

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHES
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ LAARBI TEBESSI- TEBESSA
Faculté des Sciences de la Terre
Département de Géologie



Mémoire

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de
master

Domaine : Sciences de la terre et de l'univers

Filière : Géologie

Spécialité: Hydrogéologie

**APPLICATION DES LOIS STATISTIQUES POUR
L'EXPLICATION DU CHIMISME D'UN AQUIFERE .
CAS DE LA NAPPE DE CHÉRIA**

Présenté Par

BENABBES Amira

PRESIDENT

EXAMINATEUR

PROMOTEUR

BOUBAAYA Djamel

GUFAIFIA Omar

GOUAIDIA Layachi

Université de Tébassa

Université de Tébassa

Université de Tébassa

Session : Juin 2021

Remerciement

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à ma directrice de mémoire, monsieur Layachi Gouaidia Je la remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions durant mes recherches.

Je remercie mes très chers parents, Djamel et Hassina, qui ont toujours été là pour moi.

Dédicace

A ma Chère Mère Hassina

A mon Père Djamel

*Dont le mérite , les sacrifices et les
qualités humaines*

M'ont permis de vivre ce jour .

A mon Frères et mes sœurs

Jalil , Soulef , Raouf .

A mes amis

A tous ceux qui me sont chers

Résumé

L'eau souterraine est menacée aujourd'hui en raison de la consommation croissante et irrationnelle de cette richesse.

Le but de notre travail est l'utilisation des lois statistiques pour évaluer la qualité et l'état de la nappe aquifère dans la région de Cheria .

Ce bassin en question abrite trois aquifères superposés , l'aquifère du maastrichtien l'Eocène et la nappe alluviale de moi-plio-Quaternaire. Celle qui fait l'objet de cette étude est la nappe de l'Eocène.

Les résultats de l'étude ont montré que la région contient une réserve des eaux souterraines considérable, ces eaux caractérisées avec de fortes teneurs en chlorure qui dépassait les normes d'OMS qui varie entre 328.7 à 397.2 mg/l, calcium 205.5 à 272.5 mg/l magnésium 112.2 à 153.7 mg/l , bicarbonates 206 à 303.2 mg/l.

Médiocres du point de vue de la potabilité, elles ne présentent généralement pas de risque d'alcalinisation mais un risque élevé de salinisation pour les sols. Le faciès chloruré calcique ou magnésien est prédominant.

Mots - clés : la nappe aquifère, Cheria, hydrogéologie, hydrochimie , qualité

المخلص

المياه الباطنية مهددة في أيامنا هذه بالنقص نظرا للاستهلاك المتزايد وغير العقلاني لهذه الثروة الباطنية .
الهدف من عملنا هذا هو استعمال القوانين الإحصائية من اجل قياس نوعية المياه الجوفية في منطقة الشريعة.

يحتوي الحوض محل الدراسة على ثلاث طبقات خزانة للمياه الجوفية متوضعة فوق بعضها البعض والمتمثلة في طبقة العصر المسترشيان، طبقة العصر الايوسيني ويعلوهم طبقة متكونة من المواد الحطامية ذات عمر حديث. أظهرت نتائج الدراسة أن المنطقة تحتوي على كمية معتبرة للمياه الجوفية، تتميز هذه المياه بمحتويات عالية من الكلور والتي فاقت المعايير المتفق عليها من طرف منظمة الصحة العالمية حيث تراوحت نسبتها بين 328.7 إلى 397.2 ملغ/ل ، كالسيوم 205.5 إلى 272.5 ملغ/ل ، بكاربونات 206 إلى 303.2 ملغ/ل ، مغنيزيوم 112.2 إلى 153.7 ملغ/ل .

تصنف عموما جيدة من ناحية استعمالها للشرب ، تعتبر شحنة الكلوريد - الكالسيوم او المغنيزيوم هي الغالبة .

الكلمات المفتاحية: طبقات المياه الجوفية، شريعة، هيدرولوجيا، هيدروكيميا، النوع.

Abstract

Ground water is threatened today due to the growing and irrational consumption at this wealth.

The aim of our work is to estimate the quality of the groundwater in the Continental Intercalaire (CI) aquifer in the cheria region.

The basin in question has there superposed aquifers, Maastrichtien aquifer , Eocene andthe alluvial aquifer .

The results of the study showed that the area contains a significant amount of groundwater . this water characterized by high chlorine contents, which exceeded the standars agreed upon by the OMS ,where the percentage ranged between 328.7 to me 397.2 , calcium 205.5 to me 272.5 , Bicarbonates 206 to me 303.2 , magnesium 112.2 to me 153.7 .

It is generally classified as good in terms of its use for drinking . The calcium chloride facies is the most important .

Key Word : Aquifer, Cheria, Hydrogeology, Hydrochemistry, Quality

A decorative frame with a double-line border. The top-right and bottom-left corners feature intricate floral flourishes with swirling lines and small leaves. The word "Sommaire" is centered within the frame.

Sommaire



Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

Le synclinale perché de Chéria appartient au bassin versant de chott Melghir à 45 Km au sud ouest du chef lieu de la wilaya de Tébessa. Il est forme grossièrement triangulaire d'une superficie de 722Km² .

Le présent travail, tente après une analyse de la situation actuelle du terrain, de mieux cerner les concentration de quelques éléments chimiques des eaux à leurs classifications statistiques et hydro chimiques .

L'exploitation des eaux souterraines à partir des aquifères carbonatées est à présent la seule ressource pour répondre aux besoins en eau .

Dans cette étude nous allons approfondir ces connaissances et essayer de répondre à certaines questions :

- Quel est l'état actuel de la qualité chimique des eaux souterraine de la plaine ?
- Quels sont les paramètre physico-chimiques pour interprété les donnés ?
- Comment suivi l'évolution des élément majeurs et l'application des lois statistique pour interprété les résultats final

Pour répondre à ces questions un suivi hydrogéologique et chimique des eaux souterraines de la région depuis 2017 .

Plusieurs outils géologiques, chimiques et statistiques ont été utilisés afin d'interpréter les données. Les détails des résultats sont présentés dans cette mémoire à 5 Chapitre :

Dans le 1er chapitre, il a été abordé les caractéristiques physiques du bassin versant ainsi que la géologie (situation géographique, stratigraphie ,paléontologie et tectonique) A partir de ce chapitre, on a pu avoir une idée détaillée concernant les différentes formations géologiques, leurs natures et la susceptibilité aquifère du site étudié.


Dans le 2 chapitre, il a étudié la géophysique de la région de Chéria et dont nous avons présenté un aperçu ci-dessus.

INTRODUCTION GENERALE

Dans le 3 chapitre, il a été étudié les différents paramètres climatologiques (type de climat, températures et évapotranspiration) et l'hydrologie de l'oued Chéria (étude des débits).

Dans le 4 chapitre ,présenté l'identification de la typologie des nappes aquifères et l'étude hydrogéologique de la région (la piézométrie et les conditions aux limites)

Dans le 5 chapitre, l'étude hydrochimique (le suivi saisonnier des paramètres physico-chimiques, leurs représentation cartographique), pour interprété les résultats final , ainsi qu'à l'étude de la qualité des eaux destinées à l'alimentation humaine et à l'irrigation.

A decorative frame with a double-line border. The top-right and bottom-left corners feature intricate scrollwork and floral designs. The text "Chapitre I" is centered within the frame.

Chapitre I

1- Présentation de la zone d'étude

1-1 situation géographique

Chéria est une assez grande bourgade avec une vaste place centrale située dans l'un des points les plus bas de la dépression et visible des monts environnants. Cette structure de bassin permet de ne pas manquer d'eau : tout les oueds convergent vers le Sud (l'exécutoire du bassin de Chéria) La dépression de la ville de Chéria est entourée par les massifs des Djebels : Doukkane, Tazbent, Troubia, Krima, Reddama, Zeghrata, kef Nsour, Dj. El Mezraa, Dj, Zohra, Dj. Gaagaa Le synclinal perché de Chéria (Figure 01) appartient au bassin versant de chott Melghir à 45 km au sud ouest du chef lieu de la wilaya de Tébessa. Il est de forme grossièrement triangulaire d'une superficie de 722 km², limité au Nord par le fossé d'effondrement Hamammet- Tébessa-Morsott, à l'Est par le sous bassin versant d'El Ma El abiod, à l'Ouest par le bassin d'EDALAA et au Sud par le bassin de Tlidjen.(BAALI.F 2007)

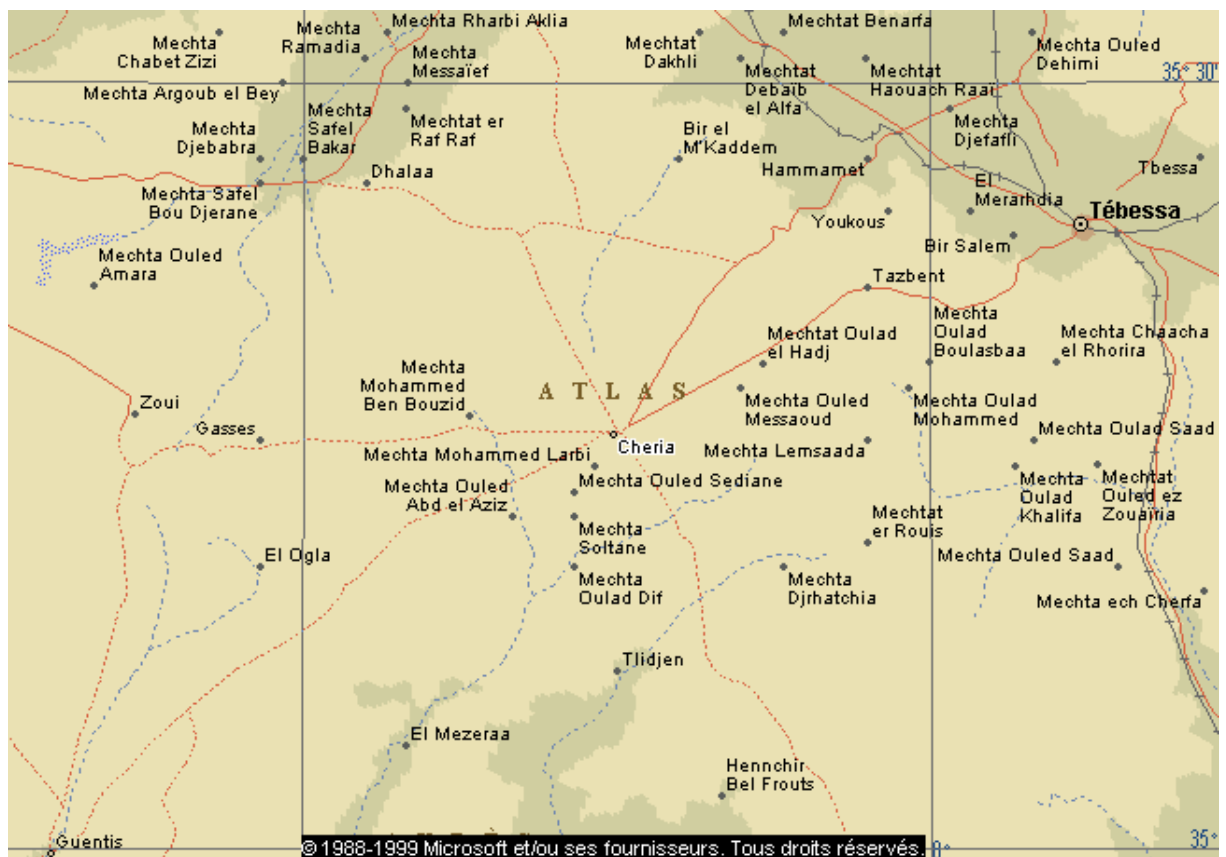


Figure 1 : Localisation géographique du plateau de Cheria.

CAPITRE I : CADRE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOLOGIQUE

1-2 La population

La population de la région de Chéria s'élève à environ 83280 habitants (DPAT 2014). Cette

population est concentrée à la ville de Chéria, à Bir Mokkadem, M'Chentel, Ouled Saidane à

Abla, où se trouve, essentiellement développées, les activités d'élevage et à affinités

agricoles.

1-3 Activités économiques et industries

La zone en question appartient au domaine sub-saharien ce qui limite la végétation dans la région. L'activité d'élevage, ovin et bovin est la plus importante activité dans la région. Les terres agricoles sont évaluées à 326 hectares. Le volume d'eau nécessaire pour l'irrigation s'élève à 6.10 6 m 3 d'après les récentes enquêtes sur la région. Les habitants procèdent à la culture de quelques légumes essentiellement de la pomme de terre, salade, fève...etc., dont l'irrigation est assurée grâce aux eaux souterraines. La culture des céréales est conditionnée par les précipitations qui sont très aléatoires. La principale ressource de la région provient de l'élevage qui est la principale activité de l'ensemble du secteur. Le secteur industriel est moins important dans la région sauf pour une petite industrie transformatrice des produits alimentaires pour bétail. La végétation naturelle, à base de pin d'Alep, est développée au Nord de la zone d'étude et devient de plus en plus rare vers le Sud jusqu'à la disparition en limite Sud au Dj Allouchetes. Par opposition avec les plaines de Mellégue et les monts de Tébessa, les montagnes, bordant la plaine de Chéria, se singularisent tout d'abord par l'absence presque totale de végétation arbustive, ne font vraiment exception, que les monts Est qui sont recouverts d'une forêt de pins. On peut également citer les généviers épais du Djebel Kraa et surtout des basses pentes du Djebel Arour. Partout, ailleurs, la roche ou les sols affleurent entre les touffes d'une steppe basse où domine l'Alfa.

2-GEOLOGIE

2-1- Introduction

Le plateau de Chéria est l'un des quatre systèmes aquifères importants constituant la région de Tébessa, au Nord-Est de l'Atlas Saharien. Représenté principalement sur trois cartes au 1/50.000 de Youkous-les-bains (N° 205), Chéria (N°234) et Ain Thlidjen (N°265), il appartient à la zone des hautes plaines, d'une altitude moyenne de 1100m, limité grossièrement entre les parallèles 35°50 et 36° longitudinale, 7°30 et 8° de latitude. L'étude géologique détaillée de la région ne fait pas l'objet de cette thèse. Nous nous contenterons de reprendre les anciens travaux effectués par les différents auteurs tels que Lambert et Durozoy (1947), Gaud (1977), Ricard (1979),.....etc.

2-2- Aspect Géomorphologique

Un rappel du contexte géomorphologique est cependant nécessaire afin de mieux comprendre l'aspect hydrogéologique de la région. La forme générale du bassin de Chéria est grossièrement triangulaire, la pointe vers le Sud Sud-Ouest. Le pourtour du bassin est limité par des chaînes de montagnes continues, à peine coupé de cols peu entaillés. Au Sud ces dernières convergent en entonnoir et laisse entre elles une vallée étroite. Le sommet le plus culminant est Doukkane à 1685 m, les flancs de ces montagnes présentent des pentes accentuées qui vont en s'adoucissement dans la plaine jusqu'à se confondre avec l'inclinaison générale de celle-ci descendant du Nord et du Nord-Est vers le Sud. Une chaîne de monts et de collinettes s'étend à l'Est du plateau nord en forme d'arc depuis le djebel Tazbent (1418) jusqu'à Kef M'chouar (1135) en une série d'élévation de moins en moins hautes au-dessus du plateau qui sont Draa krerafi (1200m), collines de Bir mokaddem, Kef hadjera Oum Neb et Draa Douamis. Le bassin présente également deux parties nettement séparées à hauteur du village de Chéria en deux parties distinctes, le Nord large et étendue et le Sud de moindre surface.

2-3- STRATEGRAPHIE DE LA REGION DE CHERIA

Sur la base des investigations et études géologiques antérieures, on peut présenter l'aspect stratigraphique comme suit : du plus anciens vers le plus récent (Fig. 2).

1-1-Alluvions récentes :

a- Eluvions :

Constituées par des esquilles plates venant de l'action du gel sur les calcaires Maestrichtiens leur faible épaisseur est cependant inversement proportionnel à leur rôle hydrologique.

b- Alluvions de piémont :

Constituées de cailloutis très propres, elles peuvent atteindre des épaisseurs importantes au pied des reliefs Maestrichtiens (Dj - Doukkane).

c- Alluvions de remplissage :

Elles sont formées de cailloutis de petits galets enrobés dans un ciment plus ou moins argileux , elles peuvent atteindre une puissance minimum de 50 m .Le marécage de Cheria est constitué d'une alternance de ces niveaux avec des horizons argileux.

1-2-Le Quaternaire :

En aval de Cheria il est représenté par des cailloutis qui peuvent atteindre 20 m d'épaisseur notamment à Ain Babouche dont la surface est couverte d'une croûte de tufs calcaires.

Au Nord c'est surtout vers le Djebel Tazbent qu'il est constitué de vastes plateaux faiblement inclinés vers le Sud –Ouest.

1-3-Le Mio-Pliocène :

Vers Ain Babouche, il est discordant et transgressif sur les calcaires de l'Eocène moyen. de la base vers le sommet et sur une quarantaine de mètres d'épaisseurs , on note : une alternance d'argiles gypseuses et lentilles de sables , surmontées par des sables siliceux d'environ 20 m de puissance .

1-4-L'Eocène moyen :

Il est formé de barres calcaires où l'on peut observer divers niveaux phosphatés.

1-5-L'Eocène inférieur :

CAPITRE I : CADRE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOLOGIQUE

Il est particulièrement développé au Djebel Tazbent ce sont des marnes très argileuses noirâtres d'une épaisseur de 100 à 150 m. Vers le Sud, le niveau marneux se réduirait considérablement en passant latéralement à la partie inférieure à des calcaires crayeux à silex Son épaisseur devient alors difficile à évaluer mais elle ne serait alors dépasser les 20 mètres.

1-6-Le Maestrichtien

Il correspond à des calcaires tendres crayeux surmontés de marnes dont l'épaisseur peut être estimée à 250 m. Ses calcaires subissent également des variations de faciès du Nord au Sud, les bancs supérieurs se chargeant en silex présentent une grande analogie de faciès avec certains niveaux de l'Eocène moyen.

1-7-Le Campanien

Il est constitué de marnes grises en profondeur devenant verdâtres dans les parties superficielles altérées où elles contiennent de nombreux cristaux de gypse, leur épaisseur est d'environ 300 m au N-E du plateau.

1-8- Le Turonien

Ce sont des calcaires compacts représentés par des petits affleurements au Nord et au Sud du plateau de Cheria.

