



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université ECHAHID CHEIKH LARBI TEBESSI - Tébessa -

Faculté des Science Exactes et Sciences de la Nature et de le Vie

Département de sciences de la terre et de l'univers

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de MASTER

Domaine : Sciences de la terre et de l'univers

Filière : Géologie

Spécialité : Hydrogéologie

Thème :

**Approche à l'étude hydrochimique et hydrogéologique de la
région de Ain Babouche-chéria sud sud-ouest de Tébessa**

Présenté par :

Chams Eddine MESSAI

Devant le jury :

Président	Dr. Defaflia Nabil	Pr	Université de Tébessa
Rapporteur	Dr. BELFAR Dalila.	MCB	Université de Tébessa
Examineur	Dr. BAALI Fethi	Pr	Université de Tébessa

Session :2024

Dédicace

Je dédie ce mémoire à ceux qui ont été une source constante d'inspiration, de soutien et d'encouragement tout au long de ce voyage académique.

À mes parents, pour leur amour inconditionnel, leur patience et leurs sacrifices. Leur soutien moral et financier a été inestimable, et leur confiance en moi m'a donné la force de surmonter les défis les plus difficiles.

À mes enseignants et professeurs, pour leur guidance et leur partage généreux de connaissances. Leur passion pour l'apprentissage a nourri mon désir de comprendre et d'explorer.

À mes amis, pour leur camaraderie et leur soutien constant. Leur encouragement et leur compréhension ont rendu ce parcours moins solitaire et bien plus enrichissant.

À tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail, je vous exprime ma profonde gratitude.

Remerciement

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes et institutions qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Je voudrais exprimer ma gratitude à mes parentes pour leur soutien inconditionnel, leur patience et leur amour. Leur confiance en moi a été une source inépuisable de motivation.

Je remercie chaleureusement ma directrice de recherche, [Dalila, BELFAR], pour sa supervision, ses conseils avisés et son soutien constant tout au long de ce travail. Ses encouragements et son expertise ont été inestimables dans la conduite de cette étude.

Je suis également reconnaissant envers mes collègues et amis pour leur soutien moral et leurs encouragements durant les moments difficiles de cette entreprise.

Résumé

L'eau souterraine est actuellement menacée par une consommation croissante et irrationnelle. Notre travail vise à évaluer la qualité et l'état de la nappe aquifère dans la région de Ain Babouche en utilisant des lois statistiques. Le bassin étudié comprend trois aquifères superposés : l'aquifère du Maastrichtien, l'Éocène et la nappe alluviale du Moi-Plio-Quaternaire. L'étude se concentre sur la nappe de l'Éocène.

Les résultats indiquent que la région possède une réserve considérable d'eau souterraine, mais avec des concentrations de chlorures (14,200 à 155,200mg/l), de calcium (59,200 à 148,800mg/l), de magnésium (26,300 à 70,000 mg/l) et de bicarbonates (96,860 à 276,900mg/l), dépassant les normes de l'OMS. Bien que médiocres en termes de potabilité, ces eaux ne posent généralement pas de risque d'alcalinisation, mais présentent un risque élevé de salinisation pour les sols. Le faciès chloruré calcique ou magnésien est prédominant.

Abstract

Groundwater is currently threatened by increasing and irrational consumption. Our work aims to evaluate the quality and state of the aquifer in the Chéria region using statistical laws. The studied basin contains three superimposed aquifers: the Maastrichtian aquifer, the Eocene aquifer, and the alluvial aquifer of the Moi-Plio-Quaternary. This study focuses on the Eocene aquifer.

The results show that the region has a considerable groundwater reserve, but with concentrations of chlorides (14,200 to 155,200 mg/l), calcium (59,200 to 148,800 mg/l), magnesium (26,300 to 70,00 mg/l), and bicarbonates (96,860 to 276,800 mg/l), exceeding WHO standards. Although poor in terms of potability, this water generally does not pose an alkalinization risk but presents a high salinization risk for soils. The predominant water type is calcium or magnesium chloride.

ملخص

المياه الجوفية مهددة حاليًا بالاستهلاك المتزايد وغير العقلاني. يهدف عملنا إلى تقييم جودة وحالة الطبقة المائية في منطقة عين بابوش باستخدام قوانين إحصائية. يحتوي الحوض المدروس على ثلاث طبقات مائية متراكبة: طبقة المياه الجوفية للماستريختي، والإيوسين، والطبقة الجوفية لحوض الميو-بليو-الرباعي. تركز الدراسة على الطبقة المائية للإيوسين.

