

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Larbi Tebessi-Tébessa



Faculté des Sciences Exactes et Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Sciences de la Terre et de l'Univers
Filière : Géoscience
Spécialité : Hydrogéologie
Mémoire de Mastère

Thème :

*Utilisation de la cartographie et des applications
géochimiques pour déterminer l'origine de
la salinité des eaux souterraine : cas de la nappe
de Meskiana NE Algérien*

Date de soutenance : 08/07/2020

Présenté par :

MESSADIA Sihem

TOUNSSI OuanAssa

Devant de jury :

Président	DHFAFLIA nabile	(Prof) Univer.de Tébessa
Rapporteur	GOUAIDIA Layachi	(Prof) Univer.de Tébessa
Examineur	GUEFAIFIA Omar	(MCA)Univer.de Tébessa



ملخص

يقع سهل مسكيانة في الشمال الشرقي الجزائري هذا السهل مزود حاليا بمصادر مياه محدودة والتي تتمثل أساسا في المياه الجوفية في هذه السنوات الأخيرة أثر النشاط الزراعي بقدر كبير في تدني نوعية المياه.

غاية هذا البحث هو دراسة تأثير نوعية التربة والعوامل المناخية على النوعية الكيميائية والفيزيائية للمياه

يتكون سطح المياه الجوفية لسهل مسكيانة من الطي الرملي الحصى مع بعض الطبقات الصلصالية حدودها الشمالية الشرقية تتوضع بجانب بعض الصخور الغنية بالملح مما يؤثر على نوعية المياه

كما يتميز سهل مسكيانة بعناصر تكتونية بسيطة اتجاه العام للطيات هو جنوب-غرب.شمال-شرق أما المناخ السائد في المنطقة هو المناخ الشبه جاف نوعية المياه رديئة وذلك لكثرة ملوحتها من جهة نوعية الصخور وكذا لعوامل مناخية (التبخر والتساقط).

كما نذكر أن النتائج جاءت متوافقة مع إشكالية موضوع البحث.

الكلمات المفتاحية : سهل مسكيانة , نوعية التربة , المناخ الشبه جاف

Abstract

Meskiana plain, located in the North-eastern part of Algeria, this plain has hydrous resources are relatively limited consist of underground water of the Mio-Plio-Quaternary aquifer. In recent years a high level of water demand was felt due to remarquable increase water for agriculture use. On one hand, this has induced a shortage of water and a deterioration of its quality on the other.

The goal of this research is etude influence of the lithological parameters and the climatic factors, onto physicochemical parameters of water.

Meskiana alluvial aquifer is mainly composed of sandy, sandstone and conglomeratic materials with some passages of relatively thin clay layers. It is limited to the north east by diapiric formations, the most important part of its recharge comes from the carbonate formations of the borders.

Meskiana plain characterized by simple tectonated structure the general direction of folding is South-west North-east, as to the climatic predominant in the area is semi-arid

The chemical quality of water is poor resulting from the strong salinity influenced by the lithology of the aquifer and the climatic factors (precipitations and the temperatures).

The results obtained from this study agree perfectly with the questions raised in the proposal.

Keywords: Meskiana plain, lithological, semi-arid

Résumé

La plaine de Meskiana se situe au Nord-Est de l'Algérie, elle possède, actuellement, des ressources hydriques relativement limitées, à savoir uniquement les eaux souterraines de la nappe Mio-Plio-Quaternaire. Ces dernières années les activités agricoles contribuent d'une part, à l'accroissement des besoins en eaux et a provoqué, d'autre part, la dégradation de la qualité des eaux de cette nappe.

L'objectif de ce travail est de mettre en évidence l'influence de la lithologie et les paramètres climatologiques sur la qualité physicochimique des eaux.

La nappe alluviale de Meskiana est constituée par des alluvions sableuses, gréseuses et conglomératiques, avec des passages argileux. Ses limites Nord-orientales chevauchent avec des formations diapiriques. Elle est alimentée principalement à partir des formations carbonatées de bordures.

Elle est caractérisée par des éléments tectoniques simples les plissements anté-miocènes de direction générale Sud-Ouest Nord-Est, quant au climat de la région, il est semi-aride.

La qualité chimique de l'eau est médiocre, résultant d'une forte salinité influencée par la lithologie de la nappe et les facteurs climatiques (les précipitations et les températures).

En fin les résultats issus de cette étude concordent donc parfaitement avec les questions évoquées dans la problématique de départ.

Mots clés : la nappe de Meskiana, lithologie, climat semi-aride

REMERCIEMENT

En tout premiers lieu ; je remercie Dieu le tout puissant et miséricordieux ; qui m'aide et donne la force ; la patience et courage durant ces longues années d'étude ; d'accomplir ce modeste travail. Je remercie Ma chère famille de leurs aides morale et financière

J'exprime mes profonds remerciements à mon directeur de mémoire ; Pr ' Ghouaïdia Layachi' que acquitté de la délicate tâche de rapporteur sur cette étude ; pour sa patience et son encouragement ; encadrement et son orientation.

Je voudrais ensuite remercier les membres du jury pour m'avoir guidé et fait l'honneur d'évaluer mon travail ; j'adresse mes plus sincères remerciements à tous mes proches et amis qui ont contribué de près ou de loin à ce mémoire.

J'adresse également mes plus vifs remerciements à tous mes collègues de promotion (2ème année Master hydrogéologie 2019) pour leur soutien et leur encouragement.

je remercie toutes les personnes, qui de près ou de loin, m'ont aidé à la réalisation de ce travail.

En fin je remercie Tout le corps enseignant et personnel de département de la science de la terre qui a contribué de près ou de loin à ma formation.

Sihem et ouanassa



*Liste
des tableaux*

Liste des tableau

N	titre	P
Tableau II.1	Caractéristiques hydrogéologiques et géophysiques des formations.	19
Tableau I.2	Les coordonnées de station météorologique :	20
Tableau I.3	Estimation du coefficient mensuel de correction des précipitations.	21
Tableau I.4	Estimation du coefficient mensuel de correction des précipitations.	22
Tableau I.5	Indices d'aridité mensuels (I) à la station de Meskiana.	24
Tableau I.6	Coefficient de correction K dépend du site considéré (climat semi-aride)	29
Tableau I.7	Bilan hydrologique moyen (1971/1972-2004/2005) à la station de Meskiana, par la méthode de Thornthwaite.	30
Tableau I.8	Répartition des précipitations à la station de Meskiana.	31
Tableau II.1	Variation des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines dans la nappe de Meskiana,(mars 2017).	41
TableauII.2	Représentation des faciès des eaux souterraines de Meskiana (Mars2017)	45



*Liste
des figures*

Liste des figures

N	titre	P
Figure 1	Situation géographique de la plaine de Meskiana.	05
Figure 2	Bassin versant et son réseau hydrographique).	06
Figure I.1	lithologie du bassin versant d'oued Meskiana (d'après : G. DUROZOY et M. BOUILLON, 1956 ; J.L. BLÈS et J.J. FLEURY, 1970 ; S. GUELLAL et J.M. VILA, 1973, 1977-a, 1977-b, 1977-c ; S. DOZET <i>et al.</i> , 1985 ; J.M. KOWALSKI, 2002).	10
Figure I.2	Coupes géologiques dans le bassin de Meskiana (Gouaidia,2008)	11
Figure I.3	Schéma lithostratigraphique des formations géologiques du bassin de Meskiana .(Ghouaidia2008)	14
Figure I.4	Esquisse tectonique de la région de Meskiana, J.M.VILA (1980).	15
Figure I.5	Carte de position des sondages électriques verticaux et des profils.	17
Figure I.6	Coupe géo électrique du profil B.	18
Figure I.7	Coupes géo électriques des profils E et H.	19
Figure I.7	Application de la loi de double cumul après correction des erreurs.	22
Figure I.8	Courbe Ombrothermique de la station de Meskiana.	23
Figure I.9	Evolution de la température moyenne annuelle à la station de Meskiana pour la période (1997/1998-2017/2018).	25
Figure I.10	Variation de la température moyenne mensuelle à la station de Meskiana pour la période (1997/1998-2017/2018).	26
Figure I.11	Evolution des précipitations annuelles à la station de Meskiana pour la période (1997/1998 – 2017/2018).	27
Figure I.12	Evolution des précipitations annuelles à la station de Meskiana pour la période (1997/1998-2017/2018).	27

Liste des figures

Figure I.13	Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station de Meskiana pour la période (1997/1998-2017/2018).	27
Figure I.14	Bilan hydrologique à la station de Meskiana, par la méthode de Thornthwaite pour la période (1997/1998 -2017/2018).	31
Figure I.15	Carte d'inventaire de la nappe de la plaine de Meskiana. mars 2017	34
Figure I.16	Carte piézométrique de la nappe de la plaine de Meskiana. - mars 2017	35
Figure II.1	Diagramme de Piper des eaux souterraines de Meskiana (mars2017)	42
Figure II.1	Diagramme de Piper des eaux souterraines de Meskiana (mars 2017).	43
Figure II.3	classification de Stabler des eaux souterraines de Meskiana (mars 2017)	44
Figure II.4	Carte de répartition des faciès chimiques de la nappe de Meskiana (mars 2017)	46
Figure II.5	Carte de la conductivité électrique dans la nappe de Meskiana (mars 2017)	47
Figure II.6	Carte du calcium dans la nappe de Meskiana, (Mars 2017).	48
Figure II.7	Carte du magnésium dans la nappe de Meskiana, (Mars 2017).	49
Figure II.8	Carte du Sodium dans la nappe de Meskiana, (Mars 2017).	50
Figure II.9	Carte du chlorures dans la nappe de Meskiana, (Mars 2017).	51
Figure II.10	Carte des sulfates dans la nappe de Meskiana, (Mars 2017).	52
Figure II.11	Carte du bicarbonates dans la nappe de Meskiana, (Mars 2017).	53
Figure II.12	La relation Mg^{2+} - SO_4^{2-} dans les eaux souterraines de Meskiana, (mars 2017)	54
Figure II.13	La relation Mg^{2+} - HCO_3^- dans les eaux souterraines de Meskiana, (mars 2017).	55

Liste des figures

Figure II.14	La relation $\text{Cl}^- - \text{Mg}^{2+}$ dans les eaux souterraines de Meskiana, (mars 2017).	55
Figure II.15	La relation $\text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-}$ dans les eaux souterraines de Meskiana, (mars 2017).	56
Figure II.16	La relation $\text{Cl}^- - \text{Ca}^{2+}$ dans les eaux souterraines de Meskiana, (mars 2017)	56
Figure II.17	La relation $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+}$ dans les eaux souterraines de Meskiana, (mars 2017)	57
Figure II.18	La relation $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+}$ dans les eaux souterraines de Meskiana, (mars 2017).	57
Figure II.19	La relation $\text{HCO}_3^- - \text{Cl}^-$ dans les eaux souterraines de Meskiana, (Mars 2017).	58
Figure II.20	La relation $\text{Cl}^- - \text{Na}^+$ dans les eaux souterraines de Meskiana, (Mars 2017).	58
Figure II.21	La relation $\text{SO}_4^{2-} - \text{Na}^+$ dans les eaux souterraines de Meskiana, (Mars 2017).	59
Figure II.22	La relation $\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-$ dans les eaux souterraines de Meskiana, (Mars 2017).	60
Figure II.23	Evolution et distribution des facies chimiques	61
Figure II.24	Détermination de l'origine du calcium	62
Figure II.25	Détermination de l'origine du sodium	63
Figure II.26	Evolution des anions en fonction de la conductivité	64
Figure II.27	Evolution des chlorures et des sulfates en fonction de la conductivité	65
Figure II.28	Repartitions d'espace des variables et des individus de l'ACP	67



Table
des matières

Table des matières

Introduction générale	02
------------------------------	-----------

Cadre générale

1.Situation géographique :	05
2.Réseau hydrographique:	05
3. Activités économiques:	06
3.1.couverture végétale et sol végétation :	07
4.Géomorphologie et cadre structurel :	07
4.1.Géomorphologie du bassin de Meskiana :	07

Chapitre I : Partie générale

I.1.Etude géologie:	09
I.1.1.Introduction :	09
I.1.2.Description lithologique des formations :	09
I.1.2.1.TRIAS :	09
I.1.2.2. CRETACE :	12
a) Aptien :	12
b) Albien et Cénomaniens inférieur :	12
c) Cénomaniens moyen et supérieur :	12
d) Turonien :	12
e) Emschérien (Coniacien – Santonien) :	12

Table des matières

f) Campanien :	12
g) Maestrichtien :	12
I.1.2.3.PALEOGENE :	13
a. Paléocène :	13
b. Eocène :	13
I.1.2.4. NEOGENE :	13
a. Miocène :	13
I.1.2.5. QUATERNAIRE :	13
a. Villafranchien :	13
b. Glacis polygéniques nappant les reliefs:	13
c. Alluvions actuelles et récentes:	13
I.1.3. Géologie aquifère :	13
I.1.4 Apercu Tectonique:	14
I.5. Conclusion:	16
I.2. Etude géophysique:	16
I .2.1. Introduction :	16
I.2.2. Prospection électrique :	17
I.2.3. Explications des résultats de la prospection électrique:	17
I.2.4. Apport de la prospection électrique :	18

I .2.5. CONCLUSION :	20
I.3. Etude hydroclimatologie :	20
I.3.1. Introduction	20
I.3.2. Climatologie :	20
I.3.3. Méthode de rapport:	21
I.3.4. Indice de De Martonne:	23
I.3.5. Indice d'aridité mensuel:	24
I.3.6. Etude des facteurs climatiques :	25
I.3.6.1.LA température:	25
A.Variations des températures moyennes annuelles :	25
B. Variations de la température moyenne mensuelle :	25
I.3.7.La pluviométrie :	26
A. Variations interannuelles des précipitations :	26
B. Variations moyennes mensuelles des précipitations :	26
I.3.8. Estimation de l'évapotranspiration :	28
I.3.8.1.Introduction :	28
A.Évapotranspiration réelle (ETR) :	28
B. Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) :	29
I.3.9.Conclusion:	32

I.4. Etude hydrogéologique:	32
I.4.1.Introduction:	32
I .4. 2. GEOMETRIE DE L'AQUIFERE :	32
I .4. 2.Etudes piézométriques :	33
I .4. 2. 1. Introduction :	33
I .4.3. Inventaire des points d'eau :	33
I .4. 4 Piézométrie :	34
I .4.5 Interprétation des cartes piézométrique :	34
I .4.6Alimentation et recharge de la nappe :	35
I .4.7. Études des caractéristiques hydrodynamiques :	36
I .4.7.1.Définition des caractéristiques hydrodynamiques :	36
A. Le coefficient d'emmagasinement :	36
A. La transmissivité	36
B. La perméabilité	36
C. Détermination de la transmissivité	37
D.1 Méthode de JACOB	37
D.2. Mode opératoire :	37
E. Méthode de la remontée de THEIS-JACOB :	37
E.1. Mode opératoire :	38

I .4.6. Conclusion :	38
-----------------------------	-----------

Chapitre II : partie spéciale

II. Etude hydrochimie :	40
--------------------------------	-----------

II.2. Balance ionique:	40
-------------------------------	-----------

II.3. Description sommaire des paramètres physico-chimique :	40
---	-----------

II.4 Représentation graphique des résultats :	41
--	-----------

II.4.1. Diagramme de Piper :	41
-------------------------------------	-----------

II.4.2. Classification de Stabler:	44
---	-----------

II.5. Répartition spatiale des faciès	45
--	-----------

II.6. Conductivité électrique:	46
---------------------------------------	-----------

II.7. Etude des paramètres chimiques:	47
--	-----------

II.7.1. Cations :	47
--------------------------	-----------

II.7.2. Anions:	51
------------------------	-----------

II.8. Corrélation des éléments chimiques :	54
---	-----------

II.8.1. Couple Mg^{2+} - SO_4^{2-}	54
---	-----------

II.8.2. Couple Mg^{2+} - HCO_3^-	54
---	-----------

II.8.3. Couple Cl^- - Mg^{+2}	55
--	-----------

II.8.4. Couple Cl^- - SO_4^{2-}	56
--	-----------

II.8.5. Couple Cl^- - Ca^{2+}	56
--	-----------

Table des matières

II.7.6. Couple Na^+ - Ca^{2+}	57
II.8.8. Couple Ca^{2+} - Mg^{2+}	57
II.8.9. Couple HCO_3^- - Cl^-	58
II.8.10. Couples Cl^- - Na^+	58
II.8.11. Couple SO_4^{2-} - Na^+	59
II.8.12. Couple Na^+ - HCO_3^- :	59
II.9. Faciès caractéristiques :	60
II.9. Origine des éléments chimiques :	61
II.9.1. Les éléments Ca^{2+} - HCO_3^- - SO_4^{2-} :	61
V.6.2.3 Les éléments Cl^--SO_4^{2-} :	64
V.7.3.3 Analyse de l'espace des individus (Figure 28)	66
V.13. CONCLUSION	67
Conclusion générale	69
Bibliographie	72
ANNEXES	75



*Liste
des symboles*

Liste des symboles

ACP : Analyse en Composantes Principales

CE : Conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

DA: Déficit Agricole (mm)

Da: Densité apparente du sol

ETP: Evapotranspiration potentielle (mm)

ETR: Evapotranspiration Réelle (mm)

EX : Excédent en eau du sol (mm)

I: Indice d'aridité

I : Infiltration de l'eau dans le sol (mm)

K: Perméabilité (m/s)

P: Précipitations (mm)

P: Profondeur de la couche traversée par les racines (cm)

Q₂: Quotient pluviométrique

R: Ruissellement (mm)

RFU: Réserve Facilement Utilisable (mm)

SAR: Sodium Absorption Ratio

T: Température ($^{\circ}\text{C}$)

T : Transmissivité (m^2/s)



Introduction
générale

Introduction générale

L'eau est un élément indispensable à la vie et revêt de l'importance pour d'innombrables activités humaines dans plusieurs domaines alimentation en eau potable, industriel, agriculture. L'eau peut être rare à certains endroits, dans le cas de la plaine de Meskiana leur nappe est influencé par plusieurs facteurs sont :

Les conditions climatiques ; climat semi-aride très sévère, avec une forte évapotranspiration.

- ✓ la lithologie qui caractérisée par les formations triasiques et évaporitiques
- ✓ rejets urbains non contrôlés
- ✓ l'utilisation intensive d'engrais chimiques et de fertilisants dans l'agriculture.

Ces facteurs permettent la divers et la concentration des minéraux dans les eaux souterraines de la nappe de Meskiana qu'utilise essentiellement à l'irrigation et l'alimentation en eau potable.

L'hydrogéologie des zones arides et semi-arides de l'Algérie, est un thème complexe. La sécheresse chronique et le bilan hydologique est toujours négatif ne permettant pas de justifier l'existence de la recharge de nappes.

Quelques études, déjà réalisées sur la plaine de Meskiana (mémoires d'ingénieur, de Magister et une thèse de Doctorat), ont signalé l'influence de la nature lithologique sur la minéralisation des eaux souterraines. Les facteurs climatiques ont également contribué à la variation de cette minéralisation.

Dans cette étude, nous allons essayer de mieux comprendre l'impact de la minéralisation sur la qualité de cette ressource souterraine et d'optimiser l'interprétation des analyses physico-chimiques en utilisant des moyens plus adéquats.

Le programme d'action pour la réalisation de ce travail doit répondre aux préoccupations suivantes :

- ✓ Quel est l'état actuel de la qualité chimique des eaux souterraines de la nappe?
- ✓ Quels sont les mécanismes physico-chimiques régissant l'évolution des éléments chimiques dans le temps et dans l'espace (influence de la lithologie et des facteurs climatiques sur le chimisme de la nappe)?
- ✓ Quelle est l'origine des éléments chimiques dans les eaux des Meskiana ?
- ✓ Quelle est l'origine de la salinité des eau souterraine de la pleine de Meskiana

Afin de répondre à ces préoccupations, nous allons adopter la méthodologie suivante :

- ✓ Étude du cadre naturel et hydrodynamique en relation avec la qualité chimique.
- ✓ Étude des paramètres physiques et chimiques de l'eau.
- ✓ Étude des dépendances et relations entre les divers paramètres physico- chimiques de l'eau.
- ✓ Étude des mécanismes d'acquisition de la minéralisation des eaux souterraines.

Introduction générale

- ✓ Étude origines des éléments chimiques.
- ✓ Déterminer l'origine de la salinité des eau souterraine de la pleine de Meskiana

Pour concrétiser ce programme de travail, un suivi saisonnier (basses et hautes eaux) de la qualité physico-chimique et piézométrique des eaux souterraines a été réalisé. Plusieurs outils (géologique, hydrodynamique, chimique, statistique et informatique) ont été utilisés afin de mieux interpréter les données acquises



*Cadre
générale*

Cadre générale

1.Situation géographique :

Le bassin de Meskiana s'étend sur une superficie de 1680km et se localise au Nord-est du territoire algérien 80 km de la frontière algéro-tunisienne et a 250km au sud de la ville d'Annaba autrement dit, il se situe à mi-chemin entre la mer méditerranée et le sahara algérien (Figure1) et fait partie du bassin de l'oued Mellègue. Plusieurs agglomérations y siègent, à savoir Bellala ,Dalaa , Meskiana , Rehia et Zebar, comptant plus de 37000 habitants selon un recensement fait en 1998. Cette population serait estimée à 48000 en2004.

les limites géographiques du bassin de Meskiana sont présentées comme suit :

- limite nord : djebel Mesloula , Argoub el Mnachir et djebel Khannaga .
- limites nord-ouest : djebel Chettaya,djebel Bouthokhma,et djebel Ahmar .
- limite nord-est : djebel Gouriguer,djebel es Stih, et djebel Khemalal .
- limites sud-ouest : djebel Boutoukhma et chott Esbikha.

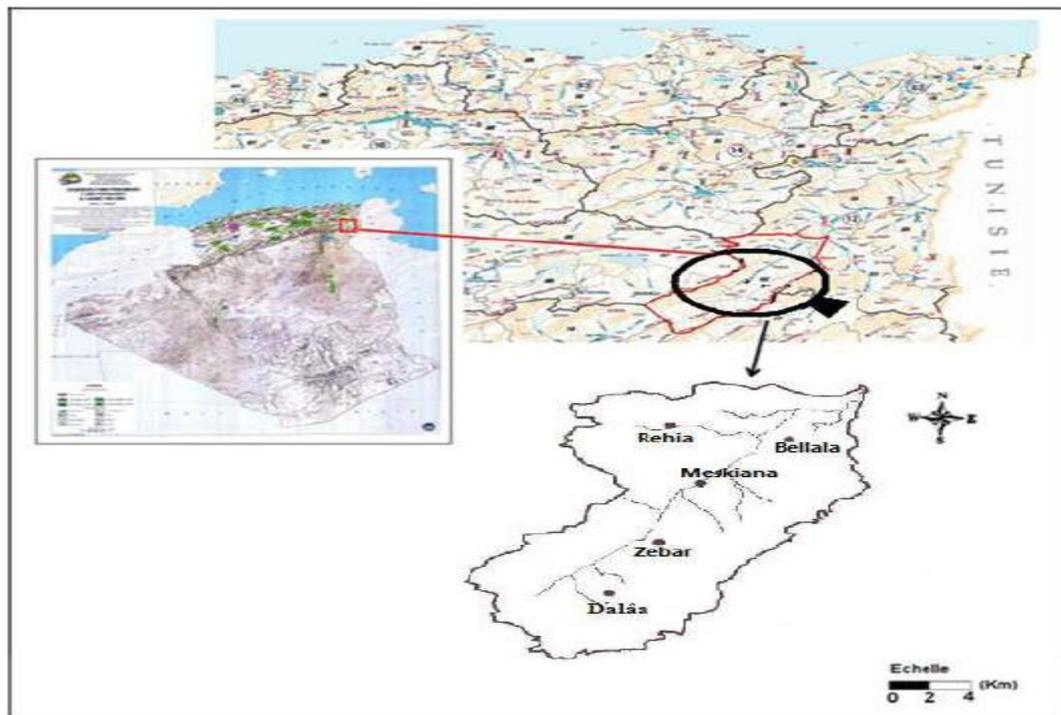


Figure 1: Situation géographique de la plaine de Meskiana.

2.Réseau hydrographique:

Un réseau hydrographique est un ensemble d'affluents permanents temporaires, à travers lequel tous les courants s'écoulent du ruissellement de surface et convergent vers un

Cadre générale

seul point de rejet des bassins versants .le bassin versant de Meskiana. Il est considéré comme un collecteur pour le ruissellement qui coule vers ses berges.

Sur la rive droite, les principales influences (temporaires) provenant des montagnes qui se jettent dans le oued Meskiana sont : le wadi Omar et le wadi al Mlah .

Sur le rive gauche, wadi al Jedida et wadi Sidra .

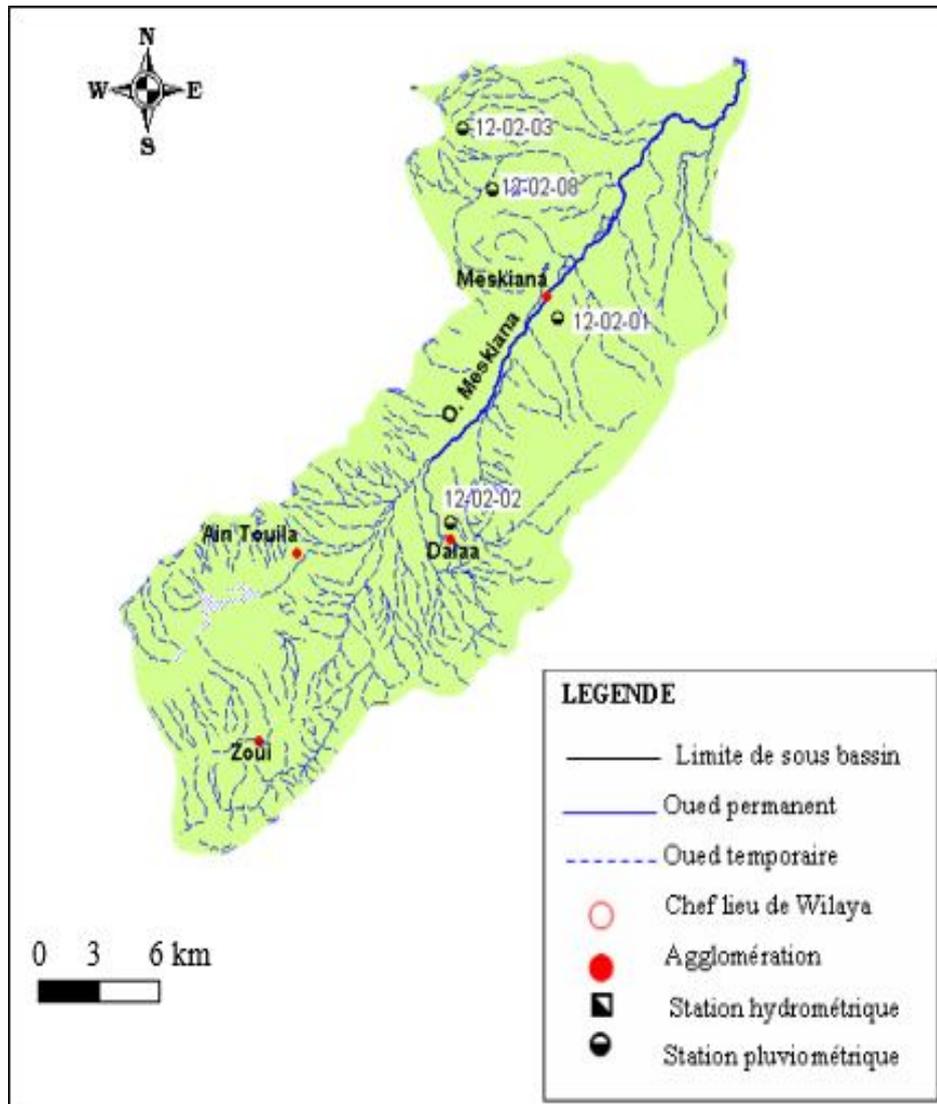


Figure 2: Bassin versant et son réseau hydrographique).

3. Activités économiques:

La plaine de Meskiana appartient aux hauts plateaux orientaux, qui bénéficie d'un climat semi -aride avec moins de précipitations, donc le développement de la végétation est limite. Les communautés ne disposaient d'aucune infrastructure industrielle, à l'exception de l'usine de laine et de textile qui est actuellement fermée, tandis que l'agriculture et l'élevage

Cadre générale

se sont bien développés. En fait, cette région appartient, d'un point de vue écologique, aux plaines céréalières intérieures de l'Est. Les précipitations sont généralement limitées et l'eau est un aliment de base du système de culture. Pendant les années pluvieuses, les légumes, les cultures fourragères et les céréales sont confrontés, tous les deux ans et parfois trois ans, aux pénuries d'eau.

3.1.couverture végétale et sol végétation :

Les plantes jouent un rôle important dans la protection du sol, et cette relation directe se manifeste en minimisant l'effet de l'érosion des tissus. En revanche, la végétation dont l'activité est très complexe interfère efficacement avec des facteurs climatiques tels que : l'équilibre hydrique par évaporation ainsi que l'infiltration. Son rôle est plus important et surtout dans la zone à forte pente, ce qui réduit la violence des inondations afin que la végétation protège le sol de l'érosion et diminue les sédiments des sols durs.

4.Géomorphologie et cadre structurel :

L'origine de la diversité des environnements topographiques se trouve dans la constitution géologique et structurale. L'augmentation des motifs et des dépressions est causée par divers mouvements tectoniques, indiquant un changement dans la dynamique des écoulements. La lithologie joue également un rôle très important dans le ruissellement, l'infiltration, l'érosion et le transport des solides. Les matériaux géologiques se caractérisent par une forme meuble (sable, argile, marne) ou en formations compactes (grès, calcaire, dolomite). La nature des protubérances affecte l'hydrologie de surface et le type de dépôts alluviaux.