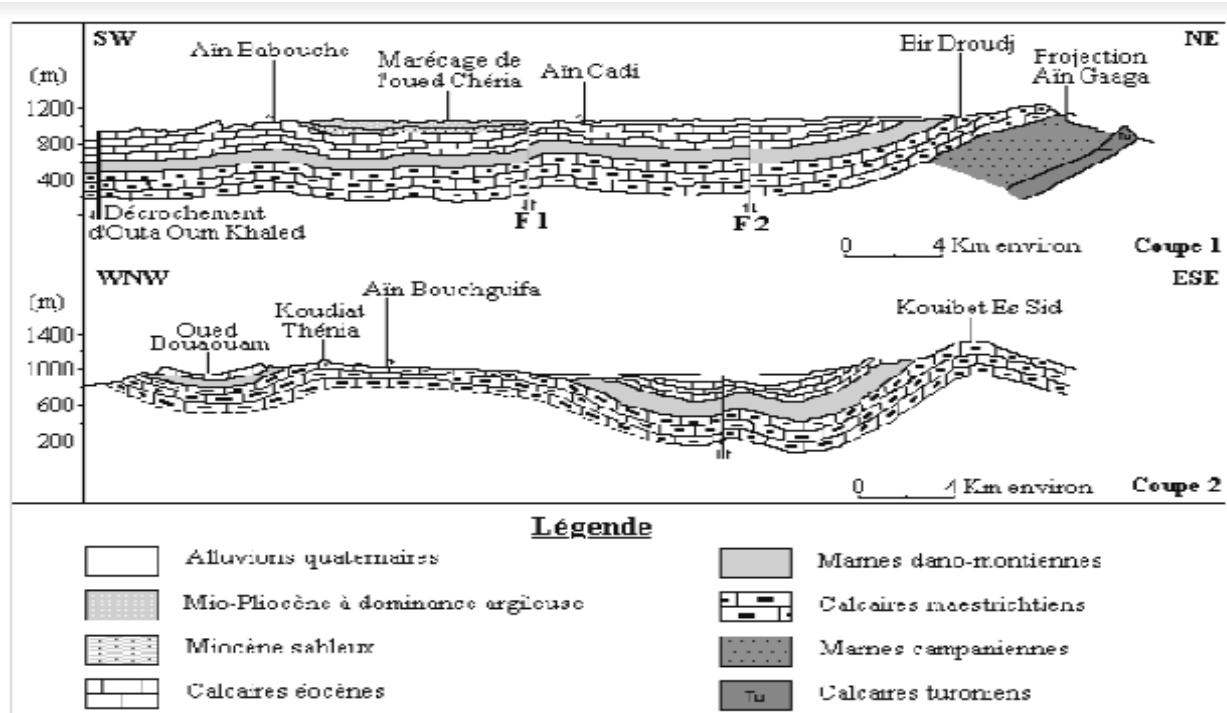


Figure 2 : coupe géologique du plateau de Cheria.(baali et Chafai ;H 2006)

CAPITRE I : CADRE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOLOGIQUE

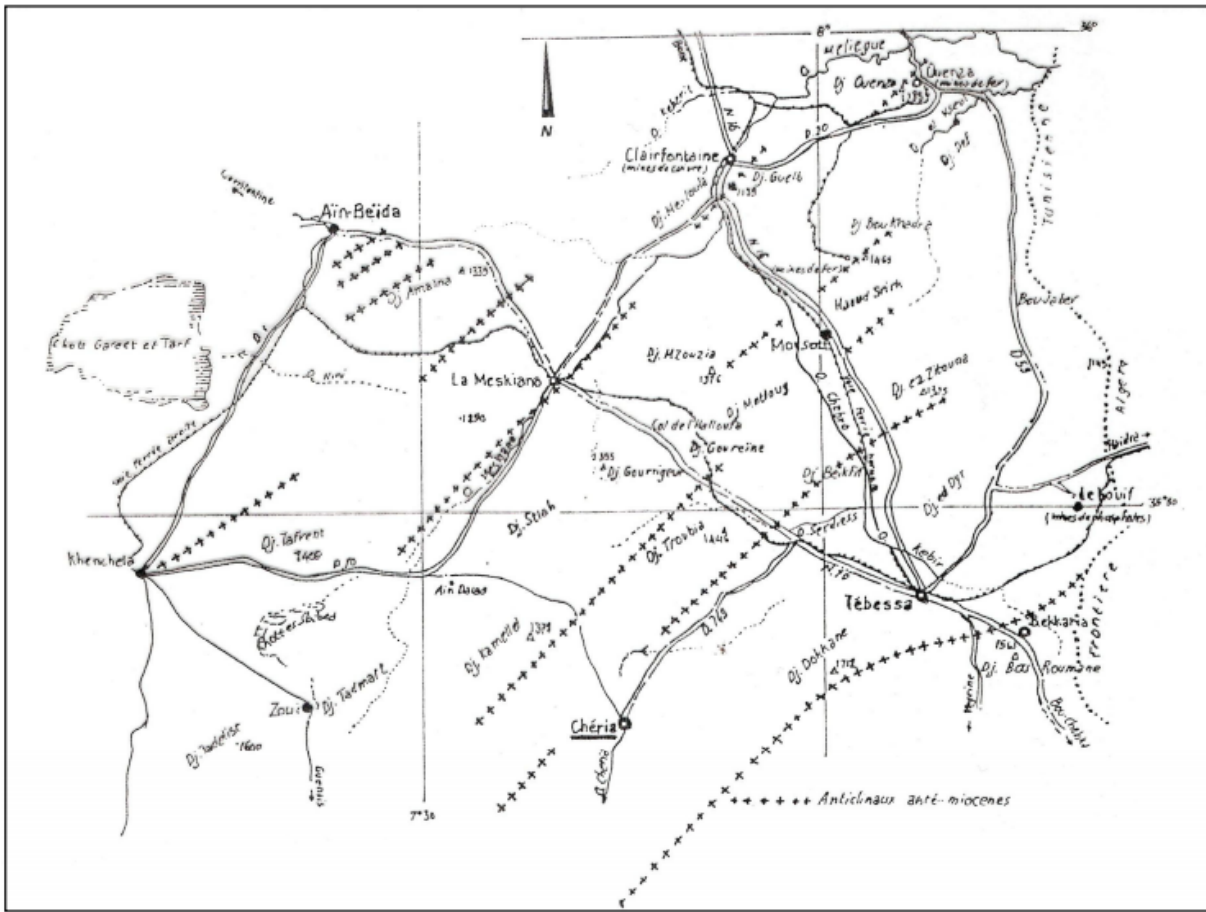
		Lithologie	Epaisseur (m)	Description lithologique	
CENOZOÏQUE	Quaternaire		⑥ 10-30	Dépôts clastiques d'origine continentale.	
	Néogène	Miocène		⑤ 10-150	Conglomérats à grains variés avec un ciment carbonaté, grès quartzeux et calcaire sableux avec intercalations d'argilites.
		Eocène		200	Calcaires marneux à silex et intercalations de phosphates par endroits dans le mur.
	ÉO-CÈNE	Maest.		250-300	Calcaires gris clairs, calcaires crayeux et marnes argileuses avec intercalation d'argiles dans la partie supérieure.
				500-600	Marnes argileuses gris-foncées et des calcaires blancs dans la partie moyenne et supérieure.
		Con-Sant.		500-600	Marnes argileuses grises et grises bleuâtres.
				180-250	Calcaires en bancs, partiellement marneux à teinte noire et gris-foncée.
		Cénom.		900-1000	Marnes gris-verdâtres et grises dans la partie supérieure, avec intercalations de calcaires marneux.
				500-600	Marnes et marnes-argileuses avec intercalations de calcaires argileux et argilites.
		Albien		480-600	Marnes grises et gris-foncées, noires dans la partie supérieure avec de minces intercalations de calcaires argileux.
				100-200	Marnes grises, gris-jaunes partiellement avec des intercalations de calcaires.
		Aptien		300-600	1- Faciès clastique, marnes argileuses avec intercalations de marnes sableuses et grès calcaires. 2- Faciès carbonaté, calcaires organo-détritiques, bioclastes, ooclastes et interclastes.
			① < 250	Calcaires et dolomies, argilites et argiles dans la partie supérieure (Grès à Mesloul). ?	
Jurassique		? < 700	Formations marno-gypsifères bariolées avec peu d'intercalations de grès à grains fins, dolomies et calcaires marno-dolomitique.		
Trias		< 700			

Figure 3 : Colonne stratigraphique synthétique des monts de Cheria (D'après Vila,1980)

CAPITRE I : CADRE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOLOGIQUE

2- TECTONIQUE

De point de vue tectonique la région a subi deux importante phase la première postmiocène, la seconde post-pontiène quand peut les résumer comme suit : Le plateau de Chéria est formé par deux cuvettes synclinales accolées au niveau de Chéria. La cuvette amont a tendance à se digiter sur sa bordure Nord-Est ; la cuvette avale se prolonge vers le Sud-Ouest par le synclinal compris entre les dômes du Hamimat Querra et Hemimat Guibeur ; ces charnières synclinales sont allongées suivant des direction NE_SW. Une autre direction tectonique, sensiblement orthogonale à la première, se traduit par de grand faille et des plis peu accusés sur le plateau. Un de ces plissements partage en deux l'aire synclinale



de Chéria, c'est celui qui va du Djebel Allouchette au djebel Krah (CGG 1970) (Figure.4).

Figure 4 : Esquisse tectonique de la région de Tébessa. D'après G. Durozoy.

1952

3 - PALEONTOLOGIE

Dans ce paragraphe on essaye de citer quelque passage concernant les formations de la régions, apparus dans le livret de la paléontologie des vertébrés en Afrique du Nord (Française) par C. Arambourg 1952.

3-1 Les poissons

Les niveaux phosphatés de l'éocène sont, comme ceux du maestrichtien, très riches en débris de vertébrés. Ils forment dans les régions du Sud constantinois et du Sud tunisien, d'importants gisements activement exploités. L'âge de leurs dépôts s'étend de du montien au lutétien supérieur.

3-2- Les mammifères

L'hauteur de l'ouvrage sur site dit : «nos connaissances sur les faunes mammalogiques tertiaire de bérie sont très incomplètes.

L'Éocène et l'Oligocène n'ont encore, dans leurs totalité, fourni aucun document certain. Les faunes du miocène inférieur et moyen ne sont elles-mêmes connues que très partiellement par quelques documents sporadiques .je citerai, pour ce qui concerne les niveaux les plus inférieurs du miocène, les dents de Proboscidiens découvertes, l'une dans la région de Khenchela (Aures))et rapprochée, par Gaudry, de celles de Mastodon turicensis Schinz .,

C'est sans doute aux horizons de base miocène qu'il convient d'attribuer des restes de Mastodon et de Dinotherium recueillis dans les couches continentales superposées aux niveaux phosphatés marins du Sud constantinois (Brives, 1919, 1920)».

4- Conclusion

Les études géologiques évoquées dans ce chapitre ont confirmé la succession des formations suivantes dans le synclinal de Chéria : les marnes d'âge Campanien, les calcaire du Maestrichtien, les marnes du Danien et les calcaires Eocènes recouvrent par les alluvions et le sable du Moi-Plio-Quaternaire.

Les études géologiques, et hydrogéologiques ont permis de définir trois aquifères :

l'aquifère des calcaires Maestrichtiens qui est très important aux bordures et stérile au centre, l'aquifère des calcaires Eocènes le plus important de point de vue réserve et exploitation ainsi que celui du recouvrement Moi-Plio-Quaternaire qui est devenu sans intérêt hydrogéologique après des décennies de sécheresse.

La structure géologique du plateau de chéria correspond à un synclinal dont les bords forment des édifices structuraux orientés dans deux directions opposées à la suite de deux phases de plissement dites anti-Miocène de direction NW.SE et la phase post-Miocène de direction NE-SW.

A decorative frame with a double-line border. The top-right and bottom-left corners feature intricate scrollwork and floral designs. The text "Chapitre II" is centered within the frame.

Chapitre II

II- GEOPHYSIQUE

1-Introduction :

L'étude géophysique dans la région de Chéria est basée principalement sur la prospection géoélectrique menée par la société TRANSAKTA-GEOMETAL en 1971 et la CGG en 1970 (Figure .05), sans oublier l'étude gravimétrique établie par Zerdazi (1990) sur la carte 205 d'El Hammamet la partie Nord du Bassin ainsi que la diagraphie de quelques forages par la direction d'hydraulique de la wilaya d'Annaba (D.H.W) entre 1973 et 1977. Ceci a permis à définir sur le terrain les formations susceptibles être aquifères.

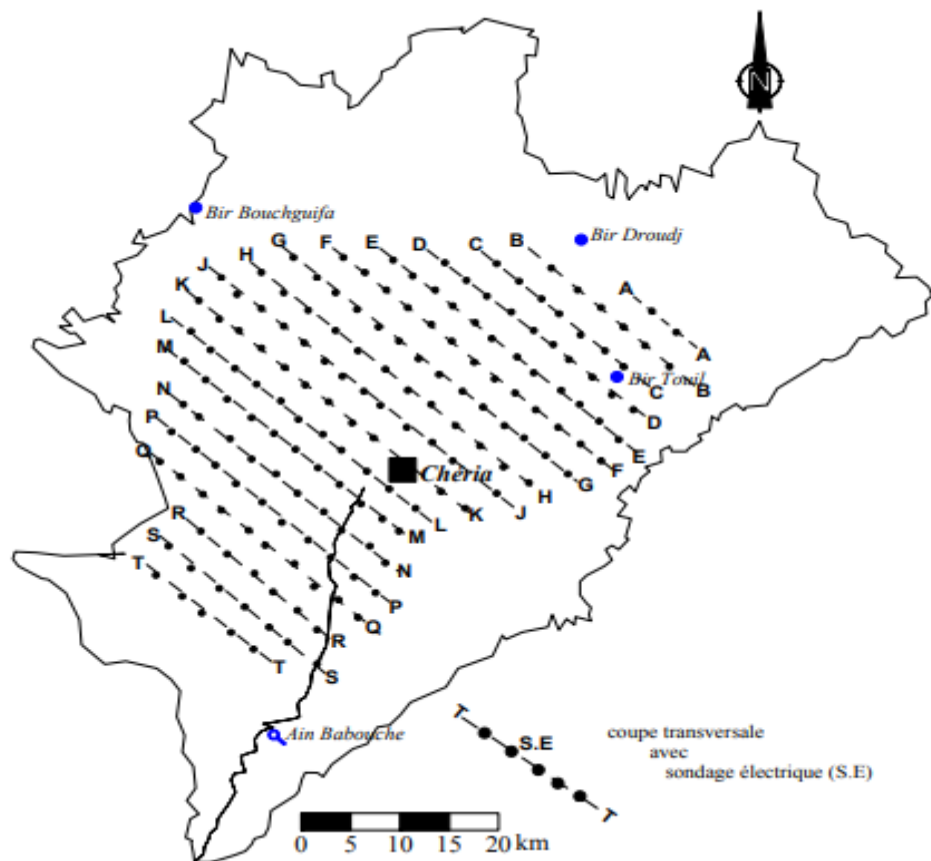


Figure 5 : Carte de positionnement des sondages électriques. CGG 1970

2-Travaux effectués :

Au total 291 S E (été effectués et répartis sur 35 profils orientés NW – SE , selon des longueurs d'émissions AB comprises entre 1000 et 4000 m.

- 1 SE en ligne AB = 1000 m
- 68 SE en ligne AB = 2000 m.
- 64 SE en ligne AB = 3000 m.

- 158 SE en ligne AB =4000 m.

3-Résultats de la prospection électrique :

Les différents sondages électriques paramétriques et d'étalonnage réalisés dans notre zone d'étude, ont permis l'attribution d'une valeur de résistivité électrique à chacune des formations géologiques rencontrées :

- Limons argileux:	< 10 ohm.m
- Alluvions grossières :	70 – 150 ohm.m
- Niveaux sableux :	20 – 50 ohm.m.
- Calcaires Eocènes : Calcaires aquifères :	80 – 100 ohm.m
- Calcaires compacts :	150 – 350 ohm.m
- Marnes Daniennes :	5 – 8 ohm.m
- Calcaires Mastrichtiens : Calcaires aquifères :	200 – 500 ohm.m
- Calcaires compacts :	> 1000 ohm.m.
- Marnes campaniennes :	2 – 3 ohm.m.

4-Validité des résultats :

Les sondages mécaniques réalisés au droit de certains sondages électriques devraient en principe aboutir aux mêmes résultats tant qualitatifs (nature des terrains traversés) que quantitatifs (épaisseur des diverses formations rencontrées). Seulement, l'on a constaté que les données des forages diffèrent par fois de beaucoup de celles données par la prospection électrique (Tableau n°:01)

Cette différence est due à notre avis aux différentes interprétations liées au faible contraste de résistivité électrique de certaines formations traversées –ainsi on ne distingue pas bien :

Les niveaux de graviers et galets calcaires à silex des niveaux de calcaires Eocènes et Mastrichtiens sous-jacents quand ils sont aquifères.

Les marnes et argiles Miocènes des marnes Daniennes, il en résulte une imprécision quant au passage Miocène - Eocène.

Les calcaires Eocènes et Mastrichtiens du fait de leur grande ressemblance : d'où imprécision sur l'épaisseur de chacune de ces deux formations : donne l'analogie de faciès entre certaines formations conjuguée à leur faible contraste de résistivité ont conduit à une interprétation peu précise qui par conséquent nous invite à réinterpréter certaines coupes géoélectriques en tenant compte des résultats des sondages mécaniques (forages).

5- L'Analyse des coupes géo-électriques (Figure 5)

L'Analyse des coupes géoélectriques (CGG 1970) permet, de cerner les épaisseurs et l'allure des couches dans l'espace , D'après ces coupes on peut tirer leur résultats suivants :

1- Les calcaires du Maastrichtien

ce sont des terrains résistants (200-500 m) bien distingués des calcaires Eocènes .

Ils se présentent en une structure synclinale avec des épaisseurs relativement constantes, de l'ordre de 250 ohm . on observe un approfondissement des calcaires Maastrichtien qui pourrait se traduire par un accident probable de direction NNE-SSW.

2- Les marnes du Danien

Elles ont des valeurs de résistivité relativement faibles (5-15 ohm m)par rapport aux formations sus et sous-jacentes et forment distingué des autres .L'épaisseur des marnes est de l'ordre de 200.

3- Les calcaires de l'Eocène

Les calcaires Eocènes reposent directement sur un substratum conducteur , Ils ont des épaisseurs variables allant de 50 à 300 m et des résistivités variables de 150 à 400 ohm.

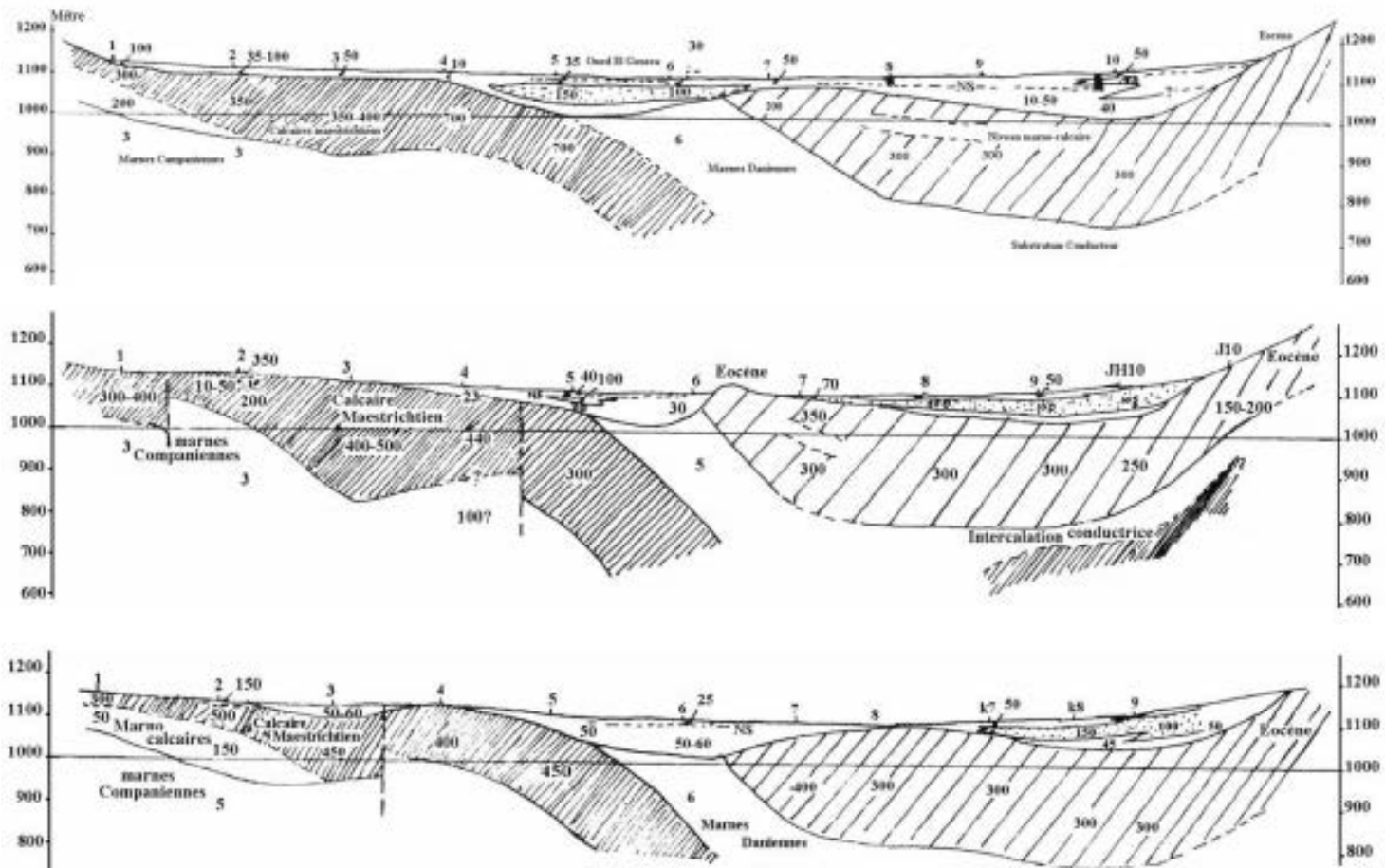


Figure 6: coupes géo-électriques H, J et K (CGG,1970)

6- L'investigation gravimétrique :

Comme les méthodes géoelectriques, la gravimétrie peut être d'un grand apport dans l'identification des structures et des formations en profondeur.

Les travaux de Zerdazi Abdelhamid (1990) ont abouti à la réalisation d'une carte d'anomalie de Bouguer, à l'échelle de 1/50000, dont l'analyse a permis de dégager les points suivants :

Une anomalie négative dans le secteur Nord correspondant au fossé de Tébessa. Plus au sud, des anomalies positives pouvant correspondre à des formations denses et compactes (Dj. Gaagaa). Enfin une anomalie négative avec un axe Est-Ouest, cela correspond à des sédiments de comblement de faible densité (Quaternaire).

7- Conclusion

L'étude géophysique de la région de Chéria et dont nous avons présenté un aperçu ci-dessus, a permis d'identifier le système aquifère de cette région.

Le contraste des valeurs des résistivités obtenues a mis en évidence l'alternance des niveaux conducteurs et des niveaux résistants, corrélés avec les formations calcaires et marneuses qui composent le système aquifère en question. Cette étude a également identifié la structure en cuvette (synclinal) des formations

A decorative frame with a double-line border. The top-right and bottom-left corners feature intricate scrollwork and floral motifs. The text "Chapitre III" is centered within the frame.

