couple Ca^{+2} – Na^{+}	45
3-	Détermination des faciès chimique	48
4-	Paramètre de pollution	49
5-	Détermination de la qualité d'eau pour l'irrigation	50
	Conclusion	53
	Conclusion général	54
	Référence bibliographique	55

Liste des Figures

Titre Des Figures	Page
Figure N°1 : Situation globale de la zone d'étude	2
Figure N°2 : Limite administrative de la région d'étude	3
Figure N° 3 : Situation de la région étudiée et assemblage des cartestopographiques au 1/50000eme	4
Figure N°4 : Extrait de la carte geologique de Ain Yagout N°146	8
Figure N° 5 : Extrait de la coupe géologique interprétative de (Ain Yaghout N°146)	9
Figure N°6 : Esquisse hydrogéologique et coupe corrélatrice à travers les massifs du Djebel Guelaat Oulad Selam	10
Figure N°7 : La série des lacs	11
Figure N° 8 : Schéma structural (feuille de Ain Yagout au 1/50000eme)	12
Figure N°9: Coupe Hydrogéologiques Synthétiques	18
Figure N° 10: Représentation en pourcentage de la nature des points d'eau dans la zone d'étude	19
Figure N° 11: Répartition par localité des points d'eau en pourcentage	19
Figure N° 12: Représentation en pourcentage des points d'eau en fonction de leur usage	20
Figure N°13: Répartition des points d'eau en fonction de la conductivité en pourcentage	21
Figure N°14 : Carte piézométrique de la nappe Mio-Plio-Quaternaire en (Mai 2010)	22
Figure N°15: Répartition des bassins versants	24
Figure N° 16: Variations mensuelles des précipitations 1984-2012 de la station de BirChouhada	25
Figure N° 17: Variations mensuelles des températures 1984-2012 de la station Ain Skhouna	27
Figure N° 18: Diagramme Climagramme L.EMBERGER	29
Figure N° 19: diagramme Ombrothermique de H.Gaussen et F.Begaouls	30
Figure N° 20 : Abaque pour le calcul du déficit d'écoulement en Algérie	34
Figure N°21 : la carte de la répartition des points d'eau qui effectuées les prélèvements	39
Figure N°22 : carte de conductivité électrique de la région d'étude 2010	40
Figure N° 23: carte de résidu sec de la région d'étude 2010	40

Figure N°24 : carte de calcium (mg/l) de la région d'étude 2010	41
Figure N°25 : carte de magnésium (mg/l) de la région d'étude 2010	41
Figure N°26 : carte de chlorures (mg/l) de la région d'étude 2010	42
Figure N°27 : carte de sodium (mg/l) de la région d'étude 2010	43
Figure N° 28: carte de sulfate SO_4^{-2} (mg/l) de la région d'étude 2010	43
Figure N° 29: carte de pH de la région d'étude 2010	44
Figure N°30 : couple de Cl^- et Mg^{+2}	45
Figure N° 31: couple de Cl^- et Na^+	45
Figure N°32: Le couple Cl^- -TDS	46
Figure N°: Le couple SO_4^{-2} -TDS	46
Figure N° 33: Le couple SO_4^{-2} - Cl^-	47
Figure N°34 : Le couple Na^+ - Ca^{+2}	47
Figure N°35 : Diagramme de piper de l'aquifère Moi-Plio Quaternaire 2010	48
Figure N°36 : Diagramme de Scholler de l'aquifère Moi-Plio Quaternaire 2010	48
Figure N° 37: Carte de NO_3^- de la région d'étude 2010	50
Figure N°38 : Classification des eaux d'irrigation (méthode de SAR) 2010	51

Liste des tableaux

Tableau	page
Tableau N°1 : Log litho stratigraphique Synthétique	13
Tableau N°2: Ecart de conductivité et de salinité enregistrée	20
Tableau N°3 : Répartition des points d'eau en fonction de la conductivité	20
Tableau N°4 : Statistiques sur les pompages dans la région de Bir Chouhada- Souk Naamane et Ouled Zouai	21
Tableau N° 5: Evaluation des prélèvement	21
Tableau N°6 : Précipitations moyennes mensuelles (1984-2012)	26
Tableau N° 7 : Températures moyennes mensuelles à la station d'Ain Skhoua (1984-2012)	26
Tableau N°8 : Humidité du Sol	31
Tableau N°9: Indice mensuel (i)	33
Tableau N° 10 : Bilan Hydrique (C.W.Thornthwaite) (1984-2012)	35
Tableau N° 11 : Les différentes valeurs de l'évapotranspiration ETR et du Ruissellement	37
Tableau N°12 : paramétré de qualité d'eau pour l'irrigation	51
Tableau N°13 : Classification de qualité d'eau pour l'irrigation d'après SAR	52

Liste des abréviations

CGG: Compagne Générale de Géophysique.

SONATRACH: Société Nationale de Travaux et Recherche.

ANRH: Agence Nationale des Ressources Hydriques.

ETR: Evapo Transpiration.

D A: Déficit Agricole.

ETP : Evapotranspiration Potentielle.

AEP: Alimentation en Eau Potable.

OMS: Organisation Mondiale de le Santé.

S A R :sodium adsorbé .

A.E.I: L'alimentation en eau d'irrigation.

Introduction générale

Introduction générale :

Les eaux souterraines constituent la principale source des systèmes d'approvisionnement en eau des grandes villes africains.

Cependant, l'expansion rapide des villes et la forte croissance de la population en milieu urbain mettent une pression énorme sur cette ressource naturelle. Par ailleurs, l'utilisation des engrais, les effluents des systèmes d'évacuation et les fosses septiques sont des sources principales de pollution des eaux souterraines en milieu urbain.

L'exploitation des ressources en eaux de la nappe aquifère de Souk Naamane, Bir Chouhada et Ouled Zouai est un impératif économique jugé prioritaire. Les ressources de cette nappe sont menacées par l'utilisation intense des engrais, les rejets des effluents domestiques et sur exploitation des eaux souterraine.

Dans cette étude nous allons essayer d'atteindre les objectifs qui sont :

- Savoir la qualité des eaux souterraines de la nappe libre de la région d'étude.
- Savoir l'origine de la salinité des eaux souterraines et leur variation spatiale temporelle.
- Et les différents polluants chimiques existants dans l'eau ainsi que leur origine

Afin d'atteindre ces objectifs, nous nous prenons à présenter les principaux résultats de ce travail en dégageant :

➤ La première chapitre est consacré à l'étude du contexte géographique et géologique de la région d'étude et à l'identification de la nature lithologique de la nappe aquifère Moi-Plio Quaternaire, pour identifier les caractéristiques géométriques de l'aquifère étudié, des informations géologiques du remplissage mio-plio-Quaternaire de la région de Souk Naamane, Bir Chouhada et Ouled Zouai.

➤ Le deuxième chapitre est consacré à déterminer les caractéristiques hydroclimatologiques de la région d'étude.

➤ Dans le troisième chapitre hydrochimie et impact des agglomérations sur les eaux a pour but de connaître les caractéristiques physico-chimiques des eaux, l'évolution des certains paramètres chimiques, déterminer le faciès chimique.

CHAPITRE I

contexte générale de la région d'étude

1- La géographie

1-1- Situation géographique:

La région d'étude englobe les communes de Bir Chouhada, Souk Naamane et Ouled Zouai dans la wilaya d'Oum El Bouaghi, située à l'Est de l'Algérie. Ces communes sont situées à l'extrémité sud-est de la wilaya.

La zone d'étude a une superficie de 530 Km². Les grandes agglomérations dans la Wilaya d'Oum El Bouaghi sont administratives par :

- ✓ **Bir Chouhada** (ex Levasseur) avec **5147** habitants, (récents. de 1998).
- ✓ **Souk Naamane** (ex Rouget de l'Isle) avec **15307** habitants (récents. de 1998).
- ✓ **Hai Chekir Khelifa** qui compte **1509** habitants (récents. de 1998).

Les coordonnées Lambert limitant la zone d'étude sont :

$$X = 816 \rightarrow 852 \text{ km}, \quad Y = 284 \rightarrow 303 \text{ km}.$$

Le secteur d'étude est limité administrativement par les wilayas de Mila au Nord et de Batna au Sud.



Figure N°1 : Situation globale de la zone d'étude

Du point de vue géomorphologique la région fait partie de la frange nord-ouest du bassin des chotts constantinois. Elle est circonscrite dans une dépression caractérisée par la présence de deux chotts (Chott Tinsilt et Sebkhha Ezzemoul).

- ✓ Au Nord par une ligne passant par M'Chira et les djebels Faham, Gualaât Ouled Sellem (1387m), Guerouaou (1540m) ainsi que la bordure septentrionale du chott Tinnsilt et Sebkhet Ezzemoul.
- ✓ A l'Ouest par les Djebels Rherour, El Hammam et Azraouat (1002m) ;
- ✓ Au sud par la limite des wilayas de Batna et d'Oum El Bouaghi,
- ✓ A l'Est par la bordure orientale de la Sebkhat Ezzemoul et son prolongement jusqu'au djebel Hanmout Kebir.

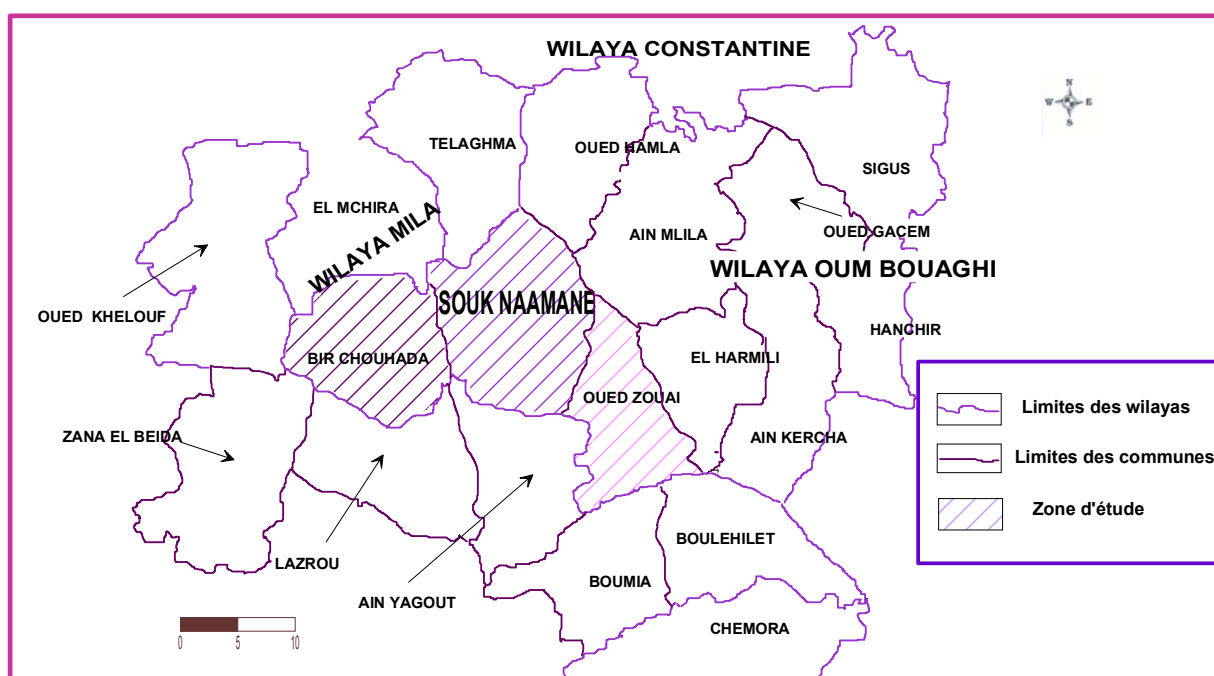


Figure N°2 : Limite administrative de la région d'étude

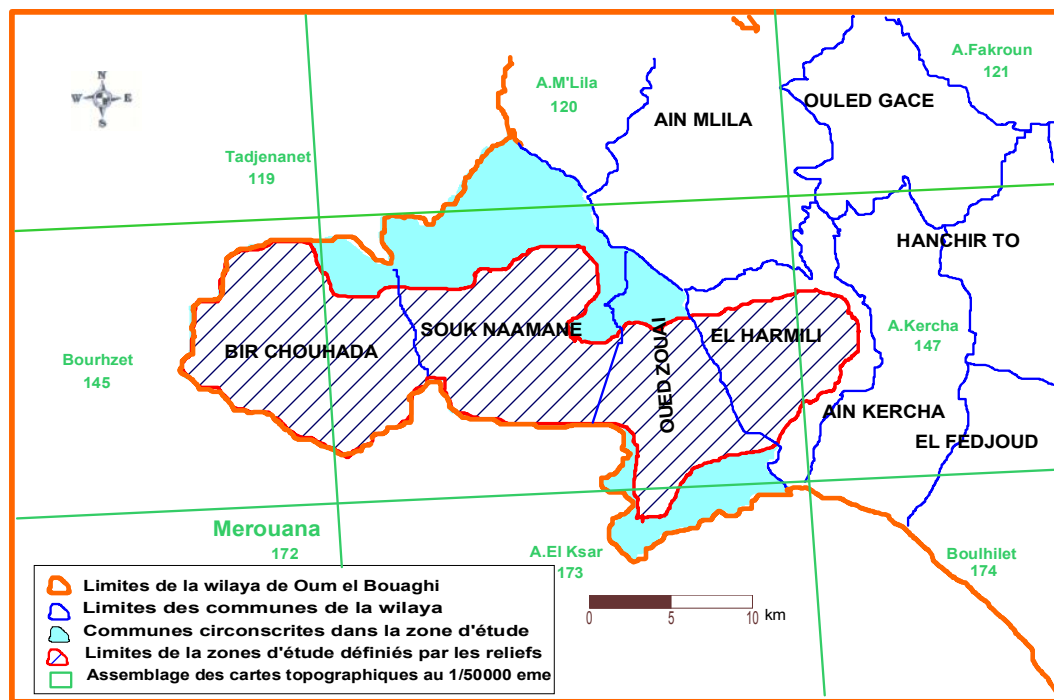


Figure N° 3 : Situation de la région étudiée et assemblage des cartes topographiques au 1/50000eme

Les grands massifs se trouvent en plein centre de la zone d'étude sont : Djebel Guedmane (1134m), Djebel Tizourit (1036m), Djebel Amsid (952 m) et Djebel Hamouda (Djebel Snobra) avec 1161m d'altitude. Les hautes plaines occupent la majorité de la zone d'étude, elles sont essentiellement les plaines de Souk Naamane à l'Est de Djebel Guedmane, la haute plaine de Bir Chouhada à l'Ouest de ce dernier et la plaine de Ouled Zouai au Sud Ouest de Sebkhet Ezzemoul et Chott Tinsilt. L'altitude de ses hautes plaines varie entre 809 et 891 m pour Bir Chouhada et de 794 à 830 m pour Souk Naamane et de 792 à 836 m pour Ouled Zouai.

Les plus basses altitudes correspondent aux chotts Tinsilt et Ezzemoul.

1-2-Le réseau hydrographique:

Le réseau hydrographique est peu dense, avec quelque cours d'eau temporaires. Ils sont tous endoréiques et convergent vers Sebkhet Ezzemoul et chott Tinsilt à l'Est de la région, comme : Oued Ben Zerhaib, Oued Bou Salem.

En général, le réseau hydrographique est représenté par des chaabets temporaires, telles que Chaabet El kela, Chaabet Bettoum au Sud de Sebkhet Ez zemoul et Oued Zerhaib. L'alimentation de ses chaabets est assurée par les ruissellements qui se créent dans les massifs au Nord- Est et au centre de la zone d'étude. Pour la relation Oueds –nappes,

l'alimentation des nappes par les Oueds en période de basses eaux est inexistante au vu de l'assèchement de ses derniers en été.

1-3- le climat:

Le climat de la région est semi aride avec des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 282 ,5 mm sous forme de pluies violentes. L'hiver est caractérisé par des chutes de neige et de brusques gelées, par contre l'été se caractérise par un climat chaud avec une température moyenne annuelle de l'ordre de 15,20 ° c.

1-4-La végétation:

La majeure partie des terres de la plaine est exploitée par les habitants qui y pratiquent la céréaliculture. Autour des habitations et de quelques fermes, nous avons quelques petits jardins, irrigués à partir de puits de faible profondeur, ou sont cultivés des légumes et du tabac. Par ailleurs, dans certaines zones, comme la partie est de Souk Naamane se développent parfois des plantes halophiles qui servent de lieu de pâturage aux troupeaux.

1-5- Aperçu Socio-économique:

Bir Chouhada, Souk Naamane et Ouled Zouai sont des agglomérations les plus importantes. Les mechtas sont réparties près des oueds et les puits qui sont utilisés pour les besoins usages domestiques et agricoles.

Les principales activités dans la région sont l'agriculture des céréales et l'élevage.

2- Géologie:

2-1- Introduction:

L'étude géologique (stratigraphique et structurale) est la base de toute étude hydrogéologique, car elle donne des renseignements sur les formations lithologiques susceptibles de constituer les réservoirs en eaux souterrains.

L'aperçu géologique peut être synthétisé à partir de l'analyse des documents suivants:

- ✓ Carte géologique d'Ain Yagout et sa notice explicative
- ✓ Rapport de l'étude géophysique effectuée par la Compagnie Générale de Géophysique (CGG) 1969-1970.
- ✓ Rapport de l'étude géophysique effectuée en 1960-1961
- ✓ Logs stratigraphiques des sondages mécaniques.

2-2- La disposition de la chaîne Alpine :

La chaîne alpine d'Algérie s'articule sur le rift et constitue la chaîne tello africaine. Elle représente le segment occidental des maghribides. Elle se caractérise par une unité remarquable du Nord vers le Sud:

- Le domaine interne
- Le sillon des flyschs
- Le domaine externe

2-2-1- Domaine interne:

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

2-2-2- Le sillon des flysch:

- Composés par une double série:
- La série mauritanienne
- La série massylienne

2-2-3- Le domaine externe:

En Algérie orientale, il est représenté par:

- Les séries telliennes
- Les séries de l'avant pays allochtone
- les séries de l'avant pays autochtone

✓ **Les séries telliennes:** masses allochtones chevauchant vers le Sud et caractérisées par le développement de faciès marneux et marno calcaire. On distingue la nappe ultra tellienne, les nappes telliennes et les nappes peni-telliennes.

✓ **Les séries de l'avant pays allochtones:** elles sont orientées suivant la direction SW-NE. On peut distinguer d'Est en Ouest les domaines et les unités suivantes:

- Unité néritique constantinoise
- Unité sud sétifienne
- Avant pays plissés et écaillés des unités des Sellaouas.

✓ **Les avant pays autochtones plissés:** constituent les monts des Aurès et du Hodna et du Belezma.

La région d'étude fait partie de deux ensembles:

L'un est l'allochtone Sétifien au Djebel Amsid (au Nord –Ouest de Bir Chouhada), il est écaillé et flotte sur une lame de Trias et l'autre autochtone nord Aurassien représenté par les monts d'Ain Yagout, les djebels Hanout, Harshel et Terbenut, Ces massifs présentent des plis de direction atlasique ou hodnéenne.

Une couverture moi-plio-quaternaire s'étend sur les plaines.