4.1.Géomorphologie du bassin de Meskiana :

Le bassin versant de Meskiana est essentiellement constitué par un synclinal perche dont l'axe est orienté vers la direction NE-SO, ce synclinal comprend des roches de différentes natures et âges. Il se présente d'une manière très régulière et d'une étendue limitée par rapport à l'allongement de l'axe dans la partie Nord-Est, vers le Sud, l'étendue du synclinal augmente à cause de la demeure subhorizontale des strates rocheuses et de la présence de failles parallèles à l'axe qui relèvent les strates vers l'Est. Le long des versants se trouve, bien en évidence, une unité géomorphologique qui caractérise le champ d'étude.



Chapitre I
Partie générale

I.1. Etude géologie:

I.1.1. Introduction :

La géologie du bassin de Meskiana a été étudiée en se référant aux anciens travaux géologiques, réalisés par de nombreux géologues chercheurs tels que : M.G. BETIER et al. (1951), qui ont réalisé la carte géologique de l'Algérie au 1/500.000.00, J.M. VILA (1977) qui a réalisé la carte de Dalâa, la carte de F'Kirina, la carte d'Ain Beida au 1/50000, D. KUSCER et al. (1985), qui ont réalisé la carte de Meskiana au 1/50000 et S. DOZET (1985), qui a réalisé la carte d'El Aouinet au 1/50000. La zone Nord-Est, qui fait partie de la carte de Youks-Les Bains, a été cartographiée par W.M. KOWALSKI (2002).

Ces travaux sur le bassin de Meskiana ont montré qu'il s'agit des terrains sédimentaires autochtones Nord-Aurésiens (J.M. VILA, 1980) qui se trouvent dans la partie orientale des hautes plaines constantinoises. Ces formations sont constituées de :

- Terrains anciens représentés par le Trias à faciès lagunaire, apparaissant en diapirs .
- Très importantes assises d'âge crétacé (Aptien et Maestrichtien) formées de marnes et de calcaires .
- Des grès et des calcaires gréseux marins formant la base du Miocène .
- Divers recouvrements continentaux représentant le Mio-Plio-Quaternaire.

I.1.2. Description lithologique des formations :

Deux grands ensembles représentent la lithostratigraphie du bassin de Meskiana

- Le premier est constitué essentiellement par les formations crétacées et tertiaires qui affleurent dans les bordures .
- Le second est formé, en général, par un recouvrement Mio-Plio-Quaternaire qui se dépose dans la plaine (Figure I.3).
- Ces deux ensembles constituent une série stratigraphique complète que nous allons décrire ci-après :

I.1.2.1. TRIAS :

Le Trias est représenté par des masses chaotiques sans stratification (J.M. VILA, 1977). Marquant ainsi le Trias du constantinois. Ces roches triasiques forment des diapirs, qui sont partout en contact anormal avec les couches plus récentes.

- Au Nord, à proximité d'El Aouinet.
- Au Nord-Est (Djebel Belkefif).

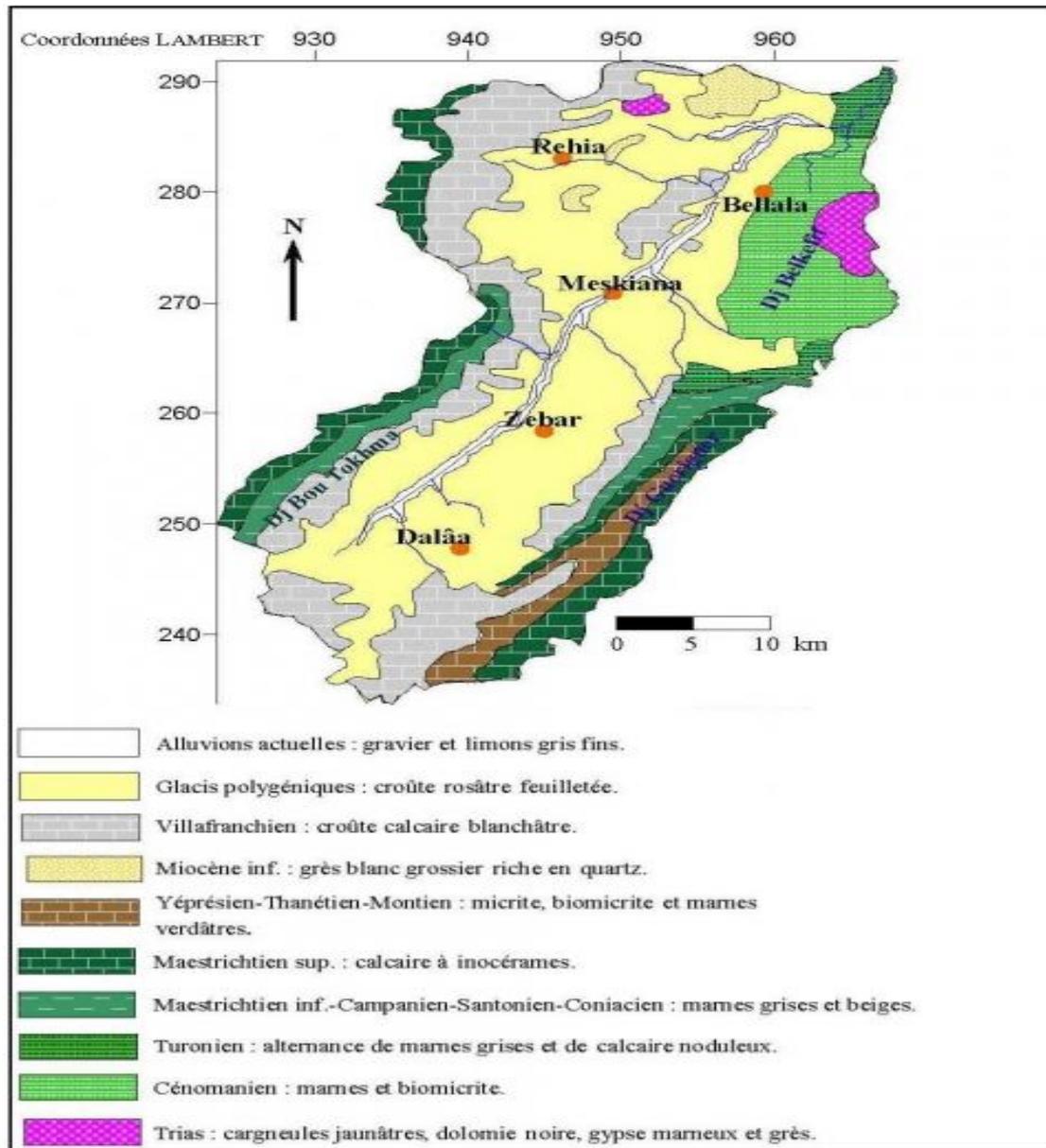


Figure I.1: lithologie du bassin versant d'oued Meskiana (d'après : G. DUROZOY et M. BOUILLON, 1956 ; J.L. BLÈS et J.J. FLEURY, 1970 ; S. GUELLAL et J.M. VILA, 1973, 1977-a, 1977-b, 1977-c ; S. DOZET *et al.*, 1985 ; J.M. KOWALSKI, 2002).

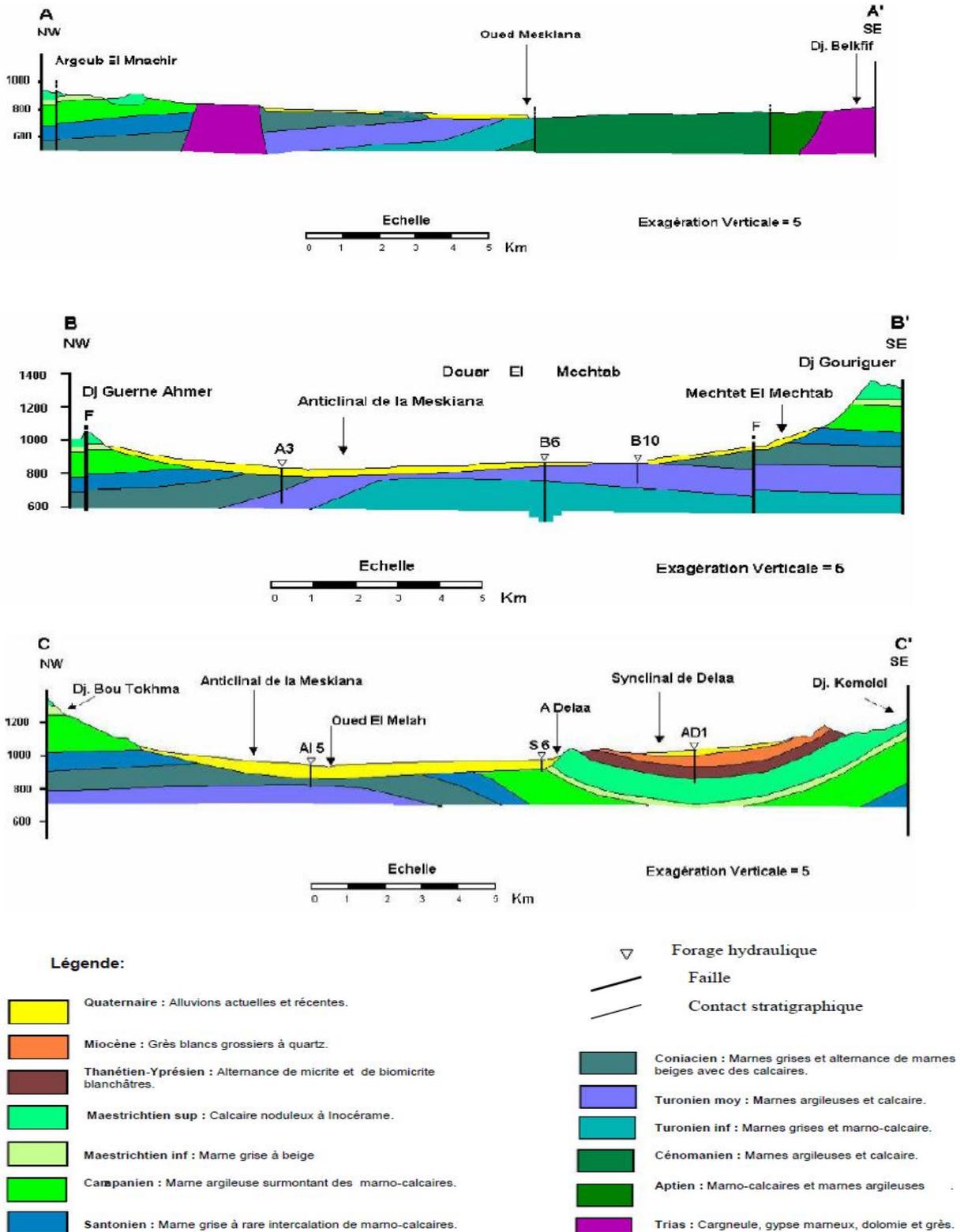


Figure I.2: Coupes géologiques dans le bassin de Meskiana (Gouaidia,2008)

I.1.2.2. CRETACE :

a) Aptien :

Il s'agit de formations de dimensions assez réduites affleurant au Nord, qui sont en contact anormal avec des pointements triasiques, au niveau de Mesloula, Djebel Belkefif, Argoub EzZitoun et Kodiat El Hadjel. Les formations aptiennes comprennent deux faciès, le premier marno-calcaro-gréseux et le second à calcaires récifaux (DOZET, 1985).

b) Albien et Cénomaniens inférieurs :

Ces formations sont observées au Djebel Belkefif et à Mesloula avec des épaisseurs très réduites, n'excédant pas 100 m.

c) Cénomaniens moyens et supérieurs :

Cet étage se présente à la limite Nord-Est de la plaine (région de Bellala), sous forme d'une série très puissante dont l'épaisseur varie de 600 m à 1000 m.

d) Turonien :

Il est observé au Nord-Est à Douar El Machtab et il est représenté par :

- Turonien basal
- Turonien moyen et supérieur

e) Emschérien (Coniacien – Santonien) :

Le long des bordures Est et Ouest, l'Emschérien se présente par :

- Le Coniacien est formé par des alternances de marnes beiges ou grises et des calcaires gris biodétritiques et grumeleux. L'épaisseur du Coniacien est de 90 m (figure02 , coupe CC').
- Le Santonien se compose de marnes grises et de calcaires marneux à Inocérames, avec une épaisseur d'environ 100 m.

f) Campanien :

Il affleure sur les deux bordures occidentales, à Djebel Bou Thokma, et orientale, à Djebel Gourigueur.

g) Maestrichtien :

Les calcaires maestrichtiens forment les monts du Djebel Gourigueur, Djebel Bou Tokhma et Djebel Garne Lahmar.

- Le Maestrichtien inférieur est marqué par une dominance marneuse où la série ne dépasse pas 40 m d'épaisseur.
- Le Maestrichtien supérieur est représenté par une formation calcaire.

I.1.2.3. PALEOGENE :

a. Paléocène :

Il est observé seulement à la limite orientale, entre Djebel Gouerigueur et Djebel Serdies. Il est représenté par une série de 50 m de puissance

b. Eocène :

Il a été reconnu sur les flancs Est et Ouest du vaste anticlinal de Meskiana, notamment à Djebel Gourigueur et au synclinal de Ain Dalâa. Il est caractérisé par :

- des formations montiennes.
- des formations thanétio-yprésiniennes.

I.1.2.4. NEOGENE :

a. Miocène :

Les affleurements du Miocène sont de dimensions réduites et se répartissent dans la partie Nord de la plaine surtout à Mesloulâ, Argoub El Manchar, Argoub EzZitoun, Kodiat El Agab, Kodiat Rehia et Kodiat Naga.

I.1.2.5. QUATERNAIRE :

a. Villafranchien :

L'aspect le plus fréquemment rencontré est celui des croûtes calcaires massives et blanches. Ces formations perchées par rapport aux surfaces précédentes sont faciles à repérer, probablement karstifiées ou dissoutes.

b. Glacis polygéniques nappant les reliefs:

Ces glacis s'étendent sur de grandes surfaces de la plaine en pente douce.

c. Alluvions actuelles et récentes:

Ces alluvions ont une extension limitée à la vallée de Meskiana.

Les différentes formations géologiques du bassin de Meskiana se résument dans la (figure 03).

I.1.3. Géologie aquifère :

L'examen de la série lithostratigraphique décrite plus haut permet d'identifier quelques formations perméables susceptibles d'être aquifères

On peut citer :

- Les calcaires turoniens .
- Les calcaires du Maestrichtien supérieur.
- Les calcaires de l'Eocène, qui constituent le synclinal perché de Zoui- Ain Dalâa.

-les formations plio-quaternaires qui sont très perméables et se rapprochent progressivement de la surface du sol du Sud-Ouest au Nord-Est, suite à la remontée du substratum.

	Etage	Epaisseur (m)	Lithostratigraphie	Lithologie
QUATERNAIRE	Quaternaire	?		Limons gris et des graviers ;
				Croûtes rosâtres feuilletées ; Croûtes calcaires blanches .
NEOGENE	Tortonien - Langhien	60		Grès blancs grossiers à quartz
PALEOCENE	Thanétien- Yprésien	200		Alternance de micrite décimétrique gris-blanchâtre et biomicrite décimétriques ou métriques blanchâtre.
	Montien	70		Marnes grises verdâtres
CRETACE	Maestrichtien sup	150		Calcaires noduleux ocres avec quelques nodules de silex de couleur blanchâtre.
	Maestrichtien inf	50		Marnes gris-beiges.
	Campanien	230		Marnes noires Marnes et micrites
	Santonien	100		Marnes grises ou beiges à rares intercalations marno-calcaires.
	Coniacien	150		Marnes grises et alternance de marnes beiges et calcaires gris.
	Turonien moy et sup	150		Alternance de marnes grises à beige et calcaires zoogène noduleux.
	Turonien inf	200		Marnes grises ou noires avec une intercalation de marno-calcaire blanchâtre.
	Cénomaniens sup et moy	800		Marnes argileuses à plaquette de calcite et rare intercalation de marnes, de marno-calcaire et de calcaire.
	Albien et Cénomaniens inf	55		Calcaires et marnes argileuses noires
Aptien	10		Marnes grises, biomicrite et dolomie.	
TRIAS	Trias	?		Carneule jaunâtre, dolomie noire, grès, gypse mameux et gypse fibreux.

Figure I.3: Schéma lithostratigraphique des formations géologiques du bassin de Meskiana .(Ghouaidia2008)

I.1.4 Aperçu Tectonique:

La plaine de Meskiana appartient à l'Atlas saharien (J.M. VILA, 1980). Elle est caractérisée par des éléments tectoniques simples, tels que les plis de direction NE-SW et les dislocations qui ont souvent un cours transversal à la direction de ces plis. On rencontre également des structures particulières, qui se sont survenues sous l'influence de la tectonique diapirique. La période crétacée a été, du point de vue tectonique, assez calme (DOZET, 1985). Des grandes activités qui se sont déroulées durant cette période, on cite une subsidence

continue au Sud du bassin et les soulèvements relatifs de quelques parties septentrionales de ce dernier (Figure 04)

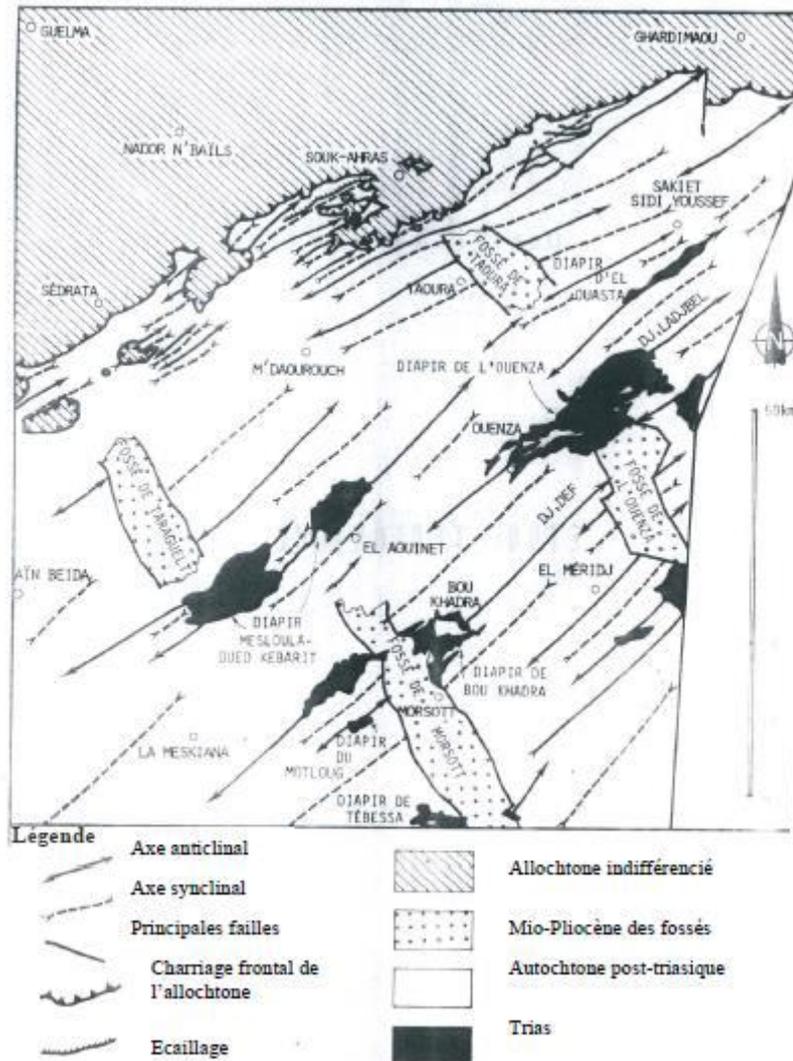


Figure I.4: Esquisse tectonique de la région de Meskiana, J.M.VILA (1980).

Entre le Crétacé et le Miocène, deux principales phases tectoniques ont eu lieu pour former de nombreuses structures. Durant la première phase, de vastes plissements se sont produits en donnant naissance aux anticlinaux et synclinaux suivants : les plis de l'Oued Smara, El Houd, le synclinal de Djebel Belkefif, le synclinal de Kodiat Zennbaï, le synclinal de Reguibet El Assel, le synclinal de Djebel Gourigueur et l'anticlinal de Kessar El Tir. La phase des plissements fut suivie de la phase de la tectonique cassante où de nombreuses fortes failles et dislocations longitudinales et transversales sont survenues, telles que celle de Djebel Gourigueur Ain Dalâa, dont le rôle du point de vue hydrogéologique semble très important.

Le fosse tectonique de Morsott est d'âge post-Miocène, il a un cours perpendiculaire à la direction des plis.

Les diapirs forment les noyaux des anticlinaux et peuvent également remplir les fractures les plus importantes. Ils ont été en action au Crétacé, au Miocène, au Pliocène et probablement au Quaternaire ancien.

I.5. Conclusion:

Le bassin de oued Meskiana se caractérise géologiquement par :

- Sa localisation dans la partie orientale des hautes plaines constantinoises avec des affleurements de bordure d'âge Crétacé, Les formations d'âge Plio-Quaternaire se répartissent en totalité dans la plaine.
- Les activités tectoniques ont produit des plis de direction NE-SW, accompagnés d'une série de failles de direction perpendiculaire affectant les formations crétacées.
- Les assises marneuses constitueraient un substratum imperméable, que ce soit au niveau des bordures ou au centre de la plaine.
- A l'intérieur de la plaine, on a des formations alluvionnaires qui se composent de galets, de cailloutis, de graviers, de sables et de limons, qui pourraient avoir une porosité primaire et former des nappes alluviales.
- A partir de la lithologie des formations géologiques, on peut avoir une idée sur la minéralisation des eaux souterraines. Ainsi, Les calcaires donnent un faciès généralement bicarbonaté calcique ou magnésique .
- Les marnes sont à l'origine des faciès sulfatés .
- Les alluvions donnent plusieurs faciès non salés.

On note que la présence du Trias peut provoquer la salure des eaux souterraines.

I.2. Etude géophysique:

I .2.1. Introduction :

Exploration et exploitation d'aquifères pour une formation géologique spécifique étroitement lié à la connaissance de la nature lithologique de cette composition. La détermination de la géométrie des aquifères nécessite un moyen de reconnaissance, comme la prospection électrique et le forage mécanique par exemple. L'utilisation de ces méthodes de reconnaissance permettra de connaître les dimensions de ces réservoirs ce qui permet d'assurer une bonne gestion de ces ressources en eau.

I.2.2. Prospection électrique :

Une campagne de prospection électrique, couvrant une grande partie de la plaine de Meskiana, a été réalisée par la Compagnie Générale de Géophysique (C.G.G.) en 1974, au profit de la Direction de l'Hydraulique de la Wilaya de Constantine. Une deuxième campagne a été effectuée en 1980 au Sud de Ain Dalâa et elle a été réalisée par la Compagnie ALGEO. (Tableau I.5)

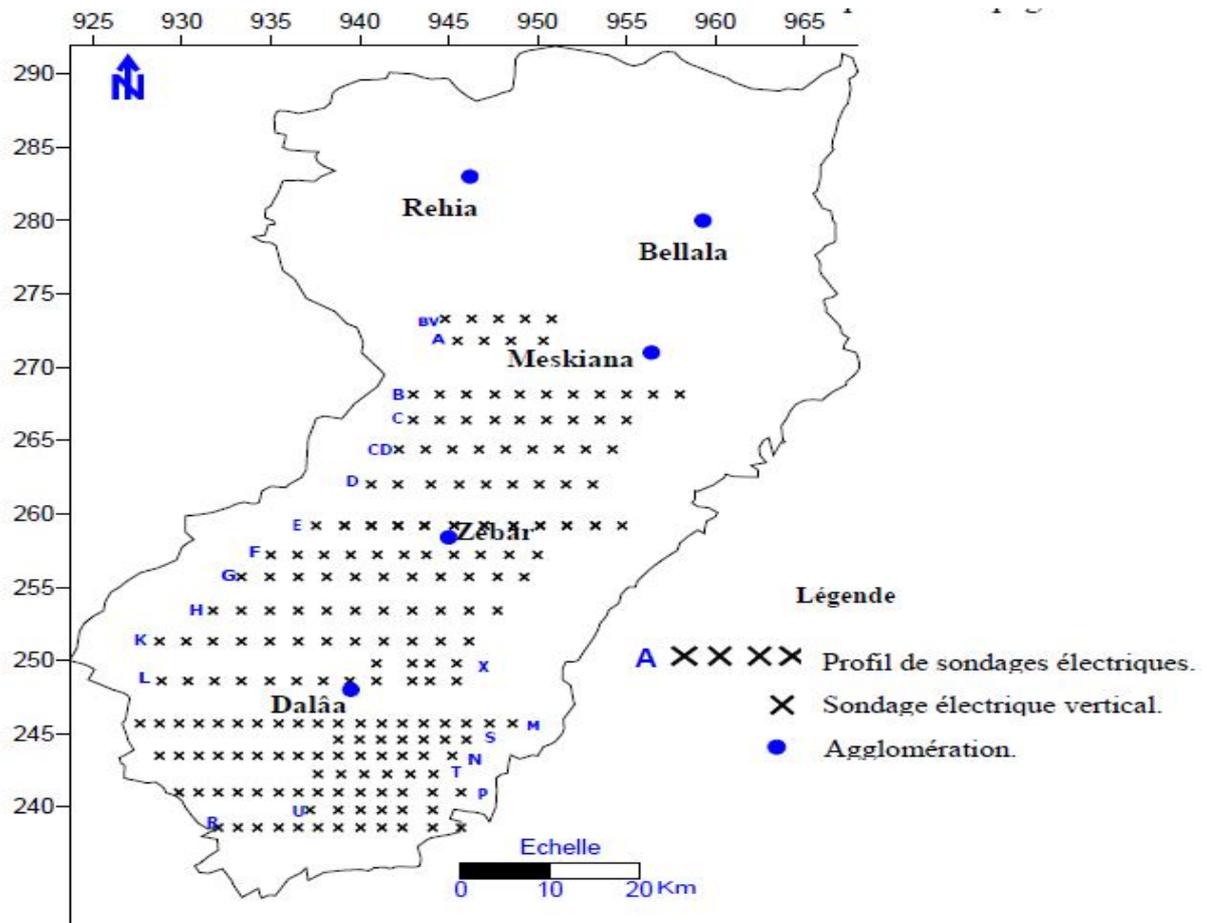


Figure I.5: Carte de position des sondages électriques verticaux et des profils.

I.2.3. Explications des résultats de la prospection électrique:

Ces deux campagnes géoélectriques, basées sur 25 profils de longueurs AB différentes (4000 M, 3000 M, 2000 M, 600 M et 100 M), visant à atteindre les objectifs suivants:

- En savoir plus sur la profondeur de la couche de calcaire Moins sous le couvert de Marne et de calcaire du Cénomaniens;
- Définir l'ingénierie de remplissage alluvial et identifier les meilleures zones Perméabilité à la fin;

- En savoir plus sur l'apparence de la lignée crétacée de Meskiana et l'apparence du synclinal éocène Flotteurs avec seaux.

I.2.4. Apport de la prospection électrique :

Comparer les données générées par la prospection électrique avec celles fournies précédemment Le forage mécanique a permis de déterminer le remplissage alluvial de la plaine de Meskiana. Ce dernier se caractérise par les éléments suivants:

- * L'épaisseur variable varie de 5 m sur les bords à 155 m au milieu de la plaine.
- * Des résistivités variables de 3 à 150 $\Omega.M$
- * La théologie est très hétérogène.

Les coupes géoélectriques ont permis de définir deux niveaux de résistance, qui varie de 30 à 100 mètres et des épaisseurs de 5 à 40 m.

Notez que le premier niveau présente une certaine interruption, qui peut être due au décapage.

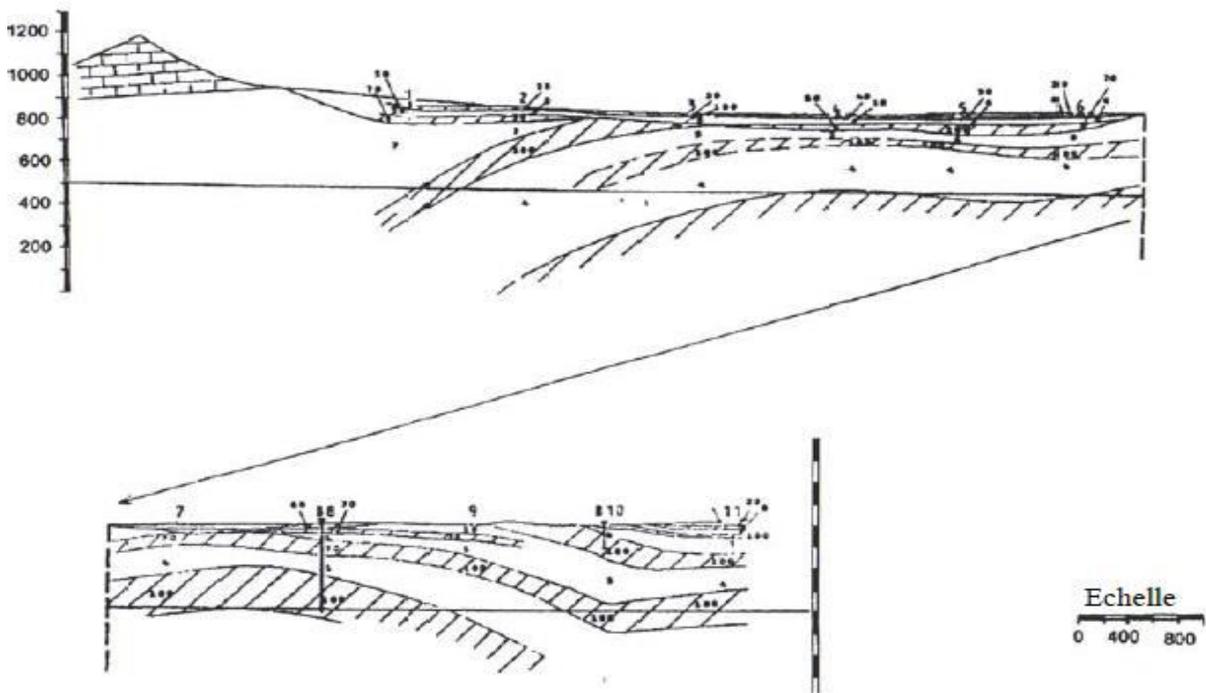


Figure I.6: Coupe géo électrique du profil B.