Chapitre III

I- Hydrologie

1-Introduction

Le régime hydrographique du plateau de Chéria est très différent au nord de ce qu'il est au sud. Au nord les oueds convergent des bordures vers la cuvette avec un nombre important de talwegs. Deux oueds principaux collectent les eaux des orages et les drainent vers le centre de

cette partie du plateau. Oued Blilia prend sa trajectoire depuis Dj Tazbent vers la route de

Chéria, El Hammamet (NE-SO). Oued Troubia partant de Dj Troubia pour une quinzaine de kilomètre et qui se perd dans la plaine de Bir Djelmda, sauf pour les périodes de grandes crues, leur écoulement peut atteindre la ville de Chéria. Ces grandes crues provoquent une inondation de la ville, ce qui à mener les autorités à réaliser une digue de protection autour de la ville, et qui déverse dans l'oued Chéria. Ce dernier sert de canal d'évacuation jusqu'au défilé de Mazraa, deux vallées affluentes l'encadrent : à l'ouest, oued El Allouchet et à l'est, Oued Tbagga. Tous les oueds sauf celui de Chéria sont intermittents et sans intérêts. Dans les années soixante-dix plusieurs sources alimentaient le réseau hydrographique de la région, qui ont disparues à cause de la sécheresse et l'exploitation excessive les sources du nord : Tazbent, Oglat Eddieb, Gueriene et Bouchguifa. Celles du sud : Chéria et Ain Babouche.

D'après ce qui précède notre approche hydrologique va être basée sur l'oued de Chéria.

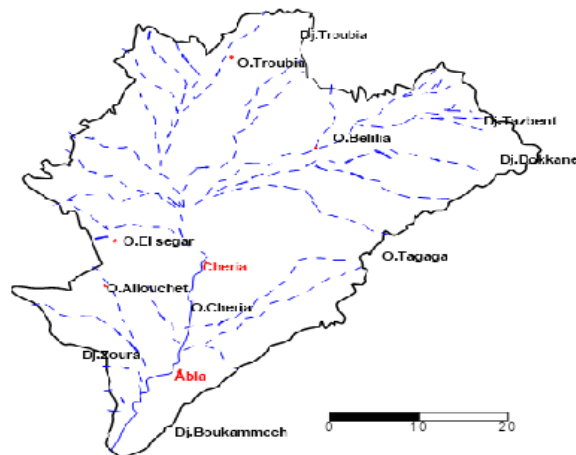


Figure 7: Réseau hydrographique du plateau de Chéria (Baali 2008)

2- Étude des caractéristiques physiques du bassin versant de Chéria

L'objet de cette étude est d'exposer les diverses méthodes de mesure, de calcul, et de présentation employée pour caractériser, les principaux paramètres morphologiques qui agissent sur la variation du régime hydrologique.

2-1- Délimitation du bassin versant

Le bassin versant pour une section droite d'un cours d'eau définit comme l'espace de transformation des pluies en débits drainés par ce cours d'eau et ses affluents. Les caractéristiques hydrologiques d'un bassin versant dépendent du climat, de sa morphologie, de la nature de ses sols et de la couverture végétale. Chaque bassin versant est séparé des autres par une ligne de partage des eaux, dans notre cas, cette limite est tracée sur les cartes topographiques d'échelle 1/50.000 en suivant les lignes des crêtes bordant le bassin.

2- 2- Étude des paramètres géométriques

2-2-1- Superficie du bassin versant

Sur une carte à l'échelle topographique 1/50.000 et par planimétrie, la superficie du bassin

de Chéria est de l'ordre de 810 km.

2-2- 2-Périmètre du bassin versant

L'intérêt essentiel du périmètre est de pouvoir déterminer l'indice de compacité de Gravellius

(kc). Le curvimétrie du bassin de l'oued chéria donne un périmètre de 148km.

2- 2-3-L'indice de compacité de Gravellius

On l'appelle aussi l'indice de forme du bassin, qui a une influence sur l'écoulement global.

Cet indice est définit comme le rapport entre le périmètre du bassin versant et le périmètre

d'un cercle ayant la même surface.

$$0.28p / (s) ^{-1/2}$$

- Si : k c 1 : ceci implique que le bassin versant à une forme ramassée.
- Si : k c 1 : ceci implique que le bassin versant à une forme étalée.

Nous avons :

$$P = 136 \text{ km}$$

$$S = 810 \text{ km}^2$$

$$Kc = 1.34$$

C'est-à-dire le bassin versant de Chéria a une forme généralement étalée.

2-2- 4- Rectangle équivalent

Ce paramètre facilite la comparaison entre les bassins versants du point de géométrique dans lequel :

- Le contour du bassin devient un rectangle de même périmètre.
- Les courbes de niveau sont des droites parallèles à la largeur du rectangle
- L'exutoire est un des petits cotés du rectangle.

La longueur (L) et la largeur (l) sont données par :

$$L = \frac{Kc\sqrt{S}}{1.12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right) \quad l = \frac{Kc\sqrt{S}}{1.12} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right)$$

On aura donc :

$$L = 52.745 \text{ km et } l = 15,357 \text{ km}$$

2- 3-Courbe hypsométrique

Le relief est caractérisé par sa courbe hypsométrique, celle ci nous renseigne sur la répartition de la surface en fonction de tranche d'altitude en portant ordonnée les tranches données et en abscisse la surface du bassin pour laquelle chaque point est une cote au moins égale à cette altitude, les surfaces en abscisse sont exprimées en pourcentage de la surface totale du bassin, la répartition altimétrique du bassin versant d'oued Chéria est représenté sur le tableau n° 1 la courbe hypsométrique du bassin versant de Chéria montre une allure généralement irrégulière.

Tableaux n°1: la répartition de la surface en fonction de la tranche d'altitude.

Tranches d'altitudes	Surfaces partielles	Surfaces cumulées	Surfaces partielles	Surfaces cumulées	Dénivelée	Vaihi (%)
H (m)	Sj (km ²)	Lsi (km ²)	Ai = si /s(%)	Lai (%)	Hi (m)	
1700-1650	01.05	01.05	00.13	00.13	50	0.25
1650-1600	00.95	02.02	00.12	00.25	50	0.24
1600-1550	05.21	07.23	00.64	00.89	50	0.57
1550-1500	06.32	13.55	00.78	01.69	50	0.62
1500-1450	07.11	20.66	00.88	02.55	50	0.66
1450-1400	14.15	34.81	01.75	04.30	50	0.94
1400-1350	15.62	50.43	01.93	06.23	50	0.98
1350-1300	20.07	70.50	02.48	08.71	50	1.11
1300-1250	92.87	163.37	11.46	20.17	50	2.41
1250-1200	129.12	292.49	15.94	36.12	50	2.82
1200-1150	185.33	477.82	22.88	59.00	50	3.38
1150-1100	242.94	720.76	30.00	89.00	50	3.87
1100-1050	84.07	804.83	10.37	99.37	50	2.28
1050-1000	03.80	808.63	00.47	99.84	50	0.48
1000-985.7	01.37	810.00	00.17	100.00	14.3	0.16

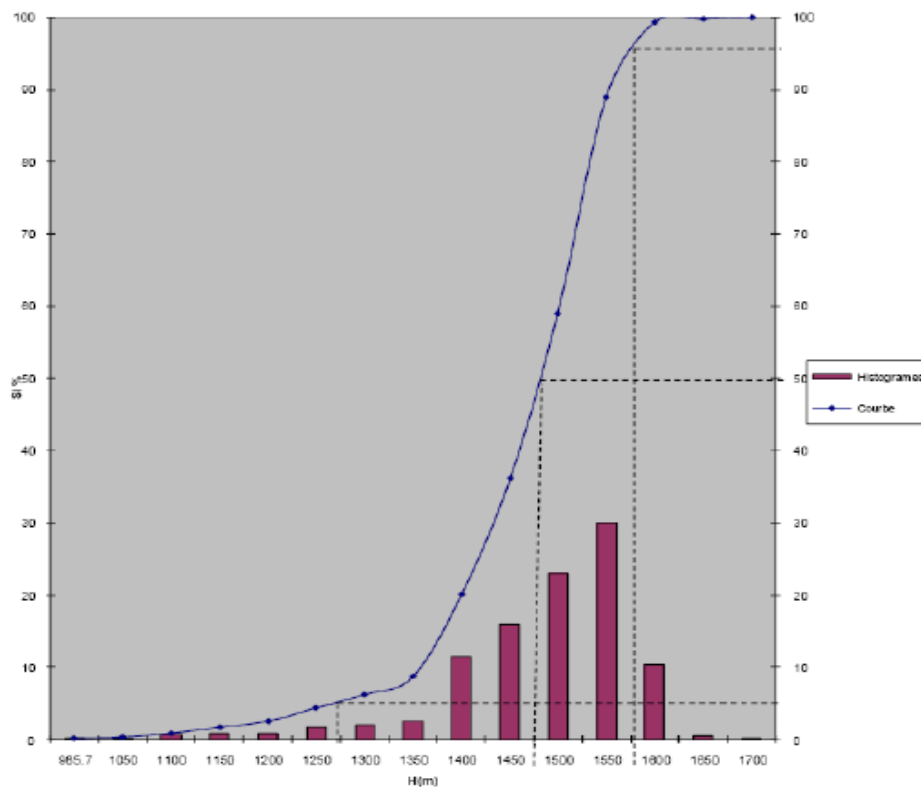


Figure 8: Courbe hypsométrique et des fréquences altimétriques

4-Conclusion

Les mesures hydrologiques montrent que l'Oued Cheria contrôlé à Ain Babouche n'est jamais sec et qu'un débit de base issu de la vidange des aquifères du plateau entretient un écoulement superficiel à l'exutoire du bassin.

Les lignes des crêtes bordant ce bassin sont bien distinguées comme en forme triangulaire, dont la base au nord et haut au est et ouest par deux arrêts de triangle. La région est une zone inondables c'est-à-dire, elle est sensible aux crues, pour Oued Chéria est utilisé comme un canal évacuateur.

Qui travaille du nord au sud en collectant, au nord, les affluents de directions NE-SW, N-S et

NW-SE et au sud les affluents de directions E-W et W-E.

II-Climatologie**1- Introduction**

Le climat est un phénomène qui influe d'une manière directe ou indirecte par ces différents facteurs sur le relief, en modifiant les propriétés physico-chimiques des roches et des sols par l'abaissement de leur résistance. Ce qui prouve que la climatologie possède une liaison avec étroite la géotechnique. Généralement, les précipitations et les températures sont les facteurs les plus intéressants qui influent sur les changements des propriétés des roches et des sols. Dans un contexte méthodologique classique, notre étude hydro climatologique se base sur des observations ponctuelles et des mesures in situ des différents paramètres climatiques relevés sur une longue période d'observation au niveau de la station climatique. Nous exploiterons donc les données climatiques issues des stations pluviométriques de Chéria (code 06.23.01, aux coordonnées (959.20 km , 231.10 km , 1087 m) ou des données sont enregistrées de façon discontinue sur une période de 42 ans (1972-2014).

Tableau. n°2 : représentation des stations pluviométriques et leurs caractéristiques

Station pluviométrique	X	Y	Z
Chéria	959.20	231.10	1087
Bir Mokadem	946.30	242.60	1156
Bir Touil	968.55	234.05	1163
Ain Troubia	963.25	250.91	1252
Ain Babouche	954.10	241.80	1175
Fedj Krime	964.05	224.30	1155
Ouled M'hamed	980.85	235/00	1335
Ouled Dhiab	957.20	221.00	1076
Bir bouchguifa	952.60	246.00	1160

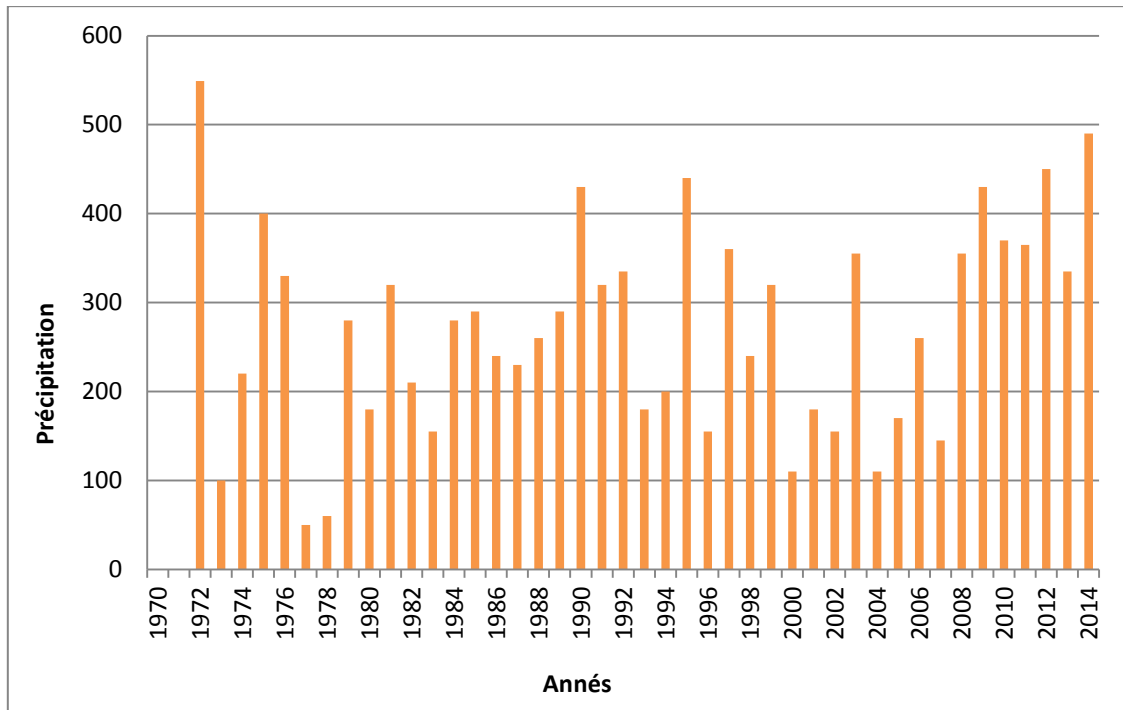


Figure 9 : variation interannuelles des précipitations de la station de Chéria. (1972 – 2014)

Pour la station de Cheria, l'année 1972 est une année exceptionnelle (fortes précipitations), où on a atteint jusqu'à 537mm, par contre pour l'année 2004 on n'a enregistré que 106 mm pour l'année 2004. Les données traitées par Chamekh. K, où il a comblé les lacunes et a corrigé, par plusieurs méthodes, en se référant aux stations de Ain Troubia, Tébessa, Bir Touila, Bir Mokadem et Ain babouche.

2- Étude des paramètres climatiques de la station de Chéria

Elle est basée essentiellement sur les précipitations et la température.

2-1-Les précipitations

Les précipitations, jouent un rôle primordial dans l'alimentation du réseau hydrographique d'une région ainsi que son système aquifère, en plus elles forment un paramètre indispensable Dans la réalisation des bilans hydriques.

2-1-1-la précipitations mensuelles et les régimes saisonniers

Selon les données de la précipitation mensuelle on remarque que la saison la plus pluvieuse est printemps avec une précipitation moyenne 33.053 mm, et le

mois le plus pluvieux est le mois de septembre avec une précipitation moyenne 35.41 mm.

Tableau n° 3 : moyenne mensuelle interannuelle de la précipitation de la station de Chéria. (1972 - 2014).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	O
P(m m)	35.4 1	25.3 3	23.1 4	19.2 2	23.6 1	20.0 6	31.4 5	28.0 4	39.6 7	25. 1	11.1 5	18. 1
Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté		
P(mm)	83.88			62.89			99.16			55.02		

2-1-2- Les températures

Les températures moyennes annuelles et mensuelles régissent directement en interaction avec les autres facteurs météorologiques (insolation, vitesse et turbulence du vent, précipitation) et biogéographique, le phénomène d'évapotranspiration et déficit d'écoulement annuel et saisonnier. Nous avons utilisé les données de la station de Tébessa qui est la plus proche de la région d'étude avec une correction en fonction de l'altitude. Le manque des données de la température au début de 1972 jusqu'au 1982, engendré certaines difficulté pour calculer le bilan hydrique dans même période; pour cela on utilise les données de précipitation et température dans même période d'enregistrement qui s'étale de 1982 jusqu'au 2014.

Les données des températures mensuelles corrigées de la station de Tébessa pour la période (1982 - 2014) sont illustrées dans le tableau suivant:

Tableau n°4 : températures mensuelles corrigées de la station de Chéria (1982 - 2014).

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev
T c°	21.34	16.44	11.19	7.34	6.28	7.32
T c°(corrigée)	20.84	15.94	10.69	6.84	5.78	6.82
Mois	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aout
T c°	10.07	13.35	17.98	22.77	26.46	26.09
T c°(corrigée)	9.57	12.85	17.48	22.27	25.59	25.59

Selon le tableau :

- Le mois le plus froid est le mois de janvier à une valeur de l'ordre de 5.78 c°, et le mois le plus chaud est le mois de juillet avec une température égale 25.96 c°.

2- 2- Le vent

Il atteint à des valeurs maximales à la saison printemps de l'ordre de 14 km/h, cependant il prend des valeurs minimales à la saison automne de l'ordre de 9 km/h, les résultats des vitesses de vent du plateau de Chéria pendant la période de 1982 à 2014 illustrés dans la figure suivante:

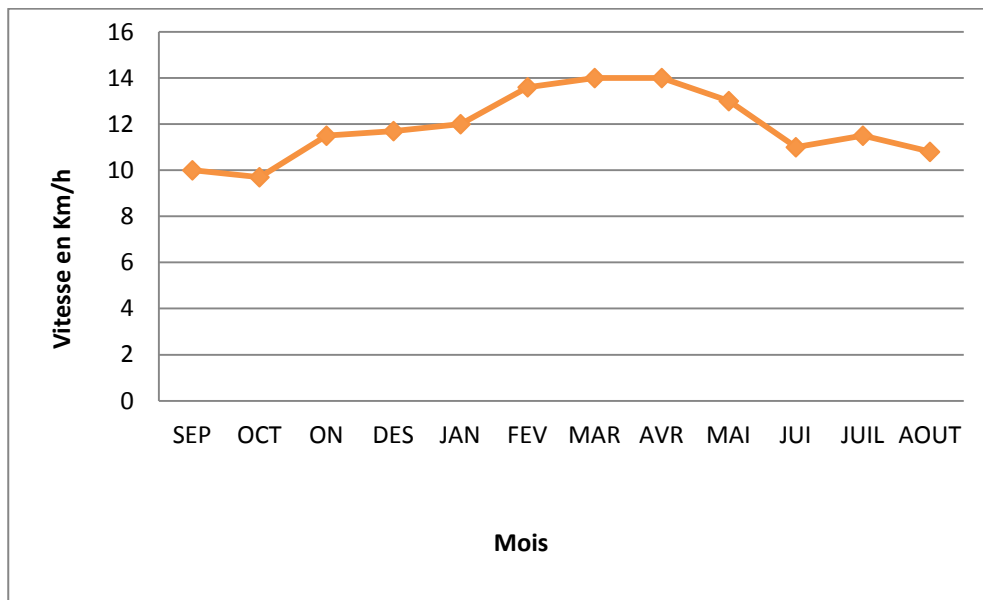


Figure 10: Vents mensuels interannuels de la station de Chéria (1982 - 2014).

2-3- Établissement du bilan hydrique

Étude de l'évapotranspiration

L'évapotranspiration est sans doute l'une des données climatologiques les plus difficiles à approcher. Dans le bilan hydrique, elle est le terme le plus important après les précipitations, elle résulte de deux phénomènes : l'un physique « évaporation » et l'autre biologique : « transpiration », ce phénomène important du cycle hydrologique est fonction de plusieurs facteurs : (humidité, température, l'insolation, couvert végétal...). elle est aussi difficile à évaluer à cause de sa pluri-dépendance de facteurs tant biologiques que physiques.

L'ETP : correspond à l'évapotranspiration d'une surface qui serait suffisamment approvisionnée en eau pour évaporer la quantité d'eau maximale permise par les conditions climatiques (cas des nappes superficielles peu profondes)

L'ETR: évapotranspiration i dépend de l'état du stock en eau du sol.

Evapotranspiration réelle annuelle moyenne (ETR)

On peut la déterminer par les équations empiriques telles que celle de **I. Turc** et de **Coutagne**.

- **formule de I. Turc annuelle :**

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

: Précipitations annuelles moyennes en (mm).

$L = 33 + 25t + 0,05t^3$ où t est la température annuelle moyenne en ° c.

- **formule de Coutagne :**

Donnée comme suit :

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

Cette formule n'est valable que lorsque les précipitations sont comprises entre $1/2$ et $1/8$ de λ .

Avec : $\lambda = \frac{1}{0,8 + 0,4T}$, t : température moyenne annuelle en °c.

- **formule de G.W Thornthwaite**

L'évapotranspiration potentielle non corrigée est donnée par la formule :

$$ETP(\text{mm}) = 16 \cdot \left(\frac{10T}{I}\right)^\alpha F(\lambda)$$

$$\alpha = \frac{16}{100} I + 0,5 \quad i = \sum_{i=1}^{12} i \quad \text{ou : } i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514}$$

t : températures moyennes mensuelles en °c

i : indice thermique annuel

i : indice thermique mensuel

$F(\lambda)$: facteur de correction intégrant la durée d'insolation et le nombre de jours du mois.

L'évapotranspiration potentielle corrigée est obtenue en multipliant la formule de Thornthwaite par le coefficient de correction k qui dépend de la latitude.