2-3- Analyse stratigraphiques:

Dans la carte d'Ain Yagout, où se trouve la grande majorité de la zone, on peut constater 04 ensembles d'âge géologique différent, on cite :

- ✓ L'ensemble des terrains où les formations sédimentaires sont peu ou pas tectonisées. Il est formé du Quaternaire avec de différentes formations telles que les Quaternaire, Villafranchien, sol de sebkha et aussi du Mio-Pliocène.
- ✓ L'ensemble de la nappe néritique constantinoise, avec un Aptien qui affleure.
- ✓ L'ensemble allochtone Sud Setifien qui débute de l'Aptien au Jurassique supérieur.
- ✓ l'ensemble Aurésien des séries para autochtones qui débute au Miocène jusqu'au Lias.

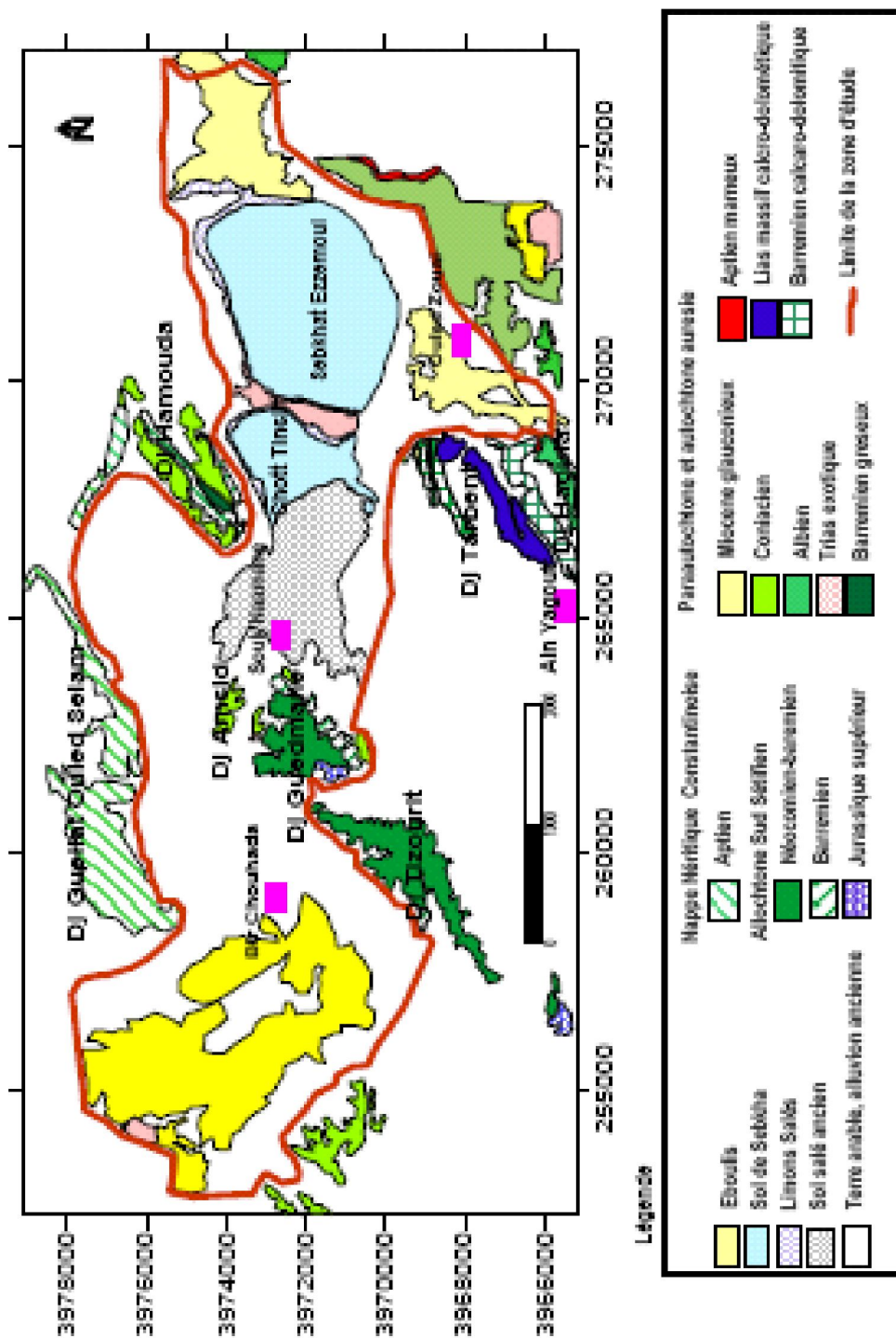


Figure N°4 : Extrait de la carte géologique de Ain Yagout N°146

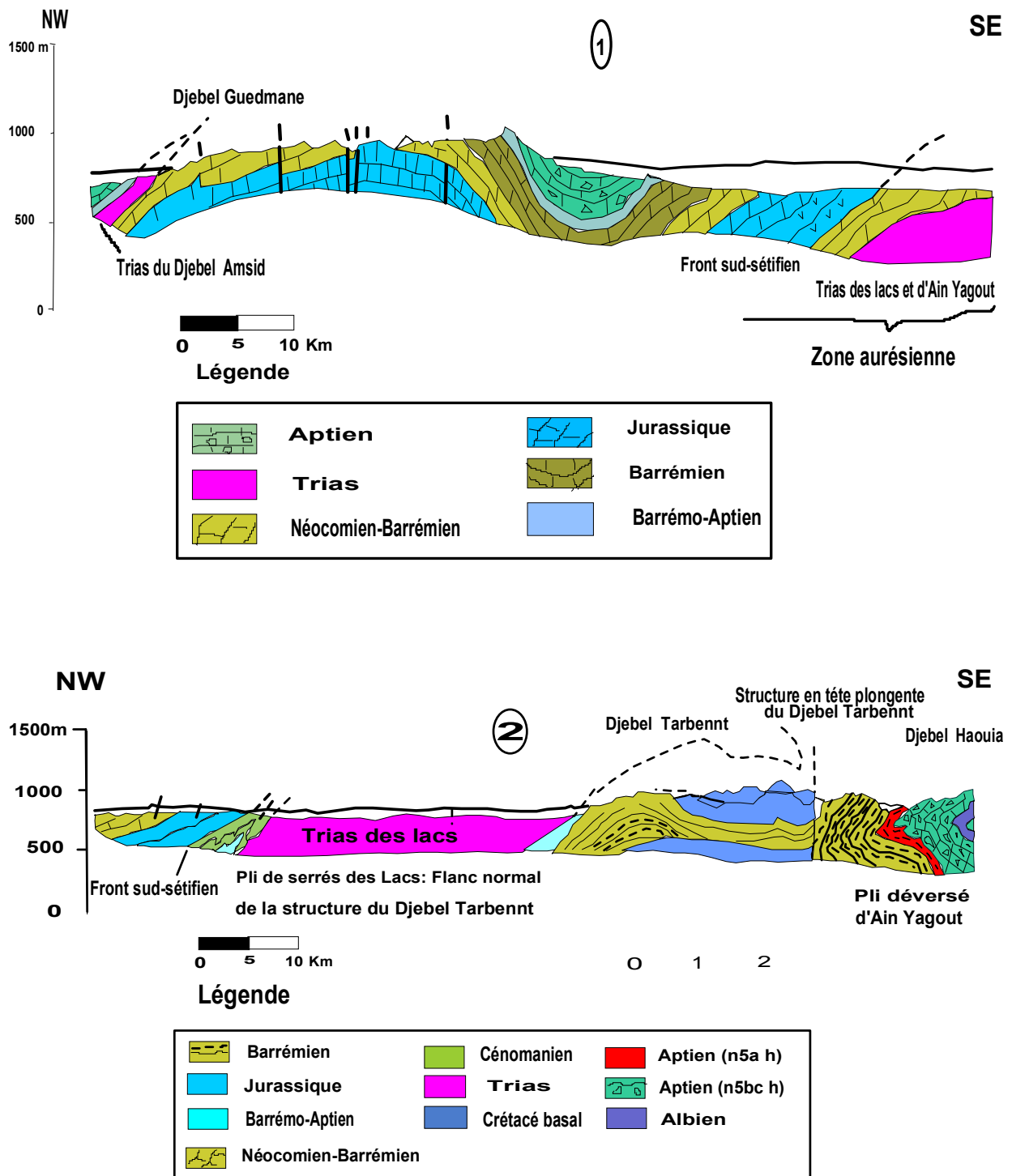


Figure N° 5 : Extrait de la coupe géologique interprétative de (Ain Yaghout N°146)
(SONATRACH, 1977)

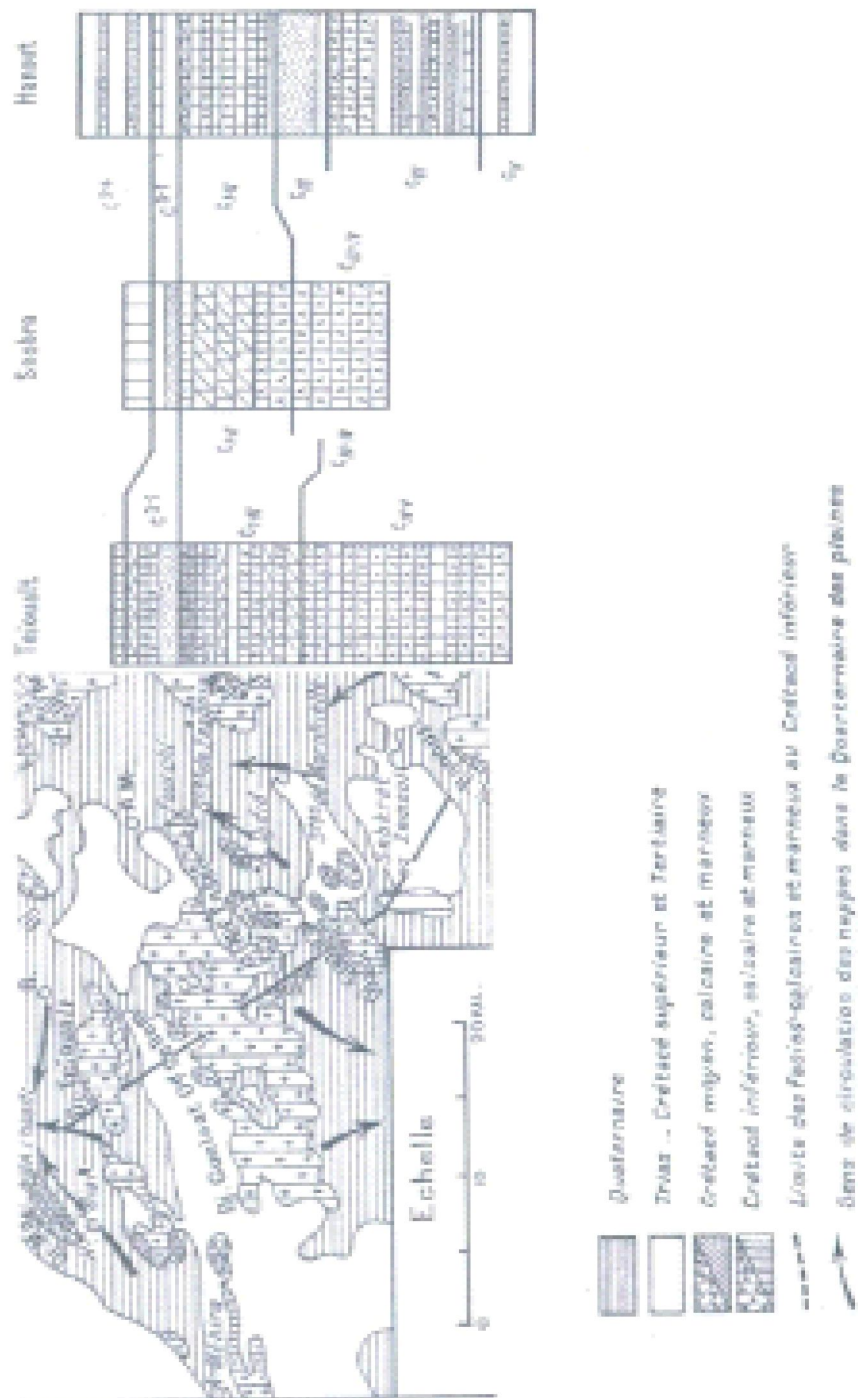


Figure N°6 : Esquisse hydrogéologique et coupe corrélatrice à travers les massifs du
Djebel Guelat Oulad Selam

Echelle: 1/1000 A. Yagout

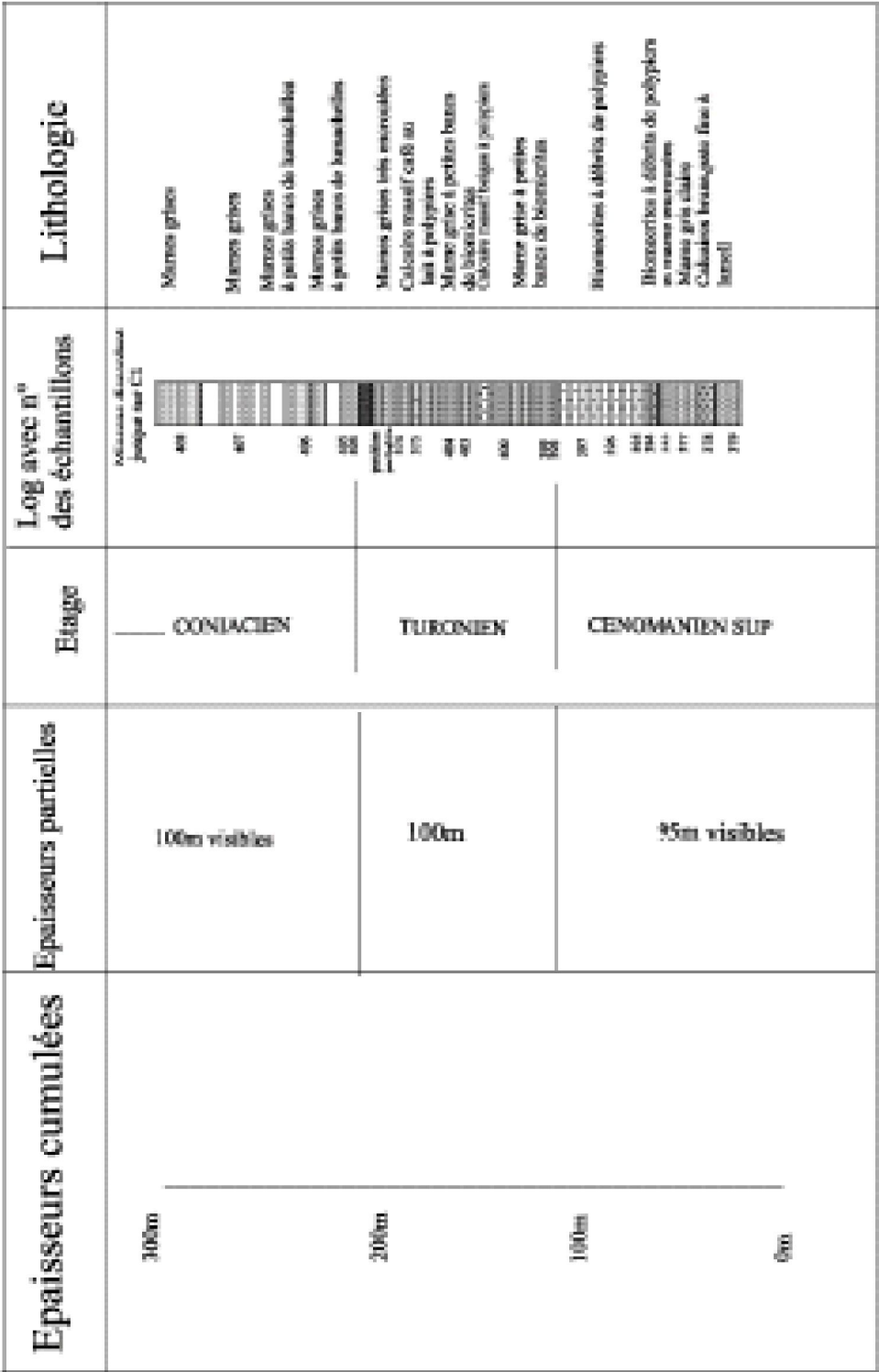


Figure N° 7 : La série des lacs

2-4-Description structurale et tectonique:

La structure des réservoirs est conditionnée par la tectonique. La forme du réservoir et le sens d'écoulement des eaux d'autre part. La région d'étude est limitée du point de vue tectonique par la base de l'ensemble para autochtone et autochtone aurasien au Sud.

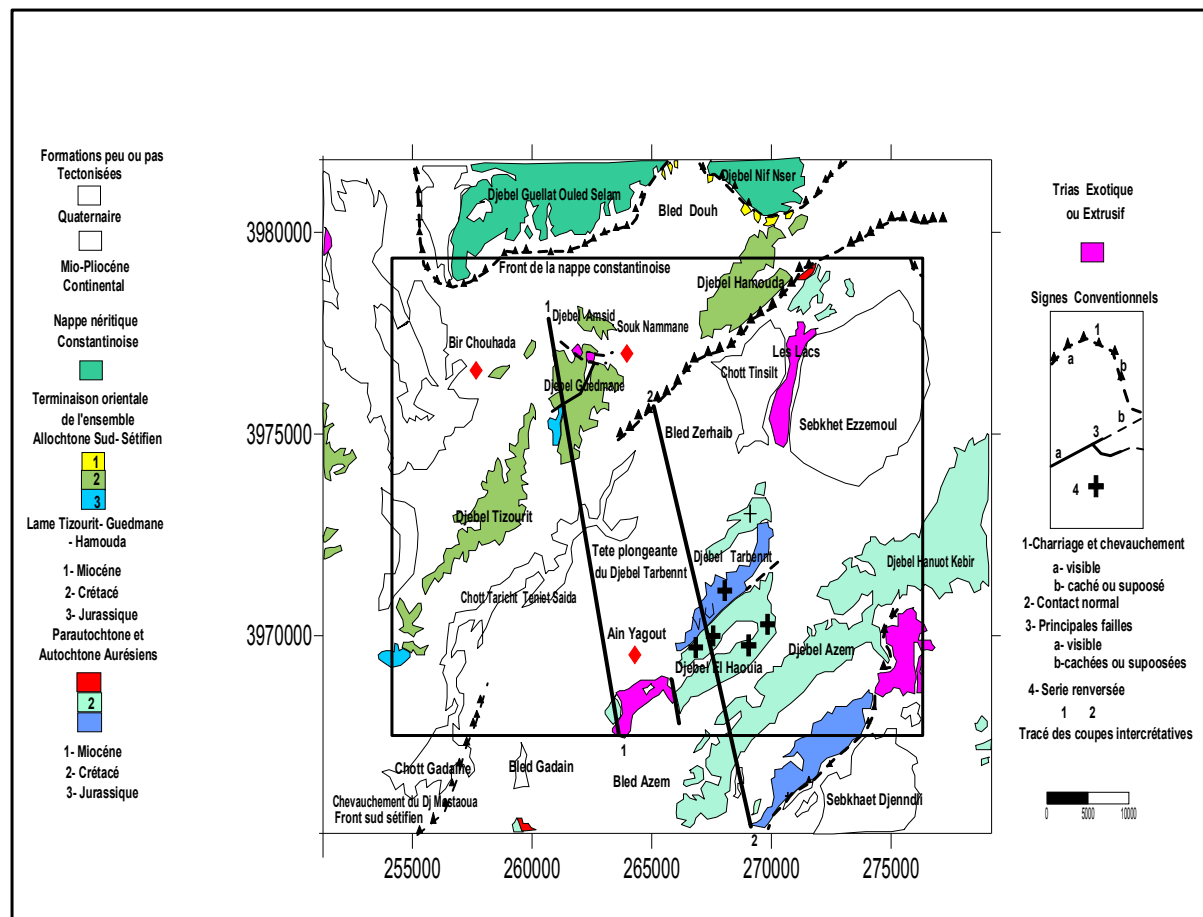


Figure N° 8 : Schéma structural (feuille de Ain Yagout au 1/50000eme)

2-5- Formations aquifères:

A l'issue de la synthèse lithologique, nous pouvons sur la base des informations relatives à la nature lithologique des terrains et des coupes de forages distinguer les formations susceptibles d'être aquifères. Dans notre secteur d'étude on note la présence des ensembles réservoirs suivants:

- **Les formations de recouvrement:**

D'âge Mio quaternaire, formées de conglomérats, d'alluvions et de calcaires lacustres, ces formations constituent un ensemble réservoir important qui repose par endroit directement sur l'ensemble réservoir des dépôts carbonatés du Jurassique et du Crétacé inférieur. Les deux ensembles sont en plusieurs endroits séparés par des niveaux argileux et marneux, ces derniers constituent le mur du réservoir mio-plio-quaternaire et le toit du réservoir des dépôts

carbonatés jurassique et crétacé inférieur. Cet aquifère est exploité par puits et forages peu profonds.