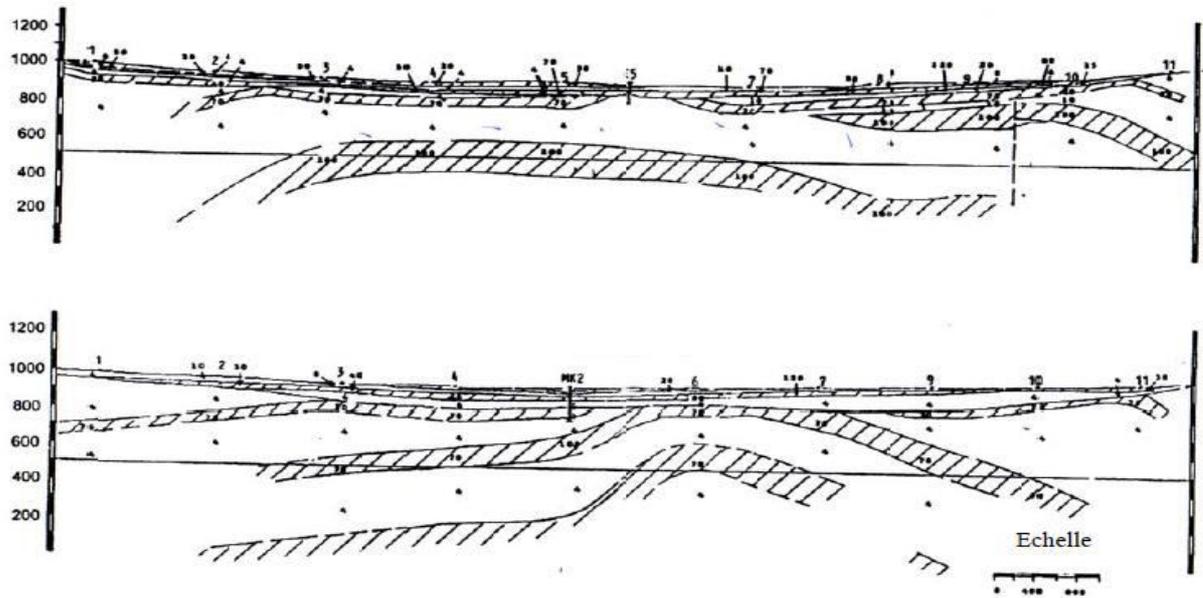
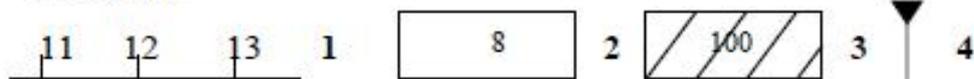


Figure I.7: Coupes géo électriques des profils E et H.

Légende



- 1 Sondages électriques 2 Formation conductrice
 3 Formation résistante 4 Forage hydraulique

Tableau II.1: Caractéristiques hydrogéologiques et géophysiques des formations.

Formation	Age	Epaisseur (m)	Résistivité (Ω m)	Intérêt hydrogéologique
Sables graviers et cailloutis	Pio-Qauternaire	5-145	30-150	Perméable
Limons et argiles	Pio-Qauternaire	5-30	3-5	Imperméable
Calcaire	Maestrichien Sup	100	70-300	Perméable
Calcaire	Maestrichien inf	40-50	5-20	Imperméable
Marnes	Montien	70	2-5	Imperméable
Marnes	Campanien	200	2-5	Imperméable
Marnes	Emschérien	90-100	2-5	Imperméable
Calcaires	Turonien	200-270	70-300	Perméable
Marnes argilleus	Cénomaniien	600-100	2-5	Imperméable

I .2.5. CONCLUSION :

Les résultats de la prospection électrique et les informations tirées à partir des forages mécaniques ont permis d’aboutir aux constatations suivantes :

- Les dépôts du remplissage Mio-Plio-Quaternaire sont très hétérogènes. Ils sont représentés d’une part par des couches conductrices constituées par des marnes et des argiles, et d’autre part par des couches résistantes formées de sables, de graviers, de galets et de cailloutis. Ces dernières couches constituent la nappe phréatique du remplissage alluvial de la plaine de Meskiana.
- Une structure anticlinale se manifeste au niveau de la zone de Meskiana. Elle est constituée par des formations marneuses et marno-calcaires attribués au Cénomaniens jusqu’au Campanien. Le coeur de cet anticlinal est d’âge Turonien.
- Une structure synclinale, qui se manifeste au niveau de la zone de Dalâa, est constituée par des formations résistantes de calcaires et de calcaire marneux du Maestrichtien et de l’Eocène. L’épaisseur de ces formations est importante et peut atteindre 155 m. On pensé que ces formations constituent de bons réservoirs aquifères.

I.3. Etude hydroclimatologie :

I.3.1. Introduction

L’état de l’aquifère de Meskiana a été affecté par son climat sec et semi-aride. Nous utilisons l’hydrologie pour trouver des sources d’eau, Cette connaissance est nécessaire pour évaluer l’alimentation en réserves d’eau souterraine (infiltration) et pertes d’eau souterraine par évaporation.

I.3.2. Climatologie :

La station météorologique de Meskiana gérée par l’Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH) avec une période d’observation de 1990 à 2014 a servi à l’évaluation des facteurs du bilan. Cette station est située selon les coordonnées suivantes:

Tableau I.2 :Les coordonnées de station météorologique :

station	coordonnée Lambert		altitude	période d'observation
	x	y		
MESKIANA	949,7	271	860	1997-2018

I.3.3. Méthode de rapport:

Cette méthode utilise le rapport entre la précipitation moyenne de deux séries Compagnon comme multiplicateur des séries disponibles que nous voulons corriger. Dans notre cas, nous avons pris la station Tebessa comme station de référence. C'est loin d'être Il est situé à 50 km à l'est de la station Meskiana et est situé dans le bassin versant de l'Oued Mellègue..

Si Y indique la pluviométrie mensuelle moyenne dans la station à ajuster (Meskiana) et X la valeur correspondante de la station de comparaison (Tebessa).

$$Y = b.X \rightarrow X = b.Y \quad (1)$$

b : Constante d'ajustement estimée par l'équation suivante:

$$b = V/U$$

V : Moyenne des précipitations mensuelles de la station de comparaison (Tébessa) pour la période (1972/1973 – 1982/1983),

U : Moyenne des précipitations mensuelles de la station à ajuster (Meskiana) pour la période (1972/1973 – 1982/1983), où elle possède une série complète et un écart type relativement faible.

La procédure consiste à estimer le rapport B de données homogènes pour celui-ci Période, puis appliquez l'équation (1) à la période à vérifier (1997/1998 - 2017/2018). L'estimation du facteur de correction est donnée dans le (Tableau I.3)

Tableau I.3: Estimation du coefficient mensuel de correction des précipitations.

	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
V (mm)	46,44	38,64	33,75	33,49	32,94	22,28	31,75	37,68	47,36	26,15	15,94	28,56
U (mm)	29,79	28,84	31,74	22,18	18,48	38,04	50,01	31,98	34,61	25,22	7,125	20,8
B	1,558 9	1,339 8	1,063 3	1,509 9	1,782 5	0,585 7	0,634 9	1,178 2	1,368	1,036 9	2,2372	1,3731

Afin de vérifier la correction apportée à la série de la station de Meskiana, on a appliqué la loi de double cumul qui montre l'homogénéité de la dite série, en se référant à celle de Tébessa (figure 07).

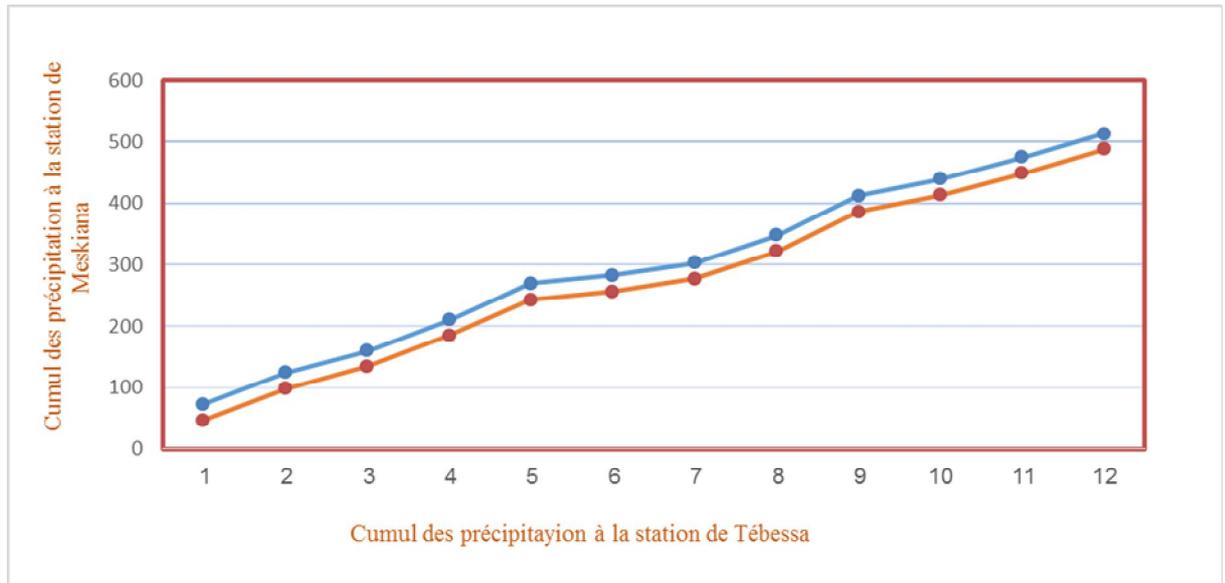


Figure I.7 Application de la loi de double cumul après correction des erreurs.

Tableau I.4: Estimation du coefficient mensuel de correction des précipitations.

	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	total
moyenne	46,44	38,64	33,75	33,49	32,94	22,28	31,75	37,68	47,36	26,15	15,94	28,56	394,98
Min	3	2	2	0	0,7	2,3	4,5	1	2,1	0	0	2,4	
Max	51,3	118,3	112,7	148,6	127	66,7	91,2	144,1	199	88,8	60,5	93	
Ecart type	11,29	28,06	28,56	34,58	31,49	21,32	21,43	35,8	41,49	25,82	16,59	24,41	
Saisons	Automne			Hiver			Printemps			Eté			
	118,8						116,8			70,64			

Les calculs statistiques montrent que la pluviométrie annuelle moyenne est de 395 mm. c'est Vérifier en se référant à la carte des précipitations moyennes annuelles, établie par l'ANRH Depuis plus de 21 ans. Les précipitations maximales sont enregistrées en décembre. le Des précipitations minimales sont enregistrées en septembre. La saison du printemps est la plus Pluvieux avec 116,8 mm, suivi de la saison d'automne, avec une moyenne de 118,8 mm.

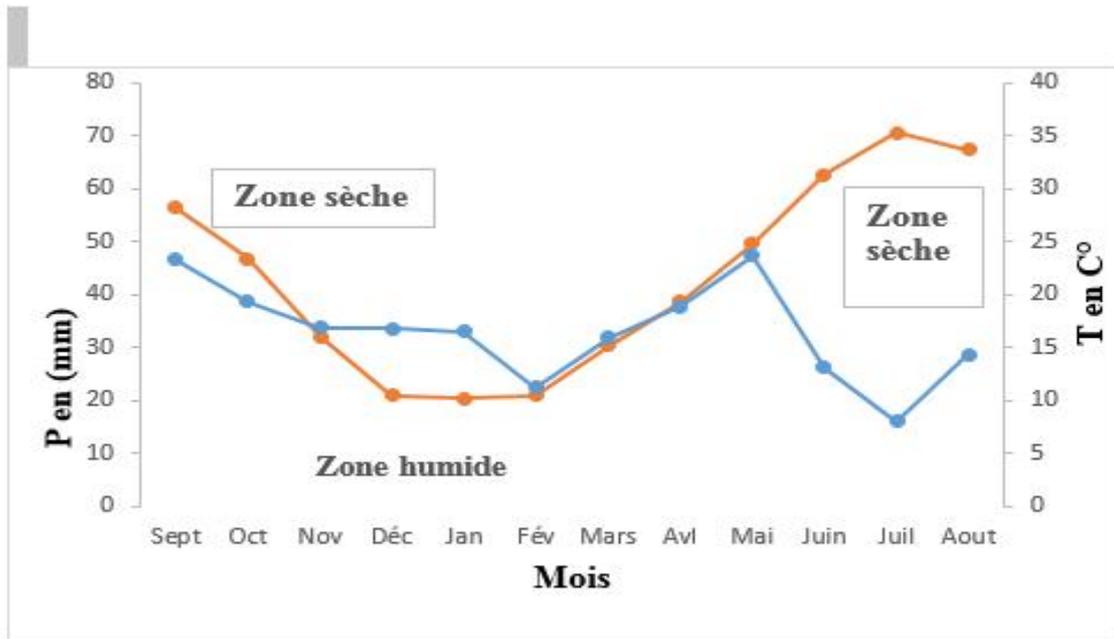


Figure I.8: Courbe Ombrothermique de la station de Meskiana.

I.3.4. Indice de De Martonne:

Cet indice est fonction des températures et des précipitations (2017/2018) ; il est calculé par la relation Suivante :

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

I : indice d'aridité

P : précipitations moyennes annuelles en mm.

T : températures moyennes annuelles en °C

Application :

P = 390.14 mm

T = 27.88C°

Ce qui donne :

I = 17.69

Suivant les valeurs de (I), De Martonne a établi la classification suivante :

I < 5 : climat hyperaride.

$5 < I < 7,5$: climat désertique.

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

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

$20 < I < 30$: climat tempéré.

La station de Meskiana bénéficie d'un climat semi-aride.

I.3.5. Indice d'aridité mensuel:

L'indice d'aridité mensuel est défini par la relation suivante :

$$I = \frac{12 \cdot P}{T^{\circ} + 10}$$

I : Indice d'aridité mensuel

P : Précipitations moyennes mensuelles en mm

T° : Température moyenne mensuelle en °C.

L'application de la formule a permis de dresser le tableau

Tableau I.5: Indices d'aridité mensuels (I) à la station de Meskiana.

Mois	I	Etage bioclimatique
September	14,62	semi- aride
October	13,89	semi- aride
November	15,59	semi- aride
December	19,63	semi- aride
Janvier	19,59	semi- aride
Février	13,07	semi- aride
Mars	15,16	semi- aride
Avril	15,45	semi- aride
Mai	16,33	semi- aride
Juin	7,61	Steppique
Juillet	4,23	Hyperaride
Aout	7,85	Steppique

Selon le classement précédent de De Martonne, les mois de septembre et octobre, Novembre, décembre, janvier, février, avril et mai ont un climat semi-sec. le Juin et août sont caractérisés par un climat steppique, tandis que juillet Il devient très sec.

I.3.6. Etude des facteurs climatiques :

I.3.6.1.LA température:

La température est un facteur très important, régissant le phénomène d'évaporation et de transpiration. De même, les entrées annuelles et saisonnières étaient déficientes. Données de température Les valeurs mensuelles et annuelles moyennes mesurées dans la station sont disponibles (Meskiana). (Hamad Omar, Youssef Rabia, 2004).

A.Variations des températures moyennes annuelles :

Les graphiques représentent le changement de température annuel, sur 21 (97 / 98-2017 / 2018), explique que l'année la plus chaude est 2015/2016 avec La moyenne est de 30,05 ° C, et l'année la plus froide est 2014/2015, avec une moyenne 3,19 ° C.

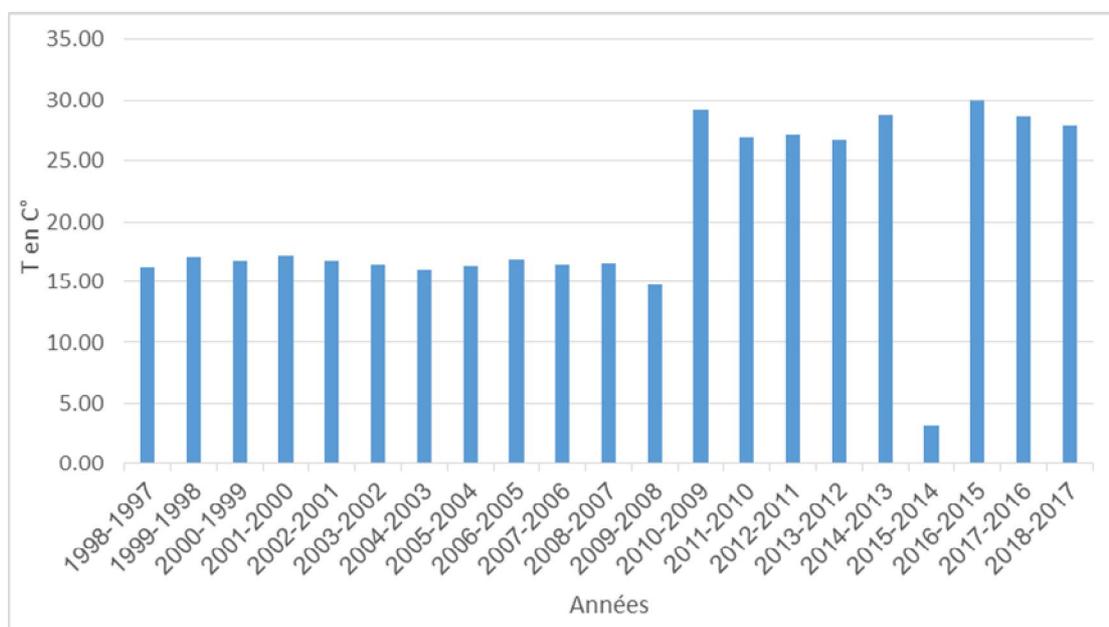


Figure I.9: Evolution de la température moyenne annuelle à la station de Meskiana pour la période (1997/1998-2017/2018).

B. Variations de la température moyenne mensuelle :

Analyse de la courbe de variance des températures mensuelles moyennes sur une période 33 ans (1997/1998-2017/2018), il a été constaté que les valeurs les plus élevées ont été observées durant l'été (Juin - septembre) avec des températures allant de 28,12 à 35,19 ° C le plus précieux Un minimum, qui varie de 10,17 à 10,47 ° C, a été observé pendant la période hivernale (décembre - Mars), au minimum courant janvier (10,17 ° C). L'effet de la température sur la qualité chimique se fait sentir pendant la période estivale, lorsque nous avons les éléments concentrés par évaporation.

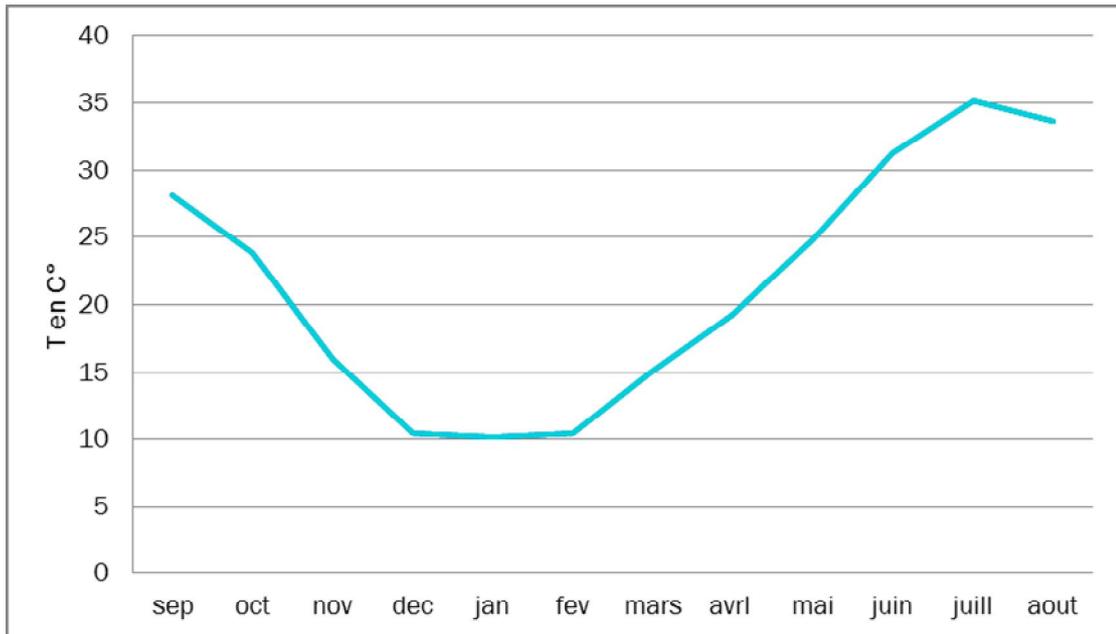


Figure I.10: Variation de la température moyenne mensuelle à la station de Meskiana pour la période (1997/1998-2017/2018).

I.3.7. La pluviométrie :

L'étude pluviométrique présente un intérêt considérable en hydro climatologie, car elle nous donne une description du régime pluviométrique d'une part et le régime d'écoulement d'autre part, elle nous renseigne également sur l'alimentation des eaux souterraines. (Hamad Omar, Yousfi Rabiaa ,2004).

B. Variations interannuelles des précipitations :

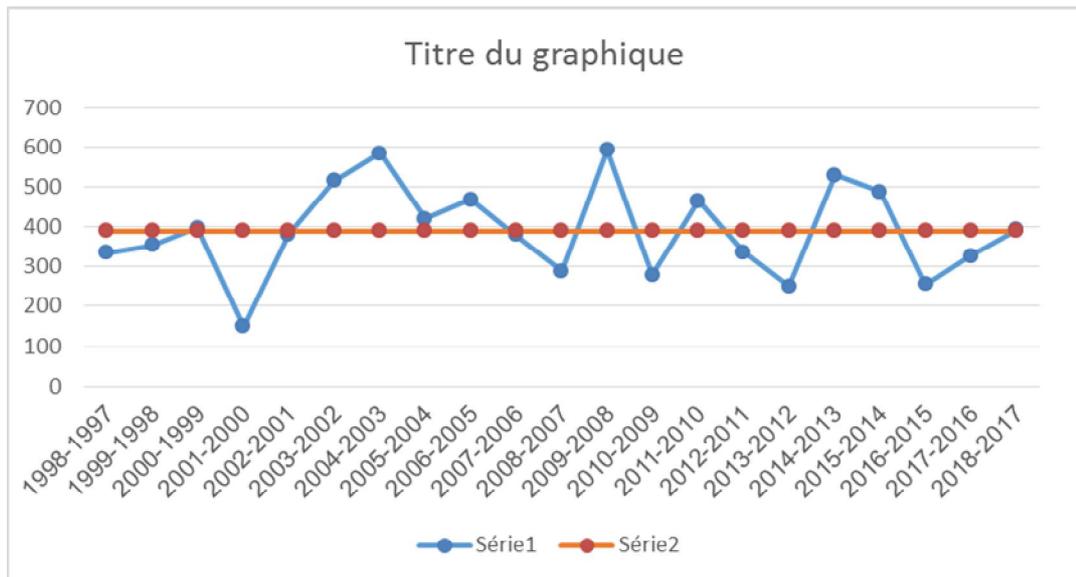


Figure I.11 : Evolution des précipitations annuelles à la station de Meskiana pour la période (1997/1998 – 2017/2018).

L'analyse de la courbe des variations interannuelles des précipitations, sur une Période de 21 ans (97/98-2017/2018), montre que l'année 2015/2016 est la plus pluvieuse avec 593.5 mm et l'année 1997/98 est la plus sèche avec 149.1 mm, (Figure 11).

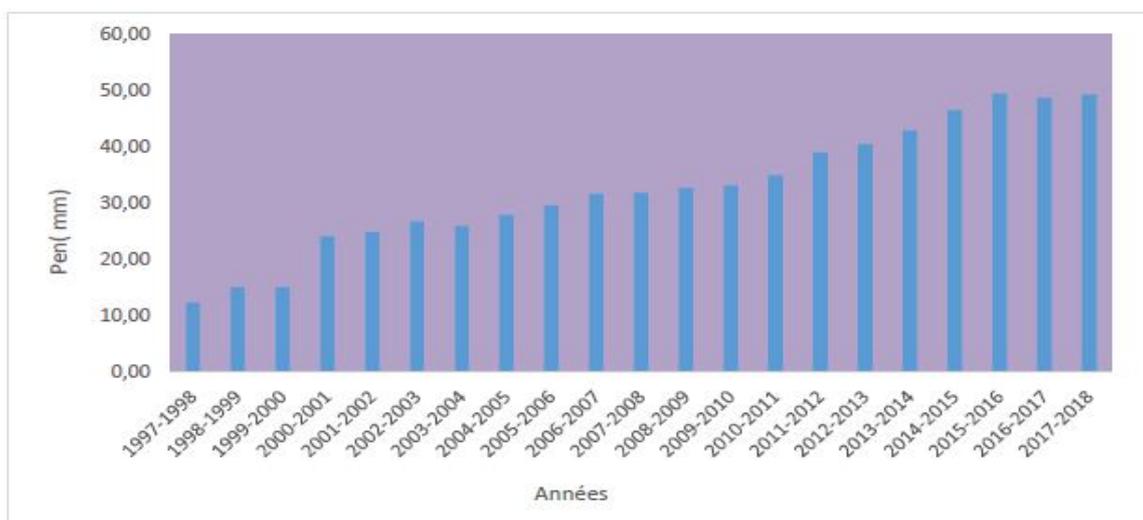


Figure I.12: Evolution des précipitations annuelles à la station de Meskiana pour la période (1997/1998-2017/2018).

B. Variations moyennes mensuelles des précipitations :

La courbe des variations des moyennes mensuelles des précipitations, sur une période de 21ans (97/98-2017/2018), montre que le mois de mai est le plus pluvieux, avec 47.36 mm, alors que le mois de juillet est le plus sec, avec 15.94mm. (Figure I.13)

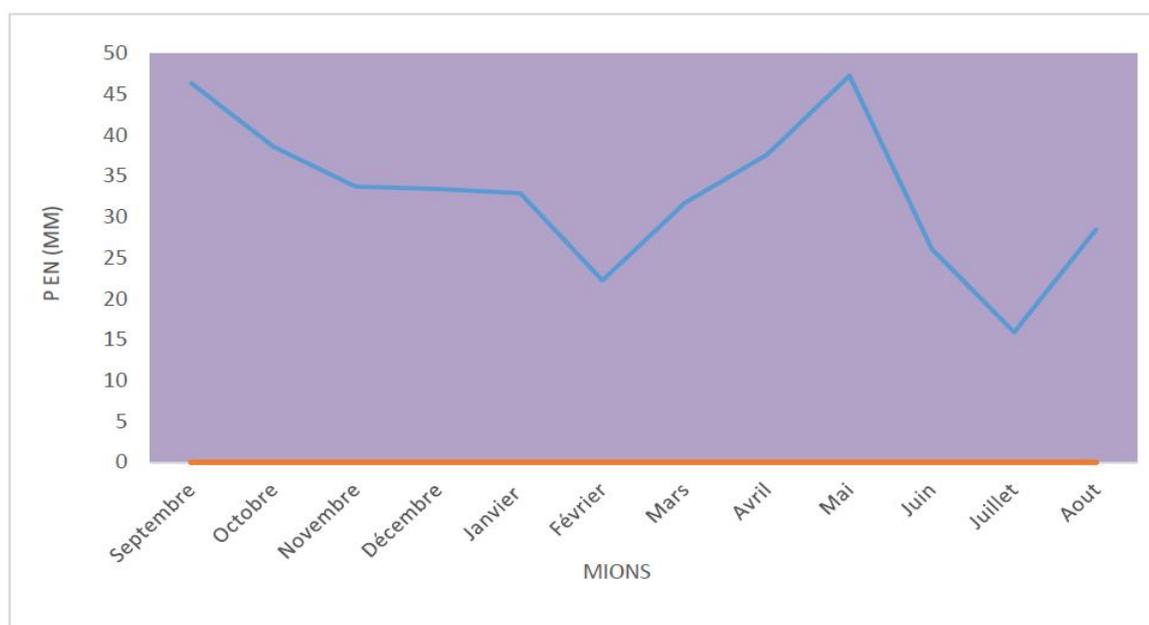


Figure I.13: Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station de Meskiana pour la période (1997/1998-2017/2018).

I.3.8. Estimation de l'évapotranspiration :

I.3.8.1.Introduction :

L'évapotranspiration peut être considérée comme étant la somme des eaux terres :

La transpiration végétale

L'évaporation du sol L'intensité de l'évaporation est fonction du rayonnement solaire, de la température, Humidité relative de l'air, humidité du sol, vent, végétation et travaux du sol un terrain. L'évaporation potentielle est définie comme le type d'eau que vous dépensez Évaporation d'énergie de l'atmosphère (évaporation potentielle) et activité biologique (Transpiration), ou au total par évaporation potentielle, cette dernière étant l'une des Les composants de base du cycle hydrologique. La précision que vous appréciez Essentiel pour le calcul du bilan hydrique, le calcul de l'irrigation et la gestion Les ressources en eau ainsi que pour déterminer le volume des travaux d'aménagement. ETP Nous utilisons une formule pour estimer la méthode ETP GW Thornthwaite.