Estimation de la recharge par la méthode du bilan de G.W. Thornthwaite

Du fait de l'ignorance des échanges plus complexes entre les eaux souterraines et celles de surface, on substitue le terme $(R+I)$ par celui de « excédent » et on admet que pour des périodes de temps très longues, les variations de stocks δs peuvent être considérées comme nulles et l'équation ci-dessus se simplifie à celle ci-dessous :

$$P \approx ETR + EX$$

la différence entre précipitation et évapotranspiration réelle ($P-ETR$) constitue la l'excédent qui conditionne le ruissellement et l'infiltration. Cette méthode permet d'établir le bilan au pas de temps mensuel ou décadaire selon la nature des données dont on dispose. Dans notre cas nous disposons des valeurs mensuelles des précipitations (P) et de l'évapotranspiration potentielle (ETP). On calcule l'évapotranspiration réelle (ETR) en comparant l'évapotranspiration potentielle et les réserves en eau disponibles (RU) pour l'évaporation et la transpiration. Cette disponibilité en eau est estimée à l'aide de la réserve facilement utilisable (RFU) qui est une réserve conceptuelle car n'ayant pas de réalité physique, même si l'on peut l'assimiler à la quantité d'eau stockée dans les premiers mètres du sol (Marsily, 1994). Le principe de calcul doit permettre à la pluie d'alimenter en priorité l' ETP , puis de compléter la RFU jusqu'à son maximum, et enfin d'alimenter l'infiltration et le ruissellement lorsque l' ETP et la RFU sont satisfaites. On procède de la façon suivante:

a) si les précipitations du mois sont supérieures à l'évapotranspiration potentielle :

-l'évapotranspiration réelle est égale à l'évapotranspiration potentielle (ETR= ETP),

-l'excédent des précipitations sur l'évapotranspiration potentielle est emmagasiné dans l'humidité du sol dont il augmente les réserves jusqu'à ce que ce dernier soit saturé c'est-à-dire atteigne la RFU,

-la partie de l'excédent dépassant éventuellement la réserve cumulée constitue le « water surplus » disponible pour l'alimentation de la pluie efficace (Peff = écoulement de surface + infiltration dans la nappe profonde).

b) si les précipitations du mois sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle, l'évapotranspiration réelle est la somme des précipitations du mois et de tout ou partie de la réserve d'eau du sol ; celle-ci est supposée mobilisée comme suit :

- si la réserve antérieure d'humidité du sol est assez forte pour combler l'insuffisance des précipitations, l'évapotranspiration réelle est encore égale à l'évapotranspiration potentielle ; les réserves du sol sont alors réduites de la différence entre l'évapotranspiration potentielle et les précipitations du mois considéré,

-si la réserve d'humidité du sol est insuffisante pour satisfaire l'évapotranspiration potentielle, l'évapotranspiration réelle reste inférieure à celle-ci et est égale à la somme des précipitations du mois et des réserves disponibles.

- la difficulté dans cette approche réside dans le choix de la RFU. Celle-ci dépend de la nature, de la composition lithologique et de l'épaisseur de la couche superficielle, du climat, de la profondeur du niveau piézométrique et elle est surtout influencée par le type de couverture végétale. Les valeurs avancées dans la littérature varient énormément d'un auteur à l'autre. Selon l'étude agropédologique du cabinet Le petit (1966/67), effectuée sur la plaine de Tébessa, la RFU est estimée à 23<RFU<35mm. Elles sont données également par la formule de W.J.Ricard.1979 :

$$RFU = \frac{1}{3} Da.He.P$$

Avec :

Da : densité apparente du sol

He : capacité de rétention en %

P : profondeur de la terre parcourue par les racines en (m)

Le principe du calcul consiste à faire le bilan des précipitations, de l'ETP et du stock d'eau contenu dans le sol. Ceci permet d'obtenir directement l'infiltration selon les équations suivantes :

$$P = ETR + R + I$$

$$P - R = ETR + I$$

P: precipitation (mm).

R: ruissellement (mm)

I : infiltration (mm)

ETR : évapotranspiration réelle (mm).

- On tire donc l'infiltration :

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

Bilan hydrique de la station de Chéria:

Tableau n°5 : bilan hydrique de la station de Chéria (1982 - 2014).

Mois	Paramètres climatique calculés												
	T	I	I	A	Ep	K	P	Etp	P-etp	Rfu	Etr	Ex	Da
Sep	21.34	9	72.77	1.66	96.55	1.03	36.2	99.45	-63.25	0	36.2	0	63.25
Oct	16.44	6.06	72.27	1.66	62.62	0.97	26.68	62.62	-35.94	0	26.68	0	35.94
Nov	11.19	3.39	72.27	1.66	3.39	0.86	23.67	33.06	-9.39	0	23.67	0	9.39
Dés	7.34	1.79	72.27	1.66	1.79	0.85	19.87	16.42	3.45	3.45	16.42	0	0
Jan	6.28	1.41	72.27	1.66	1.41	0.87	23.11	12.67	10.44	13.89	12.67	0	0
Fev	7.32	1.78	72.27	1.66	1.78	0.85	17.11	16.34	0.77	14.66	16.34	0	0
Mar	10.07	2.89	72.27	1.66	2.89	1.03	29.4	27.75	1.65	16.31	27.75	0	0
Avr	13.35	4.42	72.27	1.66	4.42	1.09	27.08	44.32	-17.24	0	43.39	0	0.93
Mai	17.98	6.94	72.27	1.66	6.94	1.21	41.02	72.65	-31.63	0	41.02	0	31.63
Jui	22.77	9.93	72.27	1.66	9.93	1.21	22.84	107.97	-81.69	0	22.84	0	84.69
Juil	26.46	12.46	72.27	1.66	12.46	1.23	11.73	137.78	-126.24	0	11.73	0	126.24
Aou	26.09	12.2	72.27	1.66	12.2	1.16	20.2	134.78	-114.58	0	20.2	0	114.58
Total	-	-	-	-	-	-	298.91	765.56	-	-	298.91	0	466.65

Vérification :

$$P = \sum ETR + \sum EX = 298.91 + 0 = 298.91 \text{ mm}$$

$$ETP = \sum ETR + \sum DA = 298.91 + 466.65 = 765.56 \text{ mm}$$

2-4- Interprétation des bilans hydriques

Généralement les mois déficitaires dépassent largement celles excédentaires et les moyennes des précipitations mensuelles sont calculées sur tous les jours du mois (jour pluvieux ou pas). L'analyse des bilans hydriques de la station de Chéria montre que:

- pour les années de 1982 à 2014, la hauteur des précipitations est de 298.91 mm; atteint leur maximum en mois de mai (41.02 mm) où l'ETP atteint en juillet (137.97 mm) le minimum 16.34 mm en mois de février. Par ailleurs ETR est de l'ordre 298.91 mm ainsi que l'excédent est nul qui représente respectivement 100 % et 0 % des précipitations. Pour l'excédent il n'apparaît plus pendant tous les mois. Ce qui explique l'influence de l'évapotranspiration sur la région d'étude, notamment le déficit agricole.

- pour l'année plus sèche de la station de Chéria (2004), la hauteur des précipitations est de 113.90 mm; atteint leur maximum en mois de novembre (29.50 mm) où l'ETP atteint en Juillet (163.31 mm), avec le minimum 14.36 mm en mois de janvier. Par ailleurs ETR est de l'ordre 113.9 mm ainsi que l'excédent est nul; pour tous les mois, qui représente respectivement 100% et 0% des précipitations. Ce qui explique l'influence de l'évapotranspiration et la sécheresse qui affect la région d'étude.
- pour l'année plus humide de la station de Chéria (2014), la hauteur des précipitations est de 490.70 mm; atteint leur maximum en mois de avril (100 mm) où l'etp atteint en août (151.36 mm) avec le minimum 15.13 mm en mois de décembre. Par ailleurs etr est de l'ordre 361.90 mm ainsi que l'excédent est de l'ordre de **90.8** mm qui représente respectivement 73.75 % et **18.50** % des précipitations, notamment le déficit agricole moyen de l'ordre de 471.75 mm.
- pour les cinq dernières d'années de la station de Chéria. (2010 - 2014), la hauteur des précipitations est de 405.68 mm; atteint leur maximum en mois de mai (67.84 mm) où l'ETP atteint en juillet (164.82 mm) avec le minimum 13.09 mm en mois de décembre. Par ailleurs ETR est de l'ordre 374.9 mm ainsi que l'excédent est de l'ordre 30.78 mm qui représente respectivement 92.41 % et 7.58 % des précipitations, cependant que le déficit agricole moyen Est de l'ordre 460.45 mm.

3-Conclusion

La région de Chéria est soumise à un climat semi-aride, avec des précipitations d'une moyenne qui ne dépasse pas 300mm/an, pour les différentes stations étudiées. Les cinq dernières d'années de la station de Chéria et Ain Babouche (2010 – 2014) sont les plus pluvieuses avec 400 mm/an. Tandis que l'année 2000 et moins pluvieuse avec 100 mm/an.

Le mois de juillet est les sec pour toutes les stations, en l'occurrence le mois de mai est les plus arrosé pour les stations ain babouche et Ain Troubia (21.27mm) et le mois de septembre

pour Chéria et Bir mokadem (35.27mm). Pour la même période d'étude le mois le plus chaud et le mois de juillet (23.84) et le mois le plus froid est le mois ce janvier (4.7C°).La période humide, pour la plus part des stations Chéria, Ain babouche, et Ain Troubia, s'étale pour une duré du mois de septembre au mois de mai. Les calculs du bilan hydrique en utilisant la méthode de Thornthwaite sont déficitaires.

A decorative frame with a double-line border. The top-right and bottom-left corners feature intricate floral flourishes with swirling lines and small leaves. The text "Chapitre IV" is centered within the frame.

Chapitre IV

1 -Présentation et nature des nappes aquifères du plateau de Cheria :

Les études antérieures sur la stratigraphie du plateau ont défini les horizons aquifères et leurs natures lithologiques. Quatre aquifères ont été mis en évidence :

- 1- Les cailloutis et graviers Quaternaires
- 2- Les niveaux sableux du Mio-Pliocène
- 3- Les calcaires Eocènes
- 4- Les calcaires Maestrichien.

Les deux premiers contiennent une nappe d'interstices alors que les eaux des réservoirs 3 et 4 sont localisées dans les fissures et le réseau de cavités affectant les formations calcaires.

Ci – après les principales caractéristiques obtenues par 7 forages atteignant l'aquifère le plus profond (calcaires Maestrichien).

Le Tableau. n°6, montre qu'un seul forage a mis en évidence une zone de karst, donnant un fort débit de 116 l/s pour un faible rabattement de 2.6 m ; et qu'un autre forage a également atteint le mur des calcaires.

Quatre forages sur les sept ont rencontré une fissuration au forage 525 elle se développe sur 110 m.

La répartition aléatoire de la fissuration et des zones karstifiées dans la masse des calcaires Maestrichiens ne peut conduire à une évaluation du volume utile du réservoir.

La surface réceptrice d'eau à l'affleurement sur l'ensemble du plateau est estimée à 288 km², qui représente environ 1/3 du bassin. Le reste est recouvert par des formations plus récentes.

Les calcaires de l'Eocène sont reconnus comme étant le principal aquifère du plateau de Cheria, d'où sont extraits d'importants débits pour les besoins locaux et les transferts.

CHAPITRE IV : IDENTIFICATION DE LA TYPOLOGIE DES NAPPES AQUIFERE

Tableau N° 6: Les forages dans la Nappe du Maestrichien.

N° Forage	Prof NS	Q (l/s)	Durée pompage	D (m)	Stabilisation	Q/s L/s/m	Remontée	
							Durée(h)	D résiduel
502	42	0.3	!	!	Non	-	-	
521	17.8	116	22	2.6	Non	44.6	3h30	0.22
525	8.5	2.02	54	41.5	Non	0.05	!	!
		1.05	23	14.3	non	0.07	1h35	0

1-Géométrie et importance du réservoir :

Les reconnaissances ont montré que les zones les plus productrices sont localisées à la périphérie immédiate de la ville de Cheria et s'étendent vers le Sud jusqu'à la plaine d'Outa Oum Khaled alors qu'elles disparaissent très rapidement vers le Nord.(tableau N°7)

Tableau N°7 Les principales caractéristiques de l'aquifère calcaire Eocène.

N°	Profondeur total (m)	Epaisseur et nature du recouvrement	Epaisseur de calcaire traversée	Profondeur des zones fissures et karstifiées	NS (m)	Débit (l/s)	RAS (m)
502	255	0	210	13	42	0.27	-
503	24.5	13.5	11	3 - 23	-	-	-
521	135	quaternaire 37	116	37-76-87-153	17.5	116	-
525	300	quaternaire 21	279	190-300	8.5	2.02	2.6 41.5
526	300	quaternaire 7.5	292.5		140		
533	800	261 marnes dano	-				
535	490	montien 470 marnes dano montien	20				

1-2-Aquifère sableux du Mio-Pliocène :

Son extension est mal définie vu le recouvrement quaternaire .Ce forage est productif dans sa partie basale constituée de graviers et sables dans les trente derniers mètres .Le Débit d'exploitation est de 13.2 l/s pour 15 m de rabattement.

1-3-Aquifère des alluvions Quaternaires :

Les dépôts quaternaires sont de lithologie très variées. Sur le plan hydrogéologique ils contiennent la nappe phréatique captée par des centaines de puits paysans. Ces formations constituent une zone de transit aux eaux souterraines des aquifères profonds.

L'épaisseur de ce réservoir varie de quelques mètres à une centaine de mètres. Qualitativement, une zonation du remplissage Mio-Plio - Quaternaire est établie selon les épaisseurs maximales des niveaux grossiers, plus transmissifs.

Zone A $e = 30 - 50$ m – (partie NW du système)

Zone B $e = 90 - 150$ m (NW de Bir Touil)

Zone C $e =$ indéterminée (partie Sud de Cheria)

1-1-1- Observation générale

Les sorties d'eau du système sont constituées, en plus de l'exploitation des différents aquifères, par les sources d'exurgence ou de résurgence relevées à la périphérie du bassin. A titre indicatif, une quinzaine de sources sont localisées et dont les débits connus varient de 0.1 à 82 l/s (1970).

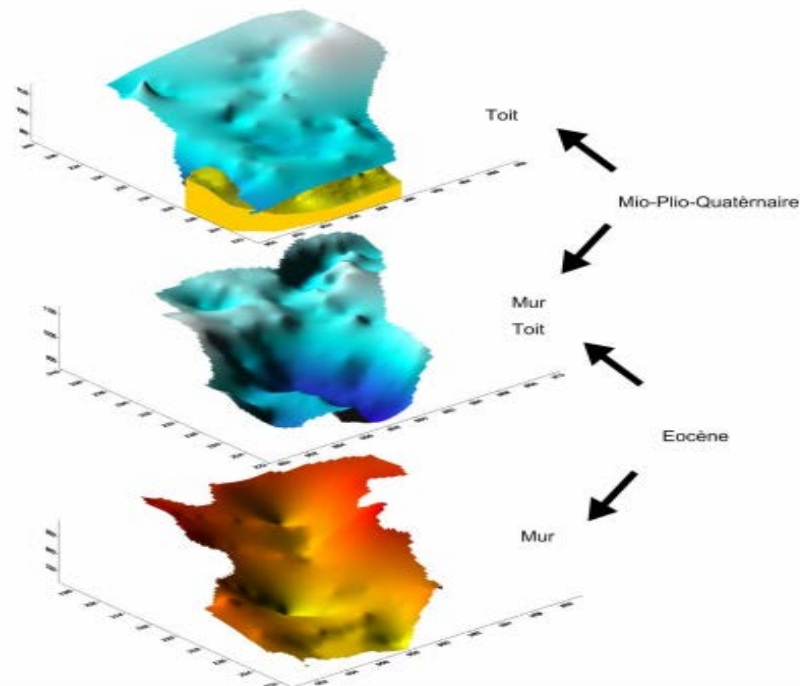


Figure 11 :Le système aquifère du plateau de Chéria en 3D

2-Type et distribution spatiale des conditions aux limites des aquifères

2 -1- La nappe des calcaires Maestrichtien

L'écoulement général de cette nappe s'effectue vers le Sud traversant les terrains quaternaires. Il existe une ligne de partage des eaux dans la partie Nord Est du plateau où la vidange naturelle a lieu vers le Nord à la faveur des sources de bordure externe au bassin versant.

Cette limite à flux nul se situe à l'intérieur du bassin hydrologique

Vers le Sud la nappe admet une limite perméable, elle alimente l'aquifère quaternaire, quoique près de Cheria.

2-2- La nappe du calcaire éocène

Elle admet des limites perméables avec les formations sus – jacentes plus (Mio-Plio –Quaternaire) avec lesquelles est entretenue une relation hydraulique par alimentation directe ou par drainance à travers le Mio-pliocène argileux .

Vers le Sud du bassin la limite serait également perméable , et se matérialise par un débit de fuite , souterraine qui alimente la plaine d'El Mazraa située plus au sud de Ain Babouche .

2-3 Les nappes du Mio-Plio-quaternaire

Le quaternaire occupe la plus grande partie du plateau , et recouvre partiellement l'aquifère du Mio-Pliocène dont les limites d'extension sont incertaines .La liaison hydraulique est établie entre les aquifères calcaires (limites perméables) et qu'il y a une alimentation réciproque dans l'espace du système .La nappe du Miocène sableux est cependant individualisée elle subit l'alimentation en charge de l'Eocène sous jacente et par drainage depuis le Quaternaire.

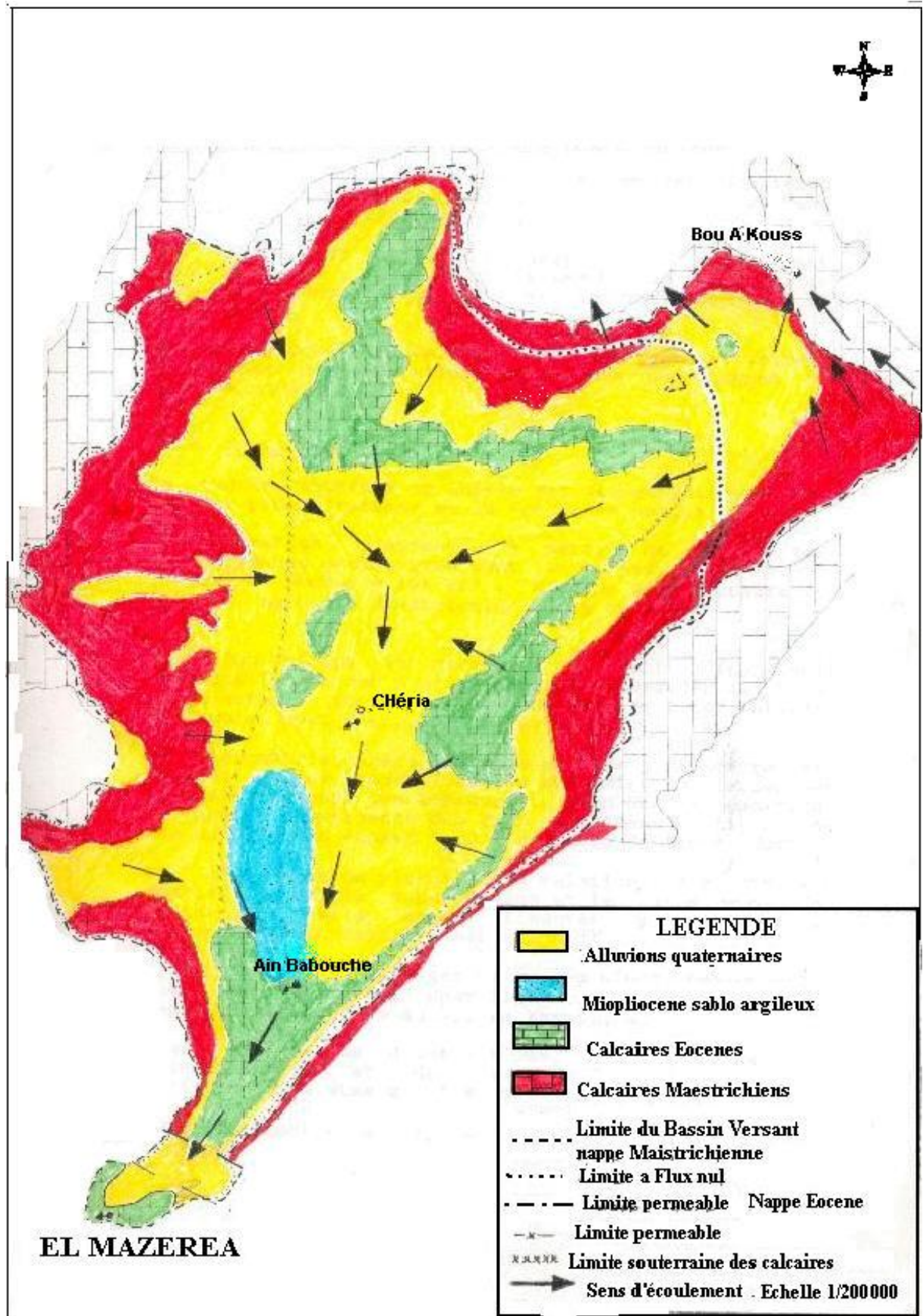


Figure12 : Carte des écoulements et conditions aux limites

3-Piézométrie :

Les cartes piézométriques nous permettent de définir les sens d'écoulement , les zones d'alimentation et d'exutoire et les relations qui peuvent exister entre les différents aquifères en relation avec le problème étudié. Pour les besoins de cette étude , deux carte piézométriques (périodes de haute et basse eau), effectuées aux mois de septembre2012 et avril2013 (figure14et15)

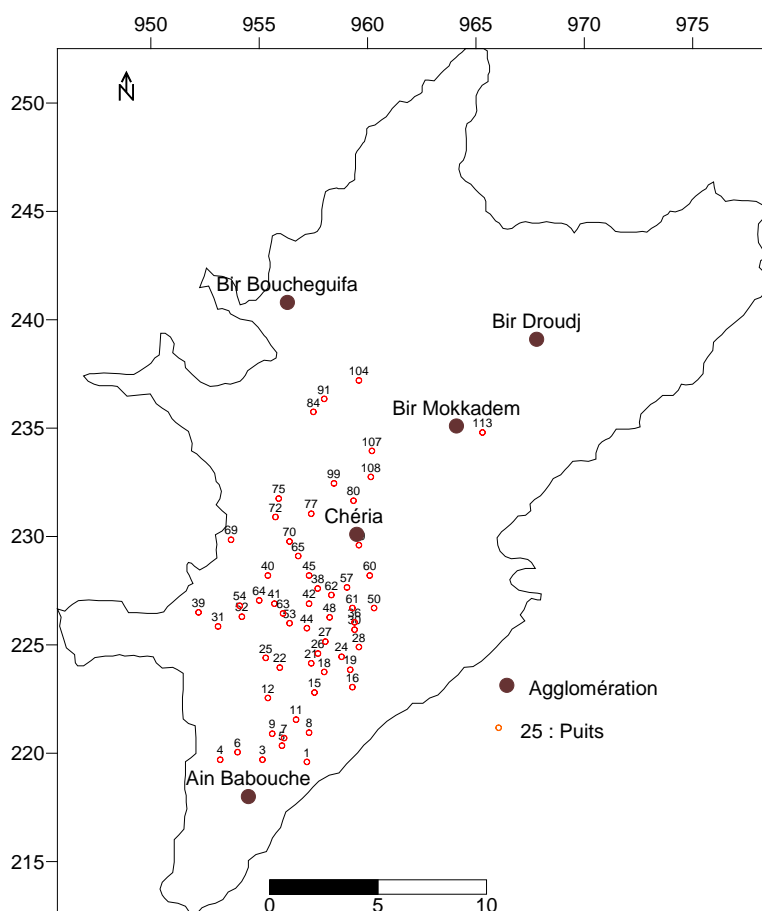


Figure13 : Carte d'inventaire des puits,plaine de Chéria avril 2017

4-Cartes piézométriques

La région est caractérisée par deux types de captages. Des puits domestiques peu profonds (10 – 30 m) et d'un diamètre important (1 – 2 m). Des forages profonds (50 – 120 m et plus). Avec une densité très importante et très remarquable. (la distance séparant deux puits est par endroit inférieur à 6 m).les mesures sont généralement effectuées durant deux périodes .