- **L'ensemble du réservoir des dépôts carbonatés:**

Les formations carbonatées de l'ensemble allochtone Sud Setifien telle que les formations du crétacé inférieur comme l'Apôtien (calcaires) et le Barrémien (calcaires et dolomies).

Les formations carbonatées de l'ensemble parautochtone et autochtone Auresien telles que les formations du Crétacé comme le Cénomanien, l'Aptien (calcaires) et le Barrémien (calcaires et dolomies). L'épaisseur totale est de 650 m et les formations du Jurassique, telles que celles rencontrées à une profondeur moyenne de 10 m sur les piémonts des massifs, et se trouvent à une grande profondeur au centre de la plaine.

On remarque qu'il s'agit d'un réservoir épais très étendu sous la couverture qui peut jouer un rôle régional. Il comprend des aquifères des deux grands ensembles structuraux, l'allochtone Sud Setifien et le parautochtone et autochtone Auresien qui sont en relation avec les aquifères du Néritique Constantinois, soit directement, soit indirectement par les failles tangentielles et orthogonales majeures.

Tableau N°1 : Log litho stratigraphique Synthétique

	Formation	Lithologie	Lieu d'affleurement et l'intérêt hydrogéologique
	Eboulis de pente	Eboulis	Pointe sud du Djebel Hamouda Leur position topographique ne permet de les exploiter
Quaternaire	Sol de Sebkhia		Chotts Tinsilt, sebkhat Ez Zemoul et Taricht Teniet Saida.
	Limons salés périodiquement inondés	Limons	Bordent le Chott Tinsilt et la sebkhat Ez Zemoul.
	Sols salés anciens	Sols hydromorphes salés	
	Terres arables, formations de pente, alluvions anciennes et Quaternaires indéterminées	Limons et graviers sur lesquels se sont installés des sols bruns	Ils forment un aquifère très exploités par des puits de grand diamètre dans la région de Souk Naamane, Bir Chouhada et Ouled Zouai. Ces fournissent en moyenne des débits variables de 2 à 4l/s et rare sont ceux qui s'assèchent en étiage
	Glacis	Matériel élastique très	Au voisinage des grands reliefs crétacés.

	polygéniques	fragmenté devenant plus anguleux et plus grossier au voisinage des reliefs	Il est peu exploité par des puits artisanaux en raison de la dureté de calcaire. par contre il est exploité par de nombreux forages au NE de Bir Chouhada.
	Villafranchien		Douar Marouna
Miocène	Mio-Pliocène continental	Conglomérat souvent mal cimenté jaunâtre ou rose argiles jaunâtres sableuses et calcaires lacustres mal stratifiés rosâtres ou blancs	Douar Marouna à l'Est de Bir chouhada et dans les Monts d'Ain Yagout
Nappe Nérétique constantinoise	Aptien	Calcaires sombres en bancs réguliers de nature micritique	Mechtat el Hemchir Djebel Guelaat Ouled Sellem.
Ensemble Allochtone Sud- Sétifien	Aptien	Calcaires massifs à patine gris-bleu à Miliolidés	Djebel Hamouda.
	Barrémien- Aptien	Calcaire compact à caussure blanc mamoréenne	
	Barrémien	Calcaires roux oolitiques Grès roux Calcaires lumachelliques Calcaires rognonneux intercalations de marnes sableuses ou argileuses grises ou gris-vert.	Djebel Guedmane
	Néocomien Barrémien	Calcaire dolomitique avec à sa base un ensemble de grosses barres de calcaires roux oolitiques ou graveleux à intercalations de dolomies grises	Kef Guessaa du Djebel Hamouda Djebel Guedmane
	Jurassique supérieur	Calcaires massifs fins Calcaires massifs	Djebel Guedmane Teniet Saida Djebel Merzguène
	Miocène	Conglomerats rubéfiés polygéniques discordants Calcaires gréseux roux glauconieux et phosphatés	Affleurement adjacent au Trias des Lacs. Sur le bord Nord de la Sebkhet Ez Zemoul
Parautochtone	Céniacien	Marnes grises	Au Nord des Lacs sous les encroûtements villafranchiens ou le Quaternaire
Et Autochton	Turonien	Marnes Biomicroites glauconieuses Calcaires massifs beiges	Au Nord de la Sebkhat Ez Zemoul
	Cénomanién supérieur et Turonien basal	Alternances de marnes grises et de calcaires bruns en gros bancs	Au Nord de sebkhat Ez Zemoul

Aurésiens	Cénomanién	Alternances de marnes grises et de calcaires massifs	Sebkhat Ez Zemoul
	Albien	Grès gris ou brun clair à inter lits marno-gréseux Alternances de marnes verdâtres et de grès bruns, recouvertes par un niveau de grès ferrugineux un peu noduleux ou bréchoïde Marnes grises	A la base de la série renversée du Djebel Tarbennt et sur le flanc Nord du pli déversé d'Ain Yagout au Djebel Hanout Kebir
	Aptien calcaire	Calcaires riches en Miliodés Bancs dolomitiques ocre jaune Intercalations d'oosparites bioclastiques brunes	Arête Nord du Djebel Tarbennt le Djebel Houia, l'arête nord du Djebel Azem et les premières pentes du Djebel Hanout Kebir. Constituer un Aquifère à perméabilité de fissure qu'il est possible d'exploiter par des forages près des Douars El Hanchir
	Aptien marneux	Marnes de 70à80m d'épaisseur avec à la base quelques intercalations gréseuses et de marno-calcaires noduleux	
	Barrémien gréseux	Grès à intercalations dolomitiques ou biosparitiques de 200 à 250m d'épaisseur	Peut être atteint des forages profonds sur le versant Nord du Djebel Tarbennt. Son faciès griso-calcaires permet de supposer un aquifère intéressant
	Barrémien calcaro-dolomitique	Calcaire dolomitiques avec intercalations argileuses ou argilosilteuses et de petits niveaux de grès	
	Crétacé basal	Argile péritique (800m écrasée et schistosée)	Djebel Tarbennt (au Nord-Est de Ain Yagout) Au Nord du Djebel Tournbait Douar Ouled Eoudjemaa
	Berriasien et Valanginien	Marnes verdâtres à intercalations grésos quartzitiques roux et de calcaires micritiques	Rass Tarbennt
	Jurassique calcaire	Marnes rosées et jaunes qui alternent avec des petits bancs de micrite écrasée (60m) Micrites (50m) Brèches intra-formationnelles	Flanc Nord de l'anticlinal du Djebel Tournbait
	Jurassique marno-	Calcaires écrasés (50m)	Djebel Tarbennt

	calcaires indifférencié	Marno-calcaires rosés et jaunes écrasés	
	Jurassique moyen	Calcaires à silex à pâte beige ou jaunâtre (40m) Sileux rougeâtres ou verdâtres au sommet Calcaires gris clair à schistosité à la base	Flanc Nord de l'anticlinal du Djebel Toumbat Djebel Tarbennt
	Marnes écrasées indifférenciées	Marnes schistosés	Djebel Tarbennt
	Lias supérieur marneux	Hard-ground a empreintes d'Ammonites Marno-calcaires et des marnes calcaires à débit Marnes esquilleuses gris clair à schistosité (25m)	Flanc Nord de l'anticlinal du Djebel Toumbait
	Lias massif calcaro-dolomitique	Calcaire dolomitique sombre (400m) Intercalations de calcaires marmoréens à Algues	Anticlinal du Djebel Toumbait, les hauteurs du Rass Tarbennt et du Djebel Tarbennt Shir Prés d'Ain Yagout
	Trias Exotique ou Extrusif	Argiles bariolées écrasées, lardées de masses gypseuses bréchiques ophite	

3- Hydrogéologie :

L'étude hydrogéologie permet d'identifier les différents types d'aquifères existants au niveau de notre région d'étude.

Cette étude sera consacrée à l'étude des caractéristiques hydrogéologiques et du comportement hydrodynamique des aquifères

Les formations aquifères :

D'après l'étude géophysique et géologique : on peut distinguer les formations aquifères suivantes :

3-1- L'aquifère Karstique carbonaté du Crétacé inférieur :

En bordure des affleurements du crétacé inférieur et dans les zones où le substratum résistant n'est pas profond (plaine de Bir Chouhada), le remplissage est constitué uniquement par des marnes, des calcaires lacustres et des conglomérats appartenant au Mio-Pliocène

continental. Notons que les calcaires lacustres paraissent très bien développés au Sud- Est de Souk Naamane.

Cet aquifère a fourni des débits très variables allant de quelques litres par secondes à plus de 30 l/s quand les forages sont implantés au voisinage d'un réseau de fractures intense.

La productivité de cet aquifère est intimement liée à son degré de fissuration.

De plus cet aquifère, renferme une nappe caractérisée par des eaux douces comparativement aux eaux des aquifères quaternaires et miocènes.

3-2- L'aquifère du Mio-Plio- Quaternaire :

A l'Ouest du chott Tinsilt, ou le Crétacé inférieur est enfoui sous de puissantes séries marneuses conductrices la nappe des calcaires lacustres pourrait être sollicitée au droit par des forages profonds. Leur exploitation permettrait de soustraire d'importants débits drainés vers les chotts, sans pour autant exagérer au risque d'abaisser le niveau de la nappe dans la plaine de Souke Naamane et de faire appel aux eaux des chotts. Cet aquifère peut également être exploité dans la partie occidentale de la plaine étudiée, dont l'eau, extrêmement douce se déverse dans la plaine de Bir Chouhada. Dans cette région de la plaine étudiée, le Miocène affleure largement notamment au Nord et au Nord –Ouest de Bir Chouhada.

Le Quaternaire qui recouvre pratiquement toute la plaine et les piémonts des reliefs est très exploité par de nombreux puits d'une profondeur moyenne variant de 20 et 40 m.

Ces puits utilisés pour la plupart dans l'irrigation des terres agricoles permettent de soustraire un débit moyen de 3 l/s.

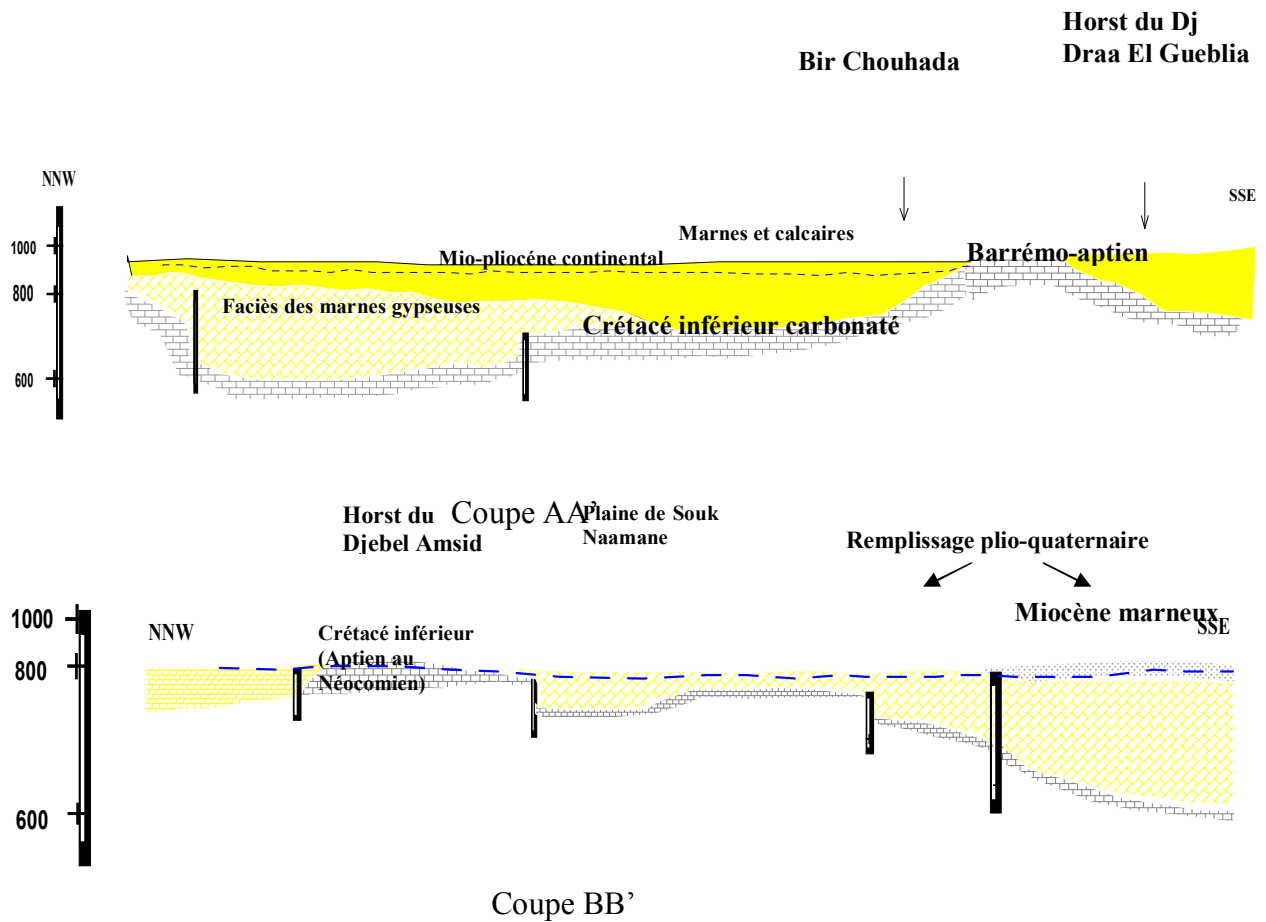


Figure N°9 : Coupe Hydrogéologiques Synthétiques

3-3 - Bilan et Statistique :

La région d'étude englobe 807 points d'eau répartis en majorité dans la commune de Souk Naamane ce nombre représente environ 60% des puits de la zone.

Les puits inventorisés peuvent être classés comme suit :

- 83 forages profonds.
- 30 puits asséchés.
- 134 puits abandonnés.
- 553 puits de grand diamètre.
- 07 puits forés.

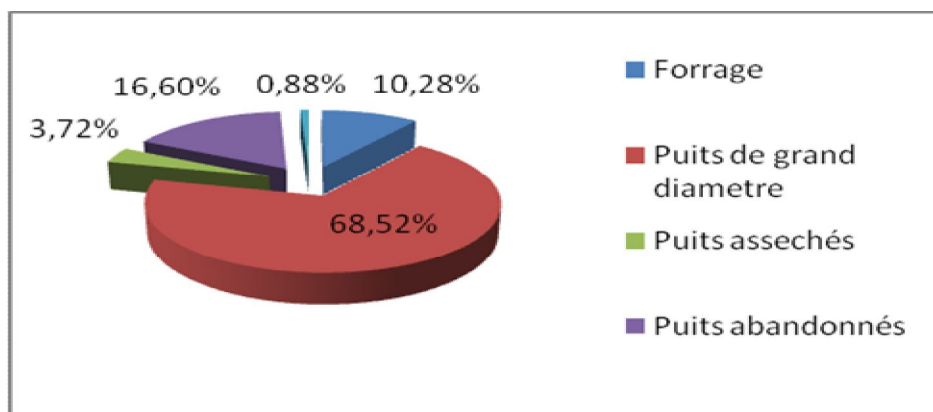


Figure N°10 : Représentation en pourcentage de la nature des points d'eau dans la zone d'étude

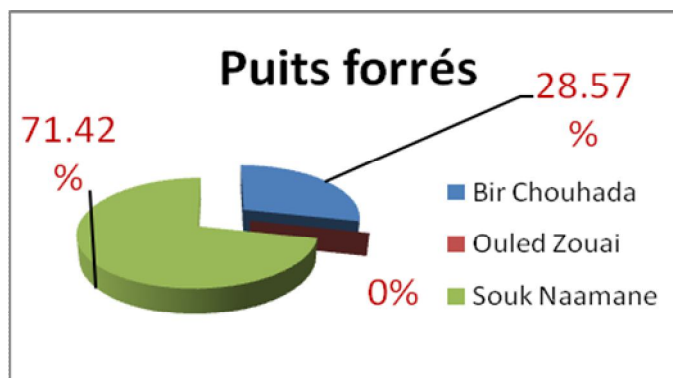
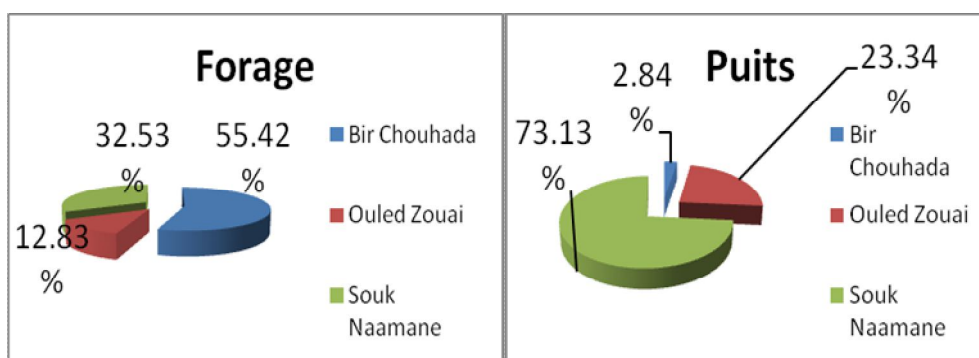


Figure N°11 : Répartition par localité des points d'eau en pourcentage

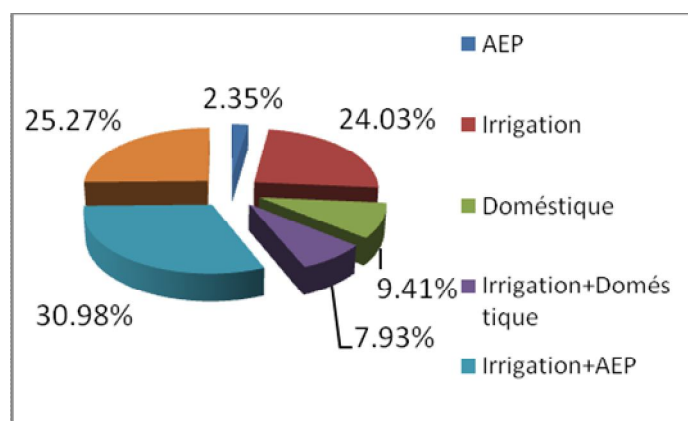


Figure N°12 : Représentation en pourcentage des points d'eau en fonction de leur usage

➤ **Salinité :**

La mesure de la conductivité permet de se faire une idée sur la qualité de l'eau dans la région.