A.Évapotranspiration réelle (ETR) :

L'évaporation réelle est la qualité de l'eau déjà évaporée. Représenter La quantité de vapeur d'eau relativement émise dans l'atmosphère par le sol et la végétation. Des méthodes peuvent être proposées :

* La méthode de Turc.

* La méthode de Thornthwaite.

On a choisi la méthode de TURC afin de déterminer l'évapotranspiration réelle (ETR)

* Formule de TURC

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

C'est la méthode la plus répandus, elle tient compte des précipitations et des températures Moyennes annuelles.

ETR= √ ETR : évapotranspiration réelles (mm).

P : précipitation moyenne annuelle en (mm).

L : 300+25T+0.05T³ où

T est la température moyenne annuelle en C°.

P = 390.14 mm

T = 27.88 C

- Application numérique : L= 2080.55 ,ETR = 402.40

B. Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) :

Pour estimer l'évaporation potentielle, nous utilisons des méthodes basées sur des variables Conditions climatiques. Cependant, le choix dépend principalement du type de données climatiques Disponible et le type de climat dans la région

*** Formule de THORNTHWAITE:**

L'agronome américain G.W. Thornthwaite proposa en 1948 une expression pour L'estimation de l'évapotranspiration potentielle en tenant compte seulement de la température mensuelle. Le développement de cette expression donne la formule suivante :

$$ETP = 16(10T/I)^a$$

ETP : évapotranspiration potentielle en (mm)

T : température moyenne du mois en (°C)

$$I = \sum i \text{ et } i = (t/5)^{1.514}$$

a = (1.6.I/100) + 0.5 (D'après Serra L. 1954)

Les valeurs de l'ETP ne sont pas corrigées, donc il faut faire le coefficient de correction « K » qui dépend de la altitude, prend en considération la durée d'insolation thermique tirée d'un abaque, notre station se trouve à une altitude de 1063 m.

ETP corrigé = ETP . K

Les résultats obtenus sont : I=116,11

Tableau I.6:: Coefficient de correction K dépend du site considéré (climat semi-aride)

Moi	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avri	Mai	Juin	Juil	Aout
K	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,09	21,2 1	1,21	1,23	1,16

Tableau I.7: Bilan hydrologique moyen (1971/1972-2004/2005) à la station de Meskiana, par la méthode de Thornthwaite.

	Spet	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avl	Mai	Juin	Juil	Aout	Total
P(mm)	46,44	38,64	33,75	33,49	32,93	22,28	31,74	37,67	47,35	26,14	15,94	28,56	394,93
T(C°)	28,11	23,38	15,97	10,47	10,17	10,45	15,13	19,26	24,79	31,25	35,19	33,62	257,79
I	13,64	10,31	5,79	3,05	2,92	3,05	5,33	7,69	11,26	16,03	19,15	17,89	116,11
ETP(mm)	131,34	79,92	28,42	10,35	9,9	10,48	30,48	57,02	114,41	199,68	268,43	224,64	1165,07
P-ETP	-84,9	41,28	5,33	23,14	23,03	11,8	1,26	19,35	-67,06	173,54	252,49	196,08	-770,14
ETR(mm)	46,44	38,64	28,42	10,35	9,9	10,48	30,48	57,02	54	26,14	15,94	28,56	356,37
REU(mm)	0	0	5,33	26	26	26	26	6,65	0	0	0	0	115,98
EX(mm)	0	0	0	2,47	23,03	11,8	1,26	0	0	0	0	0	38,56
Da(mm)	84,9	41,28	0	0	0	0	0	0	60,41	173,54	252,49	196,08	808,7

P = ETR + EX
P = 394,93
ETP = ETR + Da
ETP = 1165,07

-Interprétation du bilan hydrique :

Le rapport $\frac{\mathbf{ETR}}{\mathbf{P}} = 0,90$

Alors 88% des précipitations seront évaporées

Le rapport $\frac{\mathbf{Da}}{\mathbf{P}} = 2,05$

Alors le déficit agricole égal 56% des précipitations

Le rapport $\frac{\mathbf{ETR}}{\mathbf{ETP}} = 0,61$

Alors que les réserves d'eau insuffisante que 61% de la demande en eau (évapotranspiration potentielle)

*Les 5 mois sur 12 mois sont excédentaires : décembre , janvier , février , mars .

*Les 5 mois sur 12 sont déficitaires : septembre , octobre, Mai , juin , juillet , aout

L'observation du graphe du bilan hydrologique nous amène à dire que l'ETP est importante du mois de juillet jusqu'au mois de septembre, rendant ainsi nécessaire l'irrigation. A partir du mois de novembre, on assiste à une reconstitution du stock qui s'accompagne d'une augmentation de la RFU, qui atteint son maximum entre les mois de juin et aout. Au-delà de cette période, on assiste à une baisse de la RFU, traduisant un épuisement du stock. (figure 14)

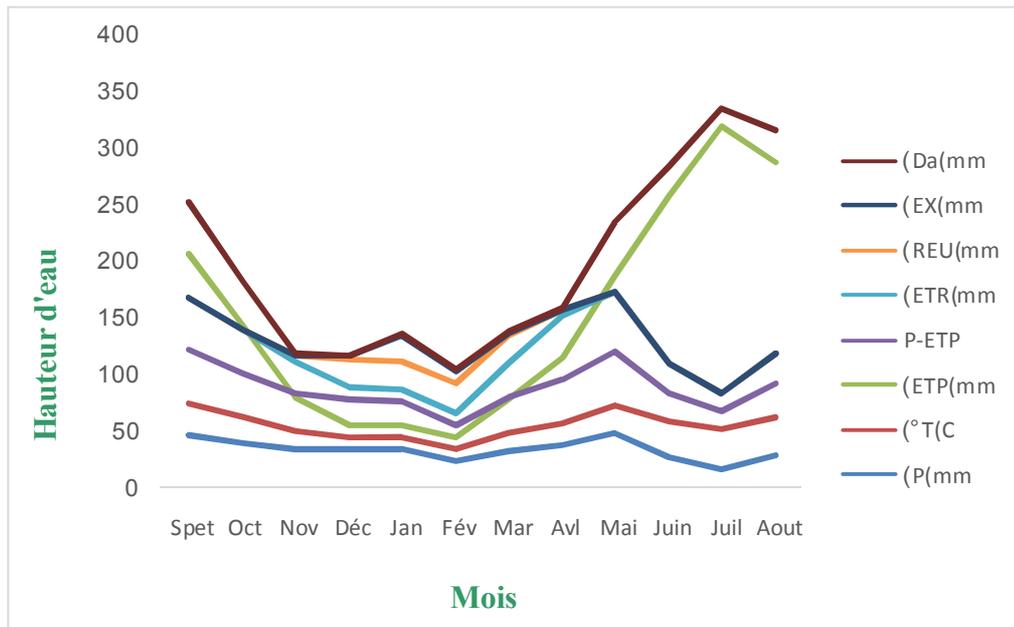


Figure I.14: Bilan hydrologique à la station de Meskiana, par la méthode de Thornthwaite pour la période (1997/1998 -2017/2018).

Répartition de l'excédent :

L'application de la formule de Tixeront- Berkaloff pour une année moyenne donne le Résultat suivant :

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

R : Ruissellement (m).

P : Précipitations moyennes mensuelles (m).

ETP : Evapotranspiration potentielle (m).

L'application numérique donne

$$R = 15.13 \text{ mm}$$

L'Infiltration (I) :

$$P = ETR + R + I$$

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

$$I = 23.43 \text{ mm}$$

Il est à noter que cette valeur ne représente pas réellement l'infiltration dans tout le bassin, car son estimation est basée sur les données d'une seule station pluviométrique, qui est celle de Meskiana.

Les mesures d'infiltration in situ, réparties sur toute superficie de la plaine, pourrait nous donner une approche fiable de ce paramètre.

Tableau I.8: Répartition des précipitations à la station de Meskiana.

precipitation		evapotranspiration réelle ETR		Ruissellement R		Infiltration I	
(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
394.93	100	356.37	90.24	15.13	3.83	23.43	5.93

I.3.9. Conclusion:

La plaine de Meskiana possède un climat méditerranéen de type semi-aride, avec un hiver froid et pluvieux, et un été chaud et sec, influencé par des facteurs géographiques (éloignement de la mer, altitude et orientation des reliefs). La répartition des précipitations et des températures influe sur la chimie des eaux par dilution pendant la période pluvieuse, ou concentration lors de l'évaporation durant la période sèche.

La température moyenne annuelle qui y règne est de 20.28°C.

Les précipitations moyennes annuelles, sur une période de 21 ans (1997/9198–2017/2018), sont estimées à 395 mm. L'évapotranspiration réelle est estimée à 356.37 mm, mobilisant 90.24% des précipitations. Le ruissellement ne représente que 3.83 % des précipitations, ce qui représente 15.13 mm. L'infiltration ne laisse percoler que 23.43 mm, ce qui ne représente que 5.93 % des précipitations.

Ceci laisse penser que l'alimentation de la nappe ne se fait pas exclusivement à l'aide de l'infiltration efficace, mais aussi sur les calcaires fissurés qui bordent la nappe.

Le régime des écoulements de l'Oued Meskiana dépend de celui des précipitations.

I.4. Etude hydrogéologique:

I.4.1. Introduction:

L'hydrogéologie constitue un outil de base pour connaître les différents éléments qui nous permettent de définir les caractéristiques d'une nappe.

C'est dans ce contexte que nous avons essayé au niveau de ce chapitre d'identifier et de délimiter le système aquifère formé par le remplissage alluvial. Ensuite comprendre l'impact des variations climatiques, dans le temps, et la variation de la lithologie dans l'espace, sur le comportement hydrodynamique de la nappe alluviale de Meskiana.

Nous commençons dans un premier stade à définir l'allure générale de l'écoulement de la nappe et de voir le mécanisme d'évolution du niveau piézométrique dans le temps et dans l'espace.

I.4.2. GEOMETRIE DE L'AQUIFERE :

L'interprétation des résultats de la prospection électrique (CGG, 1974) et des données Acquises suite aux sondages mécaniques a permis de visualiser la répartition du matériel du remplissage dans la nappe alluviale de Meskiana :

La zone de Dalâa est en réalité une dépression alluvionnaire, où l'épaisseur des alluvions peut atteindre 155 m. Dans la zone de Zebar, qui se situe entre Dalâa et Meskiana, les dépôts du remplissage ne dépassent pas 100 m d'épaisseur.

Il faut signaler que ces alluvions reposent sur un substratum marneux qui remonte en surface au Nord de la plaine.

I .4. 2. Etudes piézométriques :

I .4. 2. 1. Introduction :

La surface piézométrique des nappes est déterminée par les caractéristiques de leur écoulement que dans les conditions naturelles de gisement des eaux souterrains, dépendent de différents facteurs.

- les conditions géomorphologiques et structurales régionales qu'imposent.
- Le niveau et la pression piézométrique.
- Le type de nappe et son profil de dépression.
- Les caractéristiques de la couche aquifère : lithologie (perméabilité). Section et substratum.
- Les conditions d'alimentation et de drainage.

Les cartes en courbes isopièzes permettent donc :

- De calculer la profondeur de la surface piézométrique.
- De tracer les lignes de courant et de déterminer la direction de l'écoulement et les zones d'alimentations.
- De déterminer le gradient hydraulique.

I .4.3. Inventaire des points d'eau :

Dans la présente étude, seuls les ouvrages captant la nappe du remplissage alluvial nous ont intéressés, et plus de 180 puits et 17 forages ont été recensés. La plupart des puits, de faible profondeur mais de grand diamètre, ont été creusés mécaniquement, seuls quelques autres, situés à proximité des bordures, sont profonds.

On note que certains puits sont abandonnés et pourraient constituer des sources de pollution de la nappe. Deux forages sont également non exploités à cause de la forte salinité de leurs eaux.

Pour la réalisation de la cartographie piézométrique et hydrogéochimique, on a choisi un réseau représentatif de toute la nappe (figure 15), malheureusement, durant les campagnes piézométriques, quelques puits n'ont pas fait l'objet de relevés pour diverses raisons qui sont

indépendantes de notre volonté. Nous signalons que les mesures ont été faites en utilisant une sonde piézométrique de 100 m à double signalisation (sonore et lumineuse).

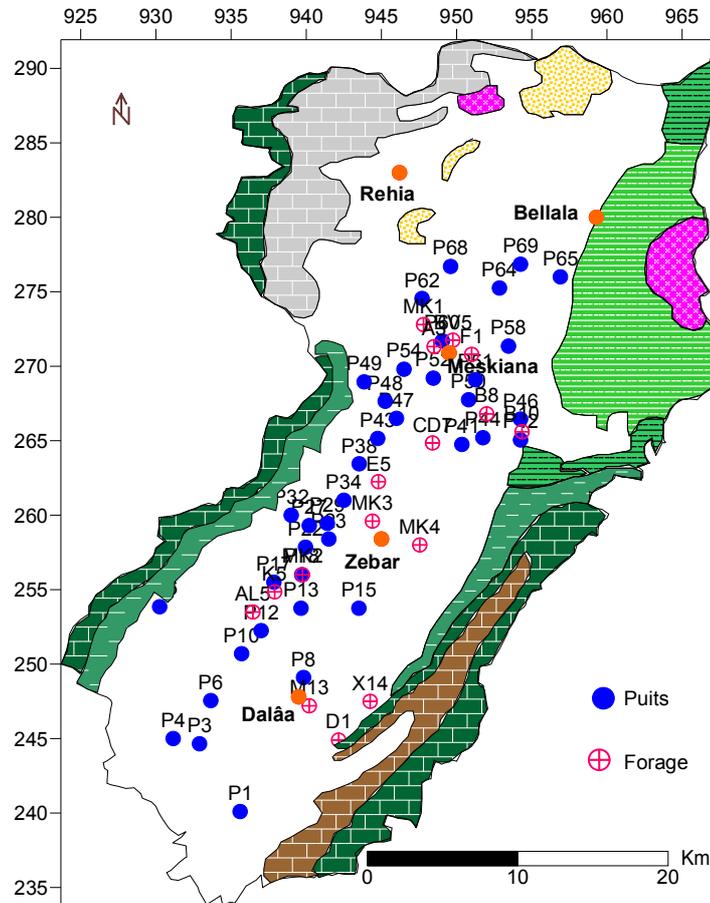


Figure I.15 : Carte d'inventaire de la nappe de la plaine de Meskiana, mars 2017

I .4. 4 Piézométrie :

Les cartes de la surface piézométrique, dites piézométriques, établies avec les données sur les niveaux piézométrique, représentent, à une date donnée, la distribution spatiale des charges et des potentiels hydrauliques. Elles sont les documents de base de l'analyse et de la schématisation des fonctions capacitives et conductrices du réservoir et du comportement hydrodynamique de l'aquifère.

C'est la synthèse la plus importante d'une étude hydrogéologique.

I .4.5 Interprétation des cartes piézométrique :

L'observation de la carte montre une certaine irrégularité la morphologie des courbes isopièzes indique un écoulement de la direction prédominante SW-NE (presque parallèle à la direction de l'Oued).

Au Sud-Est (Ain Dalla), l'espacement des courbes presque régulier, avec un gradient hydraulique variant de La région centrale (Meskiana) , est caractérisée par des courbes serrées de gradient hydraulique de l'ordre 0.007 qui indique un écoulement rapide, l'alimentation de cette zone se fait probablement par Dj.Gouriguer.

Au Nord, on remarque, une morphologie des courbes isopiezés plus ou moins espacées, qui indique un écoulement lent avec un gradient hydraulique qui variant

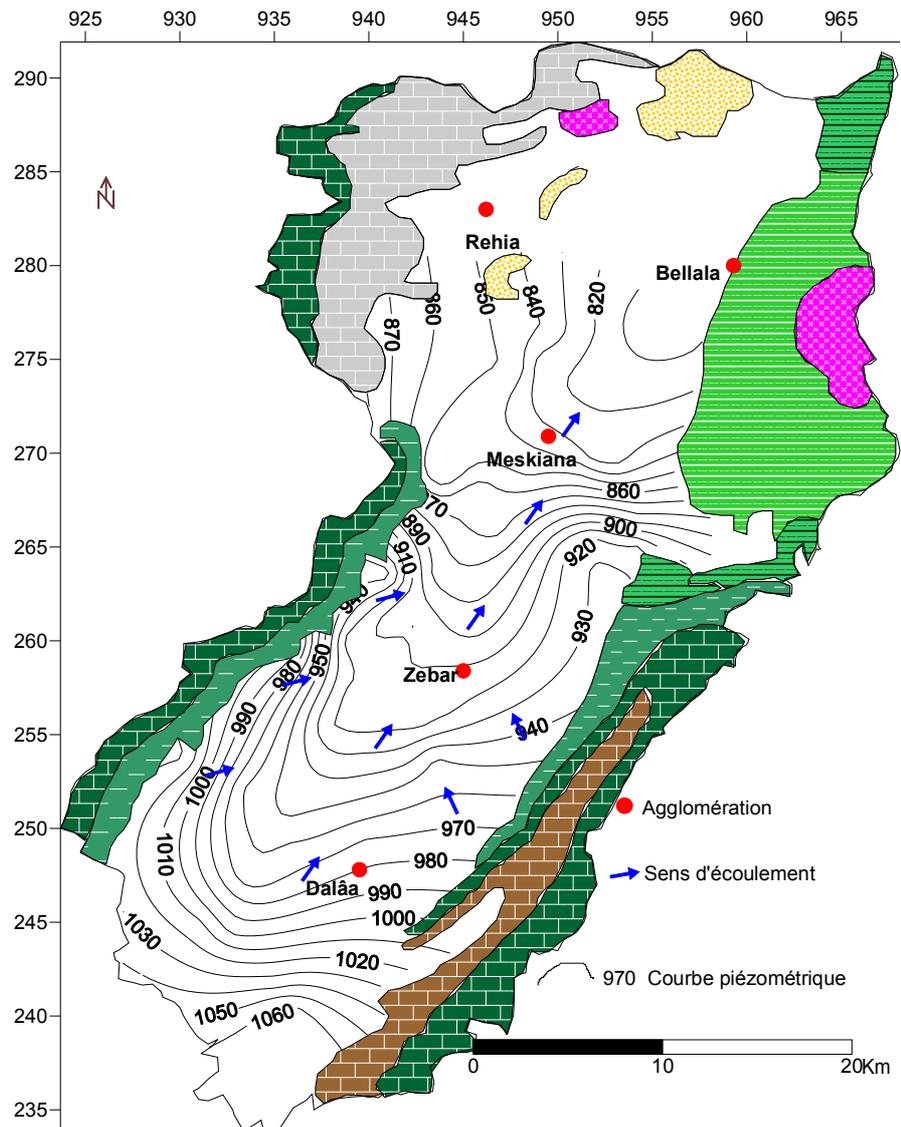


Figure I.16 : Carte piézométrique de la nappe de la plaine de Meskiana.
- mars 2017

I .4.6 Alimentation et recharge de la nappe :

L'alimentation de la nappe de Meskiana se fait essentiellement à partir des eaux météoriques de type va dose, qui s'infiltrent sur tout l'impluvium, et des eaux d'écoulement de l'oued de Meskiana qui s'infiltrent au niveau de leur cônes de déjection en période «

hautes eaux ». Cette dernière alimentation est facilitée par la bonne perméabilité des formations alluvionnaires formées des éléments grossiers des cônes de déjections.

Au centre les éléments sont de plus en plus fins et argileux. Ceci est bien mis en évidence par la diminution du gradient hydraulique de l'amont en aval.

Notons qu'une alimentation latérale à partir des affleurements calcaires existe-ceci est visible en particulier dans la zone d'Ain Delaa ou les isopièzes sont subparallèles aux affleurements de ces formations. La source d'Ain Delaa issue des mêmes calcaires, constitue un bon apport dans la recharge de la nappe.

Au Nord-Est, les isopièzes sont sub-perpendiculaires aux affleurements l'alimentation est nulle à partir de ces affleurements.

Les zones d'alimentation amont de la plaine de Meskiana, sont les zones préférentielles de la recharge.

I .4.7. Études des caractéristiques hydrodynamiques :

Les principales caractéristiques hydrodynamiques sont : la transmissivité T, le coefficient d'emménagement S et le coefficient de perméabilité K.

I .4.7.1. Définition des caractéristiques hydrodynamiques :

D. Le coefficient d'emménagement :

Noté S, sans dimension, est le rapport du volume d'eau libéré où emmagasiné, par unité de surface de l'aquifère (m^2) à la variation de charge, h correspondante.

Dans un aquifère captif ce paramètre est lié à la compressibilité et à l'expansibilité de l'eau et du milieu aquifère, ainsi qu'à la puissance de la couche aquifère.

Dans un aquifère libre, il équivaut en pratique à la porosité efficace.

E. La transmissivité:

Elle est égale au produit du coefficient de perméabilité K, par l'épaisseur de l'aquifère h. elle s'exprime en m^2/s . elle régit l'effet d'une unité de largeur L, d'un aquifère, sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique i. elle évalue la fonction conduite de l'aquifère.

F. La perméabilité :

Notée K, est définie par la loi de DARCY. C'est le volume d'eau gravitaire en m^3 , traversant en unité de temps, sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique, une unité de section on en m^2 , orthogonale à la direction de l'écoulement. Elle s'exprime on m/s .

Dans cette étude, le seul paramètre calculé est la transmissivité lors de la descente et la remontée.

G. Détermination de la transmissivité :

Les essais de pompages interprétés sont des essais de longue durée comprenant les mesures de la descente et de la remontée du niveau dynamique. Ces mesures sont effectués dans des forages pompés.

La méthode utilisée pour la détermination de la transmissivité est celle de JACOB

D.1 Méthode de JACOB

Cette méthode s'appuie sur la formule de THEIS. Cependant les conditions de son application sont plus restrictives que celle de la méthode de THEIS. Lorsque le temps de pompage est suffisamment grand et par simplification le développement en série de l'équation de THEIS se réduit à la formule de JACOB qui s'écrit :

$$D = \frac{2.3Q}{4\pi T} \log \frac{2.25tT}{R^2S}$$

D.2. Mode opératoire :

Sur un diagramme semi-log, nous portons on abscisse logarithmique les temps de pompage et en ordonnée arithmétique les rabattements correspondant. On devrait trouver une droite moyenne matérialisée par l'alignement des points portés sur le graphe.

Cette droite est de la forme **y = ax + b** avec :

$$C = \frac{0.183Q}{T}$$

représentant la pente du rabattement pour un cycle logarithmique ;

$$T = \frac{0.183Q}{C}$$

***Application :**

Cette méthode à été appliquée sur deux forages , les temps de pompages supérieurs à 24heurs sont assez longs et permettent l'application de la méthode de JACOB.

E. Méthode de la remontée de THEIS-JACOB :

Une fois le pompage achevé ; le niveau d'eau cesse de descendre pour remonter vers son point d'origine. On mesure la remontée par le rabattement résiduel D'. C'est-à-dire la différence entre le niveau R original de l'eau avant le pompage et le niveau mesuré depuis -l'arrêt du pompage.

-Cette méthode permet ce calcul seulement de T.

-Le rabattement résiduel s'exprime alors :

$$D'' = D - D' = \frac{0.183Q}{T} \left(\ln \frac{2.25.t.T}{R^2.S} - \ln \frac{2.25.t'.T}{R^2.S} \right)$$

S et S', sont respectivement les coefficients d'emmagasinement au cours du pompage et lors de la remontée.

En admettant que S = S' On a :

$$D'' = \frac{0.183Q}{T} \cdot \log t/t'$$

Avec :

D= Rabattement à la fin du pompage.

D'= Rabattement durant la remontée par rapport au niveau statique.

t = temps depuis le début de pompage.

t'= temps depuis l'arrêt du pompage.

E.1. Mode opératoire :

Sur une feuille semi-logarithmique, nous reportons en ordonnées arithmétiques les rabattements résiduels et en abscisse logarithmique t/t'. Nous traçons la droite moyenne passant par l'ensemble des points.

Pour un cycle logarithmique de temps, la pente de la droite est égal à :

$$\frac{0.183Q}{T} \quad \text{d'où} \quad T = \frac{0.183Q}{C}$$

I .4.6. Conclusion :

De l'étude de la piézométrie, nous constatons que l'écoulement général de la nappe est caractérisé par des vitesses variables. Cet écoulement est rapide en amont avec un gradient hydraulique élevé, devant au centre relativement lent, pour se ressaisir en aval.

La piézométrie a aussi mis en évidence les zones d'alimentation de la nappe. Elle peut se faire :

- A partir des eaux météoriques qui s'infiltrent dans les alluvions quand la granulométrie des terrains le permet.
- A partir des eaux de ruis de l'oued de Meskiana.
- A partir des affleurements calcaires. Cette alimentation peut être latérale ou ascendante. Elle est très importante au Sud-Est.



Chapitre II:
partie spéciale

II. Etude hydrochimie :

II.1. Introduction :

L'étude hydro chimique constitue une étape importante pour déterminer l'utilisation possible des eaux tous les domaines.

La conception de tout travail hydrochimique est de dévoiler les caractéristiques physiques et chimiques, et les lois qui régissent les échanges entre les eaux souterraines et les roches encaissantes.

Il a pour but de recueillir les données des différents paramètres qui se conjuguent entre eux dans un milieu donné pour conférer à l'eau une qualité intrinsèque qui la diffère des autres.

La synthèse des données est présentée par des tableaux, des graphiques, des diagrammes, et des cartes hydrogéochimiques.

La présente étude a pour but de faire une approche de la mise en solution des divers éléments chimiques, leur origine et leur répartition dans l'espace et dans le temps. D'apprécier les phénomènes d'attaques et de dissolution et, d'autres phénomènes secondaires qui se définissent sous les termes de : concentration, échanges de bases, réduction des sulfates et qui viennent modifier la composition chimique des eaux. Une fois le travail accompli, nous aurons le privilège de classer les eaux à différents caractères et en fonction des teneurs des éléments chimiques qui entrent dans leur composition.

L'étude se base principalement sur les données d'une seule campagne de prélèvement comportant 39 points d'eau.

II.2. Balance ionique:

Grace à elle nous avons vérifié la fiabilité des analyses chimiques utilisant l'équilibre ionique exprimée par la formule de G. Castany, 1962 est présentée de la manière suivante:

$$bi = [\text{Somme anions} - \text{Somme cations} / \text{Somme anions} + \text{Somme cations}] \times 100\%.$$

Les analyses pour lesquelles le bi est supérieur à 10% ne seront pas une priorité pour nos interprétations.

II.3. Description sommaire des paramètres physico-chimique :

Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux de la nappe de Meskiana, , ont été consignés dans le tableau suivant:

Tableau II.1: Variation des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines dans la nappe de Meskiana,(mars 2017).

Eléments	Norme OMS	Max	Min	Moy	Ecart-type
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	250	248	102	183,56	40,51
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	250	1091	78	462,02	272,28
Cl ⁻ (mg/l)	250	925	47	438,66	260,53
Ca ²⁺ (mg/l)	100	797	85	265,30	154,56
Mg ²⁺ (mg/l)	50	67	12	33,15	18,33
Na ⁺ (mg/l)	150	409	25	230,51	116,00
K ⁺ (mg/l)	12	17	7,0	11,82	03,02
CE (μS.cm ⁻¹)	2500	4995	868	2559,69	1133,52

Les valeurs de la conductivité électrique montrent que la plupart des puits dépassent la norme recommandée relative à la potabilité des eaux et Les valeurs minimales sont de l'ordre de 868 (μS.cm⁻¹) enregistrées à l'amont de la nappe.

Les valeurs maximales de CE sont de l'ordre de 4995 (μS.cm⁻¹), on les rencontre dans la zone d'accumulation des eaux souterraines au Nord-Est de la nappe , elles sont dues aux dépôts évaporitiques issus de djebel Belkefif. L'ion Ca²⁺ varie entre 797 et 85 (mg/l) et le Mg²⁺ varie entre 67 et 12 (mg/l). Le Na⁺ varie entre 409 et 25 (mg/l) , HCO₃⁻ varient entre 102 et 248 (mg/l) , les ions SO₄²⁻ varient entre 1091 et 78 (mg/l) . Les ions Cl⁻ varient entre 925 et 47 (mg/l) , le K⁺ varie entre 17 et 7.