(hautes et basses eaux),pour différencier les périodes d'alimentation et de sécheresse.

5-Interprétation des cartes piézométriques

L'examen de la carte piézométrique de la période des hautes et basses eaux (figure :14 et15) montre que dans le sous bassin Nord l'écoulement des eaux souterraines se fait suivant une direction Nord .Sud vers Chéria, avec une convergence locale due à la surexploitation de la nappe avec des gradients hydrauliques variables.

Dans sous bassin sud (de Chéria vers Ain Babouche),l'écoulement générale et toujours orienté du Nord vers le Sud , avec un drainage de la nappe par l'Oued de Chéria .

L'examen des cartes piézométriques ,fait ressortir que les zones caractérisées par une surexploitation des eaux souterraines pour les différents besoins des populations sont marquées par des dépressions .

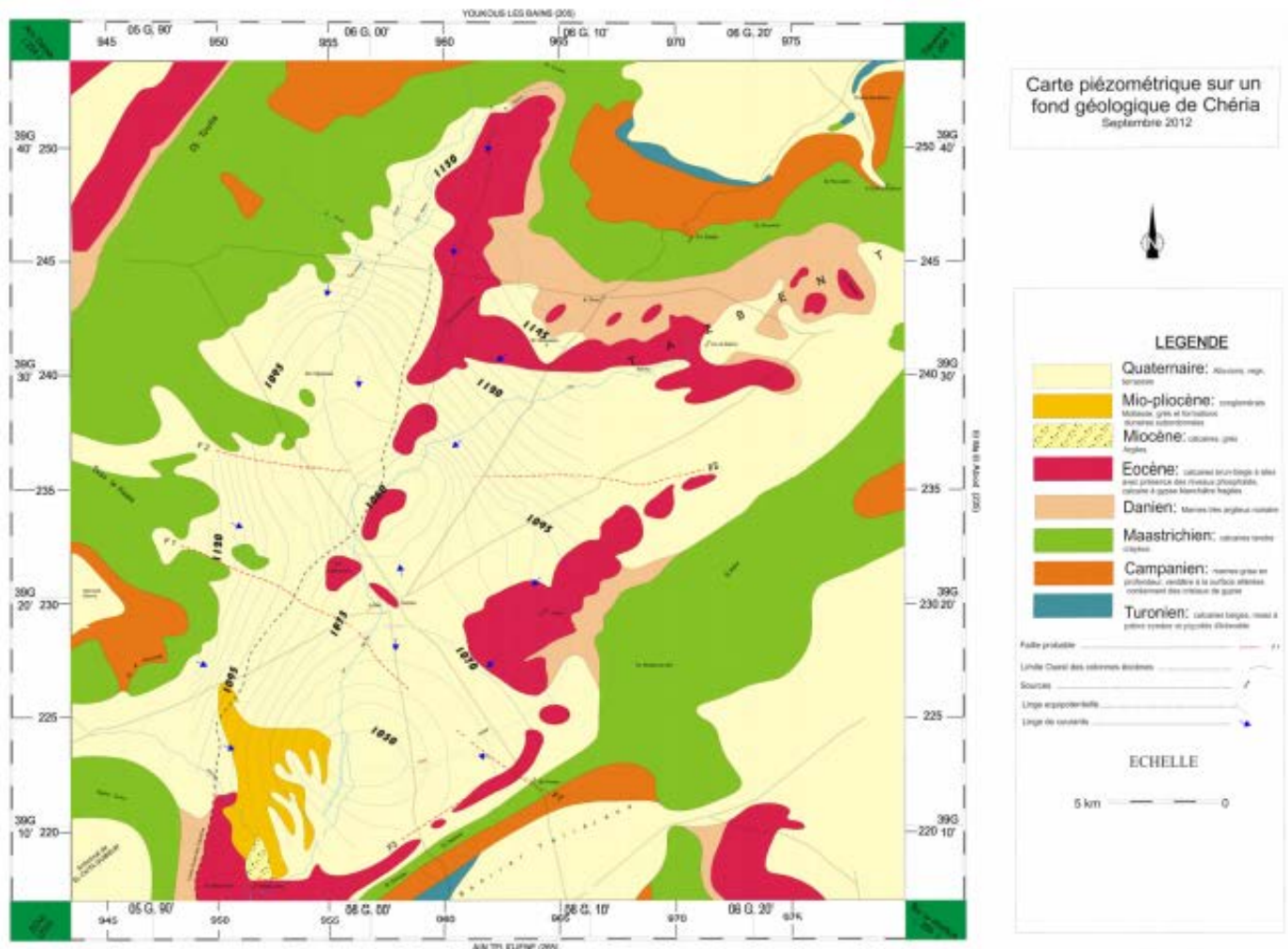


Figure :14Carte piézométrique de la période des basses eaux(septembre2012/Avril2013).

CHAPITRE IV : IDENTIFICATION DE LA TYPOLOGIE DES NAPPES AQUIFERE

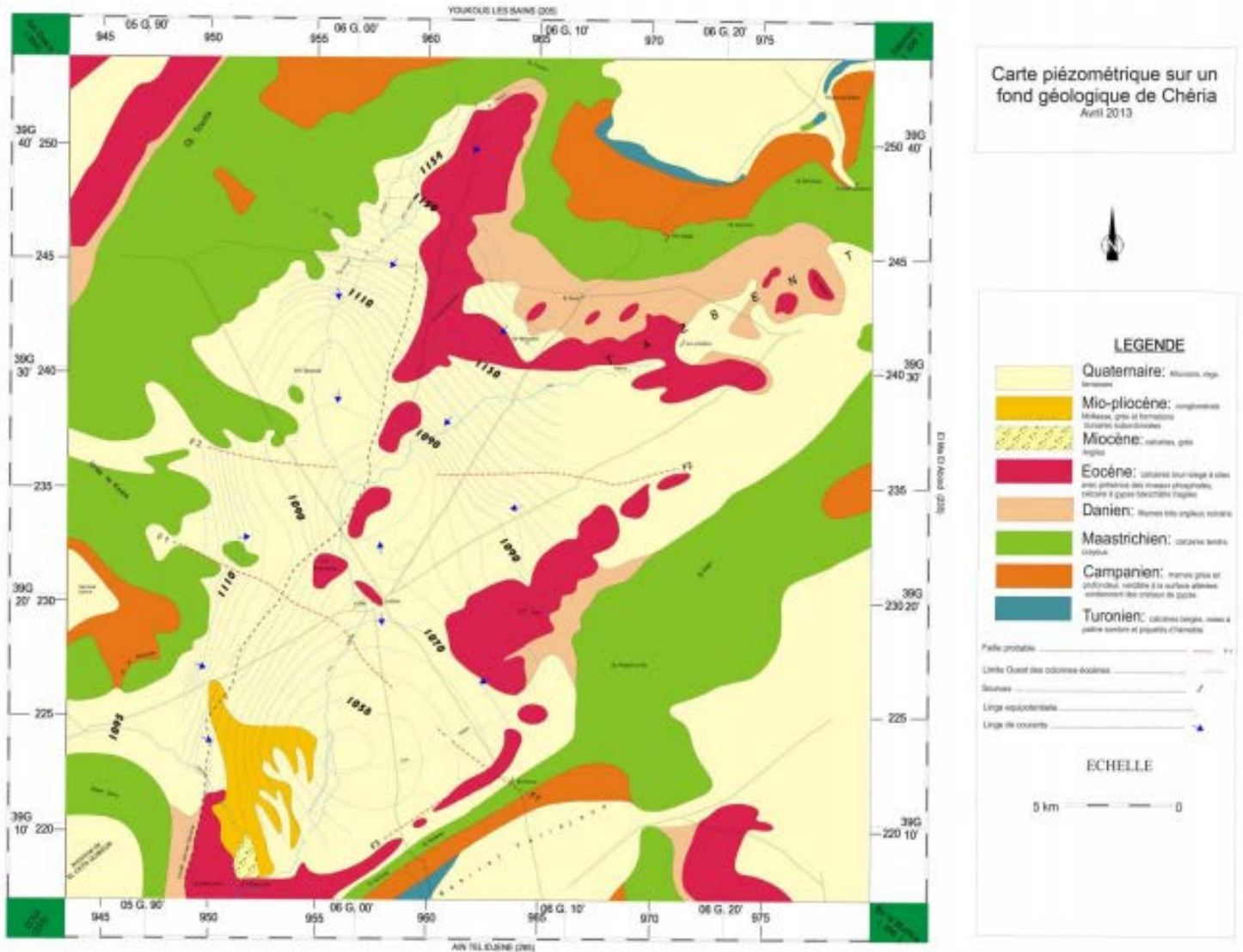


Figure15: Carte piézométrique de la période des hautes eaux septembre2012/Avril2013).

6-Conclusion:

Le plateau de Chéria est constitué essentiellement par trois aquifère : aquifère des calcaires maestrichtiens, des calcaires éocènes, du remplissage de Mio-Plio - Quaternaire.

- le premier caractérisé par les calcaires du Maastrichtien , perméables aux bordures et stériles aux centre.

- le second qui est le plus important pour la région et sa périphérie, les calcaires de l'Éocène , d'une épaisseur qui s'étale de quelques dizaines à une centaine de mètre.

- Le troisième, l'aquifère Moi-phio-quaternaire qui est devenu sans intérêt hydrogéologique , à cause de la sécheresse aigue qui a touché la région ces dernières décennies.

Les cartes piézométriques de la région établies pour les deux campagnes de périodes de suivi , ont révélé un sens d'écoulement général Nord-Sud , avec un axe de drainage qui coïncide sensiblement avec le parcours de l'oued Chéria.

L'évolution de la piézométrie dépend des conditions climatiques qui influent sur le battement de la nappe par la recharge durant la période de hautes eaux et l'évaporation pendant le période des basses eaux.

A decorative frame composed of dark brown lines. The top-left corner is a simple L-shaped corner. The top-right corner features a large, intricate scrollwork design with several leaves. The bottom-left corner also features a large, intricate scrollwork design with several leaves. The bottom-right corner is a simple L-shaped corner. The text "Chapitre V" is centered within the frame.

Chapitre V

1- Introduction

L'étude de la chimie des eaux souterraines, apporte un concours précieux à l'hydrogéologie. C'est une méthode simple de prospection qui complète utilement les cartes piézométriques. Elle permet de comparer les eaux entre elles et de résoudre, pour une couche aquifère donnée ou une structure hydrogéologique, des problèmes d'alimentation, de drainage et d'écoulement (Castany, 1968). Une eau souterraine renferme une teneur en substance minérale dissoute d'origine naturelle géologique : le bruit de fond (Castany, 1982). Cette composition est le résultat d'un ensemble de mécanismes d'interaction entre l'eau et le réservoir (dissolution, précipitation, échange ionique). Afin d'obtenir des informations de reconstruire le cheminement géochimique qui a donné la qualité actuelle des eaux. Les phénomènes hydrogéologiques et hydrochimiques sont étroitement liés et le choix de la méthode pour caractériser et classer les eaux souterraines est fonction de la qualité et la quantité des données disponibles, de leur répartition dans l'espace et dans le temps et évidemment du type de problème à étudier. Cette partie fera l'objet de la caractérisation hydrochimique des eaux souterraines karstiques, et la détermination de l'origine d'éventuelle pollution.

2- Les paramètres physico-chimiques

Il s'agit des paramètres utiles pour la détermination de l'état chimique de l'eau.

2-1- Conductivité électrique

La relation entre la conductivité électrique et la composition chimique est basée sur le fait que la conductivité électrique d'une solution saline complexe est la somme des conductivités attribuées à chacun des ions qu'elle renferme (H. Schoeller, 1962).

2-2- Le potentiel hydrique (pH)

On l'utilise pour déterminer l'alcalinité et l'acidité des eaux. Le pH est cologarithme de (H⁺) et correspondant à la concentration $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$. Cependant, certains auteurs ont de bonnes raisons de penser que, H⁺ étant une particule subatomique, un proton ne peut exister à l'état libre. Il faudrait remplacer la notion d'ion H⁺ par celle d'ion H₃O⁺, l'hydroxynium ou hydronium (H. Schoeller 1962). Presque toutes les eaux de la région d'étude

étaient admissibles pour l'alimentation humaine, car elles oscillent dans les compagnes de mesure entre 6,5 et 8,5.

3- Les paramètres chimique

3-1-Étude des principaux cations et anions

3-1-1- Les cations

Les résultats des analyses sont consignés dans le tableau où les concentrations sont exprimées en milligramme (mg /l) et qui présente des valeurs très diversifiées des éléments majeurs.

Tableau N°8: Intervalles de concentrations des cations en mg/l.

Campagne avril 2017, plaine de Chéria,					
Eléments	Norme OMS	Max	Min	Moy	Ecart-type
Na ⁺ (mg/l)	150	137.2	78.3	135.50	19.71
Mg ²⁺ (mg/l)	50	153.7	112.2	131.41	10.20
K ⁺ (mg/l)	12	12.2	7.2	10.16	0.94
Ca ²⁺ (mg/l)	100	272.5	205.5	227.71	12.85

Les concentrations des cations sont illustrées par (Tableau. N°8) qui montre que le cation le plus abondant par rapport aux autres est le calcium (Ca²⁺) qui présente des concentrations qui varient entre 205.5 mg/l et 272.5 mg/l avec une moyenne de 227.71 mg/l.

Le magnésium (Mg²⁺) présent par des concentrations moyennes par rapport à la concentration totale des cations, suivi par le sodium (Na⁺), ce dernier se trouve dans les eaux de la nappe en moyenne teneur. Alors que le potassium (K⁺) est très faible avec des teneurs qui ne dépassent pas 7.2 mg/l.

3-1-2 - Les anions

Tableau. n°9: Intervalles de concentrations des anions en mg/l

Campagne avril 2017, plaine de Chéria,					
Eléments	Norme OMS	Max	Min	Moy	Ecart-type
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	250	165.5	68.7	114.73	27.44
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	250	303.2	206.2	258.90	28.77
Cl ⁻ (mg/l)	250	397.2	328.7	372.58	17.42
NO ₃ ⁻ (mg/l)	50	47	11	31.51	10.27

Les résultats des analyses montrent une concentration élevée des chlorures (Cl⁻) qui varie de 328.7 mg/l à 397.2 mg/l avec une moyenne de 372.58/l (Tableau N°9). donc il ya un augmentation par rapport aux autres anions, les bicarbonates (HCO₃⁻) et les sulfates (SO₄⁻⁻) et le nitrate (NO₃⁻) ont des teneurs assez proches et légèrement élevées .

3-2- Cartes des cations des eaux souterraines de la plaine de Cheria

Les eaux souterraines contiennent toujours des sels dissous qui leur confèrent les caractéristiques du milieu dont elles sont issues. Ces sels peuvent également provenir de phénomènes exogènes qui ont contribué à des modifications de la chimie du milieu, parmi lesquels nous notons l'évaporation et le lessivage (Gouaidia, 2008).

3-2-1 -Le Calcium (Ca⁺⁺)

le calcium est un métal blanc jaunâtre, isolé par Davy (1808), qu'on obtient en décomposant certains de ses sels au moyen de la pile ou encore en chauffant de la chaux dans un courant de vapeurs de potassium ou de sodium : le calcium décompose l'eau à la température ordinaire (Claude, 1905).

La forte concentration se trouve dans le sud-est de la plaine Cheria avec une valeur

maximale de 275 mg/l , par contre, nous enregistre la concentration la plus faible 205 mg/l dans le nord de la plaine de Cheria , probablement cette augmentation vient due soit la dissolution des formations carbonatées (CaCO₃), soit à la dissolution des formations gypseuses (CaSO₄, 2H₂O). (figure 16).

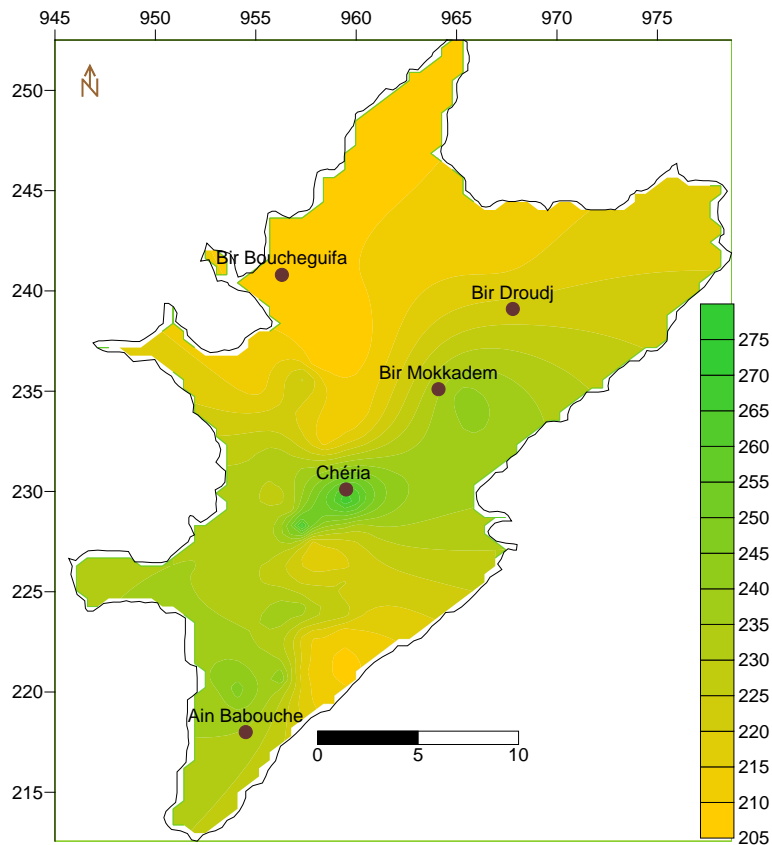


Figure 16: Carte de calcium (mg/l). avril 2017

3-2-2-Le Sodium (Na^+)

Le sodium est un élément constant dans l'eau, toutefois les concentrations peuvent être extrêmement variables. Indépendamment de la lixiviation des formations géologiques contenant du chlorure de sodium, le sel peut provenir de la décomposition des sels minéraux comme les silicates de sodium et d'aluminium, des retombées d'origine marine, de la venue d'eaux salées dans les nappes aquifères.

Les concentrations en sodium (figure 17) des eaux souterraines de la plaine de Chéria montrent que la concentration la plus faible 75 mg/l est enregistrée au puits Nord, et la valeur maximale 180 mg/l enregistrée dans le Sud.