Ces valeurs calculées concernent sur 236 mesures.

Tableau N°2: Ecart de conductivité et de salinité enregistrée

	Min	Max	Moyenne
Conductivité($\mu\text{S}/\text{cm}$)	0.35	15.26	4.15
Minéralisation en (g/l)	0.24	10.6	2.5

Ces valeurs font état d'une salinité élevée et témoignent de l'influence des eaux du chott.

Tableau N°3 : Répartition des points d'eau en fonction de la conductivité

Conductivité($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Nombre de points d'eau	Pourcentage de points d'eau (%)
CE<1	26	4.55
1<CE<2	109	19.08
2<CE<3	127	22.24
3<CE<5	188	32.92
5<CE<8	92	16.11
8<CE<12	27	4.72
12<CE<15	2	0.35

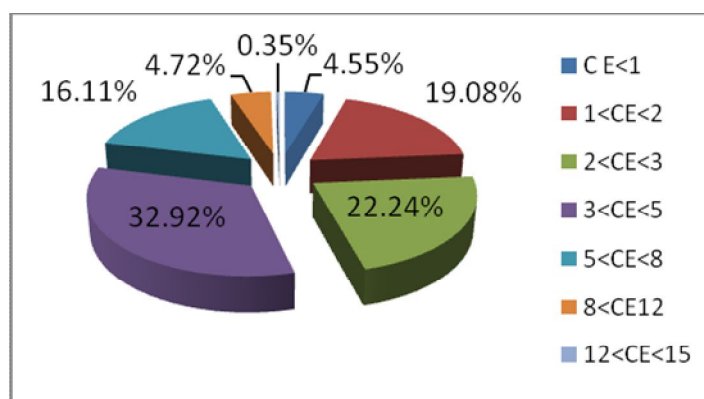


Figure N°13 : Répartition des points d'eau en fonction de la conductivité en pourcentage
 Les points d'eau renfermant une eau de salinité inférieure ou égale à 2g/l (norme de potabilité).

Tableau N°4 : Statistiques sur les pompages dans la région de Bir Chouhada-Souk Naamane et Ouled Zouai

Régime du pompage	Min	Max	Moyenne
Heures/jour	2	24	7.22
Mois/an	4	12	10.31

➤ **Evaluation des prélèvements :**

Les prélèvements sont évalués à partir des débits de pompages, des fréquences de pompages et des superficies irriguées en retenant, une grandeur de 1 l/s pour un hectare de terre.

Le tableau suivant montre les valeurs statistiques des prélèvements dans la région de Bir Chouhada-Souk Naamane et Ouled Zouai.

Tableau N° 5: Evaluation des prélèvements

	Débit pompé en m ³ /jours	Débit pompé en m ³ /an
Somme	58079.52	15875136
Max	518.4	186624
Min	3.6	1296
Moyenne	110.20	30180.86
Ecart type	52.19	16567.77

3-4- La piézométrie: Les cartes piézométriques nous permettent de définir l'écoulement souterrain des eaux de la nappe aquifère des calcaires, le gradient hydraulique qui est un paramètre important dans l'estimation des apports latéraux.

Les cartes piézométriques correspondent hautes eaux, et correspondent respectivement Mai 2010.

On a observé toutefois, au Nord de souk Nammane, les écoulements se font du Nord ou affleurement les terrains aquifères du Crétacé inférieur vers le Sud. A partir de reliefs du Djebel Hamouda les lignes de courants sont comme tout ailleurs au voisinage des reliefs crétacé perpendiculaires aux affleurements. Dans cette région, le chott Tinsilt constitue aussi l'exutoire de la nappe.

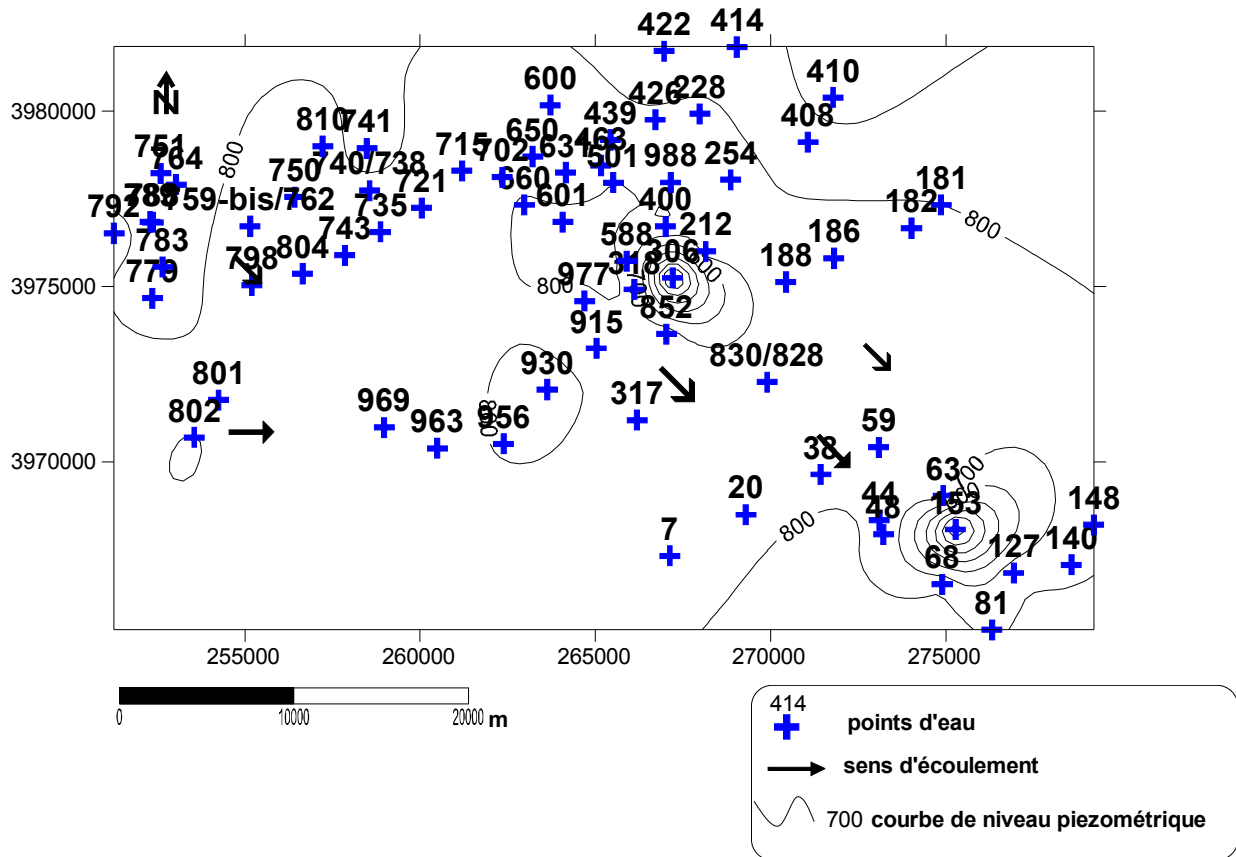


Figure N°14 : Carte piézométrique de la nappe Mio-Plio-Quaternaire en (Mai 2010)

Conclusion :

Les grands massifs montagneux de la région d'étude sont principalement constitués de formations rocheuses à dominante carbonatée et formant une série lithologique continue de Lias au Crétacé. Ces formations ont subi différentes phases de plissement notamment au cours de l'Eocène et qui s'étend jusqu'au Pliocène. Ces plissements sont surtout formés selon des axes Nord-Est Sud-Ouest, de même que les failles qui les accompagnent.

Les vastes étendues rencontrées entre les massifs montagneux, sont constituées par des accumulations en surface de formations postérieures au Crétacé supérieur.

CHAPITRE II

Hydroclimatologie

Introduction:

L'étude hydro climatologique est indispensable à l'établissement du bilan hydrologique qui conditionne le fonctionnement du système hydrogéologique.

L'étude est basée sur le traitement et l'analyse des paramètres climatiques, principalement la température et les précipitations, à ainsi que leur évolution dans le temps et dans l'espace durant une période d'observation donnée.

Dans cette étude, la période concernée est comprise entre 1984 et 2012.

La station climatologique qui a été prise en considération est celle d'AIN SKHOUNA, elle est située à 24 km au Sud de la région d'étude.

STATION	X	Y	Z	LONGITUDE	ATTITUDE
AIN SKHOUNA	832,300	274,200	831 m	6°22'	35°42'

La station pluviométrique, qui a été prise en considération, est celle de la station de Bir Chouhada en plein centre de la région .

STATION	X	Y	Z	LONGITUDE	ATTITUDE
BIR CHOUHADA	824,600	294,600	829 m	6°17'	35°53'

1-Cadre d'étude:

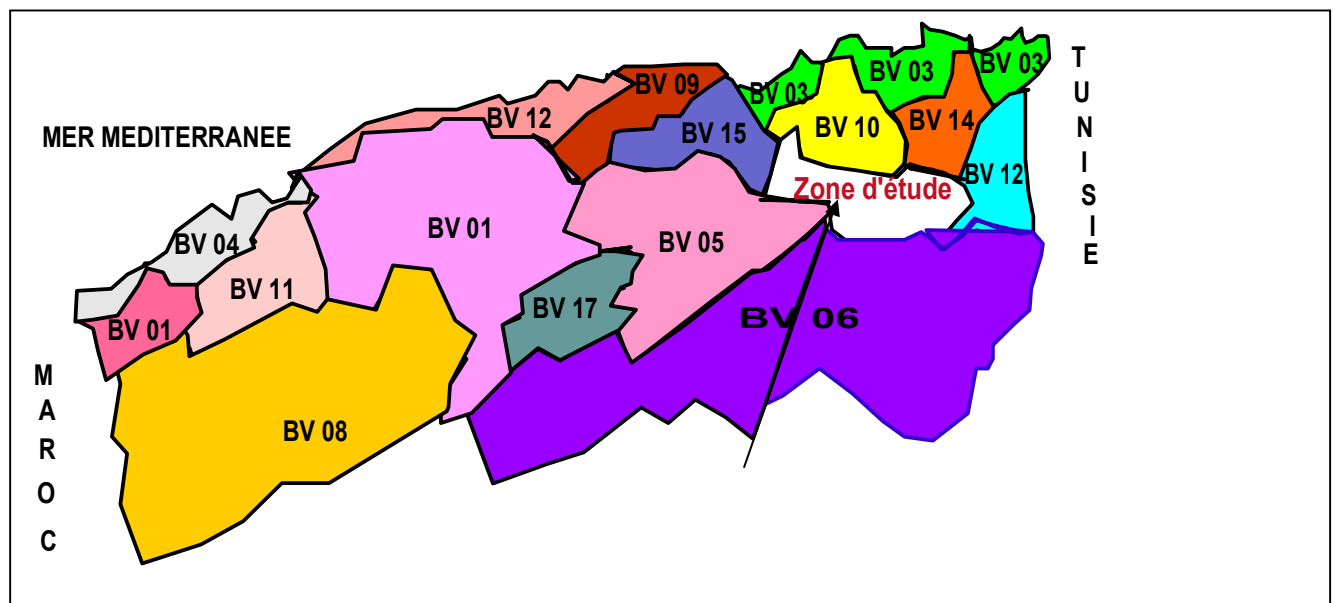


Figure N°15 : Répartition des bassins versants

La carte des bassins hydrologiques montre les limites des grands bassins hydrographiques de l'Algérie. La région de Bir Chouhada, Souk Naamane et Ouled Zouai fait partie du bassin versant des hauts plateaux Constantinois N°07, (selon la Codification de l'ANRH). Sa superficie totale est de 9578 km². Le bassin N° 07 est subdivisé en sept sous bassin, la zone d'étude se localise dans le sous bassin N°03 et couvre une superficie de 530 km². Il est limitée au Nord par les monts des Djebels Taref, Guelaat Ouled Sellam, Guerouaou et au Sud Est par les monts des Djebels Tarbent, Haouia, Hanout el Kébir. Le réseau hydrographique est constitué par des oueds temporaires à l'exemple de l'Oued Ben Zerhaib. qui un bassin endoréique

2- Etude des paramètres hydroclimatologiques:

- **Les précipitations** : station pluviométrique de BIR CHOUHADA (code 07030 Série récente (1984 - 2012).
- **Les températures** : station climatologique de AIN SKHOUNA (code 0703 nn)Séries récente (1984 - 2012).

2-1-Les précipitations:

Elles représentent la totalité de la lame d'eau recueillie (pluies, neiges, gelée).

La pluviométrie de la zone d'étude est comprise entre 250 et 400 mm.

L'analyse des données recueillies, on a permis de tracer le graphique des hauteurs des précipitations moyennes mensuelles figure N°2 :

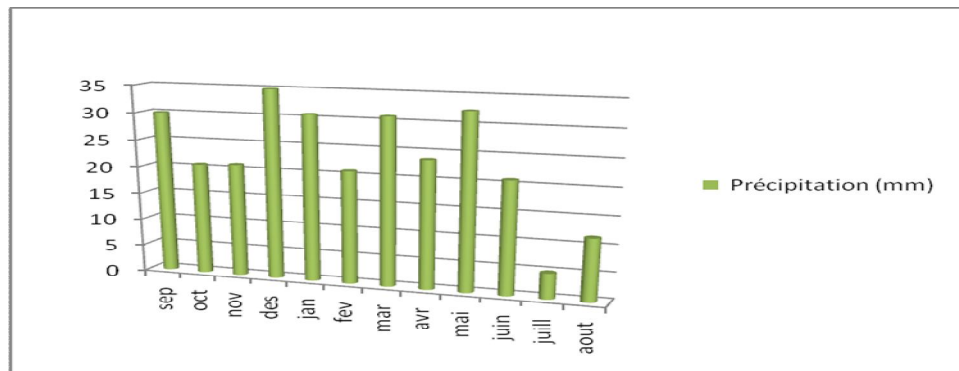


Figure N° 16: Variations mensuelles des précipitations 1984-2012 de la station de Bir Chouhada

Le mois le plus pluvieux est décembre avec 34.9 mm, le mois le plus sec est Juillet avec des précipitations de l'ordre de 4.9 mm.

Les précipitations moyennes annuelles pour la station de bir Chouhada sont de l'ordre de **282.53 mm**

- **La répartition des précipitations moyennes mensuelles :**

Le tableau ci-dessous montre une forte variabilité inter mensuelle des précipitations pour la station de Bir Chouhada. Les maximas des précipitations ont lieu en Janvier, Mars et Mai et les minimas sont observés en Juillet.

La saison la plus humide est l'hiver avec un pourcentage de 30.81% et la saison sèche est l'été avec un pourcentage de 13.29%. Le climat présente donc une saison relativement pluvieuse allongée qui comprend l'hiver et s'étale jusqu'à la fin du printemps. Quand à la saison sèche elle correspond à l'été.

Tableau N°6 : Précipitations moyennes mensuelles (1984-2012)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	TOTAL (mm)
1984-2012	30	20.7	21	34.9	30.7	30.9	30.8	23.7	32.4	20.9	4.9	11.7	282.53
	71.7			86.5			86.9			37.5			
	%25.42			30.67%			30.81%			13.29%			

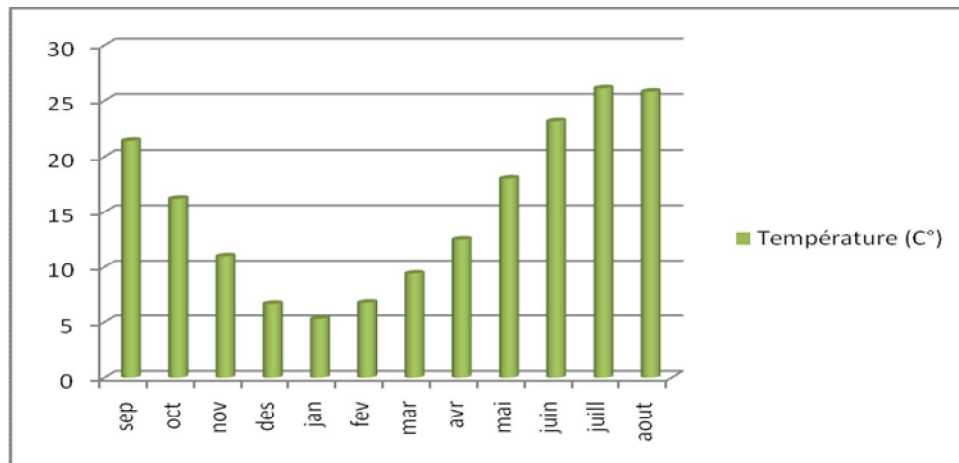
2-2-Les températures:

La température de l'air a une grande influence sur l'évapotranspiration qui favorise le déficit d'écoulement.

Les mesures de la température ont été effectuées à la station d'AIN SKHOUNA pour une période de 18 ans 1984-2012. Le graphique montre la variation des températures moyennes mensuelles.

Tableau N° 7 : Températures moyennes mensuelles à la station d'Ain Skhouna (1984-2012)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy Ann
1984-2012	21.4	16.2	11	6.7	5.3	6.8	9.4	12.5	18	23.1	26.1	25.8	15.20



**Figure N° 17 : Variations mensuelles des températures 1984-2012 de la station
Ain Skhouna**

La température moyenne annuelle est de l'ordre de 15.20 C°.

Le graphique des températures moyennes mensuelles montre nettement que le mois le plus chaud est le mois de juillet avec 26.1 C°, alors que le mois le plus froid est le mois de janvier avec une température de 5.3 C°

2-3- Autres paramètres :

Il y a d'autres indices qui sont susceptibles de donner une approche plus ou moins complète du climat de la région d'étude, et que nous exposerons ci-après.

2-3-1- indice de MARTONNE ou indice d'aridité :

En 1923, E. DE MARTONNE, se basant sur la distribution des précipitations et des températures ont proposées de classer les stations d'observations selon un indice d'aridité (A):

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

P : Précipitations mensuelles moyennes (282.53 mm).

T : Températures moyennes mensuelles (15.20 C°).

$$A = 11.21$$

Selon de MARTONNE les stations qui ont un indice d'aridité compris entre 10-20 sont des stations à un climat semi – aride.

2-3-2- Climagramme de L. EMBERGER :

Pour préciser les conditions climatiques de la région d'étude, on a utilisé le Climagramme de L.EMBERGER pour l'étude des climats méditerranéens. Le Climagramme comporte en ordonnée les valeurs du Q qui sont données par la relation suivante :

$$Q = \frac{P \cdot 2000}{(M + m)(M - m)}$$

Q : désigne le coefficient pluviométrique d'Emberger.

P : Précipitation moyenne annuelle en mm (282.53 mm).

M : moyenne des T maximales du mois le plus chaud (26.09 C°).

m : moyenne des T minimales du mois le plus froid (5.31 C°).

$$Q=47.09$$

La superposition des deux paramètres Q et T (min) sur l'abaque de L.EMBERGER, a permis la description du climat, le climat de la région est de type semi aride.