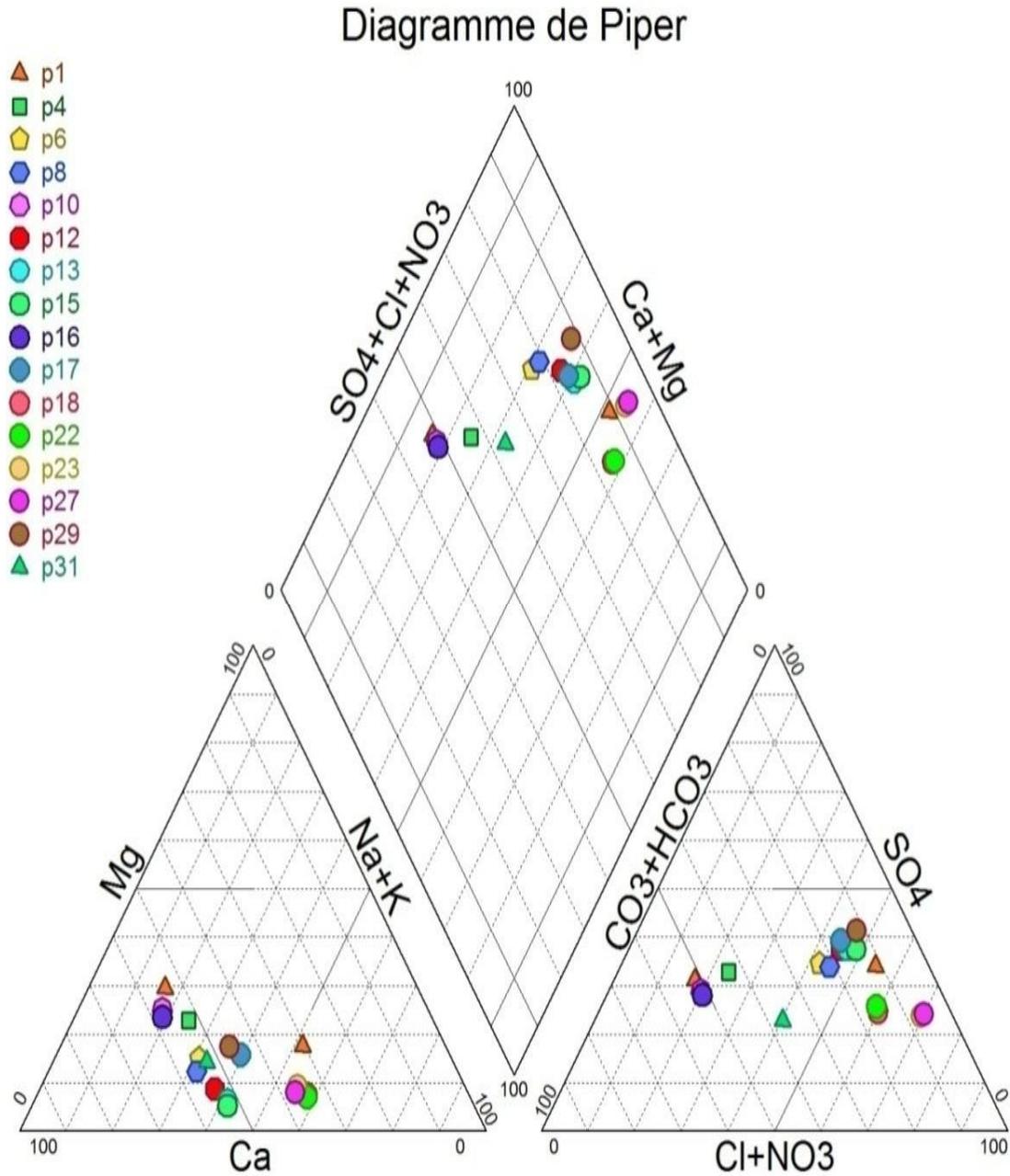
II.4 Représentation graphique des résultats :

-Détermination des faciès chimiques :

II.4.1. Diagramme de Piper :

Le diagramme de Piper est une composante graphique qui permet de visualiser, quantitativement et qualitativement, la composition chimique des eaux. Le procédé consiste à porter les concentrations sur deux triangles équilatéraux (triangle des anions et triangle des cations) puis à projeter les points représentatifs des échantillons dans un diagramme sous forme de losange qui donne les compositions totales en éléments majeurs et les faciès

chimiques des eaux. L'utilisation du logiciel DIAGRAMMES 2 (Roland Simler 2007), nous a permis l'identification des faciès.



**Figure II.1: Diagramme de Piper des eaux souterraines de Meskiana
(mars 2017)**

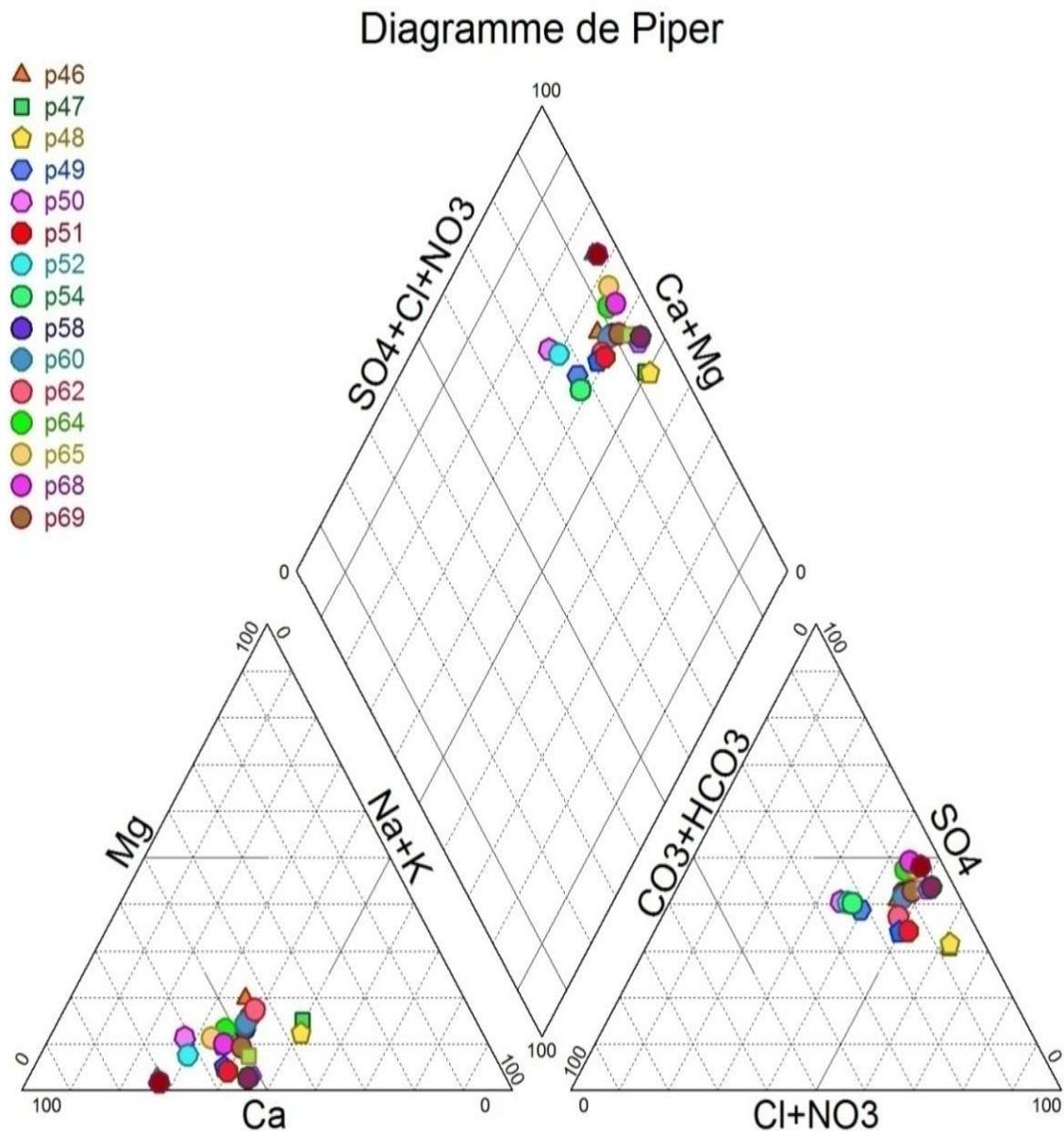


Figure II.1: Diagramme de Piper des eaux souterraines de Meskiana (mars 2017).

Les nuages de points montrent une dominance cationique sodique qui s'explique par les marnes emschériennes gypsifères qui constituent le substratum de la nappe, et quelques points calciques. Pour les anions, les nuages de points montrent une dominance de chlorure et la présence d'une faible tendance vers les anions sulfatés, Ces derniers se localisent à proximité des bordures calcaires. La combinaison des différents cations et anions donne naissance à trois faciès dominants qui sont : Le chloruré magnésienne, le chloruré calcique, et le sulfaté calcique, les conditions climatiques, la lithologie et les conditions hydrodynamiques favorisent la formation de ces faciès.

II.4.2. Classification de Stabler:

Dans cette classification, les concentrations exprimées en (meg/l) sont réduites en quantités en réaction en pourcent (%) et peuvent être exprimer de façon imagée par une formule caractéristique ou formule ionique qui s’obtient en classant les quantités en réaction en pourcent de gauche vers la droite et par ordre décroissant en se basant sur la prédominance de tel ou tel anion.

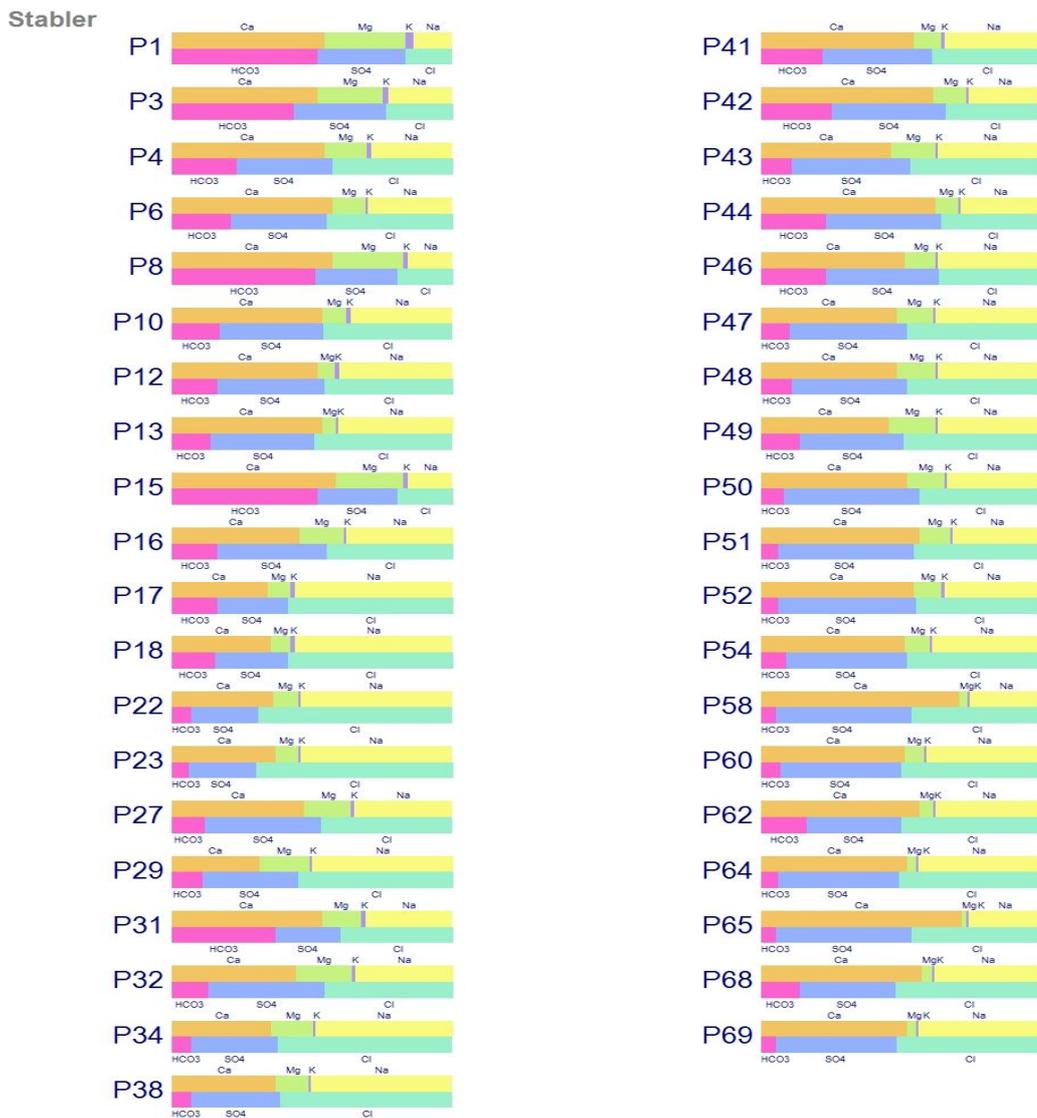


Figure II.3:classification de Stabler des eaux souterraines de Meskiana (mars 2017)

Tableau II.2: Représentation des faciès des eaux souterraines de Meskiana (Mars 2017)

Compagnes	Faciès chimique			
	Bicarbonaté calcique (%)	Chloruré calcique (%)	Chloruré sodique (%)	Sulfaté calcique (%)
Mars 2017	30.77	48.72	17.94	2.56

II.5. Répartition spatiale des faciès

L'examen de la carte de répartition des faciès des eaux souterraines de la nappe de Meskiana montre l'influence de la lithologie des formations sur les types de faciès

(figure II. 4). En effet, les formations carbonatées du Crétacé bordant la nappe sont à l'origine du faciès bicarbonaté-calcique. Le faciès chloruré calcique tire son origine des formations détritiques constituant le matériel du remplissage alluvionnaire. Le faciès chloruré sodique, qui se développe au centre de la nappe, provient des marnes gypsifères d'âge emschérien.

Quant au faciès sulfaté calcique, qui se développe au Nord-Est de la nappe, il provient des formations évaporitiques de Djebel Belkefif.

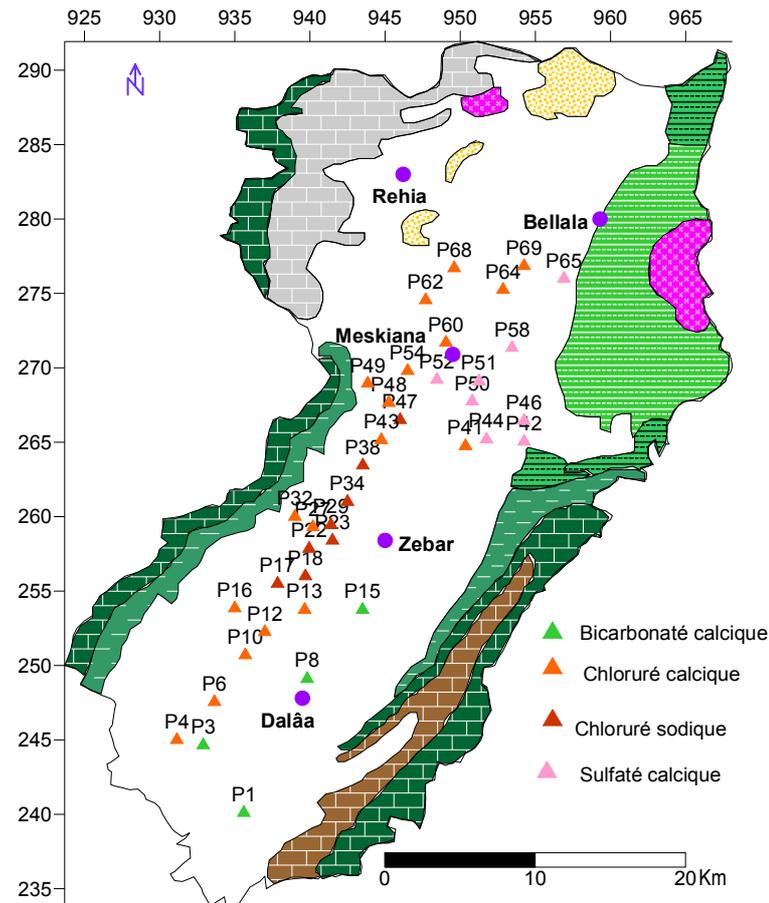


Figure II.4: Carte de répartition des faciès chimiques de la nappe de Meskiana (mars 2017)

Répartition des paramètres physico-chimiques

II.6. Conductivité électrique:

la conductivité électrique définit la capacité d'un matériau ou d'une solution d'électrolytes à laisser passer le courant électrique. Il existe un grand nombre de matériaux capables de conductivité électrique, comme nous le notons dans ces (Figure II.5) la conductivité électrique dans la zone Nord-Est et au centre de la nappe, ceci est dû à la présence des formations évaporitiques riches en Na Cl du Trias de Dj.Belkif.

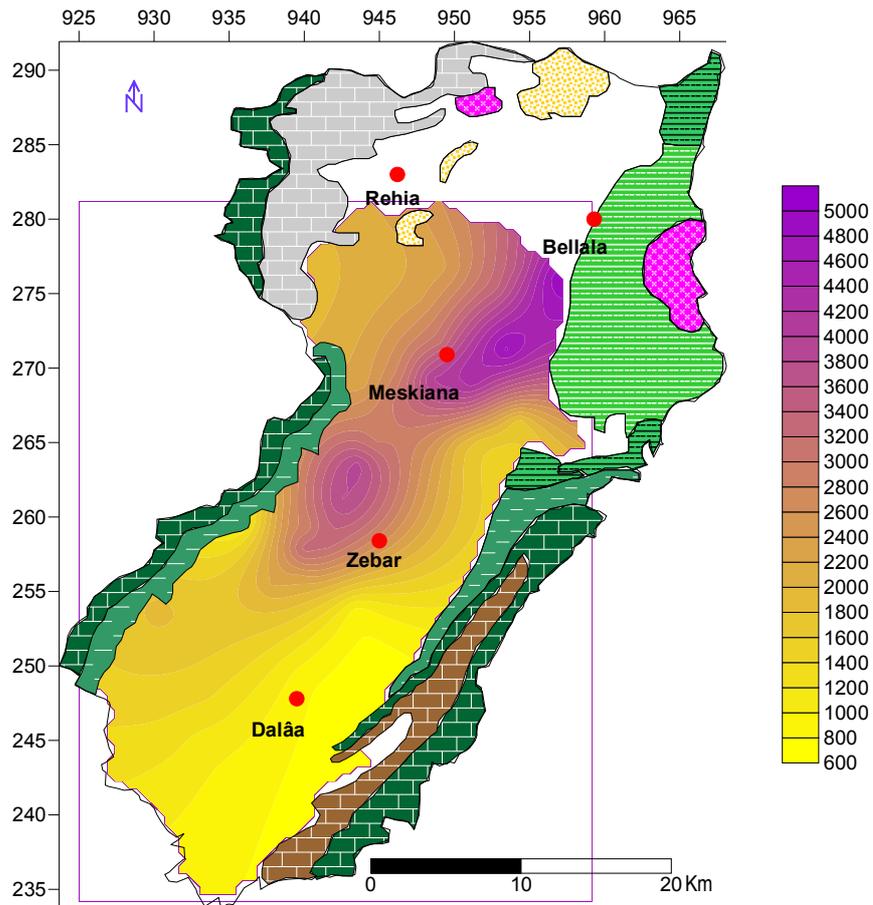


Figure II.5: Carte de la conductivité électrique dans la nappe de Meskiana (mars 2017)

II.7. Etude des paramètres chimiques:

II.7.1. Cations :

- Calcium Ca^{++}

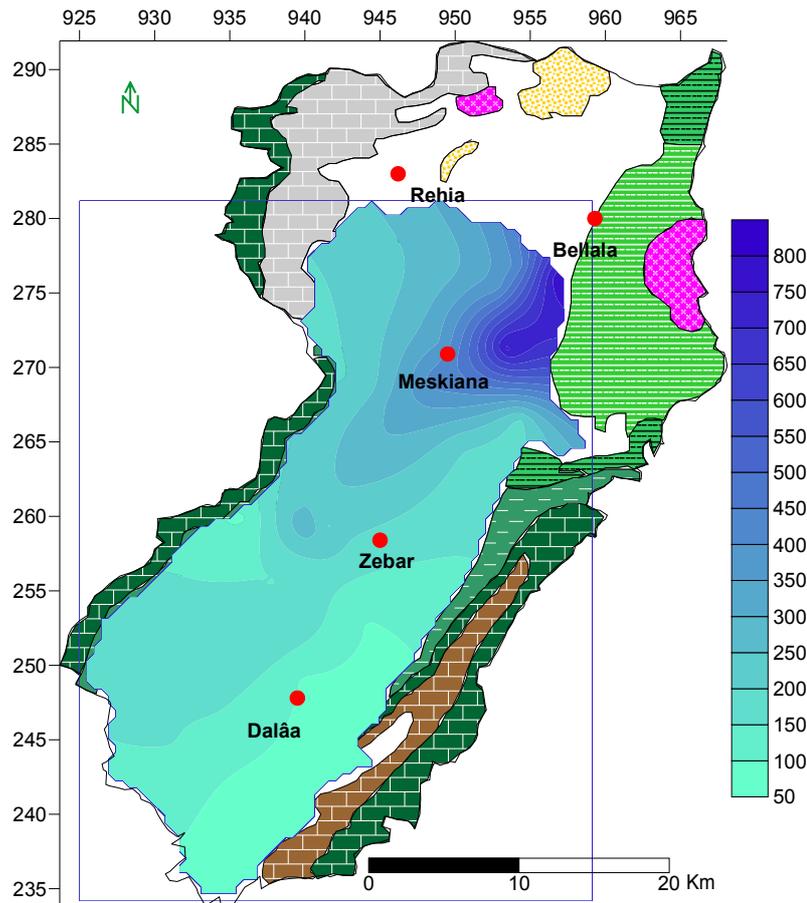


Figure II.6: Carte du calcium dans la nappe de Meskiana, (Mars 2017).

Les ions de calcium existants dans l'eau proviennent de la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3) de bordures et des roches gypseuses (CaSO_4) contenus dans les marnes emschériennes et les dépôts évaporitiques provenant de djebel Belkefif dans la zone Nord-Est. Pour les roches carbonatées, l'apparition du calcium résulte de la dissolution des formations (CaCO_3) par l'attaque chimique des eaux en présence du gaz carbonique (CO_2).



Les concentrations oscillent, en général, entre 85 mg/l (P1) et 797 mg/l (P38). Ces dernières sont relativement faibles à l'amont de la nappe par rapport aux autres zones, La variation des teneurs en calcium est semblable à celle des chlorures, ce qui confirme la prédominance du faciès chloruré-calcique.

• **Magnésium (Mg^{++}) :**

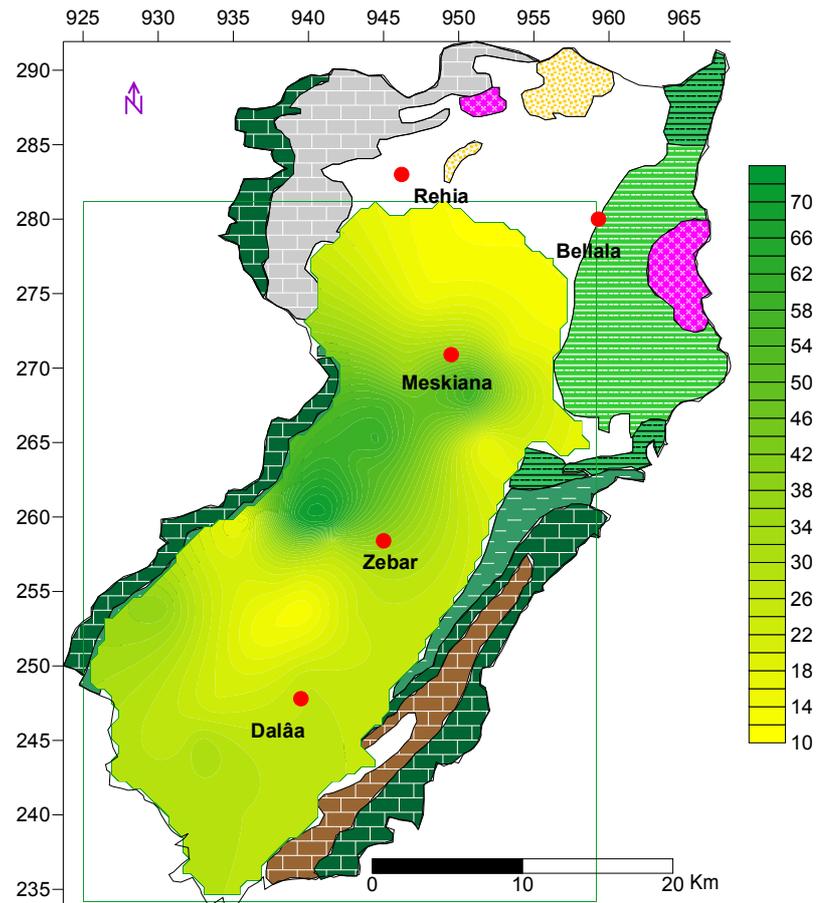


Figure II.7: Carte du magnésium dans la nappe de Meskiana, (Mars 2017).

L'existence du magnésium dans les eaux résulte ,principalement, de l'infiltration des eaux de surface à travers les formations dolomitique. La réaction chimique s'accroît par la présence de l'acide carbonique présent dans l'eau.

Les résultats des analyses des échantillons mettent en évidence la présence du magnésium (Mg^{+2}) en faibles quantités dans tous les échantillons.

Les teneurs de magnésium des puits varient entre 12 mg/l au (P13) et 67 mg/l au (32).

• **Sodium Na^{+} :**

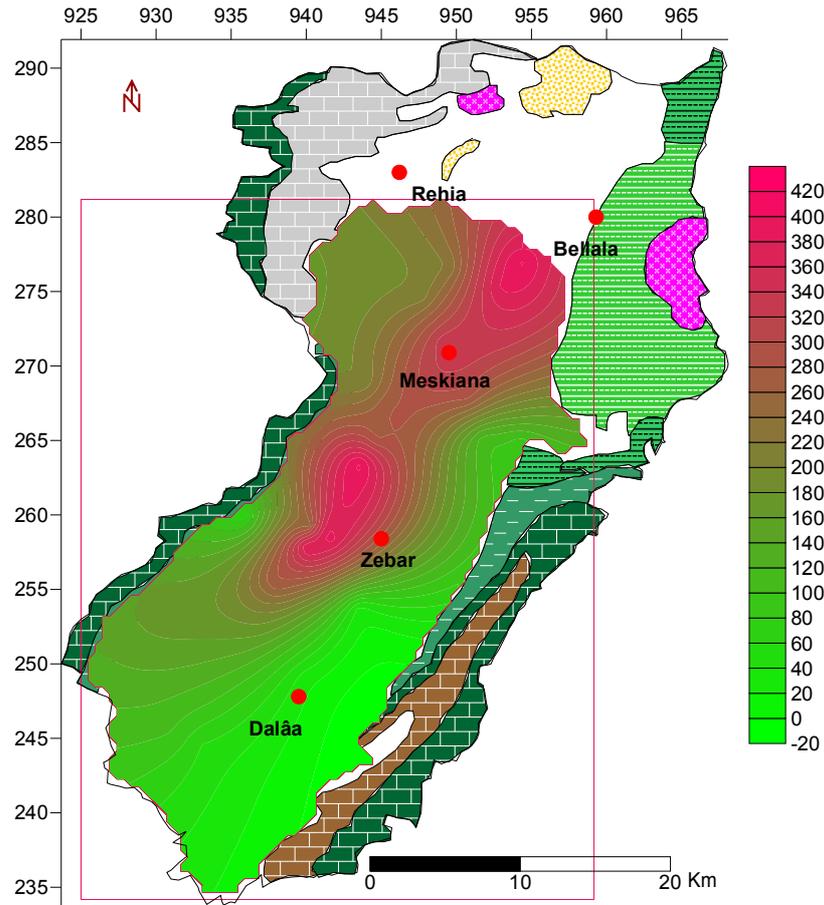


Figure II.8: Carte du Sodium dans la nappe de Meskiana, (Mars 2017).

L'observation de la carte montre que les concentrations sont importantes dans la zone Nord-Est et au centre de la plaine, ceci est dû à la présence des formations évaporitiques riches en Na Cl du Trias de djebel Belkif.

Des teneurs assez remarquables sont observées au centre de la nappe, on pense que les couches marneuse gypsifères sous le recouvrement du remplissage sont à leur origine.

On signale que les faibles concentrations se localisent en amont de la nappe, là où les eaux souterraines sont au début de leur cheminement, c'est-à-dire ne sont pas encore trop minéralisées. Les argiles du Crétacé, qui se trouve dans la nappe, peuvent donner du sodium par le phénomène d'échange de base et ce en fixant un ion Ca^{2+} après libération de deux ions Na^+ .

Les valeurs du sodium varient de 25 mg/l au (P1) à 409 mg/l au(P38).

II.7.2. Anions:

• Chlorures Cl^- :

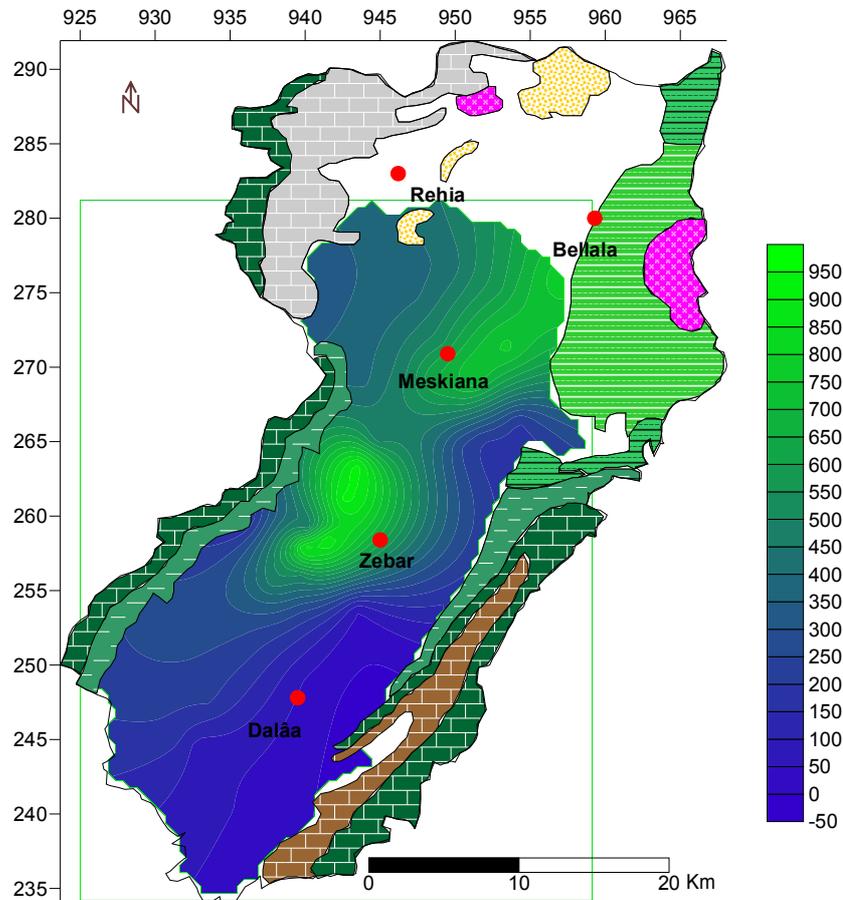


Figure II.9: Carte du chlorures dans la nappe de Meskiana, (Mars 2017).