L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution des formations salifères. La dissolution des minéraux salifères se fait selon la relation suivante : $\text{NaCl} \leftrightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$

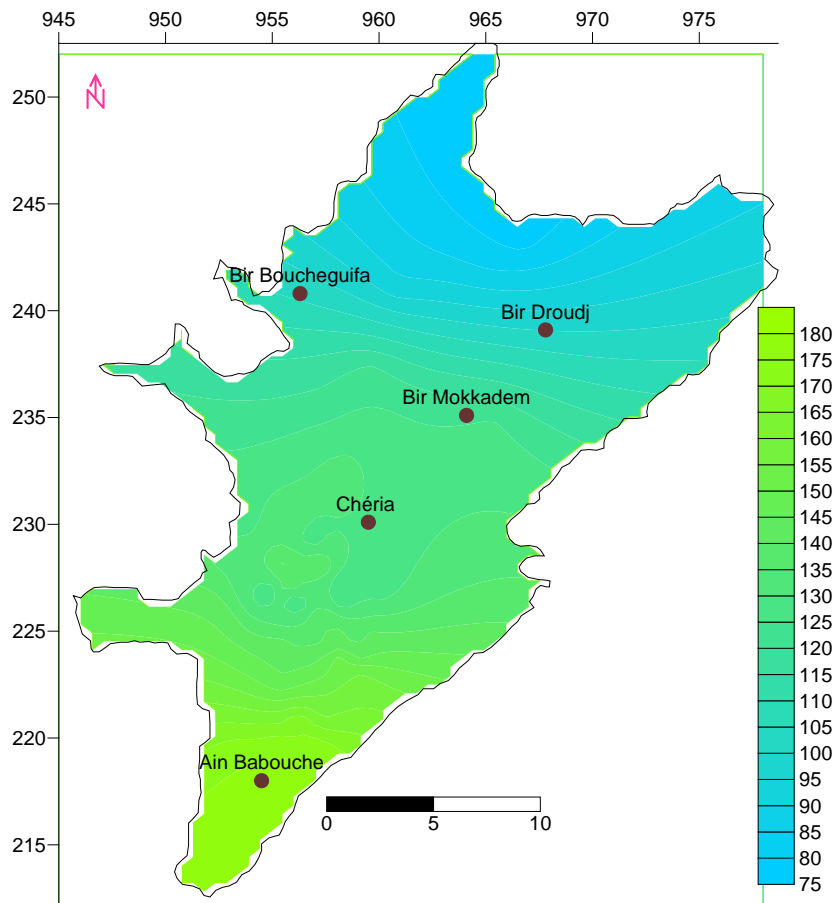


Figure17 : Carte de sodium (mg/l). avril 2017

3-3 -Cartes des anions dans les eaux souterraines de la plaine de cheria

3-3-1-Les chlorures (Cl⁻)

Les eaux riches en chlorures sont laxatives et corrosives. La concentration des chlorures dans l'eau souterraine dépend des terrains traversés.

Les concentrations en chlorures (figure 18) augmentent en allant vers le sud-ouest avec une teneur maximal enregistré avec une valeur 395 mg/l et la teneur minimale 325 mg/l est enregistrée dans le nord-est .

Dans la zone d'étude les chlorures peuvent avoir comme origine la dissolution des sels par lessivage des terrains salifères. La dissolution de ces sels étant très facile d'où leur présence en fortes concentrations dans les eaux ayant traversé les formations argilo-sableuses ou argileuses.

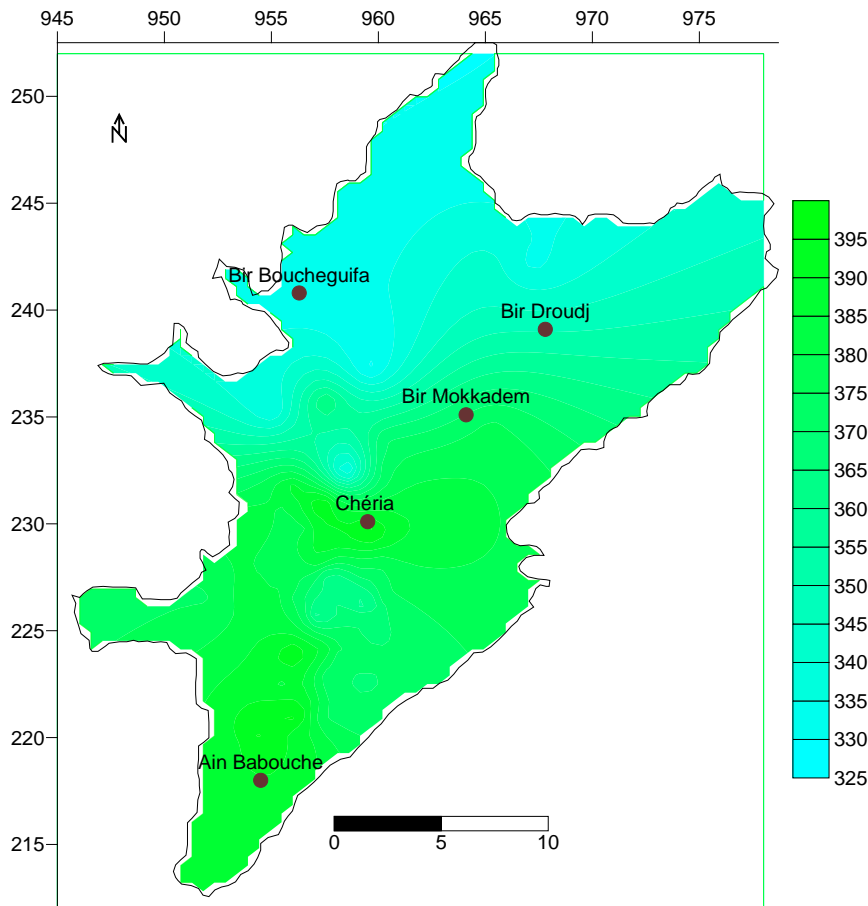


Figure18 : Carte des chlorures (mg/l). avril 2017

3-3-2- Les sulfates (SO_4^{-2})

Les eaux naturelles contiennent, pratiquement, des ions sulfatés, dont les proportions très variables. Leurs présences résultent de la légère solubilité des sulfates de calcium dans les roches gypseuses et de l'oxydation des sulfures se trouvant dans les roches. Cependant, ils peuvent aussi provenir de l'oxydation dans l'atmosphère, de l'anhydrite sulfureuse par combustion des hydrocarbures (Bakalowicz, 1979). La variation de la concentration des sulfates varie d'une zone à une autre, généralement liée aux évaporites du Trias et aux crétacés et aux lits gypseux des argiles (Khemmoudj, 2009).

Dans la zone d'étude (figure19) la concentration de sulfate varie entre 65 à 165 mg/l la forte teneur en sulfate 165 mg/l est enregistrée au sud-ouest et la faible teneur 65mg/l est enregistrée au nord-est . Ceci est dû probablement aux formations géologiques qui fournissent cet élément à partir des argiles, des marnes et du gypse.

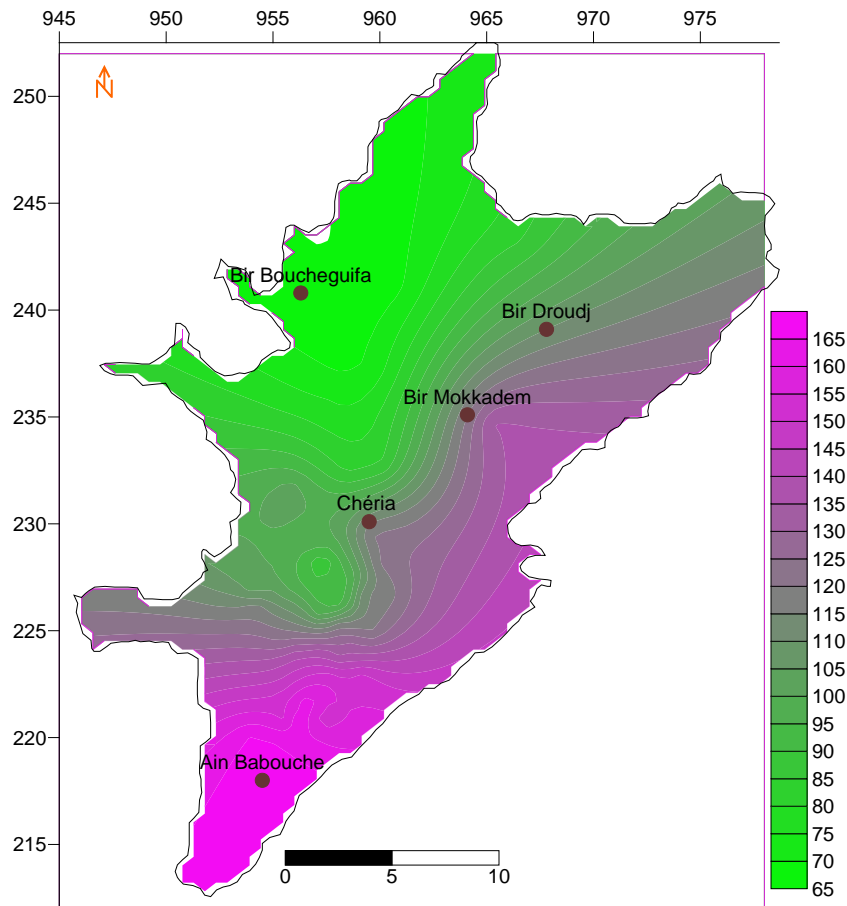


Figure19 : Carte des sulfates (mg/l). avril 2017

3-3-3- Les nitrates

Les nitrates sont présents dans l'eau par lessivage des produits azotés dans les couches de sol et par la décomposition des matières organiques ou des engrais de synthèse et/ ou naturels.

En cette période des concentrations en nitrates dépassent généralement 42 mg/l et notamment dans la partie sud, qui peuvent atteindre plus de 34 mg/l, seuls le secteur Ouest les concentrations représentent les normes, car les captages sont plus profonds (plus 200 m de profondeur). (figure n°20)

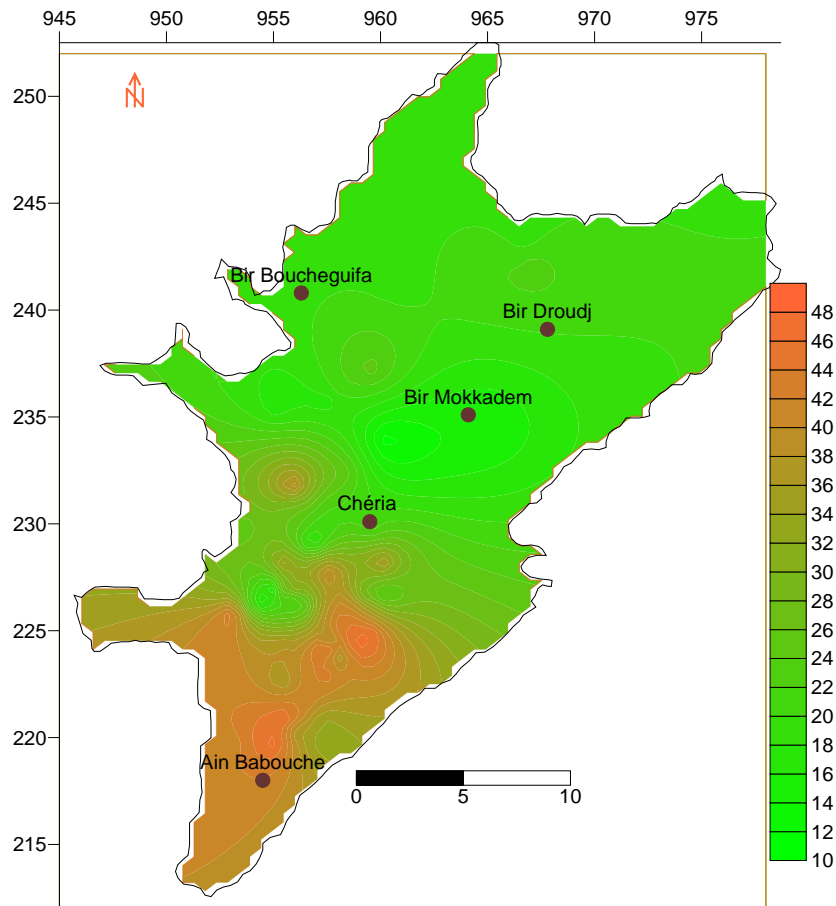


Figure 20: Carte des nitrates (mg/l). avril 2017

3-3-4-Les bicarbonates (HCO_3^-)

Les bicarbonates résultent de l'équilibre physico-chimique entre la roche, l'eau et le gaz

carbonique selon l'équation générale suivante :

$X \text{ CO (Roche)} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow X^{++} + 2\text{HCO}_3^-$ L'élément (X) peut être le (Ca^{++}) ou le (Mg^{++}), il est très probable que ce soit le Ca^{++} , car le Mg^{++} est très soluble, sauf si l'eau est thermale, l'origine principale des carbonates est la dissolution des roches carbonatées et gypsifères (Trias).

Les teneurs en bicarbonates varient entre 200 à 305 mg/l .

Les teneurs maximales supérieures à 260 mg/l sont enregistrées dans la partie nord et la partie est . les teneurs les plus faibles 200 mg/l sont enregistrés dans la partie sud-ouest de la plaine.

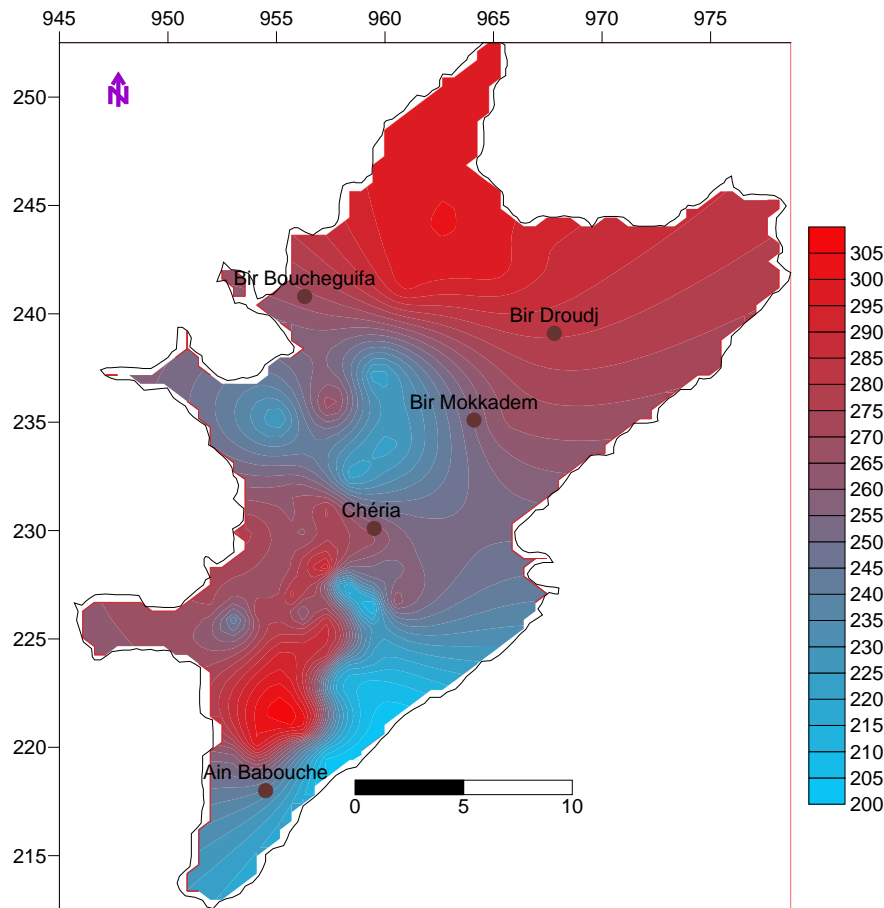


Figure 21: Carte des bicarbonates (mg/l). avril 2017

3-4- Les faciès chimiques

Pour mieux déterminer le faciès chimique des eaux de la région d'étude, Tableau n°10 a été effectuée à partir des résultats analytiques obtenus pour la période avril 2017. Ce tableau montre une dominance remarquable du faciès chloruré calcique ou magnésien, qui masque le faciès bicarbonaté. Notant que la plaine de Chéria et ses bordures sont connues par les formations calcaires maestrichtiennes et

Période	Famille	Faciès	Puits	%
Avril 2017	Bicarbonates	HCO ₃ -Ca	00	
		HCO ₃ -Mg	00	
	Chlorures	Cl-Ca	4-5-6-7-11-12-15-16-18-19- 21-22-26-27-28-30-36-38- 39-40-41-42-44-45-48-50- 54-60-61-62-63-65-69-70- 72-75-77-84-91-92-93-94- 95-96-108-113	75.40
		Cl-Mg	1-3-8-9-24-25-31-52-53-59- 64-99-104-107	24.60
	Sulfates	SO ₄ -Ca	00	
		SO ₄ -Mg	00	

écènes.

Tableau N°10: les faciès chimique de Cheria en avril 2017

Stabler

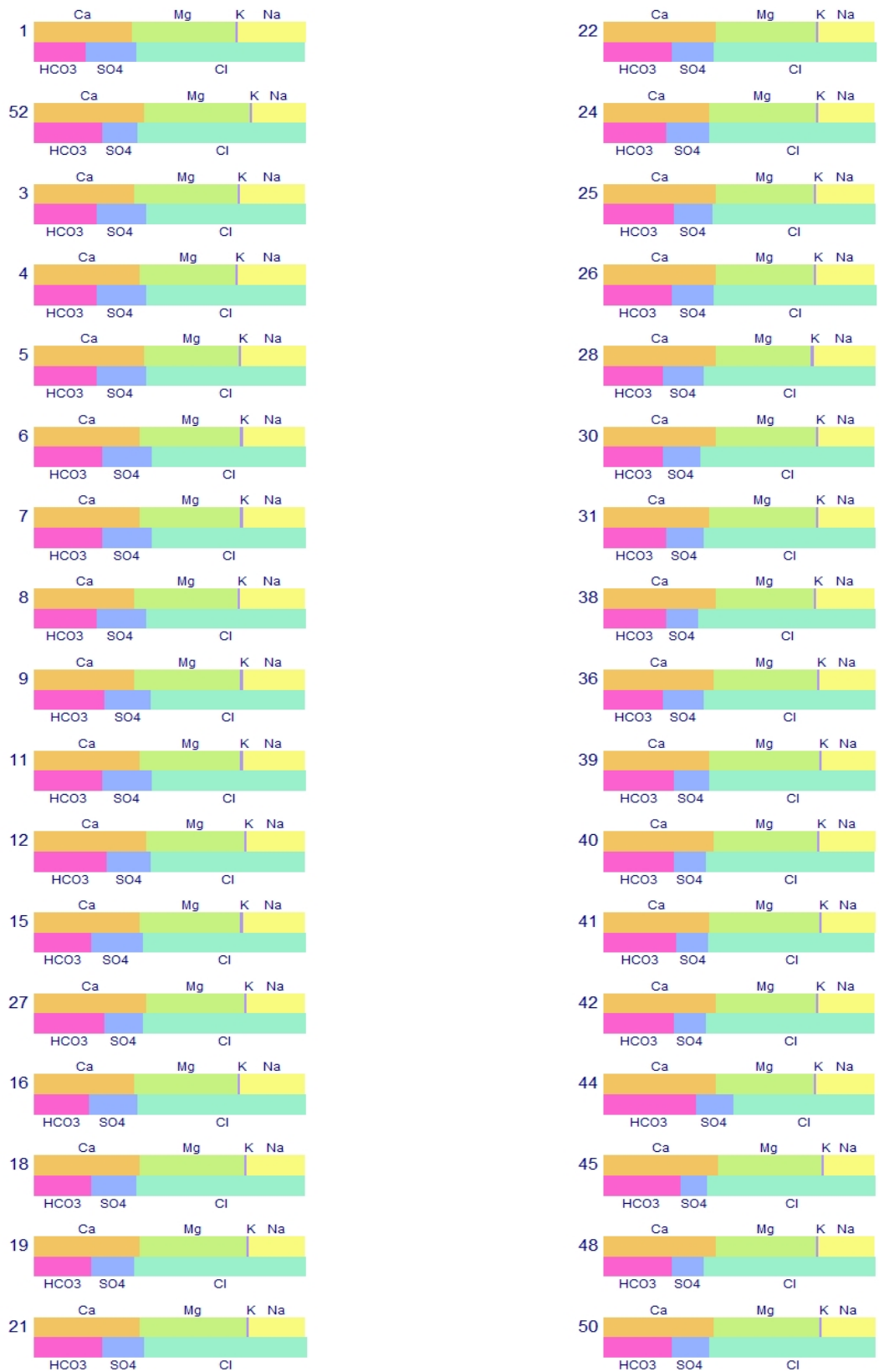


Figure 22 : Faciès hydrochimique des eaux selon stabler

4- Relations caractéristiques des éléments

Les relations caractéristiques des éléments est le rapport de certains éléments chimiques exprimés en (méq/l), ces paramètres donnent une indication, les relations qui existent entre les différents éléments chimiques.

4-1-Relation Na/CL-

Le rapport montre que les teneurs en chlorures et sodium évoluent ensemble et dénotent de la dissolution de l'halite (NaCl) contenue dans les roches évaporitiques. À partir de ces résultats de 2017, on voit que le coefficient de corrélation R indique une bonne corrélation ($r = 0.67$) durant l'année (2017). (figure 23). Donc les deux éléments ont la même origine, c'est la dissolution des roches évaporitiques.