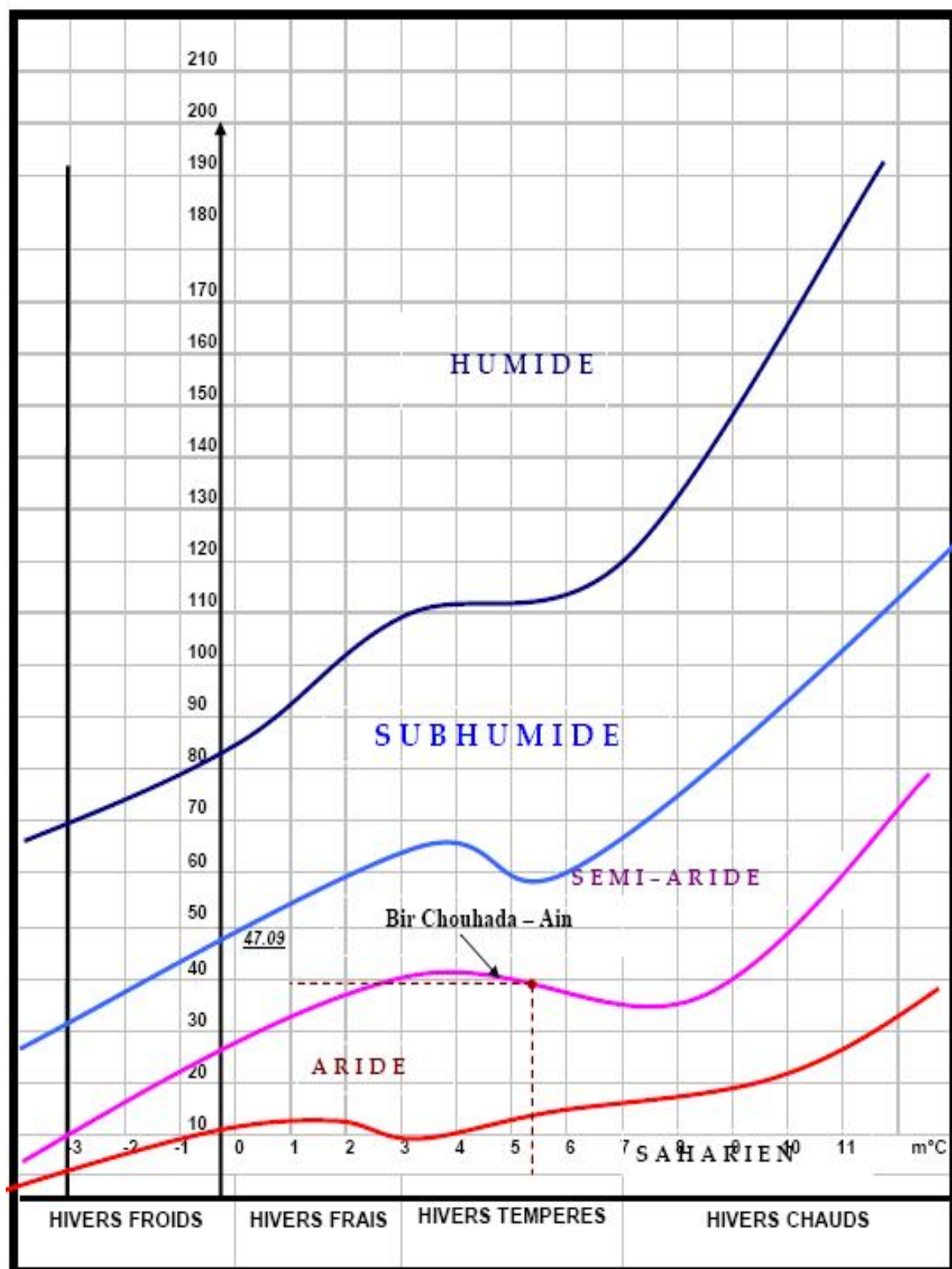


Figure N°18: Diagramme Climagramme L. EMBERGER

3- Relation Température Pluies:

3-1- Diagramme Ombro-thermométrique de GAUSSEN et BAGNOULS :

Selon la définition de GAUSSEN et BAGNOULS, une période sèche est celle pendant laquelle les précipitations totales du mois sont inférieures ou égales au double de la température du même mois : $P \leq 2 T$.

Cette relation, permet d'établir un diagramme Ombrothermique, sur lequel les précipitations sont portées sur une échelle double des températures. Le graphe obtenu à partir des données des deux stations (AIN SKHOUNA et BIR CHOUHADA) met en évidence la période sèche. Cette dernière qui s'étend de la fin mai à la mi-octobre (05 mois).

La connaissance de cette période à une grande importance pour déterminer la période déficitaire en eaux d'irrigation.

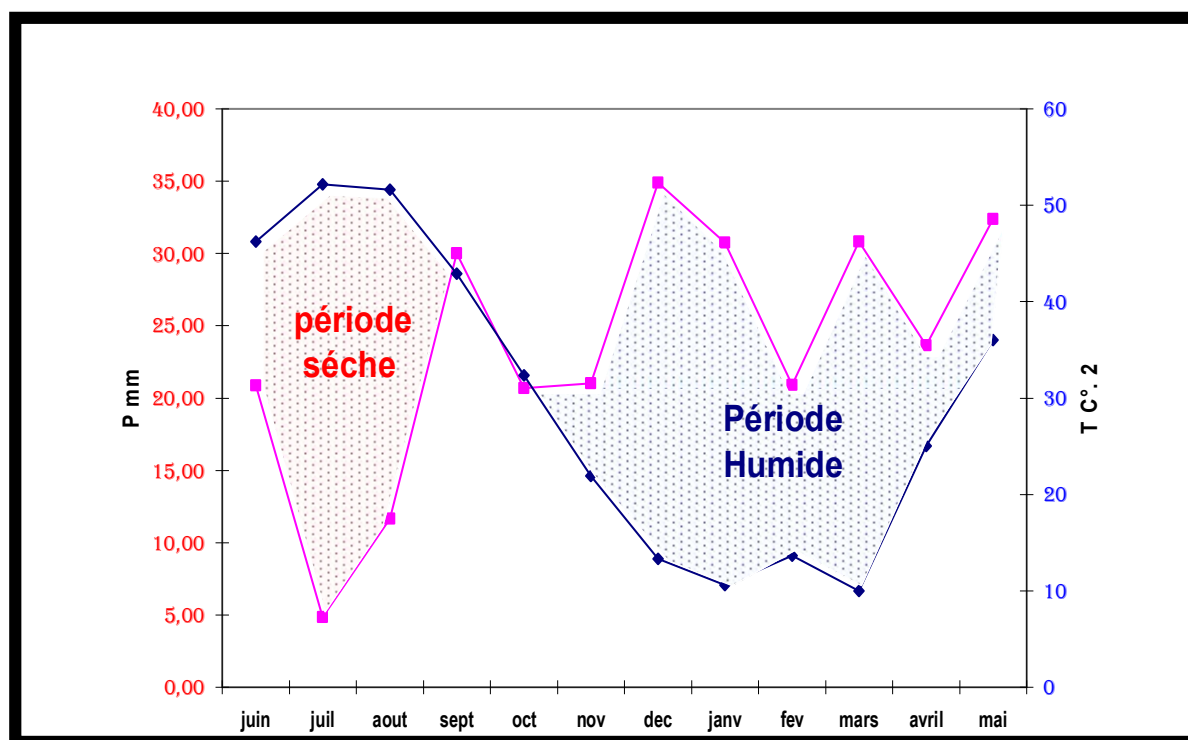


Figure N°19 : diagramme Ombrothermique de H.GausSEN et F.Begaouls

3-2- Méthode d'EUVERT (humidité du sol) :

Le rapport P / T établi mensuellement, permet de connaître l'évolution de l'humidité du sol. Il permet également de définir trois (03) types de régime :

- a- Régime très sec où le rapport P/T est inférieur à 1.
- b- Régime sec où le rapport P/T est compris entre 1 et 2.
- c- Régime humide où le rapport P/T est supérieur à 3.

Selon le tableau ci-dessous, il en ressort que la période sèche s'étale d'Avril à Novembre.

Ce résultat est plus proche de celui déterminé par GAUSSEN et BAGNOULS.

Tableau N°8 : Humidité du Sol

Mois	S	O	N	D	J	F	MR	AV	M	JN	JL	A	ANN
P mm	30.0	20.7	21.0	34.9	30.7	20.9	30.8	23.7	32.42	20.9	4.9	11.7	282.5
T C°	21.4	16.1	10.7	6.67	5.31	6.83	9.44	12.52	18.01	23.11	26.09	25.82	15.2
P T	1.40	1.28	1.96	5.23	5.8	3.06	3.26	1.89	1.79	1.01	0.18	0.45	/
SEC				HUMIDE				SEC			T. SEC		

3-3- Calcul l'évapotranspiration et le déficit d'écoulement :

L'évapotranspiration est la somme de toutes les pertes par transpiration de l'eau en vapeur, résultante de deux phénomènes : l'un est physique c'est l'évaporation et l'autre est biologique c'est la transpiration. L'ETR est toujours inférieure ou égale à l'ETP.

Plusieurs méthodes peuvent être mises en œuvre :

a-Méthode de Turc :

Cette formule est applicable à tous les climats, elle donne l'ETR par des précipitations et des températures moyennes annuelles, et s'exprime comme suit :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + p^2 / L^2}}$$

P : Précipitations moyennes annuelles (282.53 mm).

T : Température moyenne annuelle (15.20 C°).

L : paramètre dépend de la température.

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

$$ETR = 282.53 \text{ mm/an}$$

b-Formule de Coutagne :

Coutagne a établi une relation permettant de calculer le déficit d'écoulement ; elle fait intervenir les précipitations moyennes annuelles et les températures moyennes annuelles. Et s'écrit :

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

D : Déficit d'écoulement Annuel.

P : Précipitations moyennes annuelles.

T : Températures moyennes annuelles.

$$\lambda = 1 / 0.8 + 0.14 T.$$

Cette formule n'est applicable que lorsque : $1 / 8\lambda \leq P \leq 1 / 2\lambda$.

Le calcul à partir de l'équation précédente a donné $\lambda = 0.34$

Donc $0.36 \leq P \leq 1.74$, la formule est applicable :

$$ETR = D = 0.28253 \text{ m} - 0.0238 \text{ m}$$

ETR = 0.258 m, donc:

$$ETR = 258 \text{ mm /an soit } 91.32 \% \text{ des précipitations}$$

c-Méthode de VERDEIL :

Comme WUND, VERDEIL propose un abaque permettant de calculer le déficit d'écoulement tel que :

$$ETR = 273 \text{ mm/an}$$

d-Méthode de THORNTHWAITE :

L'ETP selon G.W. THORNTHWAITE, représente la quantité d'eau qui sera évaporée, transpirée, si la réserve en eau était suffisante pour compenser les apports maximaux.

Pour calculer l'ETP, on a utilisé les données de la station d'AIN SKHOUNA pendant la période 1984 - 2012.

Partant d'expériences réalisées sur divers climats semi humides et semi arides, Thornthwaite propose la détermination de l'évapotranspiration potentielle (ETP) comme suit :

$$ETP \text{ mm} = 16 (10. t / I)^a$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad \text{ou, } i = (t / 5)^{1.514} \quad \text{et} \quad a = 0.016 \cdot I + 0.5.$$

On a calculé pour chaque mois l'indice i et on a pu tracer le tableau suivant :

TableauN°9: Indice mensuel (i):

MOIS	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AV	MAI	JUIN	JUIL	AOÛ
P(mm)	30.0	20.7	21.0	34.9	30.7	20.9	30.8	23.7	32.42	20.9	4.9	11.7
T (C°)	21.4	16.1	10.7	6.67	5.31	6.83	9.44	12.5	18.01	23.11	26.09	25.82
i	9.03	5.92	3.29	1.55	1.09	1.59	2.60	4.00	6.95	10.4	12.0	11.9

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad \rightarrow \quad I = 70.35$$

$$a = 0.016 \cdot I + 0.5 \quad \rightarrow \quad a = 1.6$$

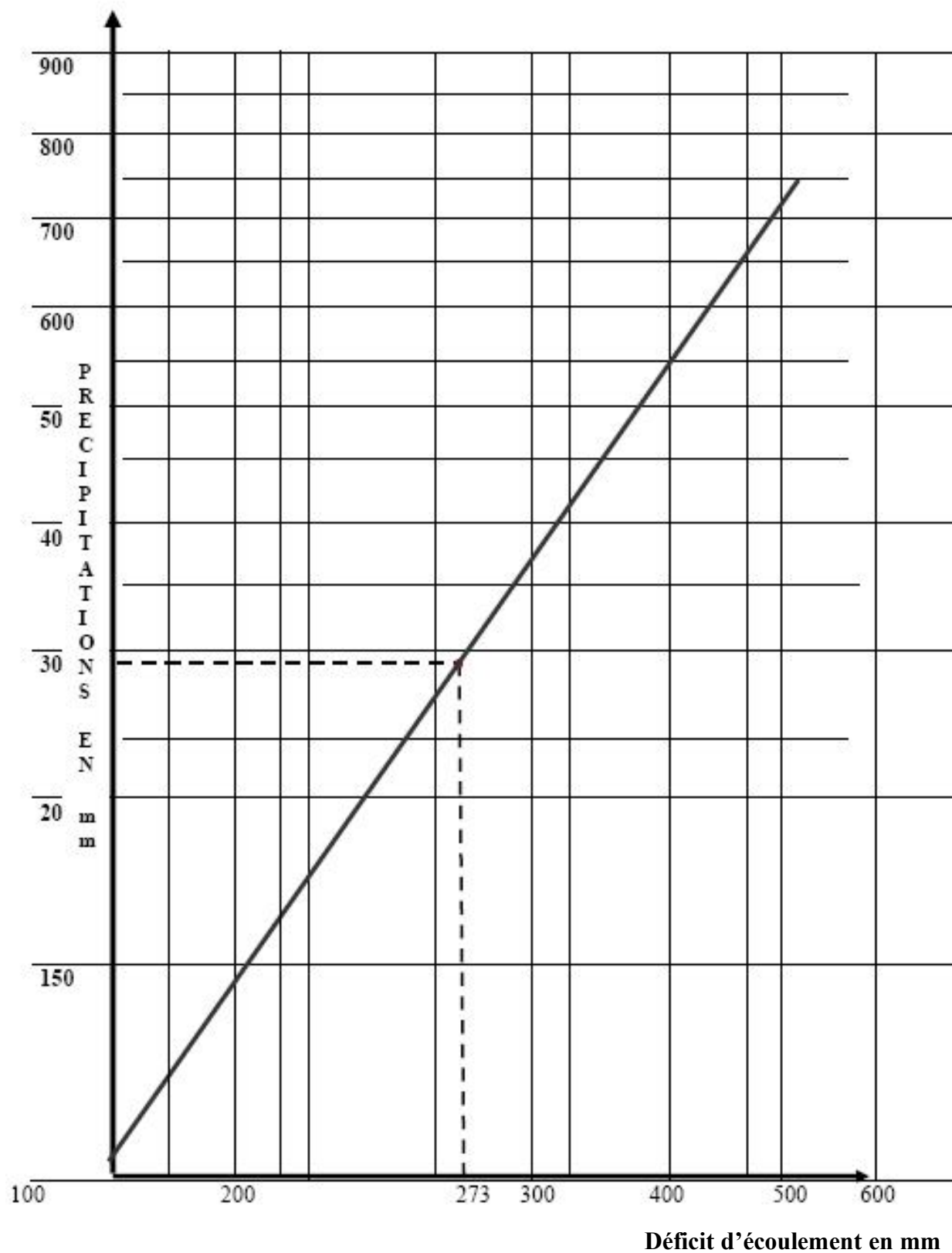


Figure N°20 : Abaque pour le calcul du déficit d'écoulement en Algérie.

3-4- L'évapotranspiration réelle ou ETR :

C'est la quantité d'eau évaporée ou transpiré réellement, soit par le sol, soit par les surfaces libres, soit par la végétation dans les conditions naturelles.

Lorsque les précipitations sont supérieures à l'ETP, l'évapotranspiration réelle (ETR) serait égale à l'ETP.

Le surplus d'eau disponible sera emmagasiné dans le sol jusqu'à ce que soit atteinte la capacité de rétention .Au delà il y aura un excédent.

Lorsque les précipitations sont inférieures à l'ETP, deux cas peuvent se présenter :

- aussi longtemps que le réserve utile (RFU) sera capable de combler la différence entre les précipitations et ETP, l'ETR sera égale a l'ETP.
- au delà l'ETR sera égale à P, il y aura apparition du déficit agricole (DA).

D'après tornthwaite le bilan hydrologique mensuel peut être établi avec l'intégration des P et ETP pour estimer les paramètres suivants :

- l'évapotranspiration réelle ETR.
- la réserve facilement utilisable RFU. Dans le cas de notre zone d'étude on considère une RFU de l'ordre de 50 mm.
- le déficit agricole DA.
- l'excédent (water surplus) EX.

L'application numérique a donné → **ETP = 557.3 mm**

Tableau N° 10 : Bilan Hydrique (C.W.Thornthwaite) (1984-2012)

Mois	Dec.	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Ann.
P (mm)	34.85	30.74	20.92	30.82	23.65	32.37	20.88	4.86	11.66	30.02	20.69	21.02	282.53
T (C°)	6.67	5.31	6.83	9.44	12.52	18.01	23.11	26.09	25.82	21.44	16.19	10.95	15.20
I	1.55	1.10	1.61	2.62	4.02	6.97	10.17	12.22	12.03	9.08	5.93	3.28	/
ETP (mm)	14.61	10.07	15.19	25.73	40.70	73.60	110.53	134.70	132.41	97.84	61.89	32.74	750.00
P-ETP	20.24	20.67	5.74	5.10	17.05	41.33	89.64	129.83	120.75	67.82	41.20	11.72	/
RFU	20.24	40.91	46.65	51.75	12.95	0	0	0	0	0	0	0	172.5
ETR	14.61	10.07	15.19	25.73	40.70	45.32	20.88	4.86	11.66	30.02	20.69	21.02	260.75
DA(mm)	/	/	/	/	/	28.28	89.65	129.84	120.75	67.82	41.20	11.72	489.26
EX (mm)	/	10.91	16.65	21.75	/	/	/	/	/	/	/	/	49.31

- **Interprétation des résultats fournis par le tableau de CW.Thornthwaite:**

Nous constatons qu'à partir du mois de Décembre les précipitations sont supérieures à l'ETP.

La RFU atteint son maximum aux mois de Février et Mars avec un excédent de 49.31 mm durant toute l'année.

A partir du mois de Mai nous enregistrons un déficit agricole de 28.28mm et qui atteint son maximum en Juillet avec 129.84mm. L'ETR est égale à 260.75mm.

En fin le déficit est de 489.26mm, montre une période sèche qui commence au mois de Mai et se poursuit jusqu'au mois de Novembre.

3-5- Calcul du ruissellement (R) et de l'infiltration (I) :

En 1961, M.T. TIXERON et BERKALOFF ont donné une relation permettant de calculer le ruissellement à partir des précipitations moyennes annuelles et de l'évapotranspiration potentielle calculée selon la méthode de TORNTHTWAITE :

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

R : Ruissellement en mm.

P : Précipitations Moyennes Mensuelles. (282.53 mm).

ETP : Evapotranspiration Potentielle en mm (750.00 mm).

L'application numérique de cette formule a donné : **R = 13.49 mm**

La valeur du ruissellement est de l'ordre de 13.49 mm, ce qui correspond à 4.77 % des précipitations moyennes annuelles.

3-6- Essai du bilan hydrologique :

L'équation représentative du bilan peut s'annoncer sous la forme suivante :

$$P = D + R + I$$

P : Précipitations Moyennes Mensuelles.

D : déficit d'écoulement.

R : Ruissellement de surface.

I : Infiltration.