Le chlore a plusieurs origines à savoir :

- la dissolution des sols naturels et le lessivage des terrains salifères.
- les engrais chimiques et les pesticides.
- les rejets des eaux usées d'origines domestiques.

A partir des résultats des analyses des échantillons d'eaux, on constate que les teneurs en Chlorures sont assez importantes, variant de 47 mg/l au (P1) 925 mg/l au (P38).

• Sulfates (SO_4^{-2}) :

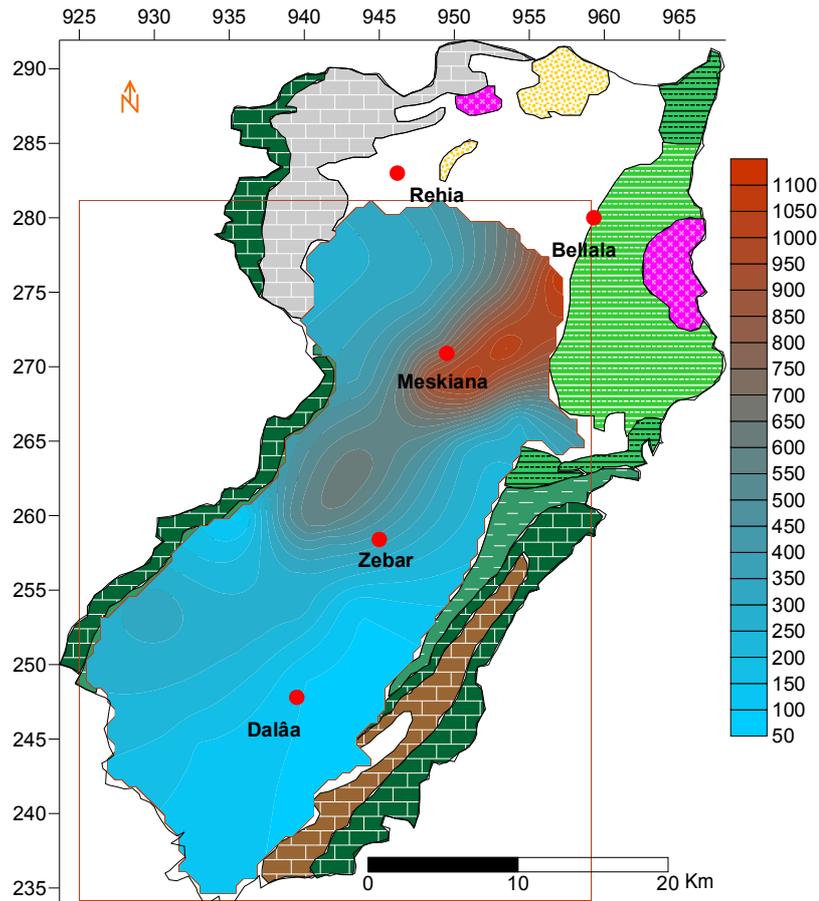


Figure II.10: Carte des sulfates dans la nappe de Meskiana, (Mars 2017).

Les ions Sulfates sont toujours présentés dans les eaux naturelles en quantités variables leur présence dans l'eau résulte :

- De la légère solubilité des sulfates de calcium (CaSO_4) des roches gypseuses ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).
- De l'oxydation des sulfures (pyrites, gypse) :
- Des eaux usées industrielles contenant de l'acide sulfurique (H_2SO_4)
- De l'oxydation des sulfures d'hydrogène et des oxydes de soufres.

Les teneurs en sulfate dépassent largement les normes admissibles A partir des résultats des analyses chimiques, les teneurs en sulfates varient entre 78 mg/l au (P31) au (P65) au 1091 mg/l

Ces deux valeurs représentent les teneurs limites en sulfates.

• **Bicarbonates (HCO_3^-):**

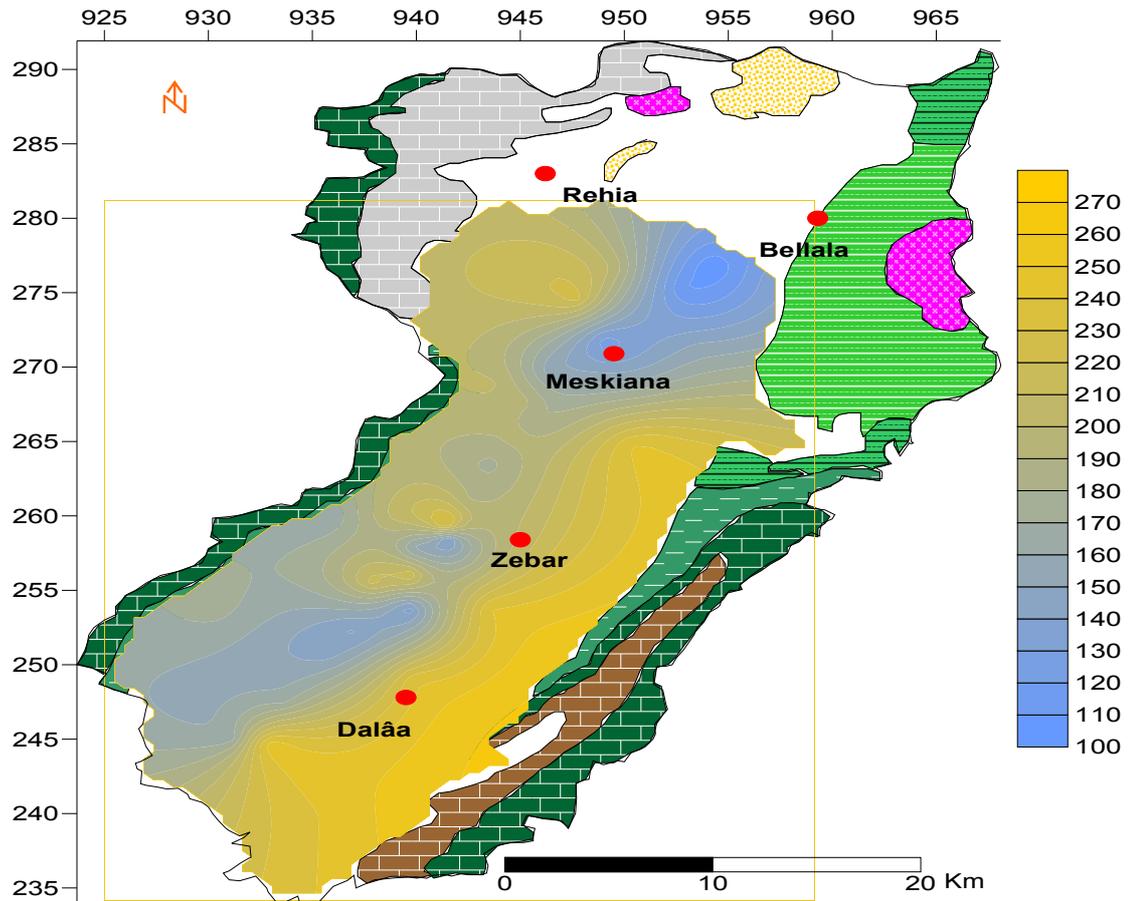
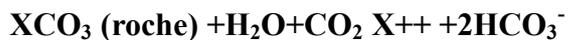


Figure II.11: Carte du bicarbonates dans la nappe de Meskiana, (Mars 2017).

Cette nappe est alimentée à partir de la bordure calcaire présente une concentration maximale de HCO₃ dans l'eau se trouve juste à proximité des bordures calcaires. Les ions bicarbonates résultent de l'équilibre physico-chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique, selon la relation suivante :



Avec:

X: désigne un élément chimique de la roche.

En d'autres termes, la teneur en (HCO₃⁻) dans l'eau dépend d'un certains nombres de Paramètres physico-chimiques à savoir :

- la température de l'eau ;
- la concentration du (CO₂) dessous ;
- la concentration de l'eau en sels ainsi que la nature lithologique des terrains traversés.

Les concentrations en ions Bicarbonates qui sont relativement fortes d'après les résultats des analyses des échantillons d'eau relevés au niveau de la nappe.

admissibles A partir des résultats des analyses chimiques, les teneurs en bicarbonate varient entre 248 mg/l au (P03) et 102mg/l au (p69).

II.8. Corrélation des éléments chimiques :

II.8.1. Couple Mg^{2+} - SO_4^{2-}

Le diagramme Mg^{2+} - SO_4^{2-} montre certaines la plupart des points concentrés près de la ligne et au bas, donc il n'y a pas de dissociation ionique entre ces deux éléments car ils proviennent de différentes origines évaporitiques (gypse) et carbonatés (dolomie) le coefficient de corrélation 0.34

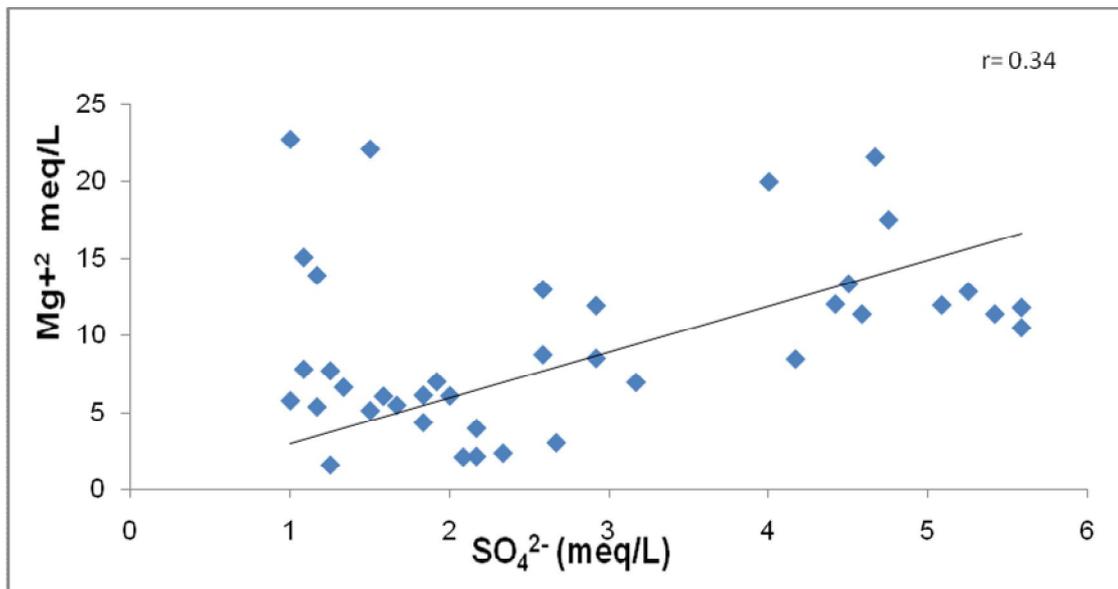


Figure II.12: La relation Mg^{2+} - SO_4^{2-} dans les eaux souterraines de Meskiana, (mars 2017)

II.8.2. Couple Mg^{2+} - HCO_3^-

Le nuage de points montre une très faible corrélation entre ces deux éléments. Ceci nous laisse penser que les deux ions ne tire pas leur origine de la même formation lithologique. le coefficient de corrélation $r = 0.19$.

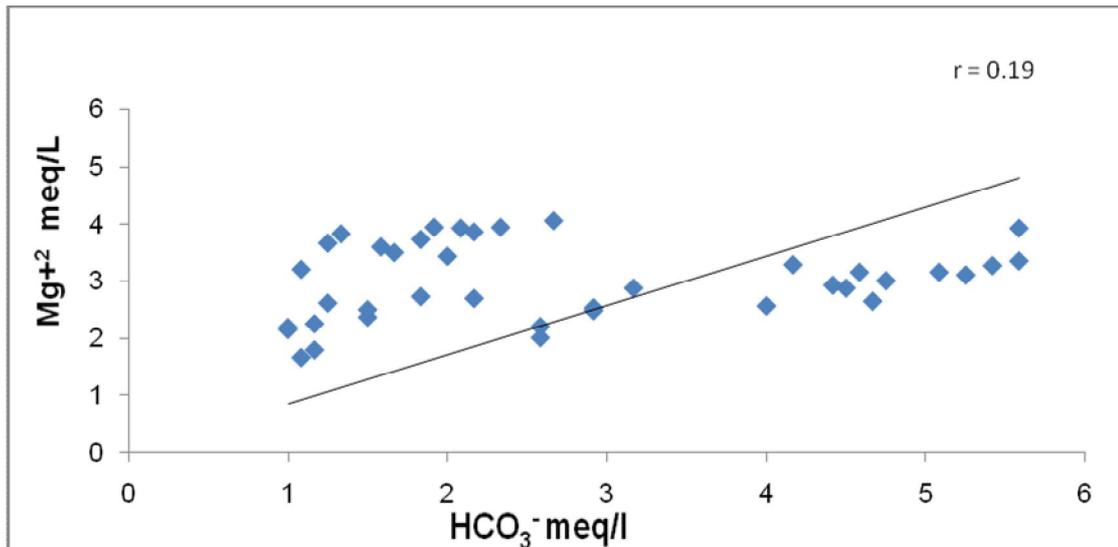


Figure II.13: La relation Mg^{2+} - HCO_3^- dans les eaux souterraines de Meskiana, (mars 2017).

II.8.3. Couple Cl^- - Mg^{2+}

Le couple Cl^- / Mg^{2+} montre certaines points sont proche de la ligne mais la plus part sont éloignées et le coefficient de corrélation très faible ce qui signifie que les teneurs des éléments arrive de différent origine donc le magnésium provient en majeure partie dans les terrains gypseux et pyriteux par contre les chlorures provient des formations des alluvions salifères alors le magnésium ne joue aucun rôle dans la minéralisation des eaux dans notre nappe

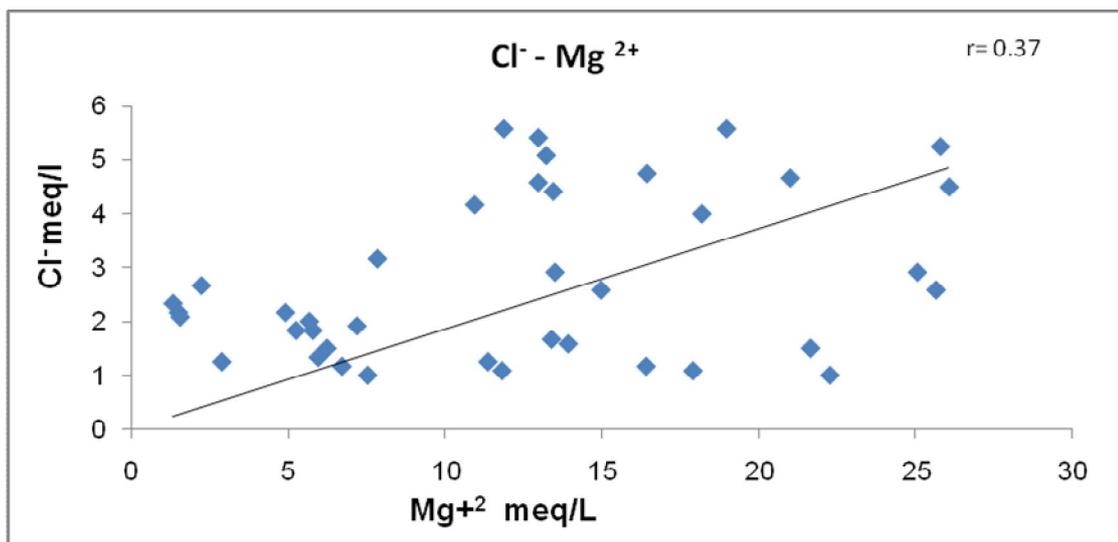


Figure II.14: La relation Cl^- - Mg^{2+} dans les eaux souterraines de Meskiana, (mars 2017).

II.8.4. Couple $\text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-}$

le graphe montre une certaine augmentation simultanée des deux éléments chimiques et la majorité des points sont presque superposés sur la droite d'ajustement. Ceci confirme la bonne corrélation des deux ions où le coefficient de corrélation r est de 0,76.

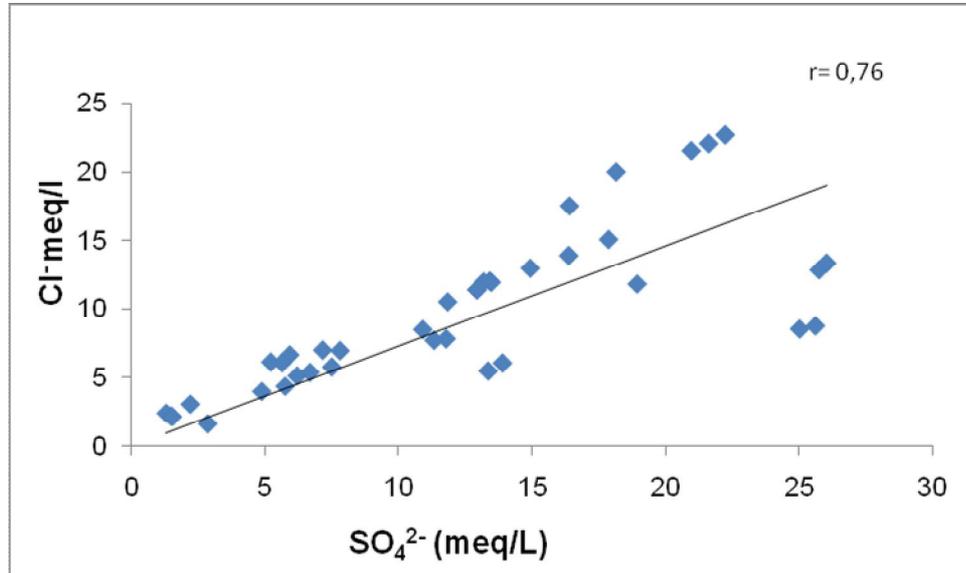


Figure II.15: La relation $\text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-}$ dans les eaux souterraines de Meskiana, (mars 2017).

II.8.5. Couple $\text{Cl}^- - \text{Ca}^{2+}$

Ces deux ions sont issus, probablement, de la formation triasique ,qui se situe au NE de la nappe. Le Cl peut provenir d'une pollution anthropique. Le calcium tire son origine des carbonates et du gypse et le coefficient de corrélation 0.61

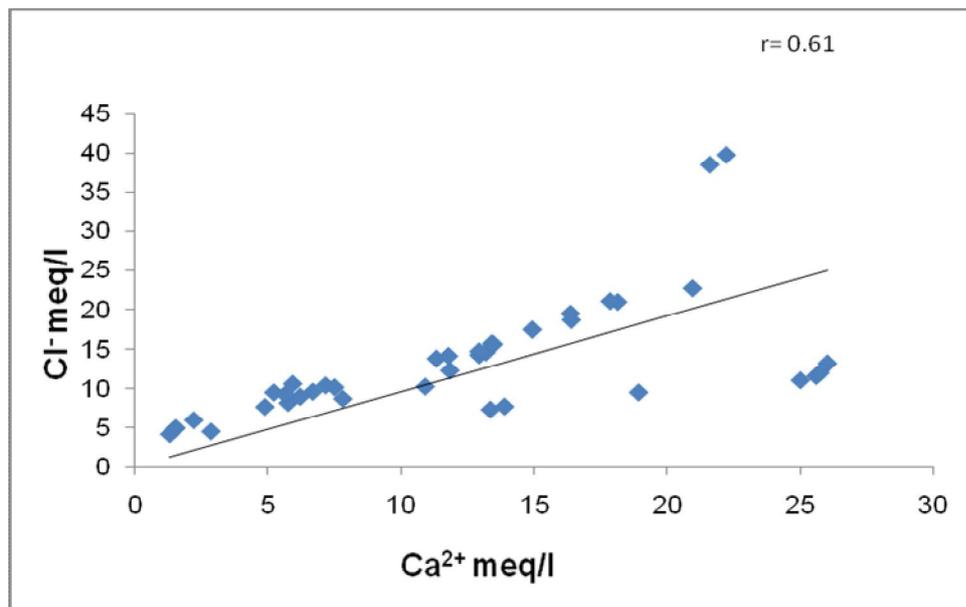


Figure II.16: La relation $\text{Cl}^- - \text{Ca}^{2+}$ dans les eaux souterraines de Meskiana, (mars 2017)

II.7.6. Couple Na^+ - Ca^{2+}

Le sodium provient des formations triasiques (dissolution de l'halite) et des formations gypsifères. Le calcium provient des formations carbonatées et comme il peut provenir des formations gypsifères (CaSO_4). Le nuage des points montre une corrélation relativement importante où le coefficient de corrélation frôle la valeur de 0,6.

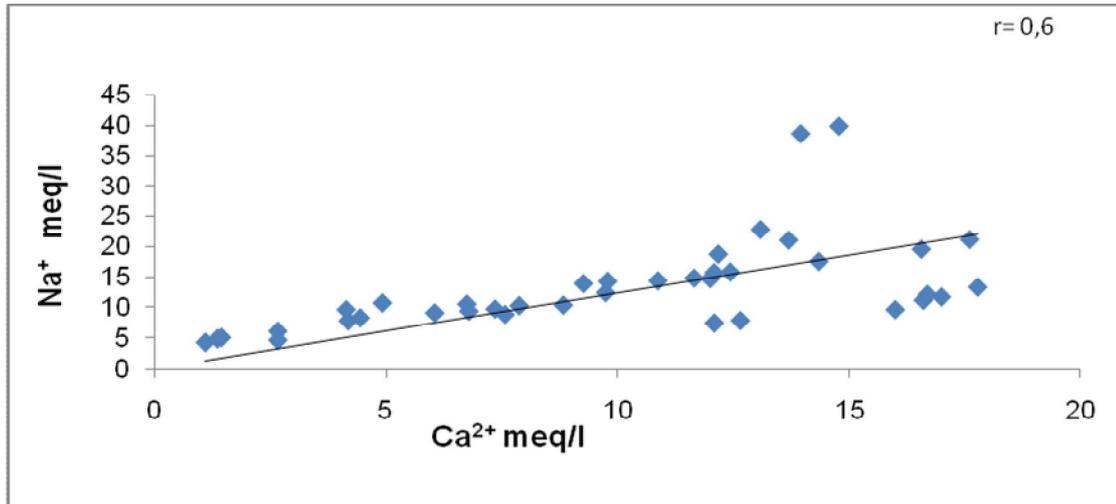


Figure II.17: La relation Na^+ - Ca^{2+} dans les eaux souterraines de Meskiana, (mars 2017)

II.8.8. Couple Ca^{2+} - Mg^{2+}

Le coefficient de corrélation très faible ($r = 0,01$) des deux éléments confirme que le calcium peut avoir une autre origine autre que les carbonates.

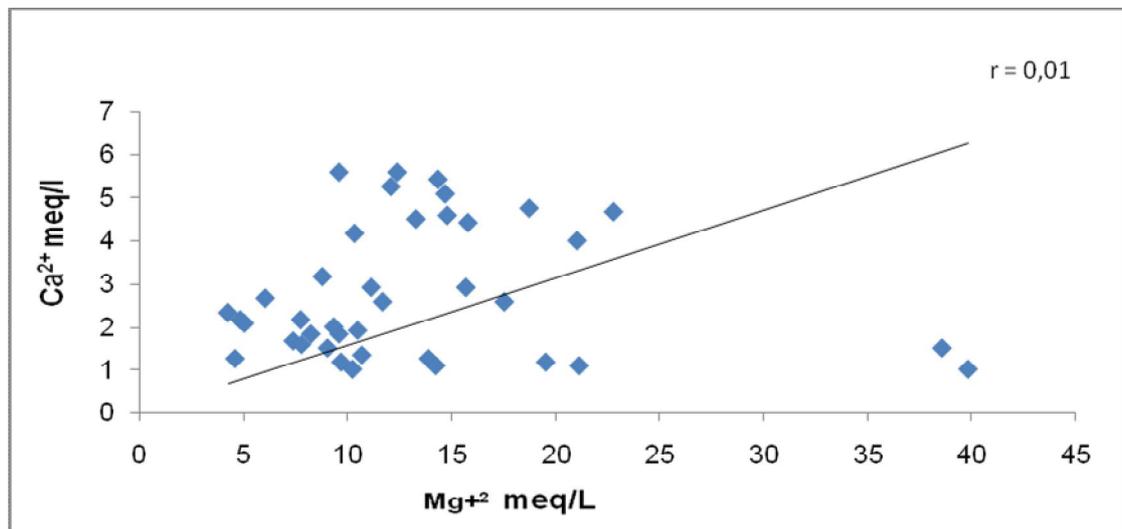


Figure II.18: La relation Ca^{2+} - Mg^{2+} dans les eaux souterraines de Meskiana, (mars 2017).

II.8.9. Couple HCO_3^- - Cl^-

Le coefficient de corrélation ayant une valeur négative (-0,44) explique une évolution inverse des deux éléments, car leurs origines sont différentes.

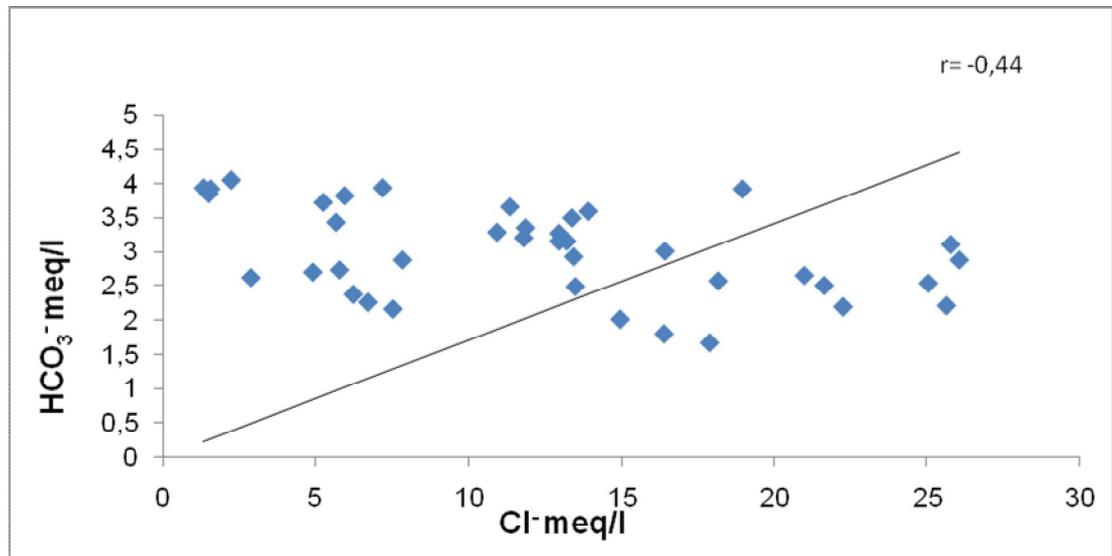


Figure II.19: La relation HCO_3^- - Cl^- dans les eaux souterraines de Meskiana, (Mars 2017).

II.8.10. Couples Cl^- - Na^+

Le diagramme Na - Cl montre un nuage de points qui s'aligne sur la droite de pente 1 suivant un coefficient de corrélation de 0.94. Cette tendance suggère que les deux ions possèdent une même origine et proviennent de la dissolution de l'halite.

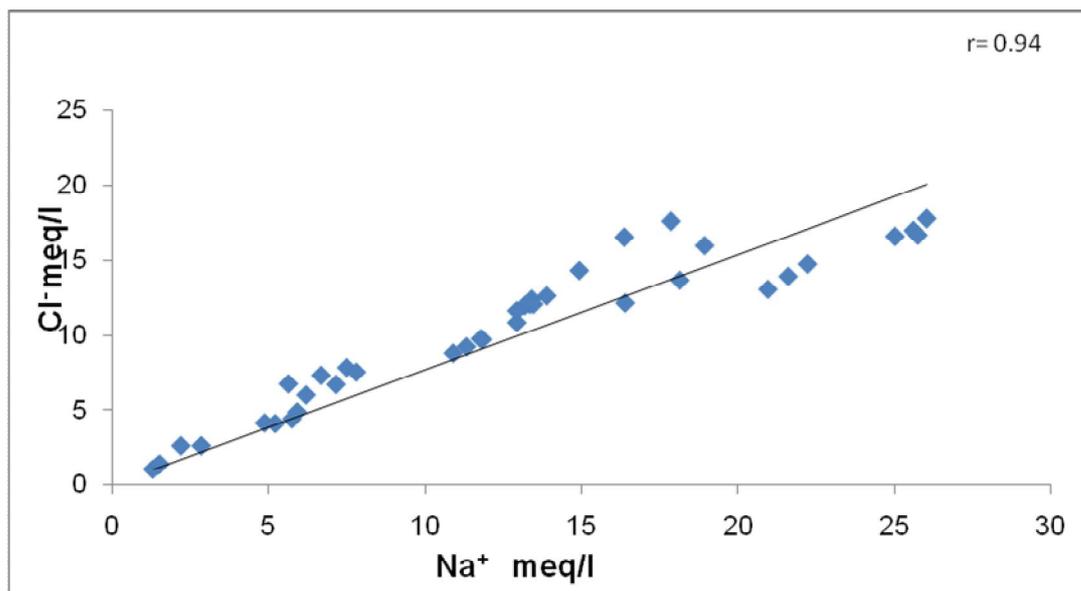


Figure II.20: La relation Cl^- - Na^+ dans les eaux souterraines de Meskiana, (Mars 2017).