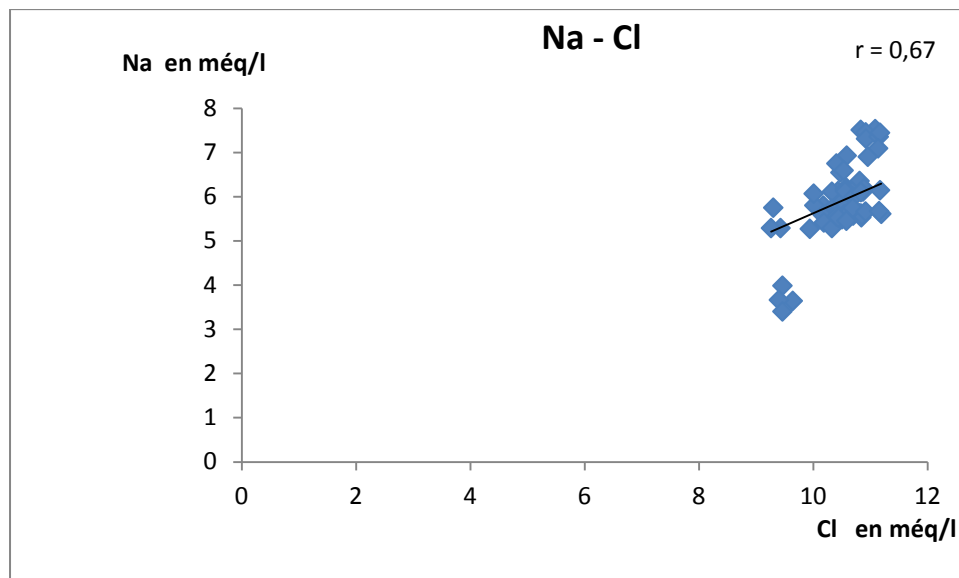


Figure 23 :la relation entre Na-Cl

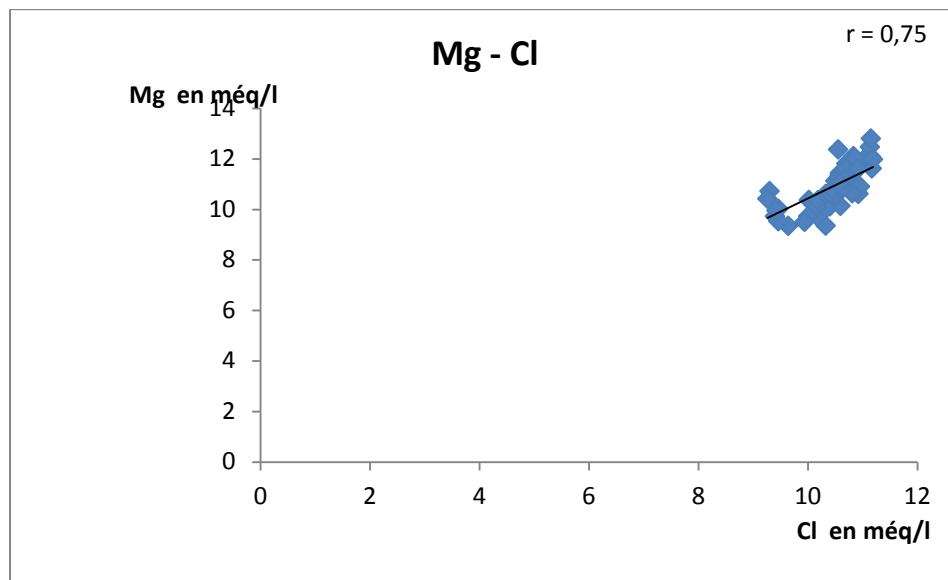


Figure 24: la relation entre Mg-Cl
(Bonne corrélation)

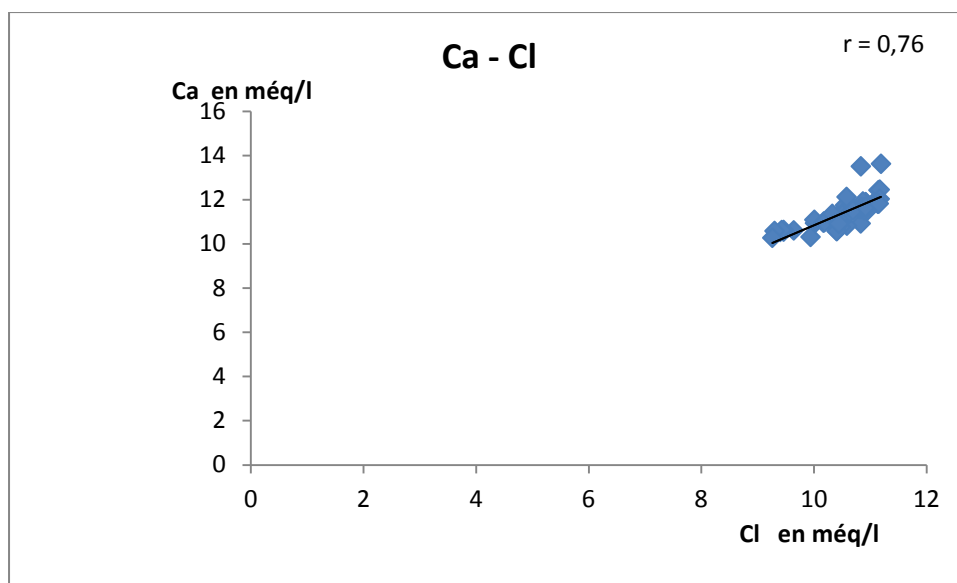


Figure 25: la relation entre Ca-Cl
(bonne corrélation)

4-2- Relation $\text{SO}_4/\text{Ca}^{2+}$

A partir de ces résultats de 2017 on voit que le coefficient de corrélation est faible ($r = 0,39$) nous avons donc confirmé une mauvaise corrélation pour la période d'échantillonnage, cela indique des origines diverses des deux éléments chimiques ($\text{SO}_4/\text{Ca}^{2+}$).

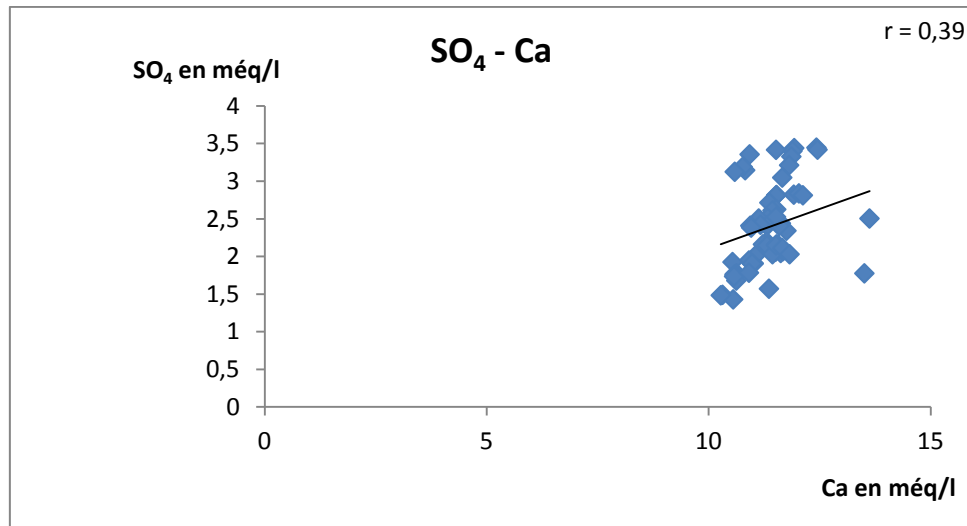


Figure 26 : la relation entre SO_4 -Ca

4-3-Relation $\text{HSO}_3/\text{Ca}^{2+}$

Une mauvaise corrélation est enregistrée pour le couple $\text{HSO}_3/\text{Ca}^{2+}$ indique des origines différentes de ces deux éléments chimiques.

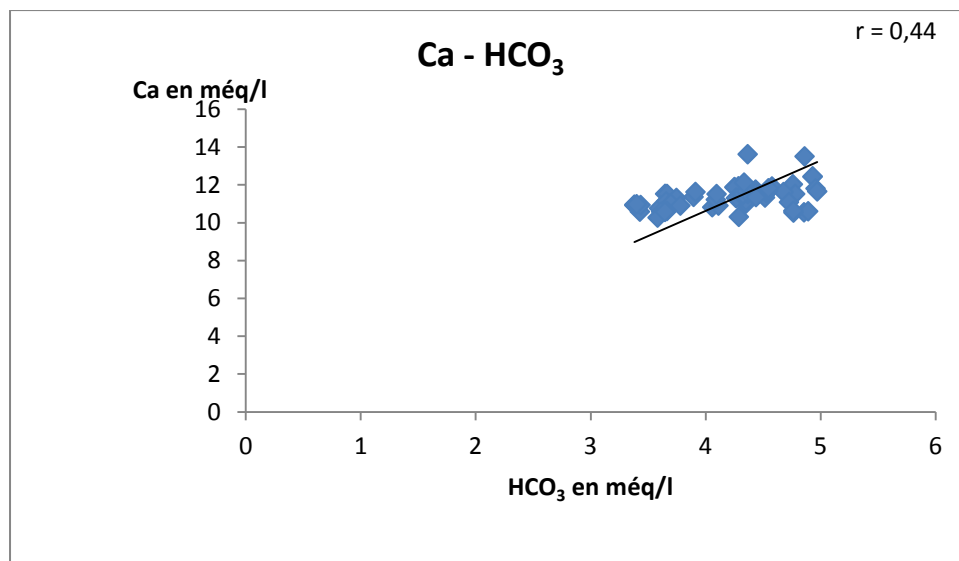


Figure 27 : la relation entre Ca-HCO₃

4-4- Relation Na+2/Cl-/Mg2+/HCO3

Origine de diverses des éléments chimique à cause de faible coefficient de corrélation r varie entre 0.10 et 0.30

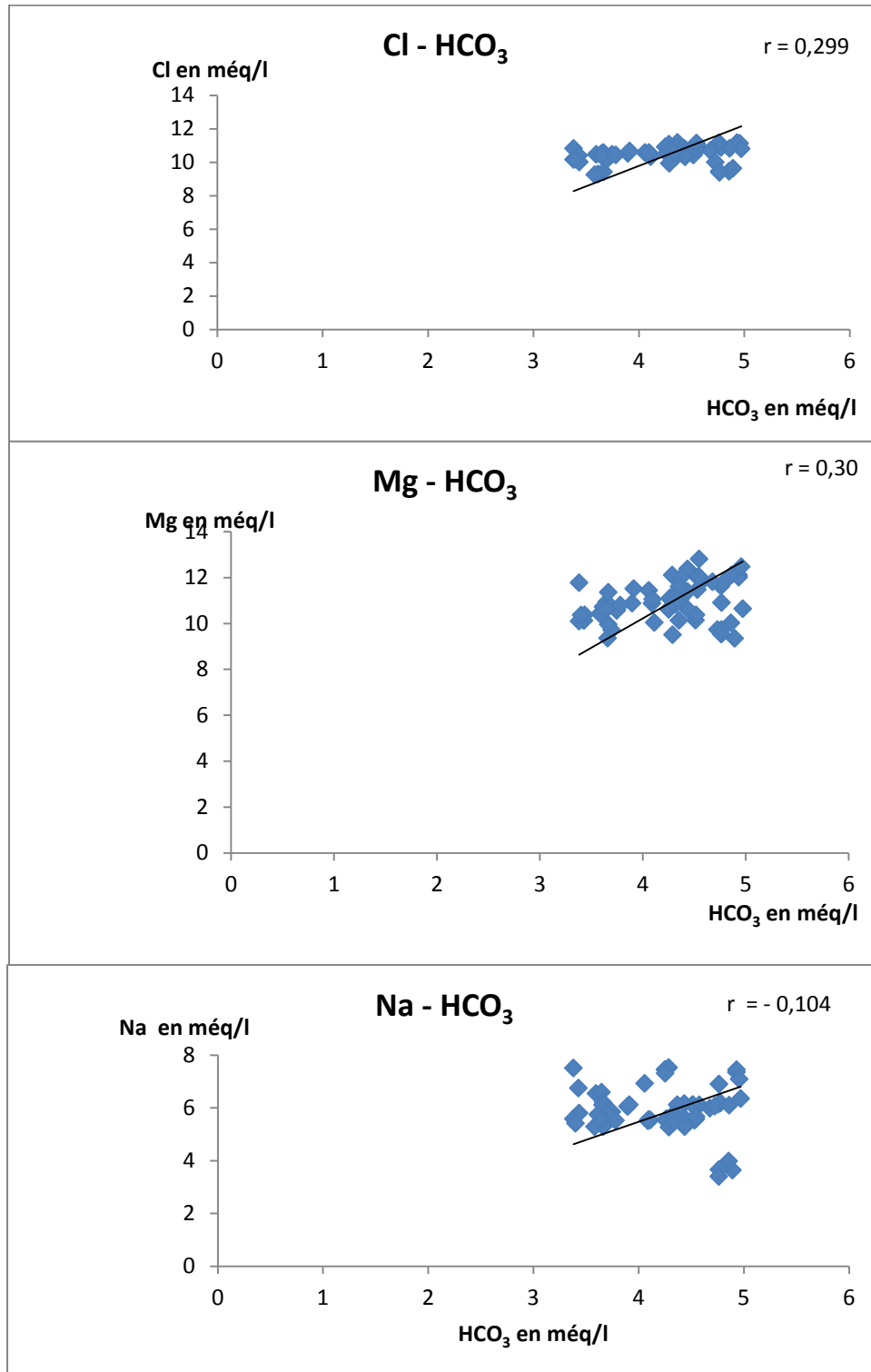


Figure 28 :Relation Na/Cl/Mg/HCO3

4-5- Relation SO₄/Na

La même chose pour le SO₄-Na une bonne corrélation est claire entre les éléments chimiques (le même origine).

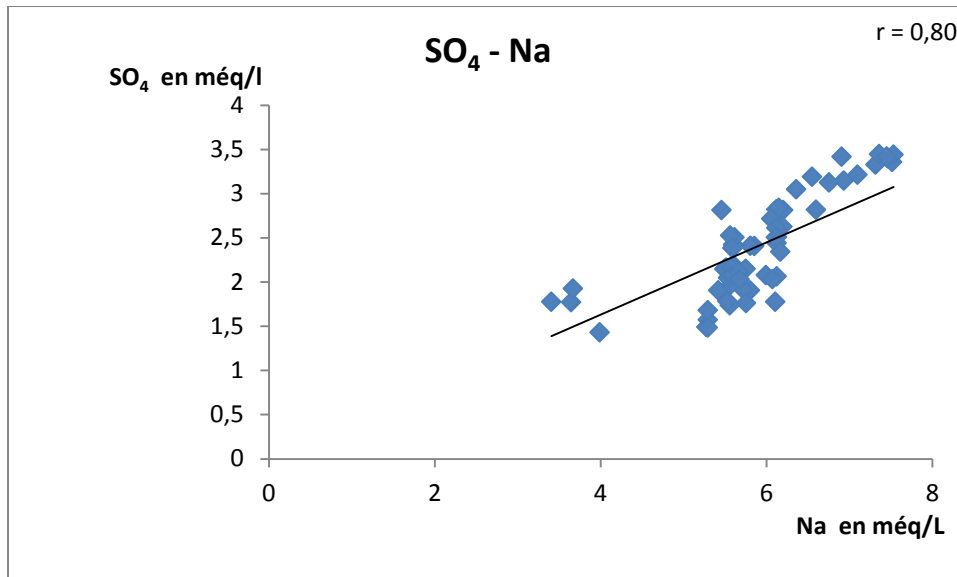


Figure 28 :relation SO₄/Na

5- Calcul des indices de saturation

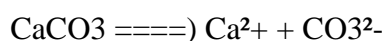
Les indices de saturations constituent un outil précieux pour la compréhension des mécanismes chimiques au sein d'un aquifère, en effet les concentrations de nombreux ions peuvent être expliquées par la présence de minéraux dans les sédiments. Afin d'étudier les indices de saturation, il est néanmoins nécessaire d'avoir des données chimiques fiables, notamment en ce qui concerne les variables sensibles telles que le pH ou l'alcalinité.

Ces indices permettent de déterminer l'état thermodynamique du milieu aquifère par rapport à certains minéraux.

$$SI = \log (IAP/K)$$

- IAP : représente le produit de solubilité exprimé à l'aide des activités.
- K : la constante d'équilibre relative à la dissolution du minéral.

Pour le cas de la calcite :



Donc le produit d'activité ionique:

$$IAP = a_{Ca^{2+}} \cdot a_{CO_3^{2-}} ; (a_{Ca^{2+}} : \text{activité de l'ion } Ca^{2+}).$$

A l'état d'équilibre thermodynamique, le produit de solubilité de la calcite (K_{CaCO_3}) est :

$$K_{CaCO_3} = (a_{Ca^{2+}} \cdot a_{CO_3^{2-}}) / a_{CaCO_3}.$$

Alors, l'indice de saturation exprimé est :

$$SI = \log (IAP/K_{CaCO_3})$$

Si :

- $IS = 0$: l'eau est saturée vis-à-vis de la calcite
- $IS > 0$: l'eau est sursaturée par rapport à la calcite
- $IS < 0$: il montre que l'eau est sous-saturée vis-à-vis de la calcite Le calcul des indices de saturation a été obtenu en utilisant le logiciel Diagramme.

Les résultats sont représentés dans le Tableau

puits	Minéraux carbonatés			Minéraux évaporitiques		
	calcite	dolomite	aragonite	anhydrite	gypse	halite
1	-0.00	0.16	-0.15	-1.49	-1.75	-5.83
3	0.13	0.40	-0.01	-1.46	-1.24	-5.81
4	0.13	0.34	-0.01	-1.45	-1.23	-5.82
5	0.13	0.34	-0.01	-1.46	-1.24	-5.83
6	0.20	0.53	0.06	-1.45	-1.23	-5.82
7	0.21	0.53	0.06	-1.45	-1.23	-5.83
8	0.08	0.31	-0.07	-1.52	-1.30	-5.87
9	0.19	0.53	0.04	-1.50	-1.28	-5.84
11	0.17	0.44	0.02	-1.46	-1.24	-5.86
12	0.20	0.48	0.05	-1.50	-1.28	-5.91
15	0.03	0.17	-0.12	-1.50	-1.28	-5.90
16	0.00	0.14	-0.14	-1.52	-1.30	-5.88
18	0.06	0.24	-0.09	-1.54	-1.32	-5.89
19	0.06	0.26	-0.08	-1.55	-1.33	-5.92
21	0.17	0.45	0.02	-1.54	-1.32	-5.91
22	0.19	0.46	0.04	-1.52	-1.31	-5.90
24	0.08	0.31	-0.06	-1.57	-1.35	-5.93
25	0.18	0.43	0.03	-1.56	-1.34	-5.90
26	0.15	0.39	0.01	-1.57	-1.35	-5.92
27	0.15	0.38	0.01	0.01	-1.37	-5.92
28	0.06	0.17	-0.08	-1.58	-1.36	-5.93
30	0.07	0.24	-0.07	-1.61	-1.39	-5.94
31	0.09	0.31	-0.05	-1.60	-1.38	-5.91
36	0.02	0.15	-0.12	-1.61	-1.39	-5.96
38	0.06	0.20	-0.08	-1.70	-1.48	-5.96
39	0.15	0.45	0.01	-1.63	-1.41	-5.92
40	0.14	0.40	-0.00	-1.67	-1.45	-5.92
41	0.17	0.48	0.03	-1.68	-1.46	-5.92
42	0.13	0.36	-0.01	-1.71	-1.49	-5.95
44	0.17	0.41	0.02	-1.64	-1.45	-5.94
45	0.25	0.58	0.10	-1.70	-1.48	-5.92
48	0.10	0.30	-0.04	-1.70	-1.48	-5.97
50	0.13	0.38	-0.02	-1.61	-1.39	-5.96
52	0.16	0.44	0.01	-1.61	-1.39	-5.95
53	0.13	0.37	-0.02	-1.65	-1.43	-5.96
54	0.15	0.42	0.00	-1.66	-1.44	-5.95
57	0.11	0.33	-0.04	-1.65	-1.44	-5.97
59	0.20	0.47	0.05	-1.55	-1.33	-5.94
60	0.11	0.34	-0.03	-1.59	-1.37	-5.96
61	0.02	0.13	-0.12	-1.61	-1.39	-5.97
62	0.02	0.15	-0.12	-1.71	-1.49	-5.99
63	0.13	0.37	-0.22	-1.66	-1.44	-5.97
64	0.14	0.41	-0.00	-1.65	-1.44	-5.96
65	0.16	0.46	0.01	-1.68	-1.46	-5.95

69	0.15	0.46	0.01	-1.68	-1.46	-5.95
70	0.14	0.38	-0.01	-1.67	-1.45	-5.95
72	0.14	0.40	-0.01	-1.66	-1.44	-5.94
75	0.14	0.42	0.00	-1.67	-1.45	-5.94
77	0.16	0.49	0.02	-1.69	-1.47	-5.93
84	0.15	0.41	0.01	-1.78	-1.56	-5.99
91	0.11	0.31	-0.04	-1.82	-1.60	-6.00
92	0.17	0.45	0.03	-1.83	-1.61	-6.15
93	0.17	0.42	0.03	-1.74	-1.52	-6.18
94	0.16	0.41	0.02	-1.70	-1.48	-6.22
95	0.16	0.40	0.02	-1.74	-1.52	-6.02
96	0.05	0.20	-0.09	-1.77	-1.55	-5.99
99	0.04	0.21	-0.11	-1.75	-1.53	-6.03
104	0.03	0.19	-0.12	-1.84	-1.62	-6.01
107	0.04	0.21	-0.10	-1.76	-1.54	-5.97
108	0.07	0.26	-0.08	-1.74	-1.52	-5.97
113	0.15	0.40	0.01	-1.52	-1.30	-5.97

Tableau n°10. Indices de saturation des eaux souterraines de la zone étudiée.