Selon la valeur des différents éléments du bilan, l'infiltration est calculée comme suit :

$$I = P - D - R$$

$$I = 0.28253 \text{ m} - 0.26075 \text{ m} - 0.1347 \text{ m} = 0.829 \text{ m} = 8.29 \text{ mm}$$

Tableau N° 11 : Les différentes valeurs de l'évapotranspiration ETR et du Ruissellement

MÉTHODES	PRÉCIPITATION P MM	DÉFICIT D'ÉCOULEMENT	RUISSELLEMENT R MM	INFILTRATION I
TORNTHWAITE	282.53	260.75 soit 94.87 %	13.49 soit 4.77 %	8.29 soit 2.93 %
TURC	282.53	282.53 soit 100 %	R + I = 0	
COUTAGNE	282.53	258 soit 91.32 %	R + I = 24.53	
VERDEIL	282.53	273 soit 96.63 %	R + I 9.53	

Conclusion:

Au terme de ce chapitre, il apparaît que la région d'étude est caractérisée par un climat semi-aride avec un hiver froid et un été sec.

- Les précipitations moyennes annuelles dans la région de BIR CHOUHADA, SOUK NAAMANE et OULED ZOUAI sont de l'ordre de **282.53 mm**. On a observé une irrégularité intermensuelle des précipitations.

Le mois le plus pluvieux est décembre avec 34.9 mm. Le mois le plus sec est juillet avec 4.9 mm.

- La température moyenne annuelle est de l'ordre de **15.20 C°** avec une basse température en hiver de 5.3 C° (janvier) et une forte température de l'ordre de 26.10 C° (le mois de Juillet) en été. L'évapotranspiration réelle calculée par la méthode de Thornthwaite est de l'ordre de **260.75 mm**, soit un pourcentage de 92.26 % des précipitations.
- Le déficit des précipitations pour satisfaire l'ETP serait de **489.26 mm**, reparti de mai à novembre fixant ainsi une idée sur la période d'irrigation nécessaire aux cultures.
- La lame d'eau ruisselée, est de l'ordre de **13.49 mm**, soit 4.77 % des précipitations moyennes annuelles.
- L'infiltration calculée est trop faible soit 8.29 mm, due probablement à la nature des terrains et à l'évaporation dans l'ensemble de la région.

Généralement, la zone d'étude est caractérisée par un climat semi - aride avec une période sèche qui débute à la fin mai jusqu'à octobre.

CHAPITRE III

Caractérisation hydrochimique des eaux de l'aquifère

Moi-Plio Quaternaire d'Oum El-Bouaghi

Introduction :

Le chapitre consacré à l'hydrochimie, nous permet de comprendre les mécanismes qui régissent la qualité des eaux de la région. Il nous permet également de se faire une idée sur les origines du chimisme des eaux de la zone d'étude.

Dans la haute plaine de Bir Chouhada, Souk Naamane et Ouled Zouai, la chimie des eaux souterraines est conditionnée soit par les formations géologiques traversées, soit par les incidences anthropiques.

1- Hydrochimie de la plaine de Souk Naamane ,Bir Chouhada et Ouled Zouai:

Pour réaliser notre travail 56 prélèvement d'analyses chimiques ont été réalisés. Additivement aux éléments classiques à savoir Ca, Mg, Na, K, Cl, SO₄, HCO₃, NO₃, NO₂, NH₄.

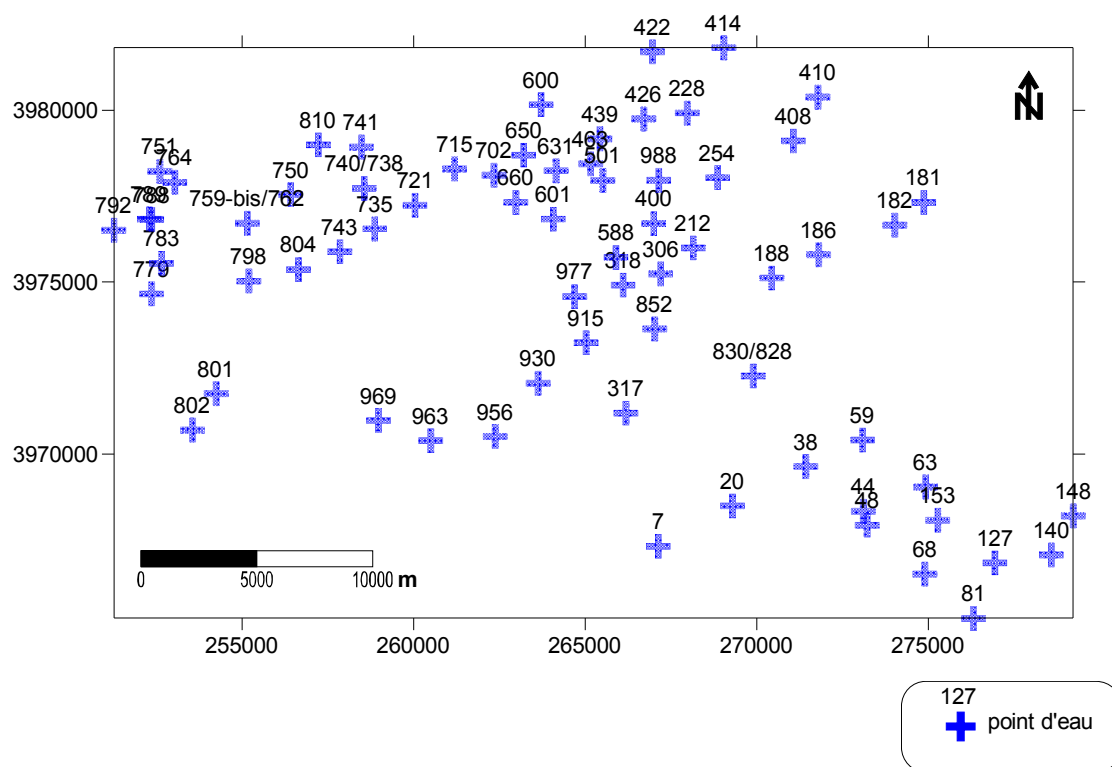


Figure N°21 : la carte de la répartition des points d'eau qui effectués les prélèvements

1-1- Carte de conductivité électrique et résidu-sec :

L'examen de ces cartes montre que les valeurs très élevées de la conductivité électrique (600-11200 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et du résidu sec (510-5944 mg/l). Ces paramètres augmentent généralement de l'Ouest vers l'Est notamment dans la région d'Ouled Zouai autour de Sebkhate Zemoul et du Chott Tinsilt.

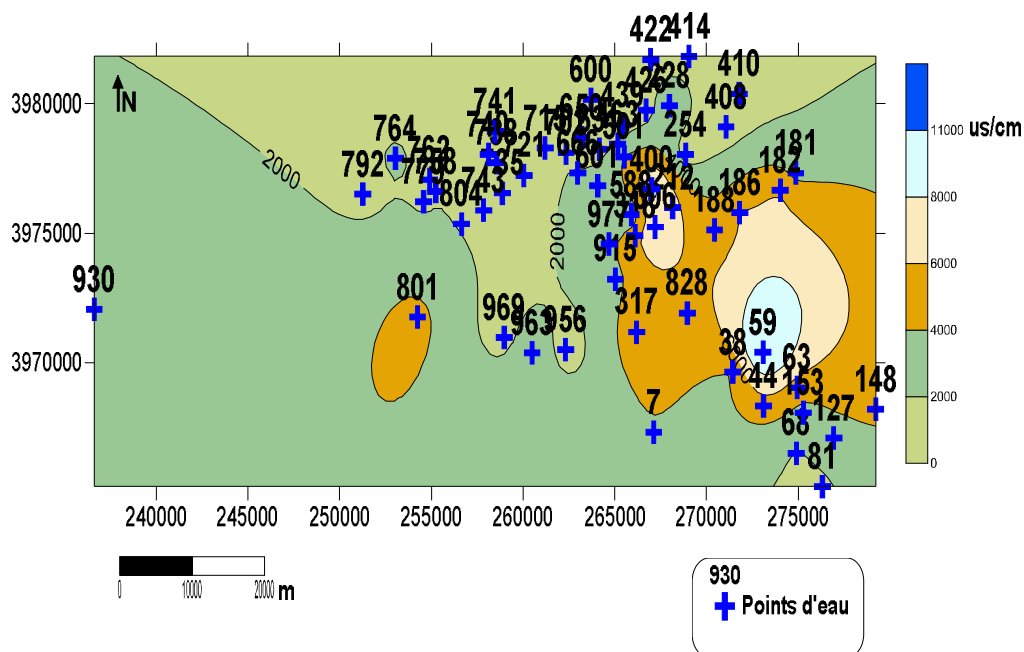


Figure N°22 : carte de conductivité électrique de la région d'étude 2010

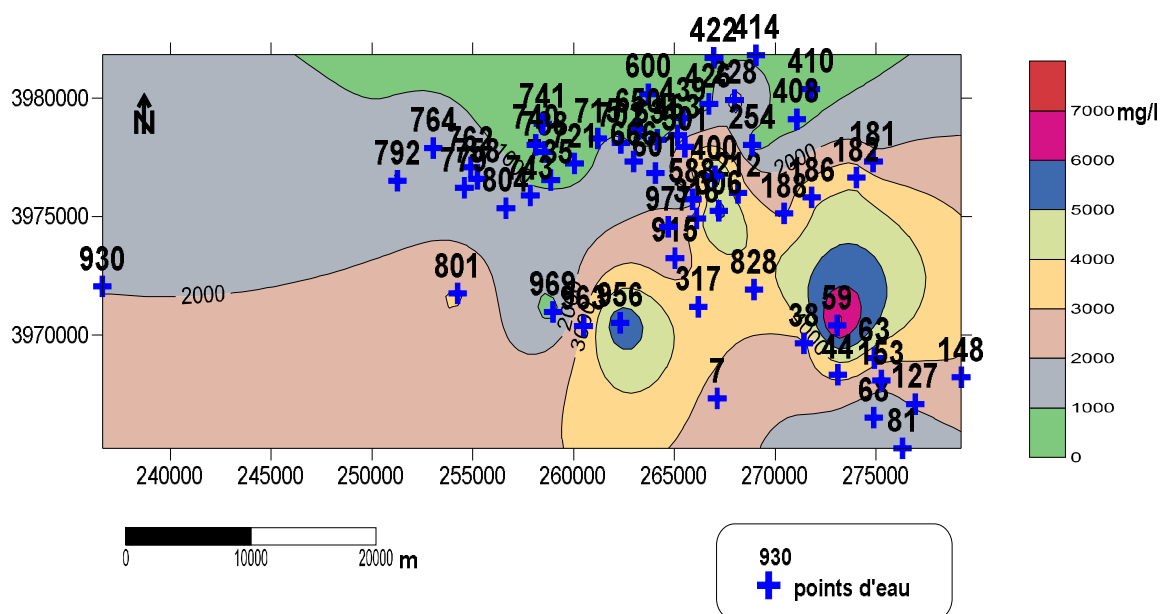


Figure N° 23: carte de résidu sec de la région d'étude 2010

1-2- Carte de calcium Ca^{+2} :

L'examen de la carte de calcium montre que les teneurs de calcium varient entre 64 mg/l (puits 930) à 936 mg/l (puits 735) ; ou les faibles teneurs observées dans la partie ouest de la région variant entre 64 à 300 mg/l, dans la partie centrale et Est les valeurs dépassent 800 mg/l.

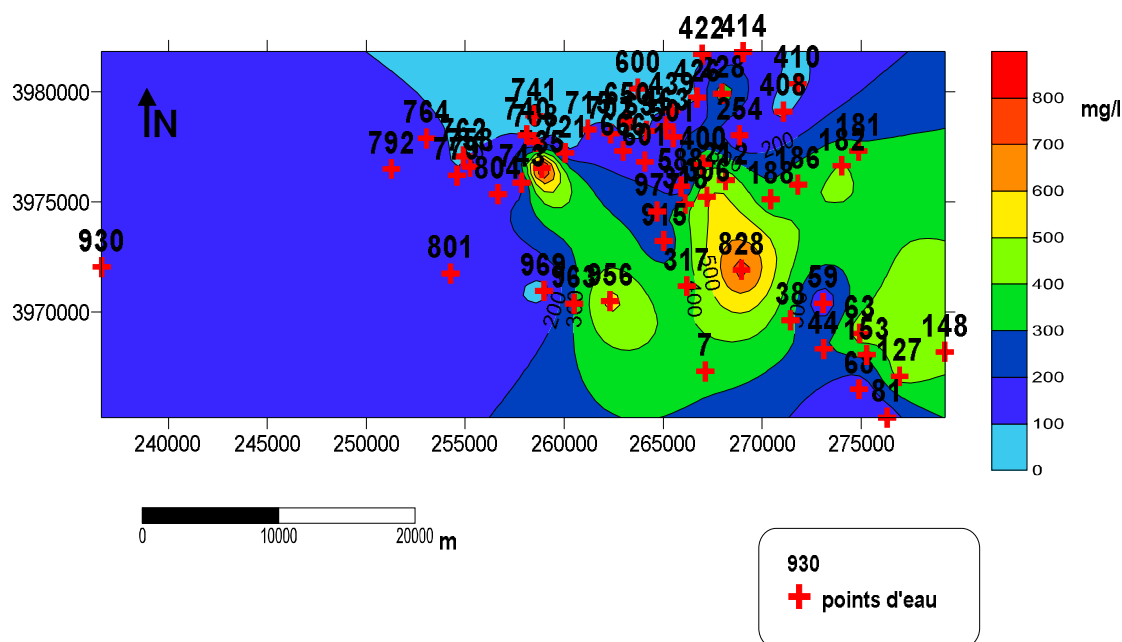


Figure N°24 : carte de calcium (mg/l) de la région d'étude 2010

1-3- Carte de Magnésium Mg^{+2} :

La carte du magnésium montre que les valeurs faibles s'observent au ouest ; alors que les valeurs du secteur central varient entre 50 à 110 mg/l. Dans la partie Est et centre (près des chotts) les concentrations en Mg dépasse 200 mg/l.

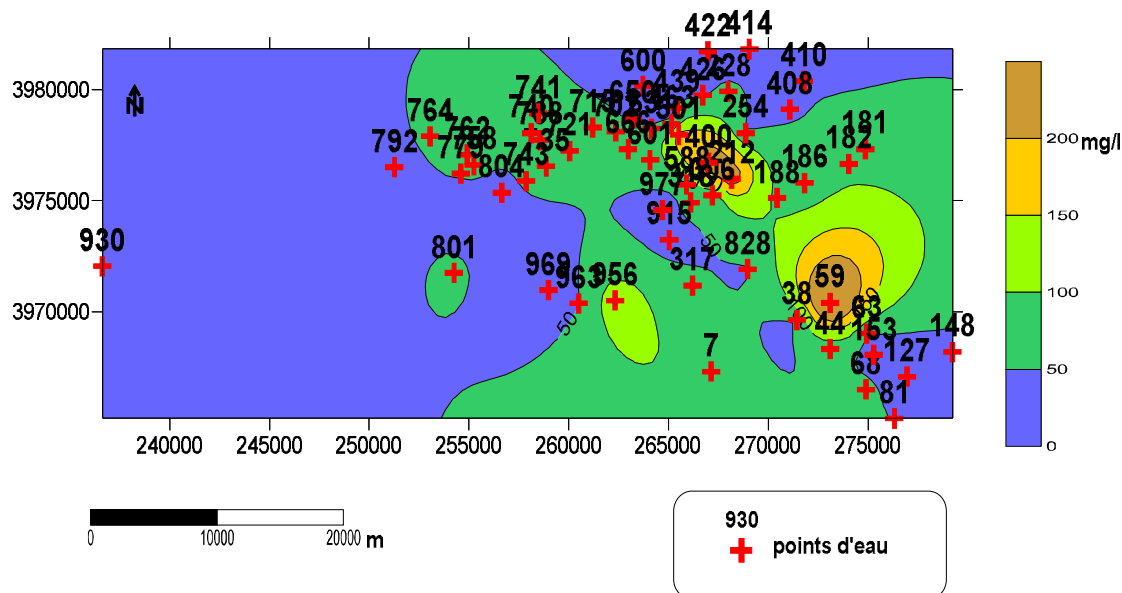


Figure N°25 : carte de magnésium (mg/l) de la région d'étude 2010

1-4- Carte de Chlorures :

La lecture de la carte fait ressortir 03 zones bien distinctes :

Dans la zone nord-ouest les concentrations sont relativement faibles 75-500 mg/l

Dans la zone centrale les valeurs sont inférieures à 1500 mg/l.

Dans la zone Est près de deux chotts les concentrations sont très élevées ou dépassent 1500 mg/l (puits 44 et 356).

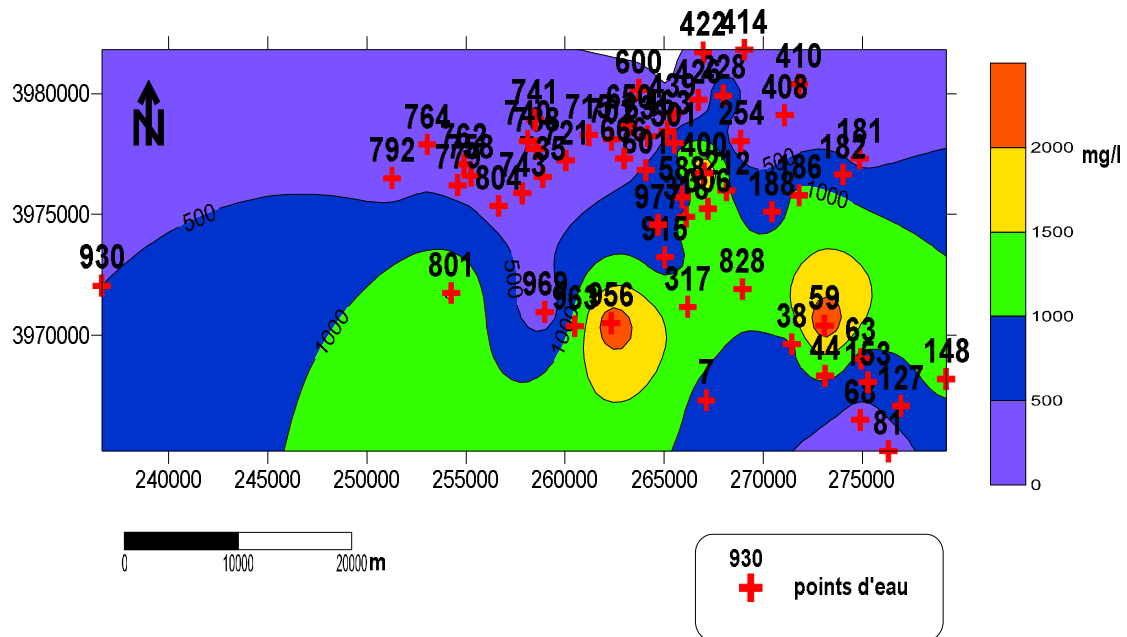


Figure N°26 : carte de chlorures (mg/l) de la région d'étude 2010

1-5- Carte de sodium Na^+ :

La carte de sodium montre 03 zones :

Au nord de la région d'étude on observe que les valeurs relativement faibles et varient de 0 à 400 mg/l.

Au sud les valeurs varient entre 400 mg/l et 800 mg/l.

Près des chotts au niveau de l'Est de la région d'étude les teneurs sont supérieures à 800 mg/l.

1-6- Carte de sulfate SO_4^{-2} :

Les résultats d'analyses chimiques donnent des valeurs variant entre 50 et 2200 mg/l.