تشير النتائج إلى أن المنطقة تحتوي على احتياطي كبير من المياه الجوفية، ولكن بتركيزات من الكلوريدات (14,200 إلى 155,200 ملغ/ل)، والكالسيوم (59,200 إلى 148,800 ملغ/ل)، والمغنيسيوم (26,300 إلى 70,000 ملغ/ل)، والبيكربونات (96,860 إلى 276,900 ملغ/ل) تتجاوز معايير منظمة الصحة العالمية. على الرغم من أنها ضعيفة الجودة من حيث الشرب، إلا أن هذه المياه لا تشكل خطرًا على القلوية، ولكنها تمثل خطرًا كبيرًا للتملح على التربة. يغلب على المياه الطابع الكلوري-الكالسيومي أو المغنيسيومي.

Figure N:		Page
Figure N: 01	Situation géographique de la région d'étude (extrait de la carte de Tébessa 1/500000, N32).	02
Figure N: 02	Carte des sols de la zone d'étude (extrait de la carte des sols de Tébessa 1/500000 (Jaseix-Bellon (1948).	03
Figure N: 03	Carte d'occupation des terres de la région d'étude Image satellite ETM +198/36, Année 2001 (source HCDS) (in Zereg 2010).	04
Figure N: 04	Les principaux ensembles géomorphologiques du Nord de L'Algérie et de la Tunisie d'après Guiraud 1990.	05
Figure N: 05	Les grands ensembles de l'édifice structural alpin de l'Algérie du nord orientale	06
Figure N: 06	Colonne stratigraphique synthétique des monts du Mellègue	07
Figure N: 07	Géologie de la région de Aïn Babouche et ses environs (extrait de la carte géologique de l'Algérie 1/500000).	08
Figure N: 08	Dépôts des alluvions au niveau d'Oued Babouche.	09
Figure N: 09	les formations quaternaires au niveau d'Oued Babouche.	09
Figure N: 10	les sables siliceux jaunes du Miocène (Aïn Babouche).	10
Figure N: 11	les calcaires Eocène (Djebel Babouche).	11
Figure N: 12	Les formations du Lutétien Supérieur (Rive droite d'Oued)	11
Figure N: 13	schéma structurale de la région de Aïn Babouche (extrait du schéma structural au 1/250000 « feuille n°265 »)	14
Figure N: 14	Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien (établie d'après Côte M., 1998 a).	14
Figure N: 15	Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien (établie d'après Côte M., 1998 a).	17
Figure N: 16	Répartition mensuelle des températures 1975 / 2014.	19
Figure N: 17	Les moyennes interannuelles de températures. (1975 / 2014)	19
Figure N: 18	Vents mensuels interannuels (1982 - 2014).	20
Figure N: 19	Humidité mensuelle interannuelle (1982 - 2014).	20
Figure N: 20	Précipitations annuelles médianes « normales » (1965-95) (d'après étude ANRH-GTZ ,2003) In Azzedine Mebarki (*) et Jean-Pierre Laborde (**).	21
Figure N: 21	Les variation interannuelles des précipitations. (1975 / 2014)	22
Figure N: 22	Les variation des moyennes mensuelles des précipitations. (1975 / 2014)	22
Figure N: 23	Diagramme pluviothermique de la station de Cheria (1975- 2014).	23
Figure N: 24	Abaque de l'Indice d'aridité annuel de DE Martone 1923	24
Figure N: 25	Abaque de l'Indice d'aridité annuel de DE Martone	25
Figure N: 26	Comparaison graphique entre la répartition saisonnière des précipitations station de Chéria (1975-2014).	25
Figure N: 27	Carte d'évapotranspiration potentielle moyenne annuelle de l'Est algérien (in Mebarki 2002).	27
Figure N: 28	Réseau hydrographique du plateau de Chéria	33
Figure N: 29	Courbe hypsométrique et des fréquences altimétriques	36
Figure N: 30	Carte des conditions aux limites; (modifiée en 2016). (Baali.F;2006).	40
Figure N: 32	schéma théorique montrant les relations entre les aquifères au sud de Chéria	41
Figure N: 33	les colonnes lithologiques des forages dans la région de Ain Babouche	42