Les minéraux carbonatés (Tableau n°10) présentent des degrés de saturation différents. En effet, celui de la calcite varie de -0.00 à 0.25, suivi par celui de dolomite qui varie de 0.13 à 0.58 et enfin celui de l'aragonite varie de -0.00 à 0.06. Tous les points ont atteint les degrés de saturation.

Les minéraux évaporitiques (Tableau n°10) montrent des degrés de saturation l'anhydrite enregistre des indices qui varient de -1,45 à -1.84 (où tous les points d'eau analysés n'ont pas atteint le degré de saturation), suivi de gypse dont l'indice varie de -1.62 jusqu'à -1.23 et enfin celui de la halite varie de -6.18 à -5.97 (tous les points sont sous-saturés).

6- Analyses en composantes principales

L'exécution d'une ACP (analyses en composantes principales) sur les résultats des analyses chimiques de la campagne du mois d'avril 2017.

L'interprétation selon les axes F1 et F2 des informations a permis les constatations suivantes:

- la majorité des éléments chimiques ont une bonne évolution à l'exception des bicarbonates et du potassium.

- les chlorures contribuent à la minéralisation des eaux plus que les sulfates
- Le magnésium n'évolue pas bien avec les bicarbonates ce qui laisse penser qu'il a une autre origine que les calcaires.
- les sulfates et le sodium évoluent parfaitement confirmant qu'ils proviennent de la même origine.

Concernant la répartition des individus, on peut déduire que la majorité des puits ont le même degré de minéralisation à l'exception de ceux qui se situent en amont de l'aquifère (figure 31).

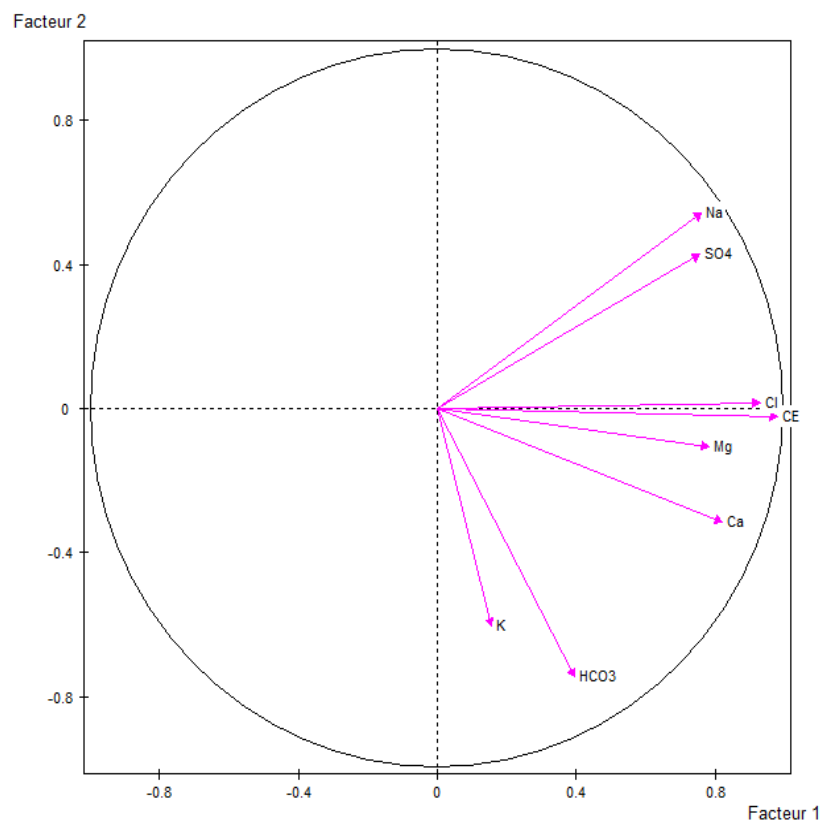


Figure 30 : Cercle de l'ACP

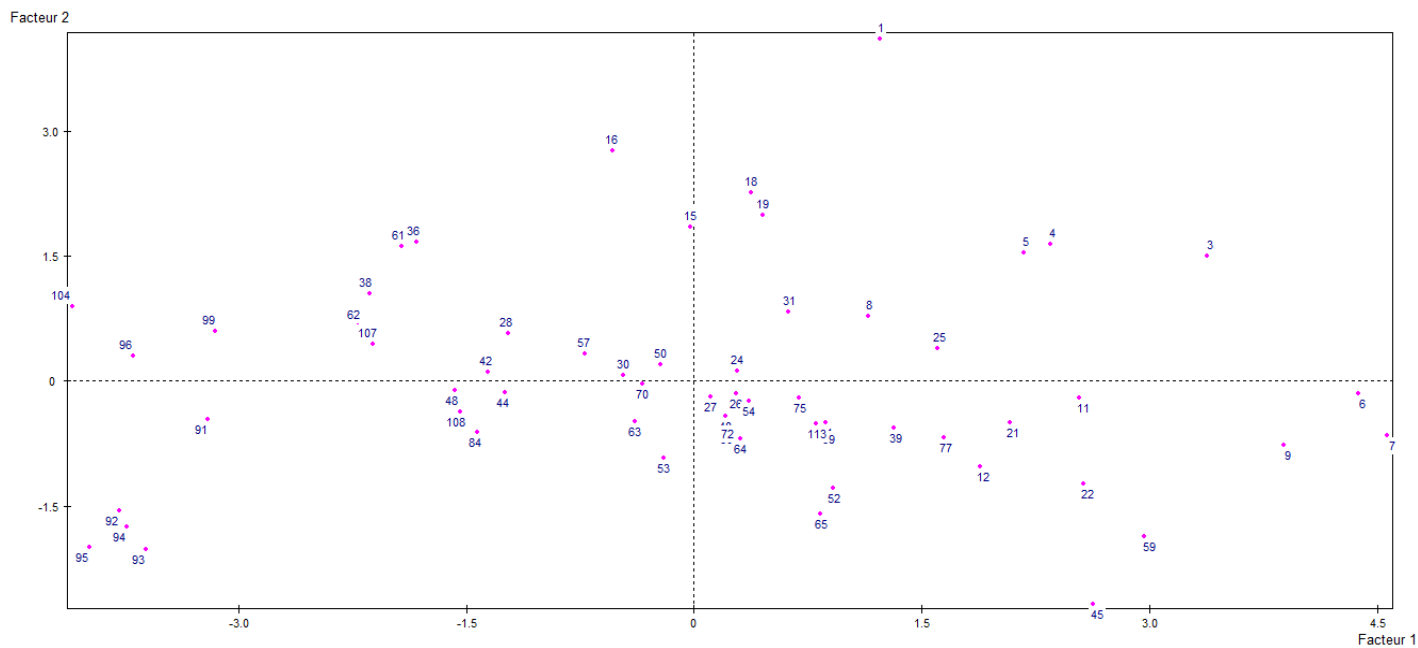


Figure 31 : la répartition des individus

7-Aptitude des eaux à l'irrigation

Il existe plusieurs critères de contrôle de qualité des eaux destinée à une activité agricole. Dans le cas de notre étude, nous avons utilisé le paramètre de qualité des eaux nous avons utilisé le diagramme de Wilcox.

7-1- Classification de wilcox

Ce diagramme est basé sur les valeurs du rapport d'absorption en sodium et de la conductivité électrique des ions contenus dans l'eau. L'objectif était de représenter les échantillons sur le diagramme de Wilcox afin de faciliter la caractérisation des eaux profondes sur leur aptitude à l'irrigation, mais il n'était disponible que la valeur de conductivité de quelques échantillons. d'après la méthode décrite par Hölting (1996).

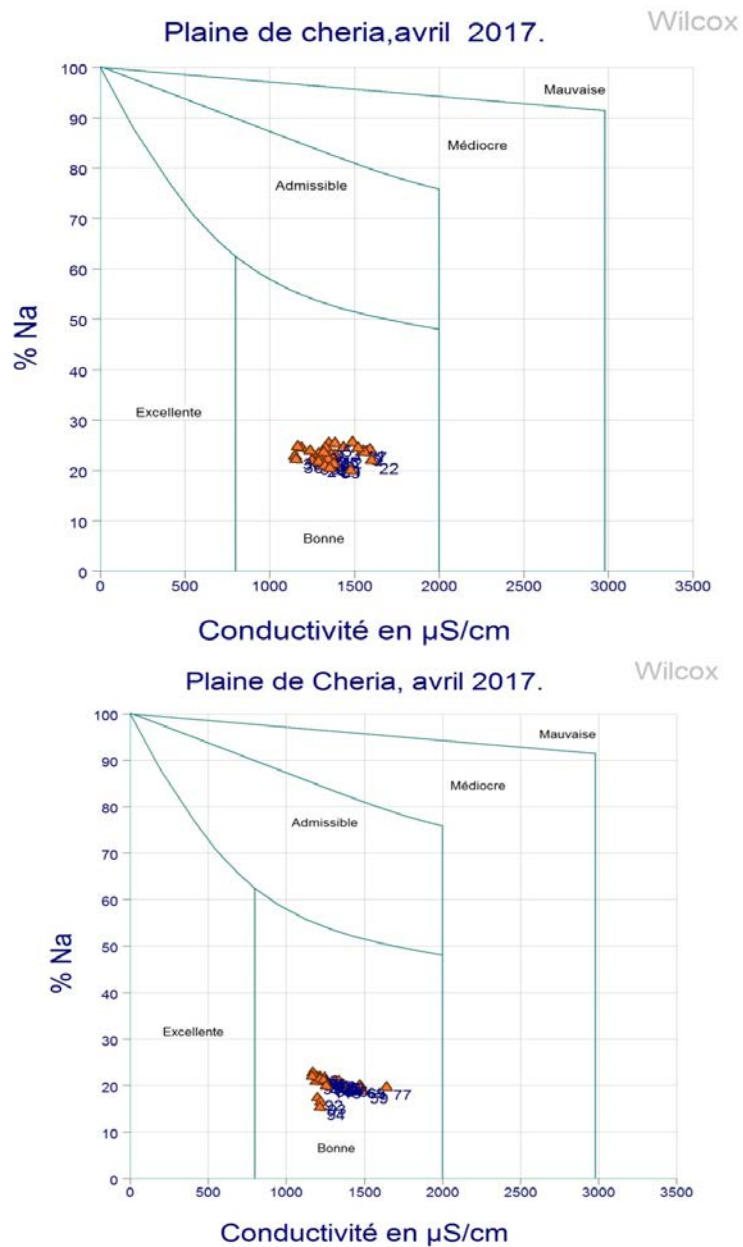


Figure 32 :Qualité de l'eau de la plaine de Cheria (d'après le Diagramme du wilcox)

- La représentation des différents échantillons analysés sur le diagramme de wilcox montre que les eaux de la nappe du Moi-plio-Quaternaire appartiennent à une seule classe ; bonne.
- La classe bonne représentée par la plupart des points d'eaux .

8- Conclusion

Le résultat des analyses chimiques des eaux souterraines montre une concentration élevée des chlorures suivis par les bicarbonates et les sulfates qui ont des teneurs assez proches.

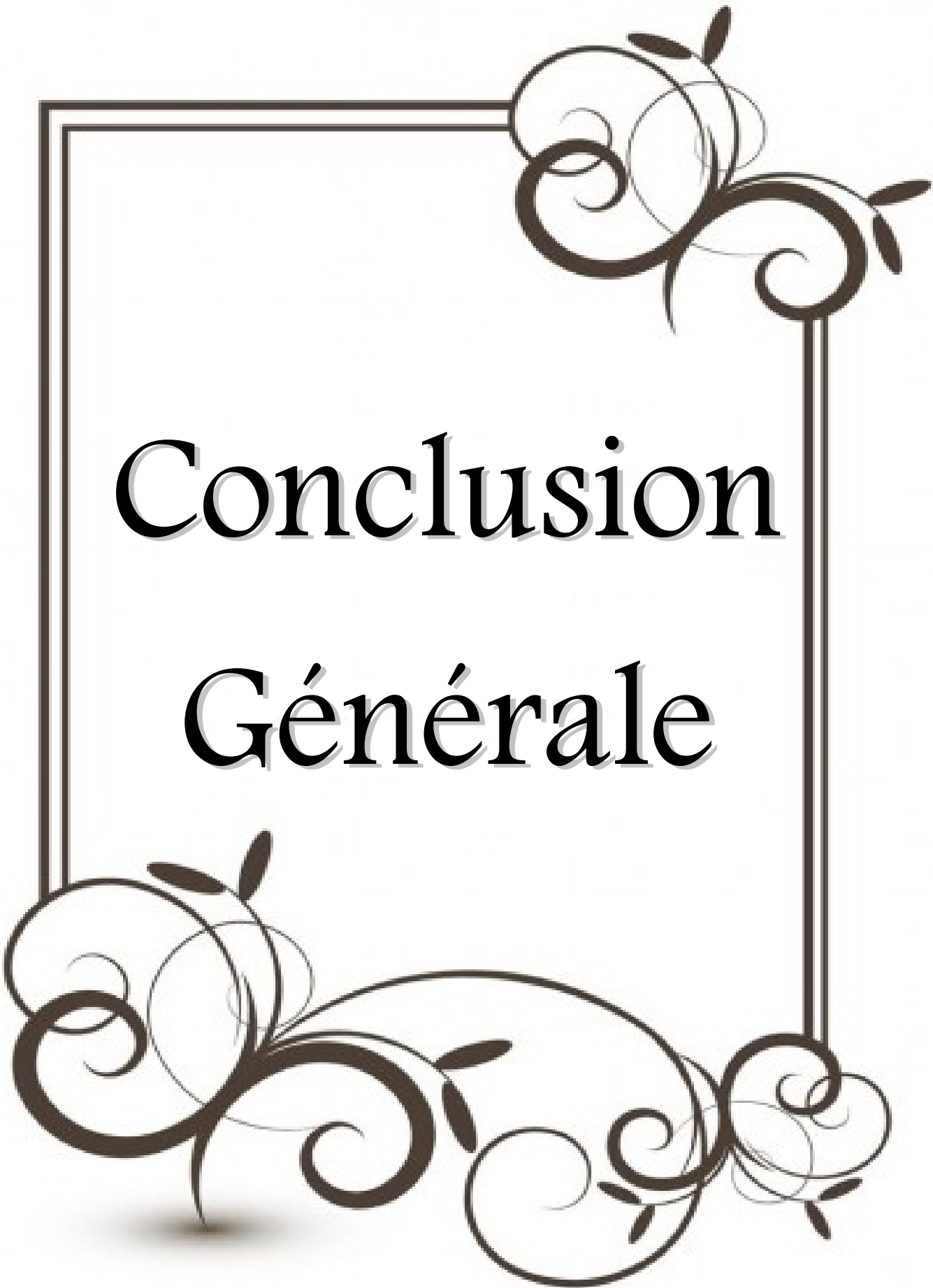
Concernant les concentrations des cations on constate que le calcium est présent en grande quantité,

L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution des formations salifères et à l'effet de la salinité marine.

Le calcium présent par des concentrations moyennes par rapport à la concentration totale des cations, suivi par le sodium et le potassium en faibles teneurs.

L'utilisation de diagramme, de Wilcox qui classe les eaux d'irrigation en fonction de pourcentage de Na et la conductivité électrique on a peut placer ces eaux dans la classe (bonne).

L'aptitude de l'eau à l'irrigation peut être jugée non seulement à partir de la concentration totale en sels, mais aussi par le type de sels et les ions qui la constituent. Il est donc impératif d'étudier les paramètres qui définissent les caractéristiques des eaux destinées à l'irrigation.



Conclusion
Générale

CONCLUSION GENERALE

Le plateau de Chéria situé au Nord Est de l'Algérie. Constituée essentiellement par une succession des formations sédimentaires. Dont la superposition du bas en haut des marnes du compagne, les calcaires du maestrichtien, ainsi que les calcaires de l'Eocène et le recouvrement Moi-Plio-Quaternaire, sont séparés par une couche des marnes daniennes .

Le climat de la région est semi-aride, la moyenne annuelle des précipitations est de l'ordre de 200 mm/an notant la densité des pluies orageuses pendant les mois de l'été.

Les études géologiques, et hydrogéologiques ont permis de définir trois aquifères :

l'aquifère des calcaires Maestrichtiens qui est très important aux bordures et stérile au centre, l'aquifère des calcaires Eocènes le plus important de point de vue réserve et exploitation ainsi que celui du recouvrement Moi-Plio-Quaternaire qui est devenu sans intérêt hydrogéologique après des décennies de sécheresse.

L'étude hydrochimique a été élaborée dans le but de caractériser les types d'eau de la région à partir de plusieurs modes d'interprétation usuelles en hydrochimie, dans le but de montrer :

- Les faciès chimique des différentes eaux des aquifères, qui est chloruré-calcique ou chloruré- magnésien, ce faciès a probablement masqué le faciès bicarbonaté caractérisant les eaux des bordures qui alimentent le système aquifère.

La cartographie hydrochimique a visualisé une zone à forte concentration, au Sud, où la quasi-totalité des éléments chimiques présente des teneurs importantes, confirmant, ainsi, le sens d'écoulement Nord-Sud (zone d'accumulation).

La qualité des eaux de la région a été étudié avec une grande particularité, qui a pris en considération la natures des eaux des formations bicarbonatés, généralement de très bonne qualité et ceux de l'aquifère alluvionnaire qui reçoit les eaux des infiltration ou se produit un mélange entre les deux famille qui se terminent au sud avec une mauvaise qualité.

A decorative frame with a double-line border. The top-right and bottom-left corners feature intricate scrollwork and floral designs. The word "Bibliographie" is centered within the frame.

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

1. **ARAMBOURG, C. (1952)** : Les vertébrés fossiles des gisements de phosphates (Maroc-Algérie-Tunisie). Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc, 92: 1–372, 62 fig., 44 pl.
2. **Baali F, (2007)** : Contribution à l'étude hydrogéologique, hydrochimique et Vulnérabilité d'un système aquifère karstique en zone semi aride. Cas du plateau de Chéria N. E. Algérien.
3. **BAKALOWICZ., (1979)** : Contribution de la géochimie des eaux à la connaissance de l'aquifère karstique et de la karstification. Thèse Doctorat Es.Sciences.
4. **Castany. G, (1968)** : Prospection et exploitation des eaux souterraines. Édition Dunod, Paris 711p.
5. **CGG (compagne générale de géophysique 1970):** Prospection géophysique sur le plateau de Chéria. Rapport interne R.A.D.P. Paris VII 26p.
6. **Chaffai H, Baali F, Djabri L, Rouabhia Aek (2003)** : Facteurs influençant le chimisme des
7. **CLAUDE. A., (1905)** : petit Larousse 1906 illustré de 1889.
8. **Colley GC (1963)** : The detection of caves by gravity measurements. values especially for the
9. **Durozoy, G., (1952)** : Hydrogéologie du massif calcaire crétacé des monts de Constantine étude préliminaire. Ed Publ .Soc .Géol. Carte Géol. Algérie. eaux dans une zone semi-aride: Cas des aquifères d'El Ma El Abiod, Tébessa, Hammamet et Chéria. ICOWAP-Sep 2003. Colloque Oasis, Eau et population, Biskra Algérie, pp 339–344 Geophys Prospect XI:1–9.
10. **GOUAIDIA. L., (2008)** : Influence de la lithologie des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi-aride, cas de la nappe de maskiana nord-est algérien université badji mokhtar-Annaba, 79 p.
11. **HÖLTING B., (1996)** : Hydrogéologie, Stuttgart (Enke Verlag) 5è Ed.441p, 1 14fig, 46 tab.
12. **Jacob C.E., (1946)** - On the flow of water in an elastic artesian aquifer.Am.geoph.union. Trans .72p.

BIBLIOGRAPHIE

13. **KHEMOUDJ. K., (2009)** : Dynamique des systèmes et stratégie d'aménagement et gestion de la ressource en eau en zone semi-aride : cas de la région d'El Eulma. Wilaya de Sétif 90p.
14. **SCHOELLER H. (1962)** : Les eaux souterraines. Masson, Paris, 642p.
15. **Vila J.M (1980)** : La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro tunisiens .Thèse Sc.Univ .paris VI,3Vol,663 , 199fig ,40Pl , 7Pl.h.t .
16. **ZERDAZI, A., (1990)** : Etude gravimétrique du Mole d'Aire de l'Atlas Sahraoui septentrional oriental (Nord-Est de l'Algérie), Thèse de doctorat Sciences. Univ de l'Ausane. Suisse. 213 p.