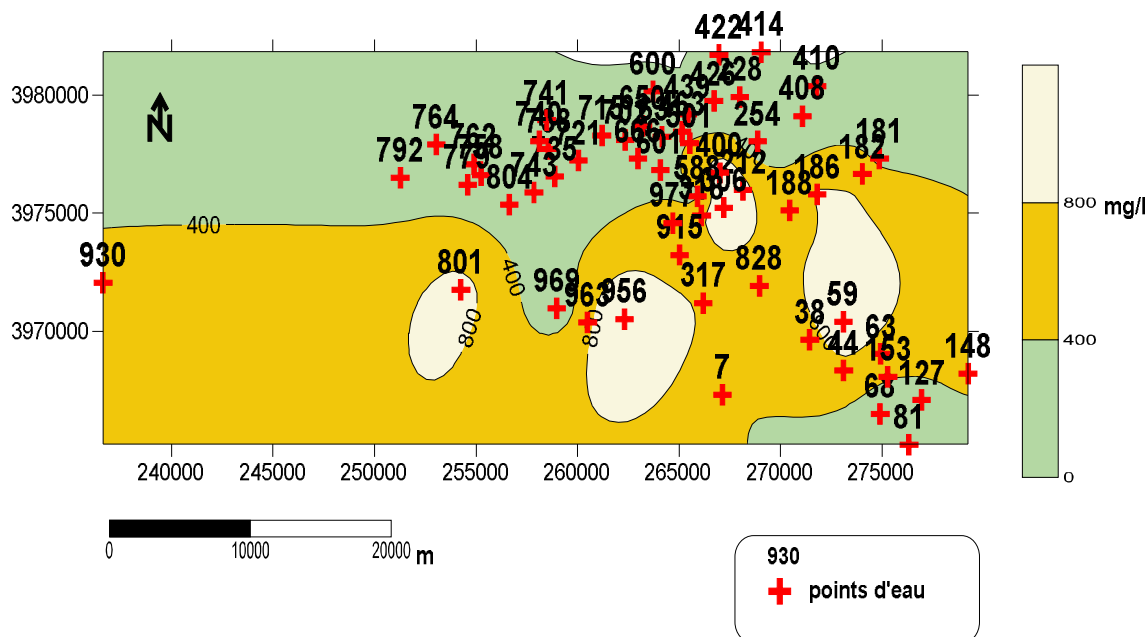
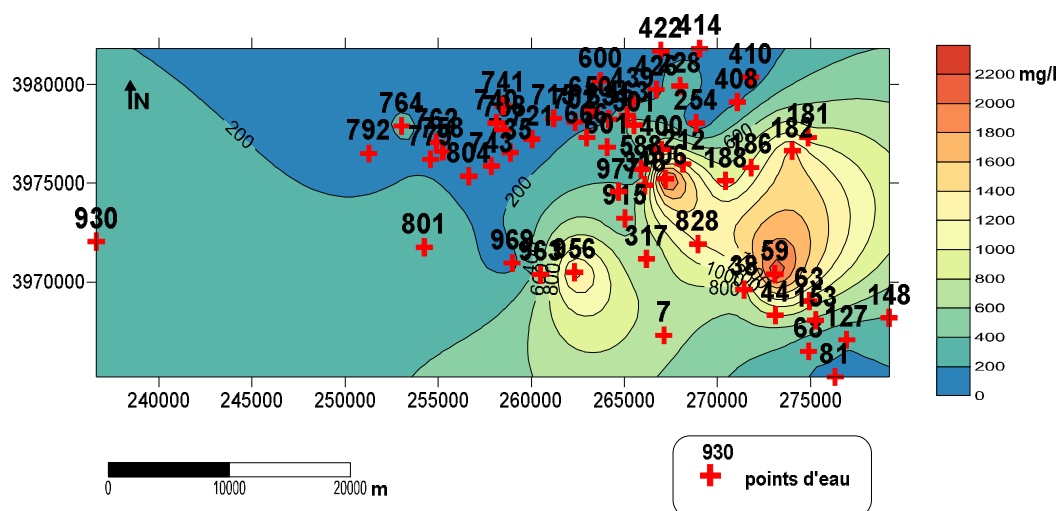


Figure N°27 : carte de sodium (mg/l) de la région d'étude 2010

Figure N° 28: carte desulfate SO_4^{2-} (mg/l) de la région d'étude 2010

1-7- Carte de pH :

L'examen de la carte de pH montre que les faibles valeurs s'observent au nord (puits 600) de la région par contre les valeurs élevées se situent au centre (puits 7) de la région.

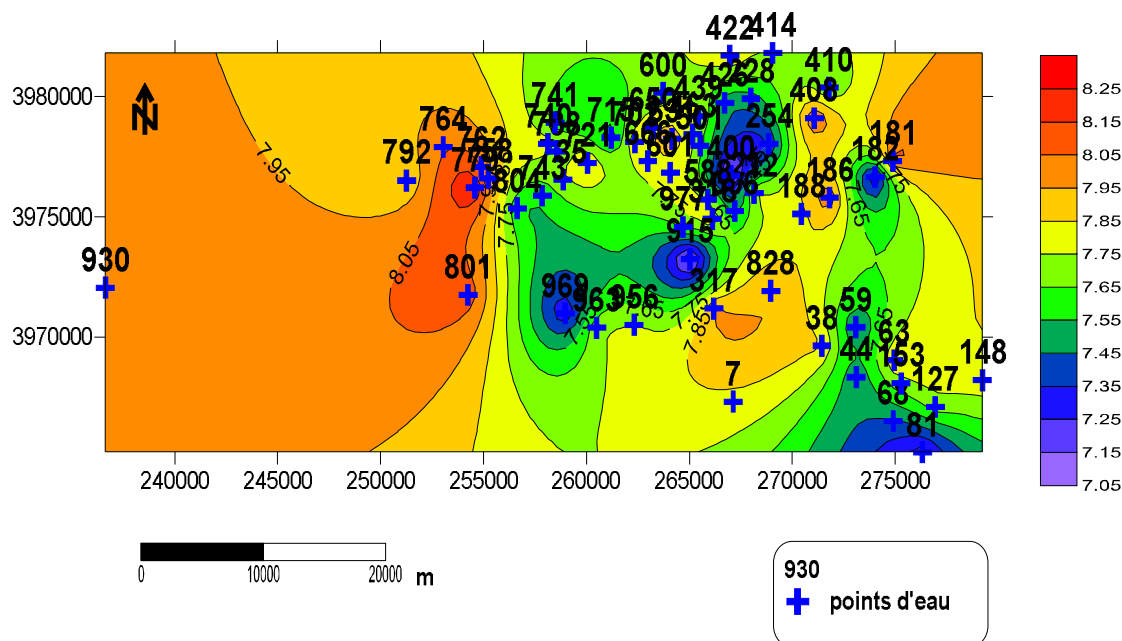


Figure N° 29: carte de pH de la région d'étude 2010

2-Etudes les rapports caractéristiques et l'origine des éléments chimique :

Dans une première étape nous allons essayer de mettre en évidence les liens qui semblent exister entre les éléments chimiques. La deuxième étape sera consacrée à l'explication de l'origine de ces relations.

2-1- Couple de Cl^- et Mg^{+2} :

Les points présentent une tendance à l'alignement, ce qui peut indiquer une origine commune des deux éléments, vraisemblablement une dissolution de l'Halite.

2-2- Le couple Na^+ et Cl^- :

L'alignement des points indique une bonne relation entre le sodium et les chlorures. Seuls quelques points ne suivent pas cette tendance.

2-3- Le couple Cl^- -TDS :

L'alignement des points indique une bonne relation entre la TDS et les chlorures.

2-4- Le couple SO_4^{2-} – TDS :

L'allure générale montre un alignement des points, cependant beaucoup de points se démarquent montrant un excès de TDS ce qui permet de dire que TDS ne dépend pas des sulfates uniquement.

2-5- Le couple SO_4^{2-} – Cl^- :

L'alignement des points n'est pas toujours évident. Ce graphe caractérise un excès en chlorures par rapport aux sulfates. La première famille est valable quand les chlorures

présentent des concentrations inférieures à 15 meq/l. Au-delà il y a présence des chlorures d'où l'absence d'une relation significative.

2-6- Le couple Ca^{+2} - Na^{+} :

Les échantillons ne s'alignent pas suivant la droite, ce qui implique deux origines différentes des deux éléments. Les points s'écartant de la droite mettent en évidence soit un excès de calcium soit un excès de sodium.

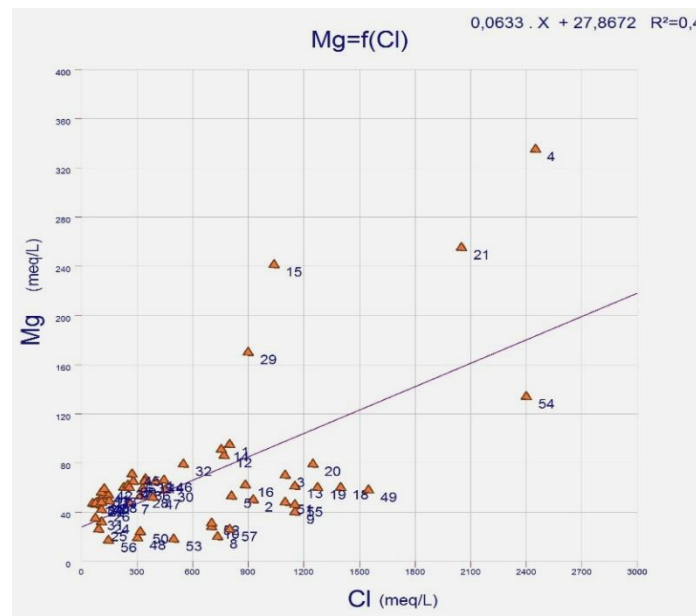


Figure N°30 : couple de Cl^- et Mg^{+2}

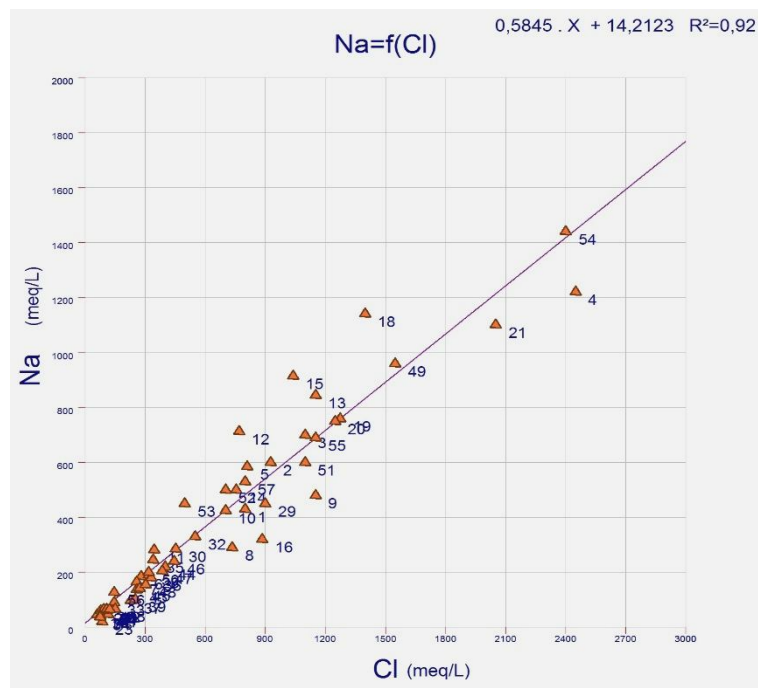


Figure N° 31: couple de Cl^- et Na^{+}

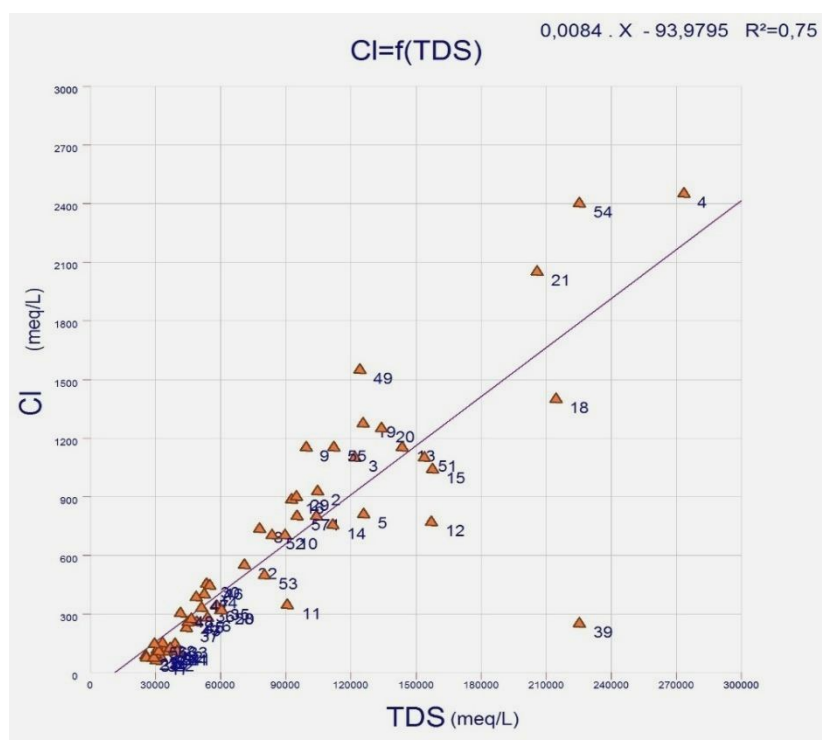
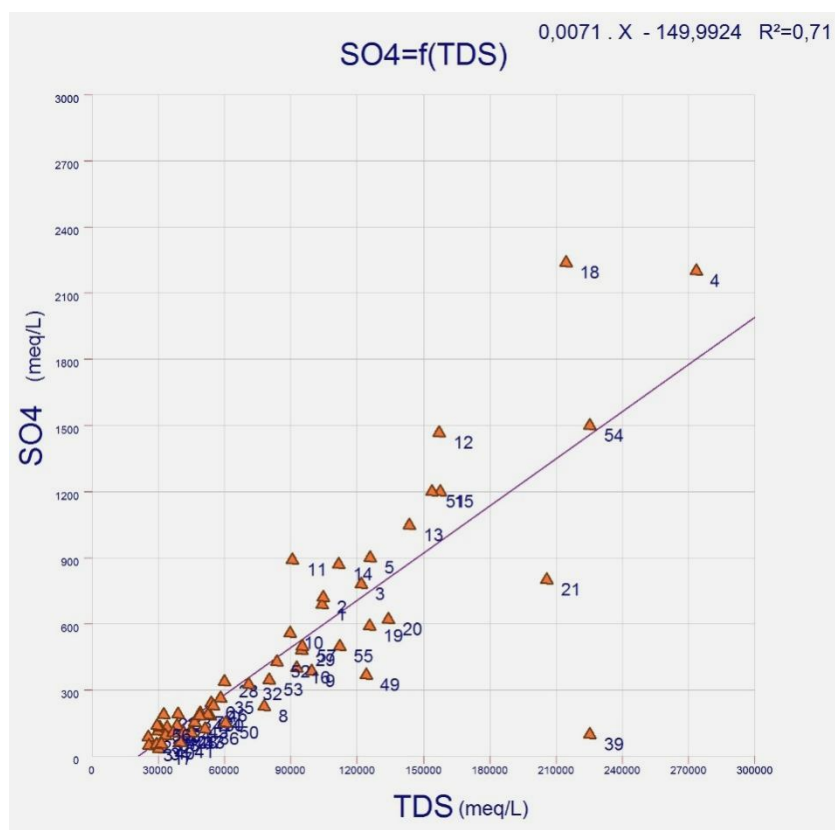
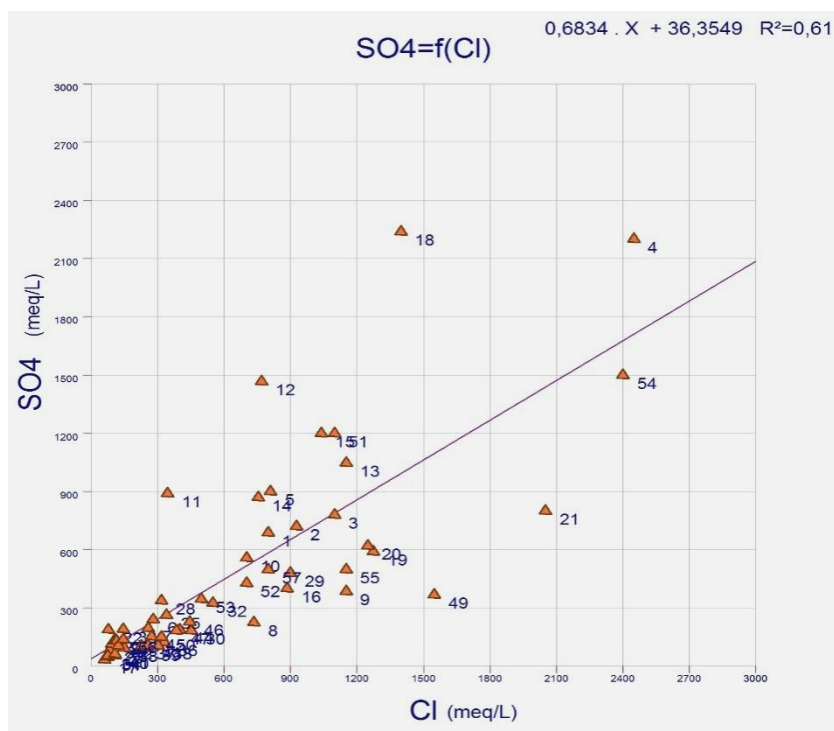
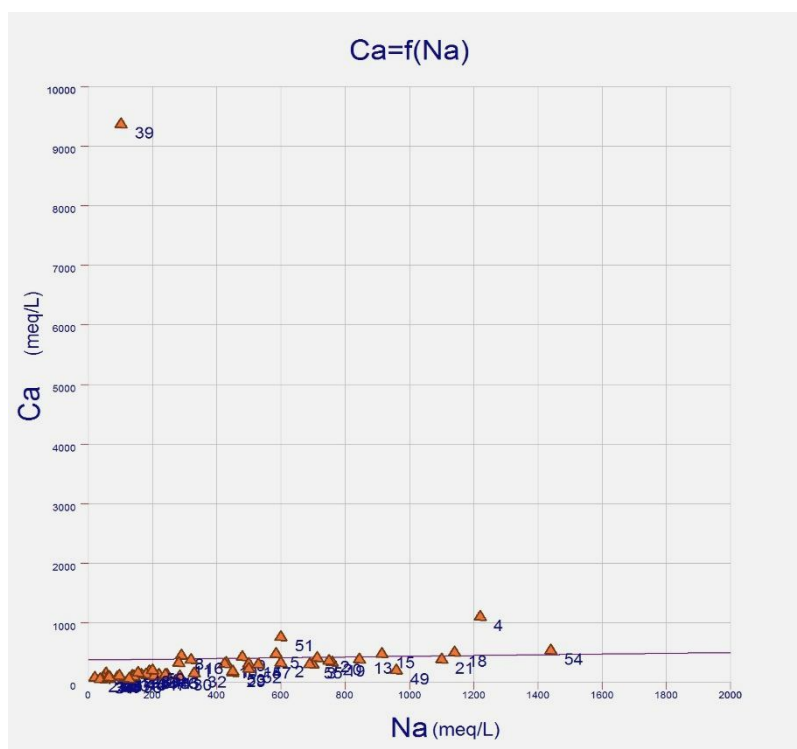


Figure N°32:Le couple Cl-TDS

Figure N°:Le couple SO_4^{-2} -TDS

Figure N° 33: Le couple SO₄⁻²-Cl⁻Figure N°34 : Le couple Na⁺ - Ca⁺²

3-Détermination des faciès chimique :

Les analyses chimiques ont portées sur les éléments de : Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- , NO_3^- , Ca^{+2} , Na^+ , K^+ , ont été effectuées en différent point (Fig.) pendant la période Mars 2010.