II.8.11. Couple SO_4^{2-} - Na

On remarque que la majorité des points sont proches de la droite d'ajustement indiquant une bonne corrélation des deux éléments chimiques. La valeur du coefficient de corrélation ($r = 0,74$) confirme cette constatation .

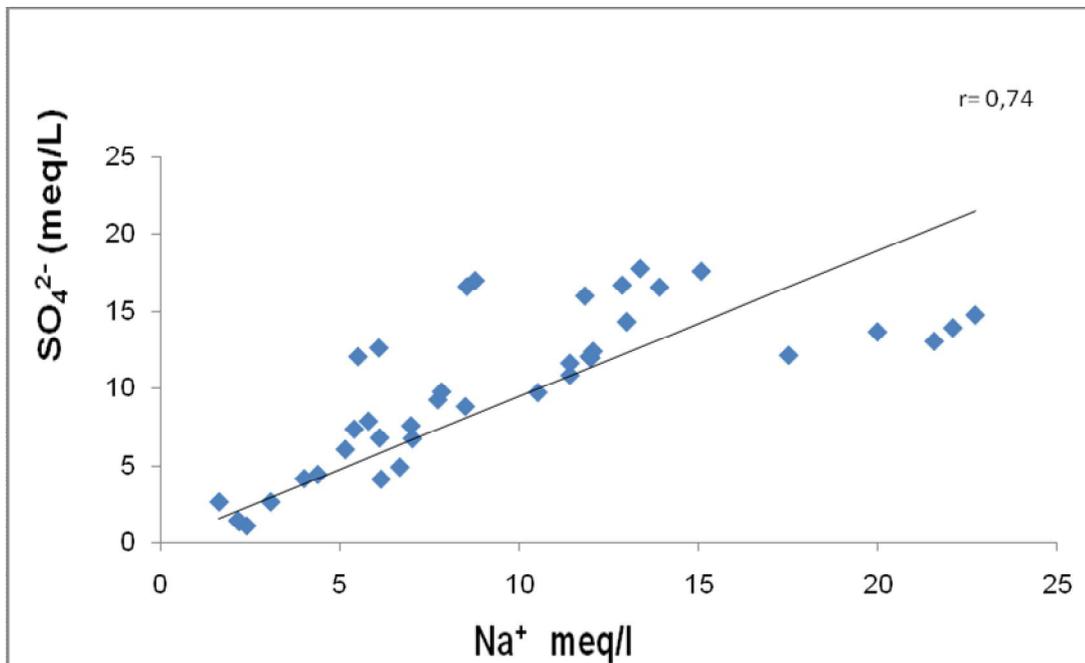


Figure II.21: La relation SO_4^{2-} - Na^+ dans les eaux souterraines de Meskiana, (Mars 2017).

II.8.12. Couple Na^+ - HCO_3^- :

Les teneurs des éléments est de différentes origine d'après le coefficient alors le sodium d'origine naturelle ou anthropique et les bicarbonates d'origine lithologique. Les deux éléments chimiques possèdent une corrélation inverse ($r = - 0,51$).

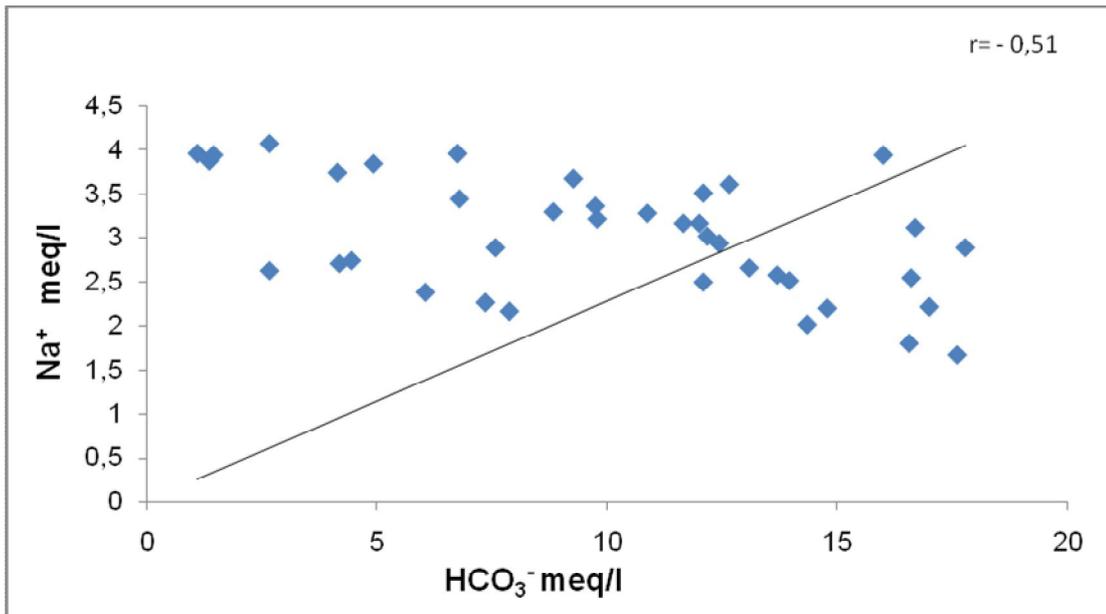
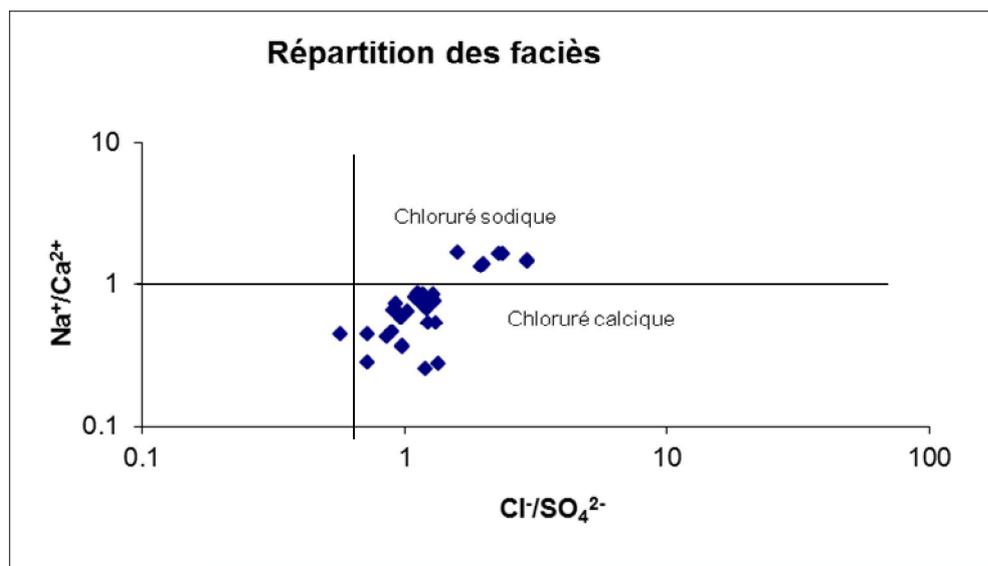


Figure II.22: La relation Na^+ - HCO_3^- dans les eaux souterraines de Meskiana, (Mars 2017).

II.9. Faciès caractéristiques :

A partir de la représentation graphique des faciès chimiques par les diagrammes de Piper et celui de Schoelleur-Berkaloff, on a constaté la dominance de 04 faciès qui sont : le chloruré-calcique, le chloruré-sodique, le sulfaté-calcique et le bicarbonaté-calcique. Ceci est vérifié par les teneurs dominantes des ions suivants : Cl^- (25.77 méq/l), SO_4^{2-} (22.79 méq/l), HCO_3^- (4.06 méq/l), Ca^{2+} (39.85 méq/l) et Na^+ (17.78 méq/l).



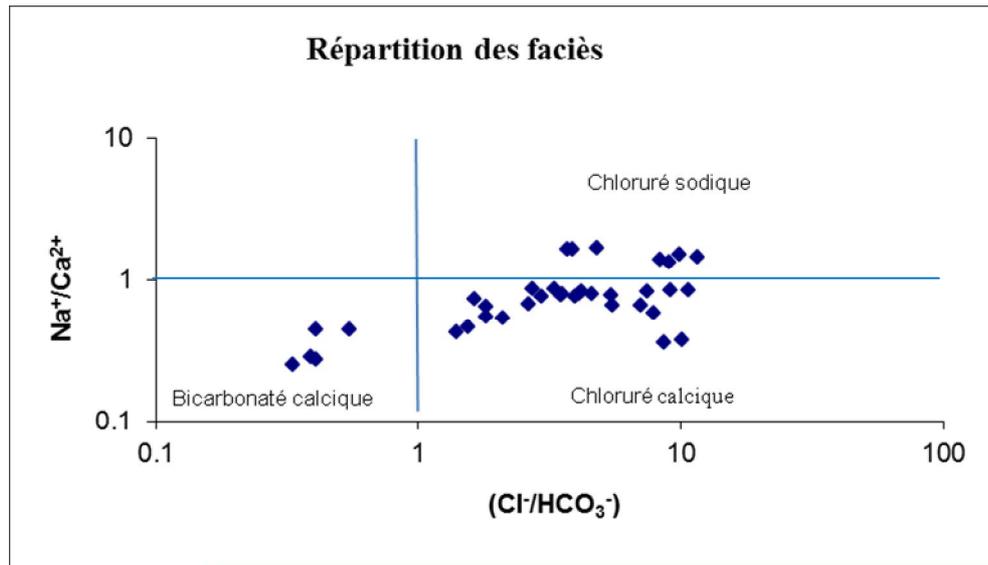


Figure II.23: Evolution et distribution des faciès chimiques

La réalisation d'une représentation graphique des faciès, qui se base sur les quantités en réaction, est très utile pour la confirmation de la présence de ces faciès caractérisant les eaux souterraines de la nappe. Etant donné la dominance des ions précédents, on a réalisé deux diagrammes (Figure II.23, A et B) qui utilisent les rapports $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+} - \text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ et $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+} - \text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$. L'interprétation de ces deux diagrammes a montré la concentration des rapports d'ions en 04 pôles indiquant les 04 faciès, déterminés précédemment, qui caractérisent la nappe. On note l'absence des faciès : bicarbonaté sodique et sulfaté sodique.

II.9. Origine des éléments chimiques :

Les eaux souterraines qui circulent dans la nappe alluviale de Meskiana proviennent des formations carbonatées de l'Eocène et du Maestrichtien qui bordent la plaine. Ensuite, elles s'écoulent dans un matériel très hétérogène (des alluvions, des sables, des graviers, des dépôts évaporitiques, etc.). Le parcours d'écoulement et les couches traversées influent sur l'enrichissement en éléments chimiques. En se basant sur les teneurs de ces éléments chimiques, on va essayer de déterminer l'origine probable de tous les ions.

II.9.1. Les éléments $\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{2-}$:

Le calcium tire son origine des carbonates et du gypse, la détermination de l'origine de chaque concentration en Ca^{2+} est nécessaire pour connaître les mécanismes du chimisme de la nappe.

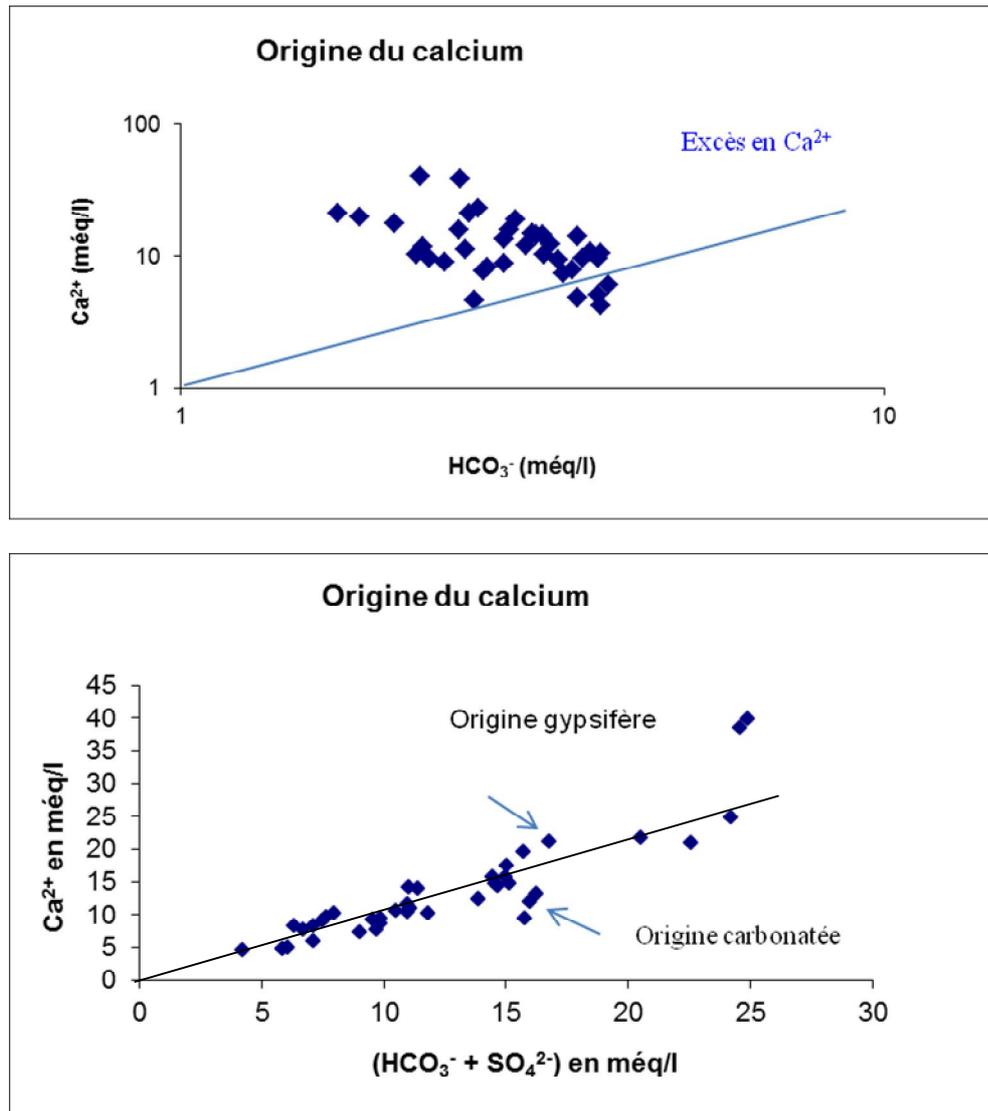


Figure II.24: Détermination de l'origine du calcium

Afin de différencier le calcium d'origine carbonatée du calcium d'origine évaporitique, nous avons établi un graphe où nous avons représenté le calcium en fonction des bicarbonates et des sulfates (Figure II.24). L'analyse de ce graphe montre qu'un faible nombre de puits a une origine carbonatée.

Les éléments Na^+ - Cl^- :

Dans les eaux naturelles, la présence des deux éléments Na^+ et Cl^- est attribuée à la dissolution de la halite que l'on rencontre dans les formations triasiques. Cependant, les chlorures comme le sodium peuvent avoir d'autres origines (naturelles ou anthropiques).

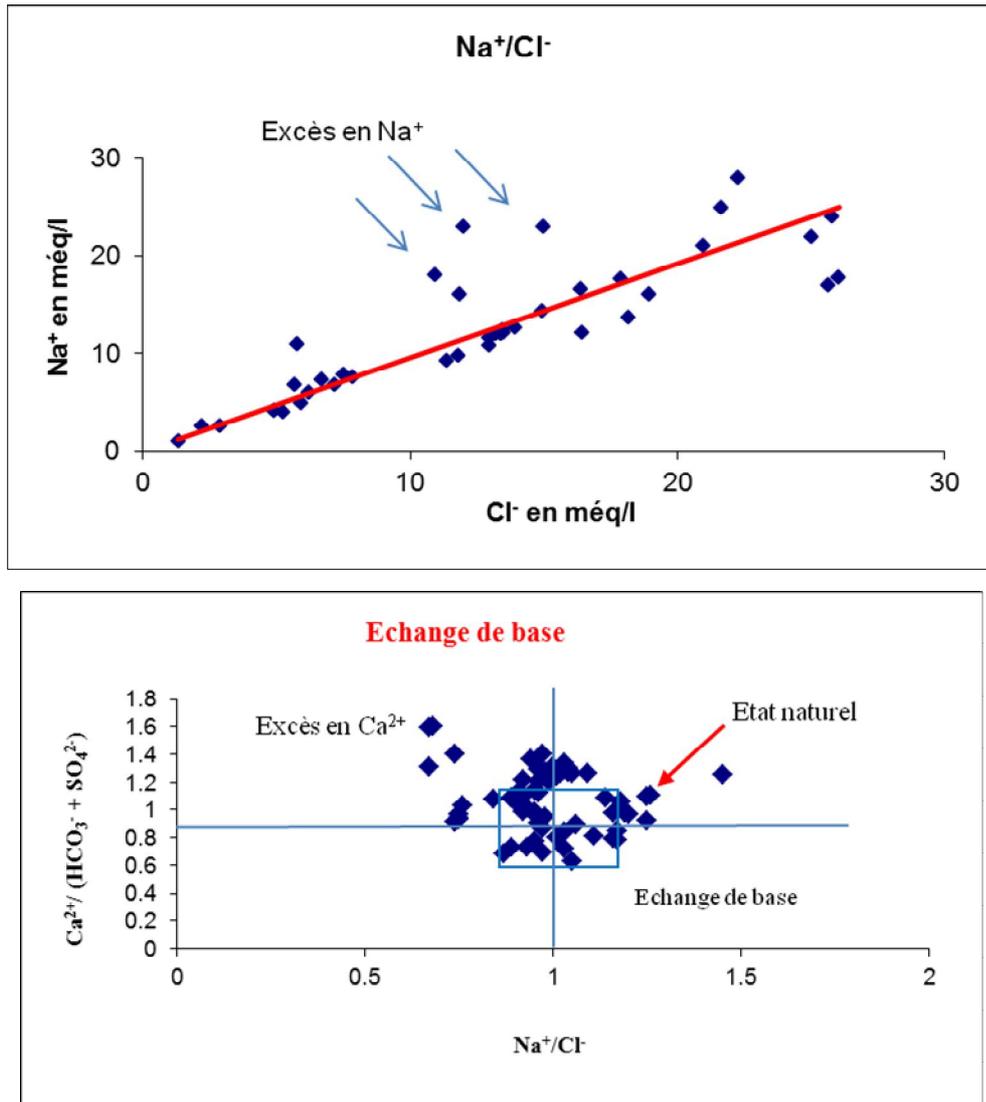


Figure II.25: Détermination de l'origine du sodium

La représentation graphique de l'évolution du Na^+ en fonction de Cl^- (Figure II.25) a montré un excès des teneurs en Na^+ , qui s'explique par l'existence d'une autre origine pour les ions sodiques (autre que l'halite).

L'augmentation des teneurs en Na^+ qui a accompagné les faibles teneurs en Cl^- est due au phénomène d'échange de base (Figure II.25), car les argiles du substratum peuvent libérer des ions Na^+ après avoir fixé le Ca^{2+} .

Les fortes teneurs en Na^+ qui ont accompagné celles élevées du Cl^- , sont attribuées à la dissolution de l'halite contenue dans les marnes Emschériennes et aux évaporites du Trias de Djebel Belkefif. Ce diagramme a confirmé un excès de Ca^{2+} par rapport à Na^+ .

Les éléments HCO_3^- , Cl^- et SO_4^{2-} :

Après avoir fait le point sur les origines des cations, on a essayé de représenter l'évolution des anions en fonction de la conductivité. L'interprétation de la (figure 26A)

montre que la conductivité électrique n'évolue pas avec les bicarbonates, alors que les chlorures et les sulfates croissent avec la salinité. Cette dernière est donc due aux éléments salifères.

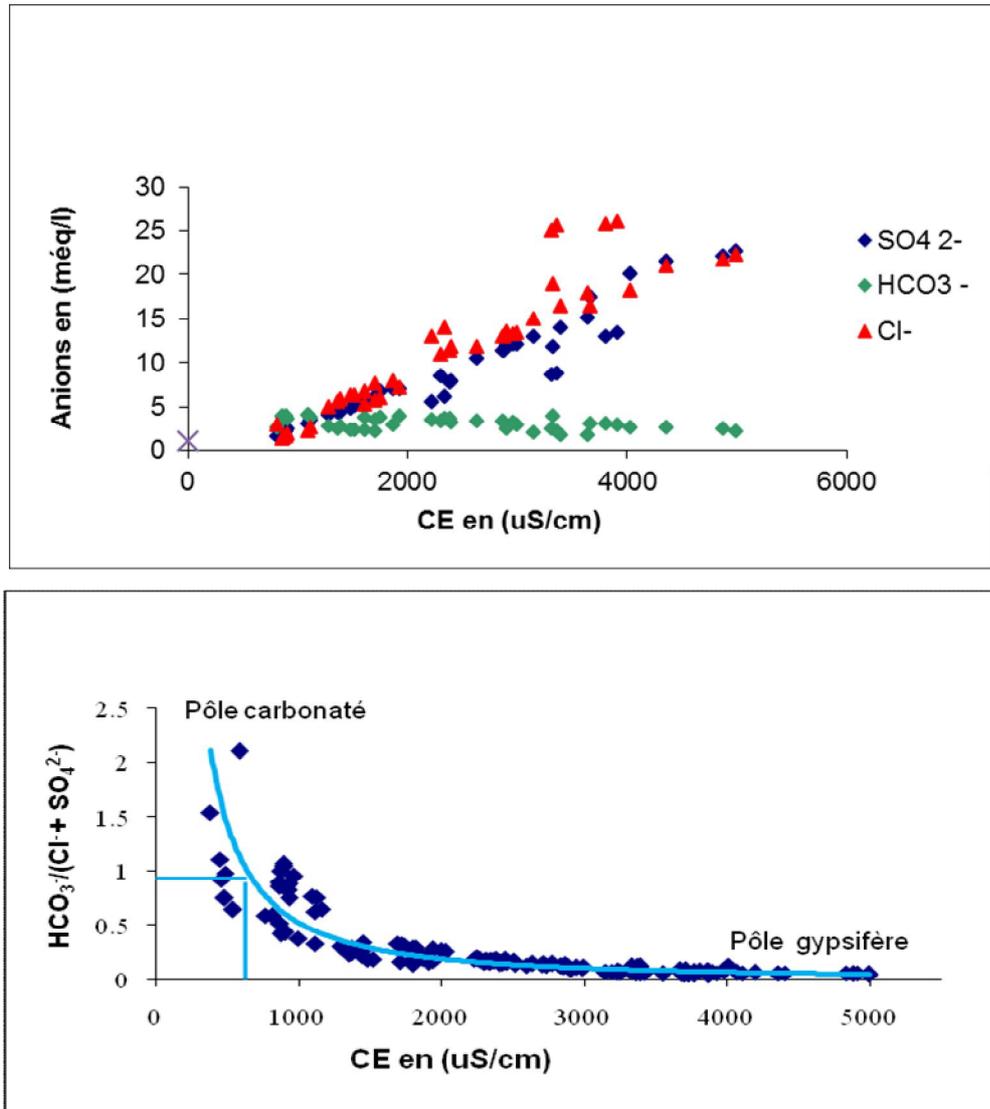


Figure II.26: Evolution des anions en fonction de la conductivité

V.6.2.3 Les éléments Cl-SO₄²⁻ :

Ces deux ions sont issus de deux formations différentes, le SO₄²⁻ provient du gypse et le Cl⁻ provient de la dissolution de la halite et probablement d'une pollution anthropique. On a associé l'évolution de ces ions à la conductivité électrique pour mettre en relief la façon selon laquelle ils évoluent et déterminer lequel entre eux est à l'origine de la salinité des eaux de la nappe. L'interprétation du graphe (figure.27) a révélé que la majorité des points d'eau présente un rapport (Cl⁻/SO₄²⁻) supérieur à 1, indiquant ainsi la dominance des ions Cl⁻ par rapport à SO₄²⁻, ce qui confirme la dominance du faciès chloruré calcique et sodique. Quelques points d'eau présentent des valeurs du rapport (Cl⁻/SO₄²⁻) inférieures à 1, indiquant une origine gypsifère (figure 27.).

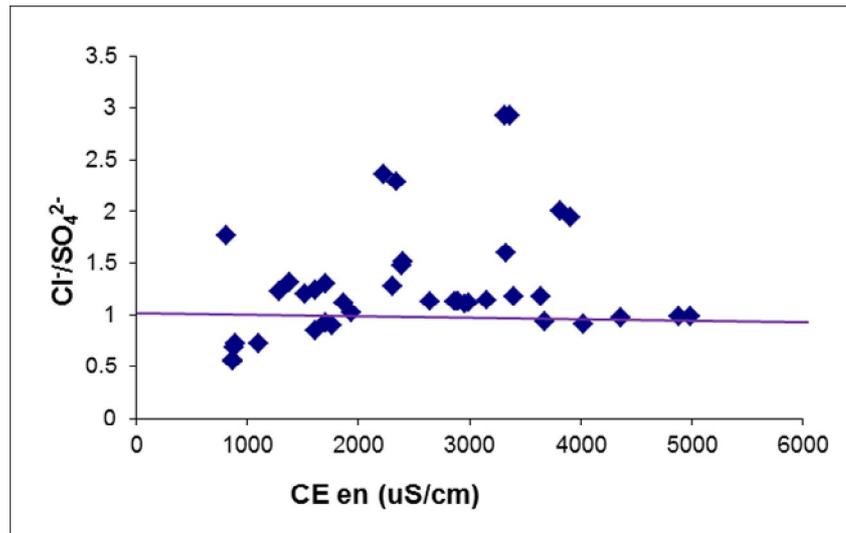


Figure II.27: Evolution des chlorures et des sulfates en fonction de la conductivité
Application d'une analyse en composantes principales (ACP):

La représentation graphique des éléments chimiques et l'étude des rapports caractéristiques ont montré qu'un grand nombre d'éléments chimiques ont des rapports significatifs. Pour expliquer l'évolution du chimisme, la plupart du temps une (ou plusieurs) liaison plus ou moins forte existe entre ces paramètres. Il est donc apparu intéressant d'essayer de traiter les données statistiquement, en utilisant une méthode d'analyse factorielle multidimensionnelle comme l'Analyse en Composantes Principales (ACP).

Principe:

Chaque échantillon d'eau constitue une unité statistique. Les différents paramètres soumis à l'analyse constituent les variables qui caractérisent cette unité statistique. La campagne qui fait l'objet de notre étude a été traitée statistiquement grâce à l'utilisation du logiciel SPAD

Notre présente étude porte sur les éléments majeurs, qui influent sur l'évolution de la minéralisation. On a inclus la conductivité électrique (CE), dont l'évolution dépend de cette dernière.

MATRICE DE CORRELATION

L'examen du tableau relatif à la matrice de corrélation permet de voir que pratiquement toutes les variables sont corrélées entre elles. Il existe une forte corrélation entre la conductivité électrique d'une part et les chlorure et sodium et sulfates, le calcium et les nitrates d'autre part

	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	CE
Cl ⁻	1,00							
SO ₄ ²⁻	0,76	1,00						
HCO ₃ ⁻	- 0,44	0,45	1,00					
Ca ²⁺	0,61	0,90	-0,49	1,00				
Mg ²⁺	0,37	0,34	0,19	0,01	1,00			
Na ⁺	0,95	0,74	-0,51	0,58	0,33	1,00		
K ⁺	0,77	0,71	-0,52	0,56	0,19	0,83	1,00	
CE	0,92	0,95	-0,46	0,84	0,35	0,89	0,78	1,00

D'autre corrélation faible entre la conductivité électrique et les bicarbonates permettent de dire que la salinité de l'eau est beaucoup plus due aux formations salifères. La forte liaison qui existe entre les sulfates et le calcium confirme cette tendance.

Analyse de l'espace des variables (Figure 28) :

La projection des variables sur le plan factoriel F1-F2 montre que l'axe F1 exprime 67.00 % de la variance et il est déterminé par, Cl⁻, SO₄²⁻, Ca²⁺, Na⁺, K⁺, et la conductivité électrique (CE). Il oppose donc ces éléments au bicarbonate.

Le facteur F2 vertical exprime 15.93 % de la variance. Il n'est déterminé d'une manière négative que par le magnésium et bicarbonate.

V.7.3.3 Analyse de l'espace des individus (Figure 28)

La projection des individus sur le plan F1-F2 a révélé que :

- Une opposition entre les eaux faiblement minéralisées se trouvant à l'amont de l'aquifère et les eaux fortement minéralisées qui se trouvent à l'aval.