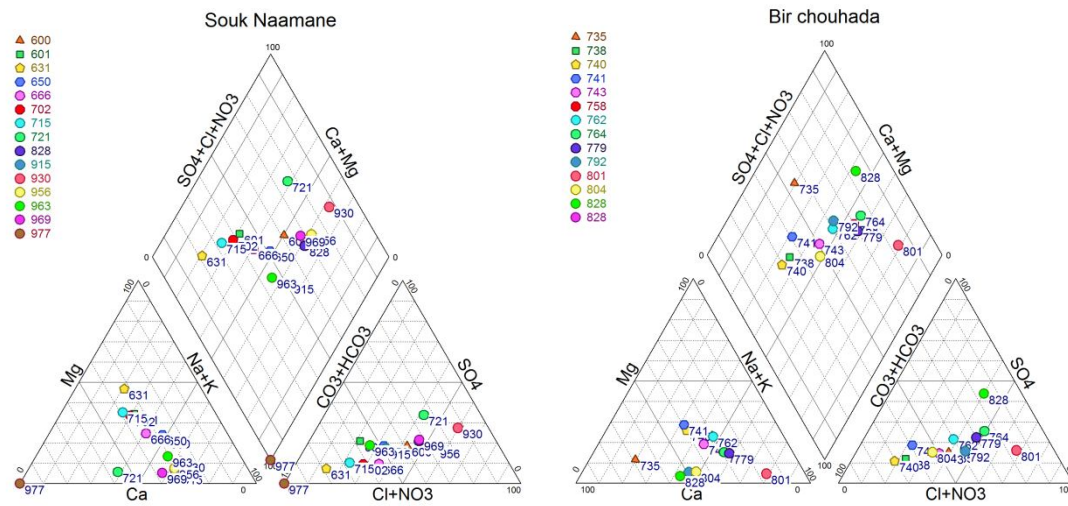


Figure N°35 : Diagramme de piper de l'aquifère Moi-Plio Quaternaire 2010

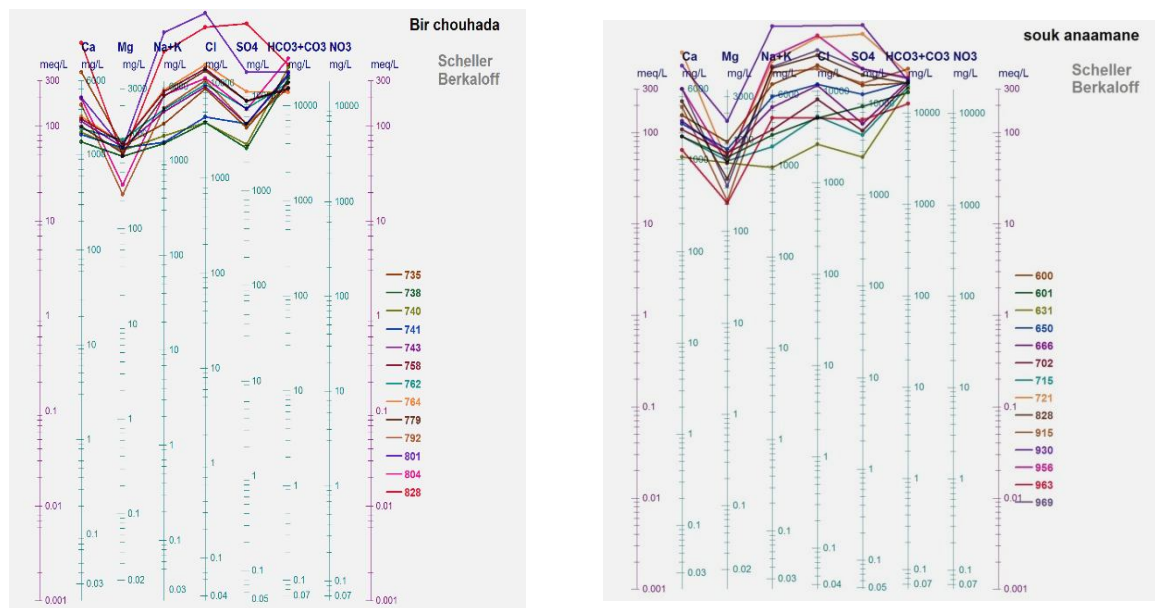


Figure N°36 : Diagramme de Scholer de l'aquifère Moi-Plio Quaternaire 2010

Le diagramme de piper montre deux ensembles de points :

- L'un chloruré sodique avec un pourcentage de 54.38% qui caractérise généralement des eaux salées, avec une conductivité supérieur à $2000\mu\text{S}/\text{cm}$ et l'autre chloruré calcique avec un pourcentage de 15.78% remarquable au centre de la plaine (à l'Est et à l'Ouest de

Souk Naamane) et dans la région d'OuledZouai de part et d'autre du Djebel Tarbent, la conductivité est généralement inférieure à 2000 μ S/cm.

- Et l'autre bicarbonaté calcique avec un pourcentage 12.31% et magnésien de pourcentage 10.52% apparaît surtout près des reliefs crétacés au Nord de Souk Naamane suggérant une alimentation de la nappe par des eaux provenant des terrains carbonatés du Crétacé inférieur. Ce même faciès caractérise également les eaux captées par les forages profonds réalisés dans les horsts à l'Est de BirChouhada, où l'aquifère carbonaté est accessibles à de faibles profondeurs.

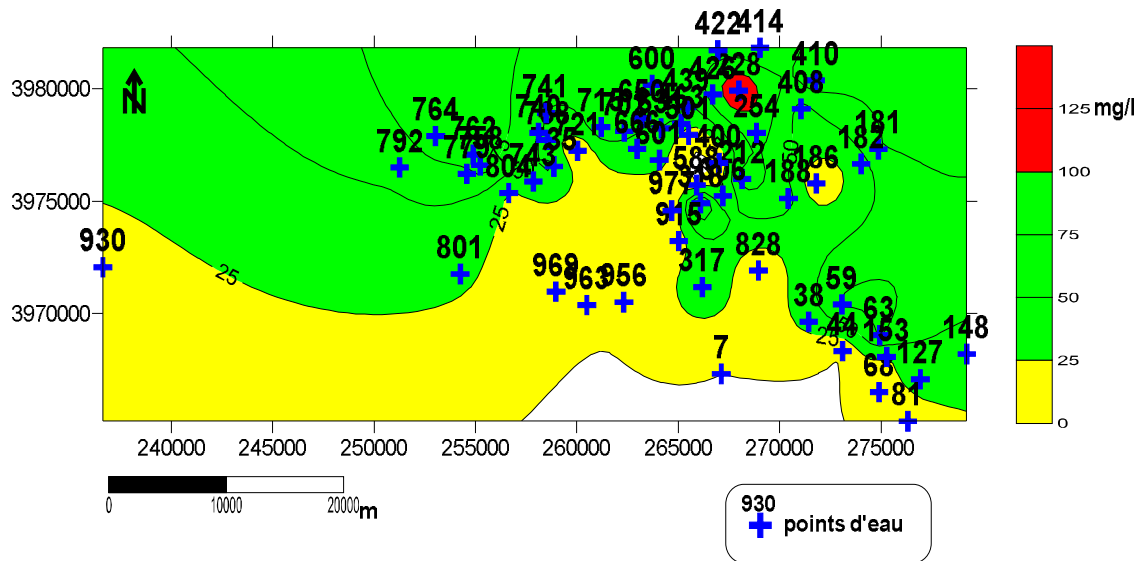
4- Paramètre de pollution :

Le développement agricole entraîne souvent une pollution rapide des eaux souterraines par les formes chimiques de l'Azote, surtout celle des nitrates, en raison de leur grande solubilité aux échanges ioniques. Les autres formes chimiques de l'Azote (nitrites et ammonium) apparaissent seulement dans des conditions réductrices.

L'azote est présent au niveau de la zone d'étude sous trois formes chimiques (nitrates, nitrites et ammonium).

Les nitrates (NO_3^-) :

représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble. Sa présence dans les eaux souterraines est liée à l'utilisation intensive des engrais chimiques. Les valeurs dosées oscillent entre 0 et 135 mg/l et la valeur moyenne correspond à 43mg/l. les teneurs qui dépassent 50mg/l (seuil admissible selon les normes OMS) sont observées au Nord de Souk Nammane, dans la plaine cernée entre les reliefs de Djebel Hamouda et au Nord –Ouest de Bir Chouhada, où on a observé une intense activité agricole. Toutefois, les eaux de la nappe profonde captée par des forages profonds dans le horst de Djebel Amsid, ne sont pas affectées par cette pollution. Dans la région d'Ouled Zouai, les teneurs en nitrates sont pour la majorité des points analysés inférieurs à la norme admissible. Au voisinage de la commune de Souk Nammane, les eaux prélevées dans les puits domestiques sont par contre polluées par ces éléments. La présence de fosses septiques et l'assainissement rudimentaire qui caractérise cette localité en seraient les causes principales.

Figure N° 37: Carte de NO_3^- de la région d'étude 2010

5- Détermination de la qualité d'eau pour l'irrigation :

Pour mieux connaître l'aptitude des eaux à l'irrigation, on a calculé la quantité de sodium adsorbé (SAR) par l'équation suivante :

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

Les concentrations de Na^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} sont exprimées en meq/l. Le SAR de chaque point d'eau est reporté sur le diagramme de Wilcox en fonction de sa conductivité électrique. Ce diagramme montre que la majorité des points d'eau présente une salinité forte.

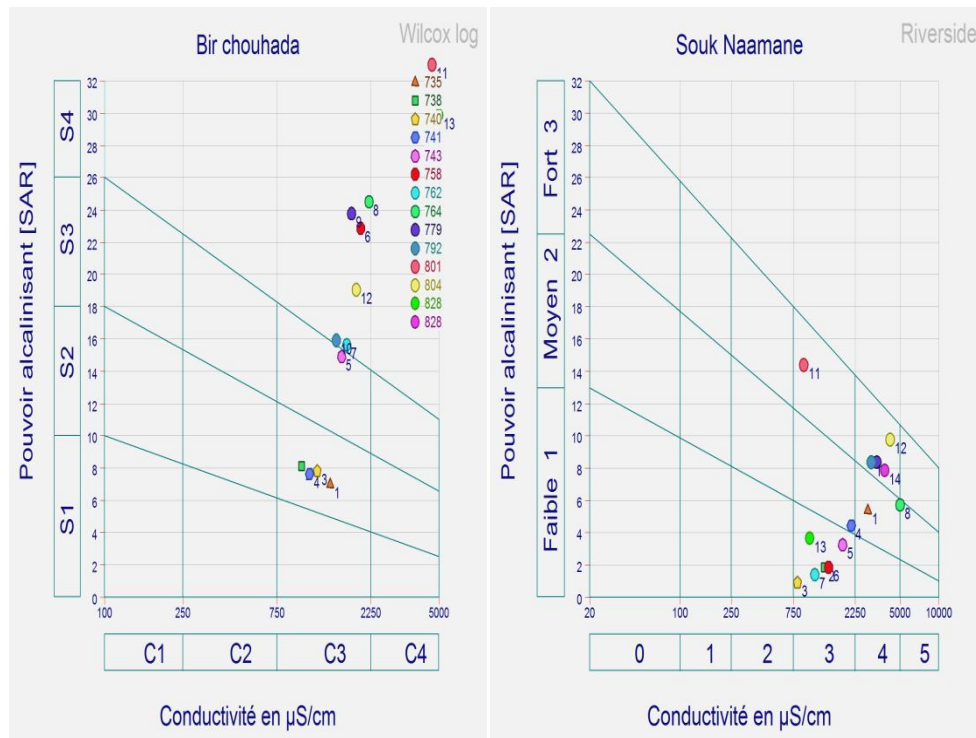


Figure N°38 :Classification des eaux d'irrigation (méthode de SAR) 2010

Tableau N°12 :paramétré de qualité d'eau pour l'irrigation

Nom de point l'eau	SAR	Na%	EPS
735	18.09	11.96	20.27
738	24.03	26.46	25.48
740	22.88	24.52	24.52
741	22.56	23.44	24.25
743	42.45	34.01	38.02
758	65.34	43.42	48.75
762	46.58	36.97	40.28
764	69.70	44.20	50.38
779	67.78	46.66	49.68
792	40.60	31.28	36.96
801	227.16	68.73	76.95
804	48.76	33.83	41.40
828	74.81	28.64	52.17

Tableau N°13 : classification de qualité d'eau pour l'irrigation d'après SAR

Classa SAR		Nom point d'eau
admissible	C3 S2	735, 740, 741,738
médiocre	C3 S3	762, 828,792
	C3 S4	
mauvaise	C3 S4	764, 779,758
	C4 S3	

On observe que la majorité des eaux se situent dans la classe C4-S2, C4-S3, C3-S1 qui définit une eau de salinité très élevée (C4) qui ne convient pas à l'irrigation en conditions ordinaires. Ces eaux ne peuvent être utilisées que pour l'irrigation des sols perméables avec un bon drainage. A défaut de ces critères l'eau présente un danger d'alcalisation des sols à textures fines. Seules les plantes tolérantes aux sels (tabacs, coton, orge, artichaut et dattiers) peuvent être cultivées.

Conclusion :

L'étude hydrochimique de la région qui est basé sur l'analyse et l'interprétation des 57 échantillons montre la prédominance des éléments chimiques (Na^+ , Cl^- , HCO_3^- et Ca^{2+}) et des faciès chloruré sodique et chloruré calcique. Le mécanisme de contamination de la nappe par les fortes teneurs en chlorures et en sodium est essentiellement lié à la remontée, par capillarité, des eaux circulant au contact du substratum triasique, localisé dans la région des deux chotts en été et par le lessivage de ces mêmes terrains par les eaux de ruissellement en hiver. Par ailleurs, le faciès bicarbonaté calcique très répandu au Nord de Souk Naamane et au voisinage des reliefs crétacés.

Conclusion générale

Conclusion générale :

L'ensemble des résultats obtenus permet de ressortir et de mettre les points sur les faits suivants :

Le secteur d'étude est situé dans la partie nord du grand bassin des hauts plateaux constantinois.

L'étude géologique de cette plaine a permis de mettre en évidence l'existence de deux ensembles réservoirs :

- L'un poreux englobe différentes formations du Mio-Plio-Quaternaire, des alluvions anciennes et récentes, des conglomérats et de calcaires lacustres mal stratifiés. Il se présente en de vastes étendues au niveau des plaines, Bir Chouhada, Souk Naamane et Ouled Zouai.
- L'autre englobe la série calcaire et calcaro-dolomitique d'âge crétacé et jurassique probable, au niveau des massifs carbonatés essentiellement Djebel Guedmane, Djebel Tizourit, Djebel Amsid, Djebel Haamouda.

L'étude hydroclimatologique a montré que la région est caractérisée par un climat semi-aride, avec un hiver froid et pluvieux. Un été est sec et chaud avec une évapotranspiration intense, l'aridité du Nord vers le Sud.

L'étude hydrochimique montre que le secteur d'étude est divisé en deux parties :

La plaine de Bir Chouhada est caractérisée par des eaux chargées et moyennement potable

La zone marécageuse caractérisée par des eaux très chargées, influencées par la présence des chotts et les formations triasiques. Les eaux de cette partie sont de mauvaises qualités.

Plusieurs faciès chimiques apparaissent dont les plus dominants sont chloruré sodique et chloruré calcique. Cela est dû à la dissolution des formations évaporitiques et lessivage des terrains gypso-salifaires.

Références bibliographique

Références bibliographique

- ❖ **A.N.R.H** : (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques)de Constantine : Coupes stratigraphiques des forages, données climatiques et l'étude géophysiques.
- ❖ **Benchiheb .F ,Bouabid A (2000-2001)** : Etude hydrogéologique de la plaine BirChouhada- Souk Naamane. Mémoire d'ingénieur .Université de Constantine
- ❖ **Bachouche. L, Toumi.S(2003)** : Synthèse Hydrogéologique du Secteur Constantine Ain M'lila. Mémoire d'ingénieur .Université de Constantine.
- ❖ **Bousnoubra .H (1985)** :Hydrogéologique de Quelques Réservoirs Karstiques Du Nord-Est Algérien. Thèse de doctorat. Université du Languedoc.
- ❖ **Bouhabila.F et Zeghib.F(2001)** : Ressources hydrogéologique des bassins Chelghoum Laid, Teleghma et Ouled Hamla. Mémoire d'ingénieur .Université de Constantine.
- ❖ **Bousalsal.B (2010)** :Etude hydrogéologique et hydrochimique de la nappe Aquifère libre d'El-Oued Souf. Mémoire Magister en géologie appliquée Spécialité : Hydrochimie. Université d'Annaba.
- ❖ **Boulabeiz .M (2006)** :Evolution des éléments chimiques et évaluation de risque des eaux souterraines à la pollution : Cas de la nappe de Collo, Nord-Est Algérien. Mémoire Magister Option Hydrogéologie .Université d'Annaba.
- ❖ **Bounab. Z (2011)** : Etude du Réseau d'Assainissement de la Ville de Bir Chouhada. Mémoire d'ingénieur Option Hydraulique Urbaine .Université d'Ome El Bouaghi.
- ❖ **Cahier de l'Agence, (Novembre 2000)** : Bassin des Hauts Plateaux Constantinois N°5.
- ❖ **D.H.W** :(Direction Hydraulique de la Wilaya), d'Ome El Bouaghi, Résultats des essais de pompage, Rapports géophysique, les coupes stratigraphique des forages.
- ❖ **Etude structurale de la Haute plaine de Levasseur et Rouget de L'isle** : Coupes suivants les profils A,B,C,D,E,F,G,H,K,L,M,N,P.
- ❖ **Etude Hydrogéologique de la plaine de BirChouhada –Souk Naamane-Ouled Zouai (Wilaya d'Ome El Bouaghi) (2011).**
- ❖ **Etude structurale par prospection géophysique des chotts Gaine et Saboune et de la plaine d'El Madher.**
- ❖ **Mébarki.A (1984)** : Ressources en eau et aménagement en Algérie (le bassin de KebirRhumel). Thèse troisième cycle. Université de Nancy II.

- ❖ **Mecibah.I (2012)** : Les ressources en eau et gestion intégrée du bassinversant d'Oued Guebli (Nord-Est Algérien). Mémoire Magister Option Hydrogéologie .Université d'Annaba.
- ❖ **O.N.S** : Office National de Statistique.
- ❖ **Sub Divisionde Souk Naamane (2011)** : Etat de la production mensuelle d'eau souterraine, Alimentation en eau potable (Ressource, Réseau d'AEP).
- ❖ **Zair Nadjat (2010)** : Etude hydrogéologique des nappes aquifères et problème de vulnérabilités de la région d'ome El Boughi. ,Mémoire Magister Option Hydrogéologie .Université d'Annaba.

Listes des cartes:

- ❖ Carte topographique d'Ain Yagout et d'Ain M'lila (1/50000).
- ❖ Carte géologiques d'Ain Yagout et d'Ain M'lila.