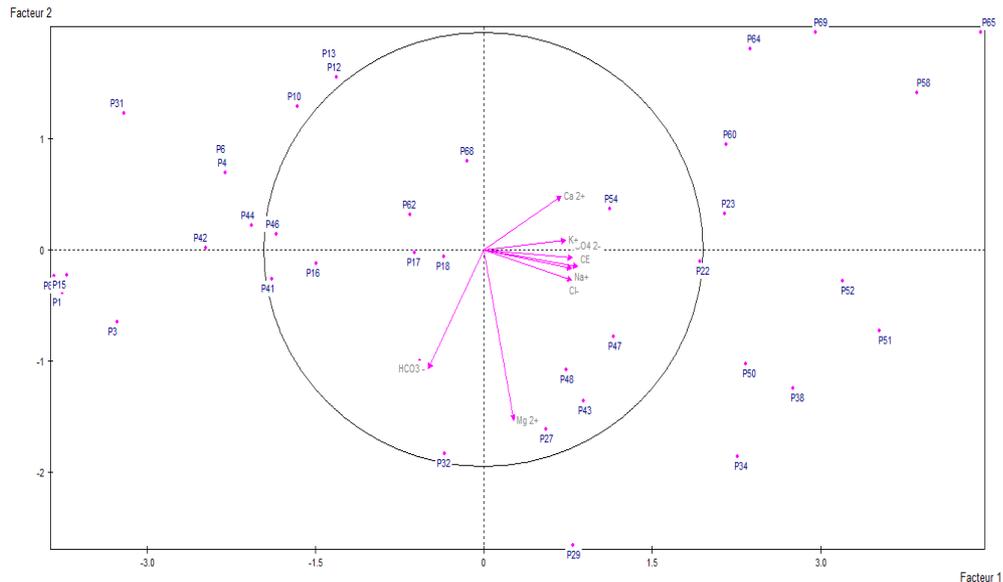


Figure II.28: Répartitions d'espace des variables et des individus de l'ACP

L'origine de la salinité :

Après avoir la détermination des origines des éléments chimiques on peut avoir que Les eaux sont caractérisées par une forte salinité et par la présence de quatre faciès dominants qui sont le chloruré calcique, le chloruré sodique, le sulfaté calcique et le bicarbonaté calcique ; la répartition spatiale des éléments chimiques montre que le chimisme est fortement lié à la lithologie de la nappe, suite à la dissolution des formations carbonatées et des formations évaporitiques.

V.13. CONCLUSION

La qualité des eaux souterraines de la nappe de Meskiana dépend de plusieurs paramètres physiques et chimiques. Leurs variations spatiales sont dues soit à la lithologie des terrains traversés (dissolution des formations géologiques), soit à des facteurs externes.

- Les fortes teneurs en sodium, calcium, chlorure et sulfate sont dues, soit naturellement par la dissolution des formations évaporitiques (présence des couches gypseuses et salifères) dans la zone d'étude. Soit d'origine anthropique (la présence de la décharge sauvage, l'utilisation intensive des engrais chimiques...etc.) Ce qui conduit à une augmentation de la salinité des eaux. Cette dernière est traduite par une forte conductivité dont les valeurs atteignent 7200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. L'amplification de cette salinisation avec le temps entraîne l'abandon du nombre des puits riches en sels.
- Dans notre région d'étude le faciès dominant est chloruré-calcique avec 48.78 %. chloruré-sodique avec 17.94 % suivi du sulfaté-calcique avec 2.56 % et Bicarbonaté Calcique avec 30.77%



Conclusion
générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Les eaux usées domestiques non épurées représentent la principale source de pollution des eaux. Elles engendrent une dégradation de la qualité des eaux de surface et souterraines.

Notre étude a abouti aux conclusions suivantes :

- ✓ L'étude géologique du bassin de Meskiana a montré que les formations carbonatées de bordure sont d'âge Crétacé. Les formations d'âge Mio-Plio-Quaternaire occupent la totalité de la plaine.
- ✓ L'activité tectonique a provoqué la formation de plis de direction NE-SW, accompagnés d'une série de failles de direction orthogonale affectant les formations crétacées.
- ✓ Les assises marneuses constitueraient un substratum imperméable.
- ✓ A l'intérieur de la plaine, on a des formations alluvionnaires qui se composent de galets, de cailloutis, de graviers, de sables et de limons, qui pourraient avoir une porosité primaire et former des nappes alluviales.
- ✓ Le climat qui règne dans notre région d'étude est semi-aride, il est caractérisé par un hiver froid et pluvieux et un été chaud et sec, avec des précipitations moyennes annuelles, sur une période de 14 ans (90/91 – 2013/2014), estimées à 375.70 mm, La température moyenne interannuelle est de 16.5 °C.
- ✓ Le ruissellement ne représente que 5.78 % des précipitations, ce qui représente 21.7 mm.
- ✓ L'infiltration est estimée à 2.90%. Ce qui permet de percoler 10.9 mm Cette dernière contribue à l'alimentation des nappes souterraines à partir de la surface.
- ✓ La cartographie piézométrique a montré que l'écoulement souterrain se fait, en général, selon une direction Sud-Ouest - Nord-Est.
- ✓ L'alimentation se fait à partir des bordures calcaires à l'Est de la plaine.
- ✓ Les valeurs les plus importantes de la perméabilité se localisent au centre de la plaine
- ✓ L'étude hydrochimique montre que : La présence de trois faciès chimiques marquant l'hétérogénéité de la lithologie. En effet, on peut citer les faciès chlorurés et sulfaté résultant des formations évaporitiques et salifère, surtout dans la partie Nord-Est de plaine .La répartition spatiale des éléments chimiques a confirmé que l'origine de ces faciès est fortement liée à la nature lithologique de la nappe. La dissolution des formations carbonatées évaporitiques sont l'origine de cette distribution.
- ✓ Le suivi de la qualité des eaux a montré l'impact des facteurs climatiques (les précipitations et l'évaporation) sur la minéralisation des eaux de la nappe

Conclusion générale

✓ La comparaison des concentrations des éléments chimiques (Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^-) qui caractérisent les formations géologiques principales du bassin, a mis en relief la dominance des ions salifères (Na^+ , Cl^-) et les ions gypsifères (Ca^{2+} , SO_4^{2-}) par rapport à ceux carbonatés (Ca^{2+} , HCO_3^-) dans l'acquisition de la salinité.



Bibliographie

Bibliographie

Référence :

ANONYME, (1973-1975) : Fiche technique des forages : A3, AL5, B10, B8, CD7 D1, E2, E5, K5, MK2, MK4, MK5.

DUROZOY G. (1956) : Carte géologique au 1/50 000 de Tébessa feuille 206, et sa notice Explicative

Référence pour une thèse :

GOUAIDIA L et al. (2004) : Application des méthodes statistiques pour expliquer le Chimisme de la nappe alluvionnaire de Meskiana. Colloque international Terre et Eau. Université d'Annaba 04,05& 06décembre 2004.

Gouaidia, L., 2008. Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi -aride, cas de la nappe de Meskiana Nord-est Algérien. Thèse de Doctorat Uni Annaba.

Référence pour un article de revue :

GOUAIDIA L.¹, GUEFAIFIA O. ¹, BOUDOUKHA A. ² & HEMIL., 2013. Evaluation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risques de dégradation des sols : Exemple de la plaine de Meskiana, nord-est algérien. article. page82

A.B.H, (2001) : Les cahiers de l'agence des bassins hydrographiques « A.B.H » ; « Le bassin versant Medjerda Mellague », N° 6. 24p.

Farhat, B., Ben mammou, A., 2001. Evolution récente de la Sebket Bou Zid (Nord Est du Cap Bon). IVème Congrès Maghrébin des Sciences de la Mer. Tunisie.

Halimi, A. (1981): L'atlas blidéen "climat et étages végétaux", OPU, Alger, 623p.

Journal officiel, (1983) : Journal officiel de la République Algérienne du 08/02/1983. Loi n°83-03 du 5 février 1983, relative à la protection de l'environnement.

Maneglier, H., (1991), *Histoire de l'eau, du mythe à la pollution*, Paris.

Perthuisot, J.P, 1995. La Sebka El Melah de Zarzis. Genèse et évolution d'un bassin salin paralique. Trav. Lab. Géol. Ec. Norm. Supér., Paris 9, 252 p.

STUMM W., MORGAN J.J. (1981). aquatic chemistry: an introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters, a Wiley-interscience publication, 780p.

Tricart, J., 1954. Une forme de relief climatique : Les Sebchas, Rev. Géomorph .Dynam, 3 : 19

Vincent, V., Cours sur les eaux thermales, Université d'avignon LHA, France, 2006.

Yves, H., (2003), Cours de sédimentologie, 1re année licence Science de la Terre, Université

Bibliographie

Paul Sabatier, Toulouse. **Yves, L., (2010)**, L'eau dans le monde : les batailles pour la vie, LAROUSSE, France.

Référence pour un mémoire :

RAHAL, Omar., juin 2015, Mise en évidence de l'origine de la salinité des eaux souterraines de la nappe de MESKIANA Nord Est algérien. Mémoire de fin d'étude (Magter 2hydrogéologie). Uni Tébessa.

HAMAD OMAR ,YOUSFI RABIAA ;2004,Apport des application statistique sur l'explication du chimisme de la nappe alluviale de la plaine de Meskiana ,Nord-Est Algérien. Mémoire de fin d'étude (Magter 2hydrogéologie). Uni Tébessa.

RIHEB . RADHIA : 2019, état de minéralisation des eaux souterraines de la nappe de meskiana et leur aptitude a l'irrigation.

Référence pour un livre :

CASTANY, G. (1967): Traité pratique des eaux souterraines, Ed. Dunod, 551 p.

CASTANY, G. (1968): Prospection et exploitation des eaux souterraines, Ed. Dunod, 683 p.

CASTANY, G. (1982): Principes et méthodes de l'hydrogéologie, Ed. Dunod, 263 p.

CASTANY, G. et MARGAT, J. (1977): Dictionnaire français d'hydrogéologie. Ed. BRGM, Orléans, 250 p.

Web graphie :

<http://fr.wikipedia.org>

<http://www.Aureschaouia.free.fr>

<http://www.articque.com>

<http://www.CGM.com>

<http://www.cig.ensmp.fr>

<http://www.eleves.ens.fr>

<http://www.hydrogéologie.com>

<http://www.Scholar.google.com>

<http://www.u-picardie.fr>

<http://www.ifen.fr>

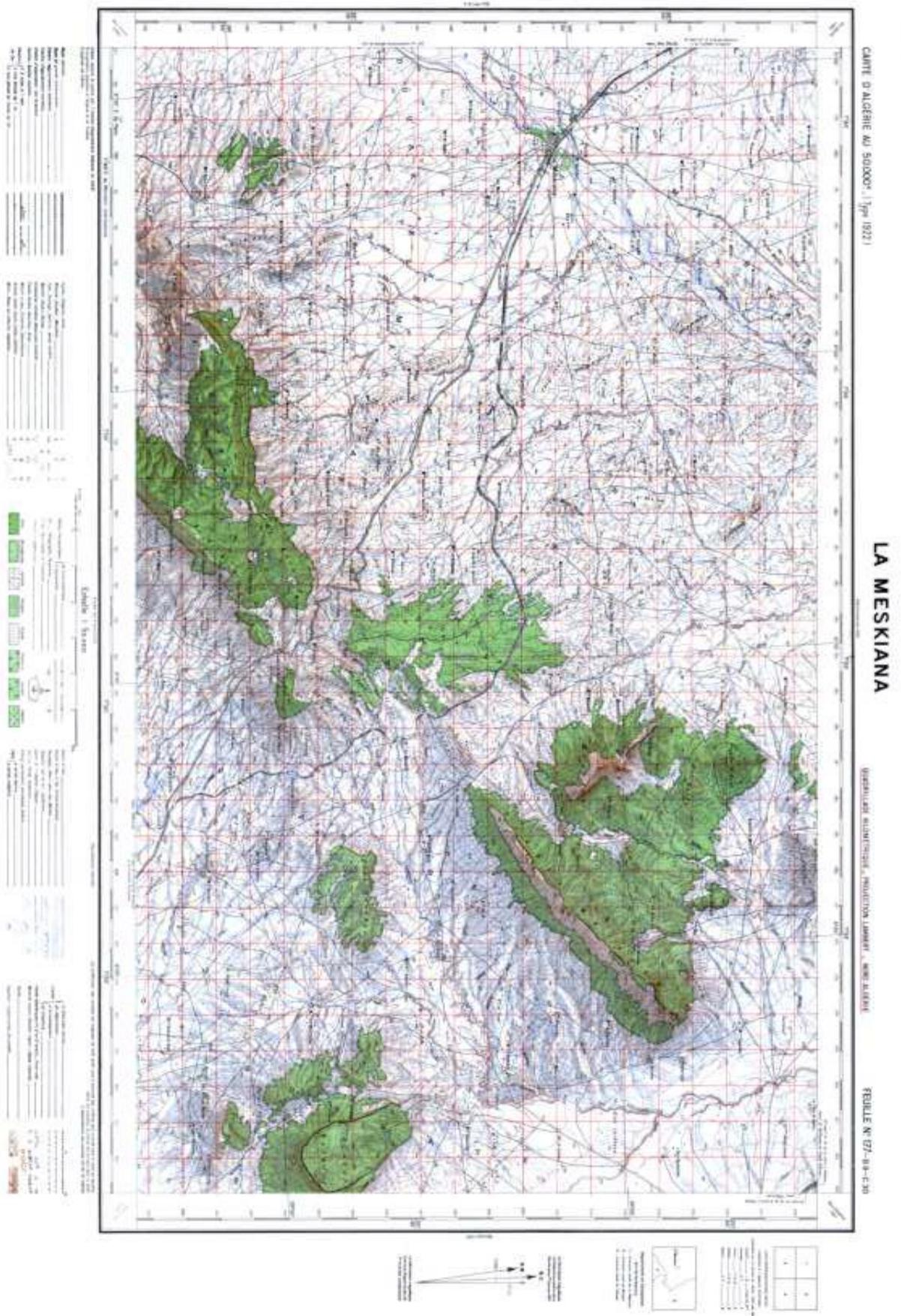


ANNEXES

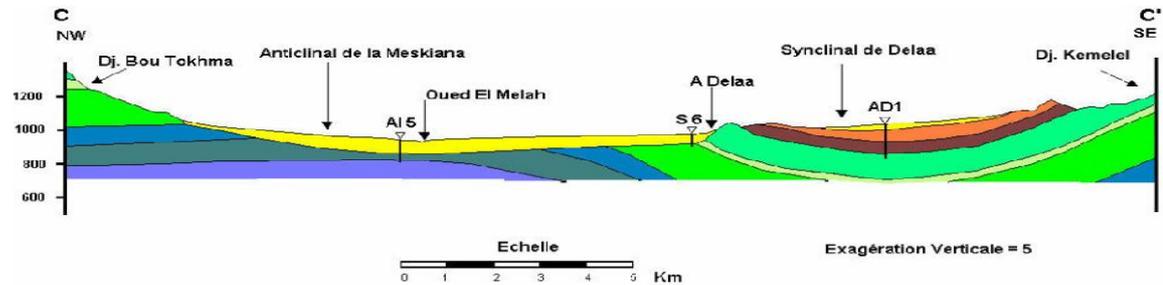
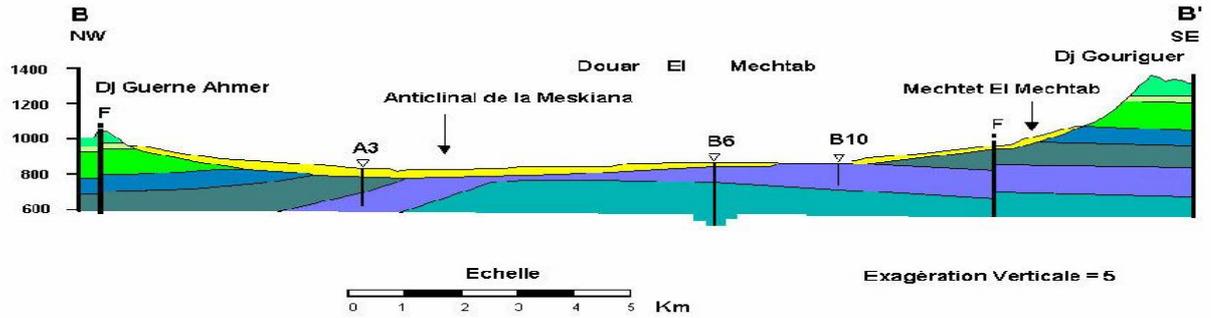
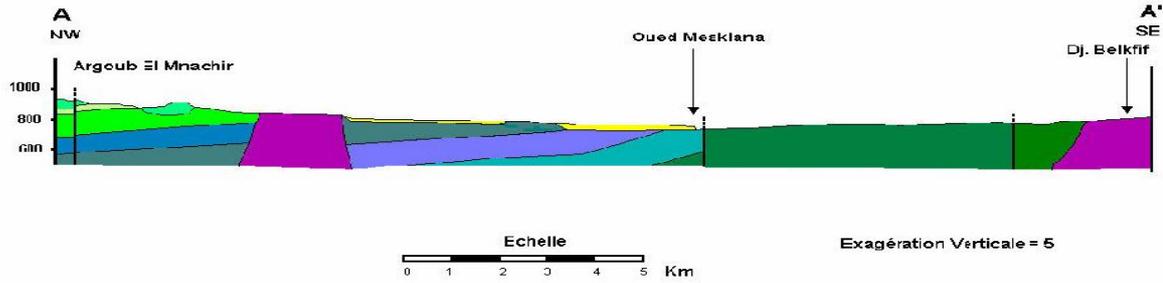
ANNEXE I

(Géologie)

ANNEXES



ANNEXES



Légende:

- Quaternaire : Alluvions actuelles et récentes.
- Miocène : Grès blancs grossiers à quartz.
- Thanétien-Yprésien : Alternance de micrite et de biomicrite blanchâtres.
- Maestrichtien sup : Calcaire noduleux à Inocérame.
- Maestrichtien inf : Mame grise à beige
- Campanien : Mame argileuse surmontant des mamo-calcaires.
- Santonien : Mame grise à rare intercalation de mamo-calcaires.

- Forage hydraulique
- Faille
- Contact stratigraphique
- Coniacien : Marnes grises et alternance de marnes beiges avec des calcaires.
- Turonien moy : Marnes argileuses et calcaire.
- Turonien inf : Marnes grises et mamo-calcaire.
- Cénomanién : Marnes argileuses et calcaire.
- Aptien : Mamo-calcaires et marnes argileuses
- Trias : Cargneule, gypse mameux, dolomie et grès.

Coupes géologiques dans le bassin de Meskiana(Gouaidia,2008 ;Thèse de doctorat).

ANNEXES

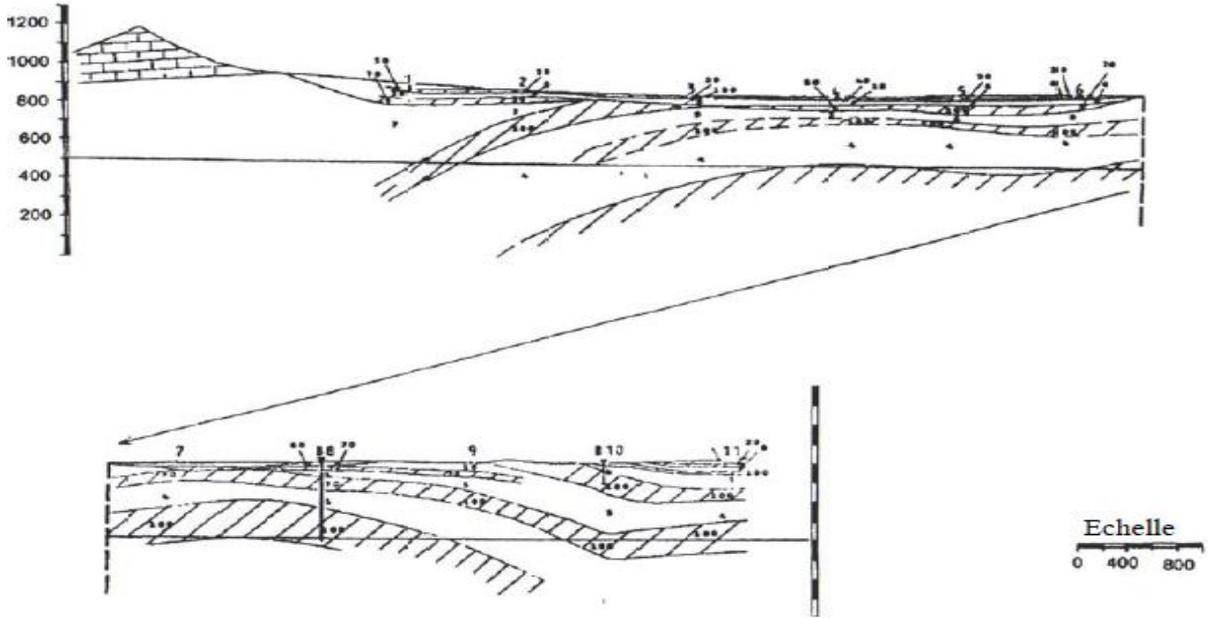


Figure II.7a : Coupe géo électrique du profil B(CGG in Gouaidia,2008 Thèse de doctorat)

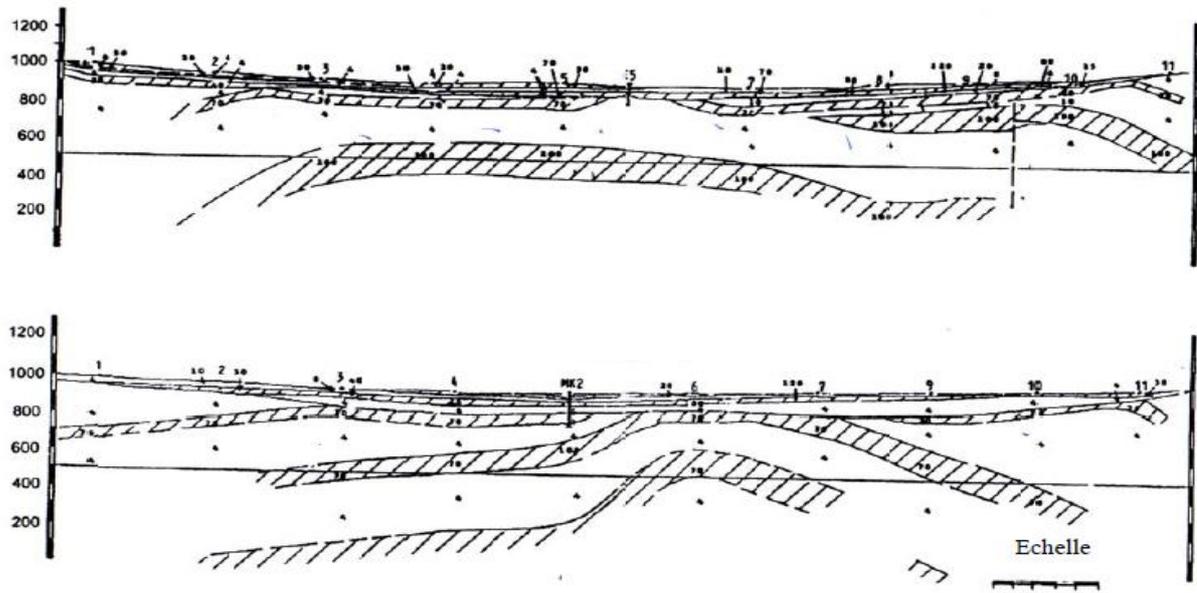
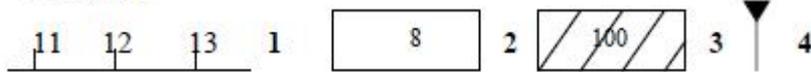


Figure II.7b : Coupes géo électriques des profils E et H (CGG in Gouaidia, 2008 Thèse de doctorat)

Légende



- | | | | |
|---|----------------------|---|-----------------------|
| 1 | Sondages électriques | 2 | Formation conductrice |
| 3 | Formation résistante | 4 | Forage hydraulique |

ANNEXE II

(hydroclimatologie)

ANNEXES

Les précipitations interannuelles aux stations de tebessa:

Mois/Années	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total	Moyen
1997-1998	51,3	62,7	39,3	23,5	21,5	12	34	24,9	12,2	38,1	0	15,6	335,1	27,93
1998-1999	51,3	34,3	42,4	15,4	71,8	9,5	48,7	6,9	17,6	10,7	17,8	30,5	355,2	29,60
1999-2000	51,3	63,6	73,7	25,4	6,6	3,5	7,1	15,1	70,5	78,1	17,5	16,2	397,5	33,13
2000-2001	51,3	13,2	14,7	9,4	20,2	14,8	12,2	1	40,8	0,2	5,8	10	149,1	12,43
2001-2002	51,3	17,5	20,9	7,8	13,8	10,3	9,7	25,8	42,8	23,9	60,5	93	382,6	31,88
2002-2003	51,3	40,5	75	28,5	127	38	17,7	95,9	28,6	4,3	2,8	23,1	515,5	42,96
2003-2004	51,3	43,4	12,6	148,6	19,1	2,3	91,2	24,9	49,7	88,8	16,4	32,5	584,5	48,71
2004-2005	51,3	22,6	112,7	59,9	20,9	36,9	30,9	22,5	2,1	40,8	1,3	46	419,9	34,99
2005-2006	51,3	118,3	29	69	39	12	4,5	49,3	40,5	21	7,1	39,7	468,4	39,03
2006-2007	51,3	15,5	4	54	5,5	9,5	59	82	48,5	46,5	14	23	380,5	31,71
2007-2008	51,3	14,5	5,5	32	8,5	14	46,5	23,5	64	11,5	5,5	7	289,5	24,13
2008-2009	51,3	31,5	15	53,7	99,5	11,8	33,7	144,1	72,7	0	14	11,8	591,8	49,32
2009-2010	51,3	2	2	6,8	38,7	3,1	13,1	79,3	35	25,9	20,2	2,4	279,8	23,32
2010-2011	51,3	16,5	55,1	5,5	26,5	66,7	60,3	43,3	47,2	28,4	54,2	10,2	465,2	38,77
2011-2012	3	86,1	3,4	8,9	46,4	57,2	39,4	24,1	27,8	2,1	3,5	35,5	337,4	28,12
2012-2013	41	54,9	13,2	2,6	20,1	8,6	25	33,4	8,8	0,7	14,8	26,5	249,6	20,80
2013-2014	46,8	38,7	39,7	28,4	38,7	48,4	27,9	2,3	199	29	22,5	8,7	530,1	44,18
2014-2015	49,3	7,1	43,2	49,5	30,4	66,7	42,7	1,3	20,7	66	38,4	72,4	487,7	40,64
2015-2016	45,8	30,3	55,9	0	13,4	4,3	32,3	18,1	37,7	2,7	0,8	13,6	254,9	21,24
2016-2017	30	49,3	18,7	65,8	23,4	8,7	10,5	46,7	32,8	17,6	14,3	10	327,8	27,32
2017-2018	41,2	49	32,8	8,6	0,7	29,6	20,3	26,8	95,5	12,8	3,4	72,1	392,8	32,73
total	975,3	811,5	708,8	703,3	691,7	467,9	666,7	791,2	994,5	549,1	334,8	599,8		
moyenne	46,44	38,64	33,75	33,49	32,94	22,28	31,75	37,68	47,36	26,15	15,94	28,56		

ANNEXES

La Température :

Années/mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total	moyenne
1997-1998	20,5	17	11,5	8,5	7,2	9,3	9,8	15,1	17,7	24,6	27,8	25,7	194,7	16,23
1998-1999	23,2	15	10,2	6,3	7,1	8,2	10,2	14,9	28,1	25,8	26,2	28,9	204,1	17,01
1999-2000	23,6	19,2	11,1	7,1	4,1	7,8	11,7	16,1	21	22,4	27,5	28,9	200,5	16,71
2000-2001	22,1	15,9	12,8	9,4	8	7,5	15,6	14	19,6	25	28,4	27,1	205,4	17,12
2001-2002	22,3	21,1	11,6	6,8	6,3	9	12,5	15	19,4	25,1	26,6	24,9	200,6	16,72
2002-2003	21,2	17,8	11,8	8,8	6,9	6,1	10	14,1	18,9	25,2	29,2	27,4	197,4	16,45
2003-2004	21,5	19,6	12,2	7	6,9	9,6	11,2	12,8	15,9	22,4	26,2	27	192,3	16,03
2004-2005	20,8	20,5	12,3	8,1	4,5	4,9	11,2	14,2	21,1	23,7	28,5	25,9	195,7	16,31
2005-2006	21,6	20,5	10,2	6,5	9,4	7,2	11,8	16,6	21,3	24,8	26,5	25,9	202,3	16,86
2006-2007	21,4	17,8	12,1	7,9	8,8	9,2	9,7	13,5	18,5	25,3	26,5	26,7	197,4	16,45
2007-2008	22	19	12,1	6,9	7	8,3	10,9	15,5	19,3	23,4	27,2	27,2	198,8	16,57
2008-2009	22,2	17,6	10,5	0,3	7,1	6,4	13,1	11,5	10,3	24,2	26,8	26,8	176,8	14,73
2009-2010	35,25	27,4	23,35	19,5	15,45	18,35	23,15	27,8	29,65	39,9	44,8	45	349,6	29,13
2010-2011	28,4	29,05	20,8	16,9	15,1	12,75	17,35	25,9	29,7	37,65	45,55	44,8	324	27,00
2011-2012	39,2	27,3	21,45	14,7	14,45	9	17,05	25,4	33,5	48,05	48,05	28,55	326,7	27,23
2012-2013	36,25	32,65	29,1	15,6	13,8	7,65	23	23	27,7	38,5	31,9	42,35	321,5	26,79
2013-2014	37,95	36,15	19,3	13,9	15,05	16,75	16,2	26,6	32,4	39	45,5	46,6	345,4	28,78
2014-2015	40,95	32,9	24,65	14	12,35	11,2	17,8	26,75	34,65	38,25	45,05	43,45	38,25	3,19
2015-2016	36,5	30,85	20,4	16,2	16,9	18,75	21,8	23,8	35,6	42,6	50,65	46,55	360,6	30,05
2016-2017	36,8	26,85	19	12,75	10,25	17,9	21,8	23,8	35,6	42,35	50,65	46,55	344,3	28,69
2017-2018	36,8	26,85	19	12,75	17	13,8	22	28,15	30,7	38,15	49,45	39,95	334,6	27,88
Total	590,5	491	335,5	219,9	213,7	219,7	317,9	404,5	520,6	656,4	739	706,2		
M, int An	28,12	23,38	15,97	10,47	10,17	10,46	15,14	19,26	24,79	31,25	35,19	33,63		