Figure N: 34	Carte d'inventaire des points de prélèvements dans la région de Ain Babouche	45
Figure N: 35	Évolution de la température dans les eaux souterraines de la région de Ain Babouche.	46
Figure N: 36	Évolution des valeurs de PH dans la région de Ain Babouche	47
Figure N: 37	Évolution des valeurs de CE dans la région de Ain Babouche.	47
Figure N: 38	les courbes d'évolution des cations dans la région de Ain Babouche.	49
Figure N: 39	les courbes d'évolution des anions dans la région de Ain Babouche.	50
Figure N: 40	Diagramme de Piper (Mai 2024)	51
Figure N: 41	Diagramme de Schoeller – Berkallof (Mai 2024).	52
Figure N: 42	Diagramme de Stiff (Mai 2024).	52
Figure N: 43	Diagramme de Wilcox (Mai ,2014).	53
Figure N: 44	Diagramme de SAR (Mai 2024).	54
Figure N: 45	Corrélation entre la conductivité électrique,Chlore et Sulfates (Mai 2024).	55
Figure N: 46	Corrélation entre la conductivité électrique,Sodium et Calcium (Mai 2024).	55
Figure N: 47	projection des variables sur le plan factoriel F1 et F2.	57

Tableau N:		Page
Tableau N: 01	Coordonnées Géographiques des stations de mesures	18
Tableau N: 02	Températures moyennes mensuelles en °C à la station de Tébessa (1975-2014).	18
Tableau N: 03	Coefficient pluviométrique de Chéria. (1975/2014).	24
Tableau N: 04	Indice d'aridité mensuel.	25
Tableau N: 05	Résultats de calcul de l'ETP par Thornthwaite	27
Tableau N: 06	Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite. Station de Chéria (1975/2014).	30
Tableau N: 07	Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite. Station de Cheria (1995/1996).	31
Tableau N: 08	Les caractéristiques géométriques .	34
Tableau N: 09	la répartition de la surface en fonction de la tranche d'altitude.	35
Tableau N: 10	les variations des paramètres physiques de la région d'étude (max ,min et moyen).	46
Tableau N: 11	les résultats statistiques des éléments chimiques des eaux prélevées pendant les quatre campagnes d'échantillonnage. Les résultats sont en mg/l.	48
Tableau N: 12	Tableaux des corrélations de matrice.	55

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le synclinal perché de Chéria appartient au bassin versant du Chott Melghir, situé à 45 km au sud-ouest du chef-lieu de la wilaya de Tébessa. Il présente une forme grossièrement triangulaire. Le présent travail tente, après une analyse de la situation actuelle du terrain, de mieux cerner les concentrations de certains éléments chimiques dans les eaux et de les classifier statistiquement et hydrochimiquement.

L'exploitation des eaux souterraines à partir des aquifères carbonatés est actuellement la seule ressource disponible pour répondre aux besoins en eau. Cette étude vise à approfondir nos connaissances et à tester les hypothèses formulées concernant la qualité et la gestion des eaux souterraines de la région.

Dans le 1er chapitre, il a été abordé les caractéristiques physiques du bassin versant ainsi que la géologie (situation géographique, stratigraphie, 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.

le 2 chapitre, il a été étudié les différents paramètres climatologiques (type de climat, températures et évapotranspiration) et l'hydrologie de l'oued Chéria Le 3 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 4 chapitre, l'étude hydrochimique (le suivi saisonnier des paramètres physico chimiques, leurs représentation détermination des faciès hydrochimiques et Analyse en Composantes Principales),pour interprété les résultat final , ainsi qu'à l'étude de la qualité des eaux destinées à l'alimentation humaine et à l'irrigation.

Chapitre I

Situation géographique et géologie

1. La situation géographique :

La région d'étude est située à l'extrême Sud-ouest de la ville de Cheria (Wilaya de Tebessa), Elle appartient au domaine de l'Atlas Saharien Oriental, Elle fait partie du grand bassin versant de Cheria (figure 00).

La limite de la zone peut être définie comme suit :

- La limite Nord par Bled Faïd el Mahri et Bled Ouled Saïdane ;
- La limite Est par Djebel el Mazaa et Kef en Sour ;
- La limite Sud par Outa Oum el Khaled (anticlinal Aïn Tledjen) ;
- La limite Ouest par Djebel Boukammech et Zerhata.

La zone d'étude est comprise entre les coordonnées géographiques suivantes :

Longitude : $07^{\circ} 37'$ - $07^{\circ} 45'$ Est ;

Latitude : $35^{\circ} 7'$ - $35^{\circ} 13'$ Nord.

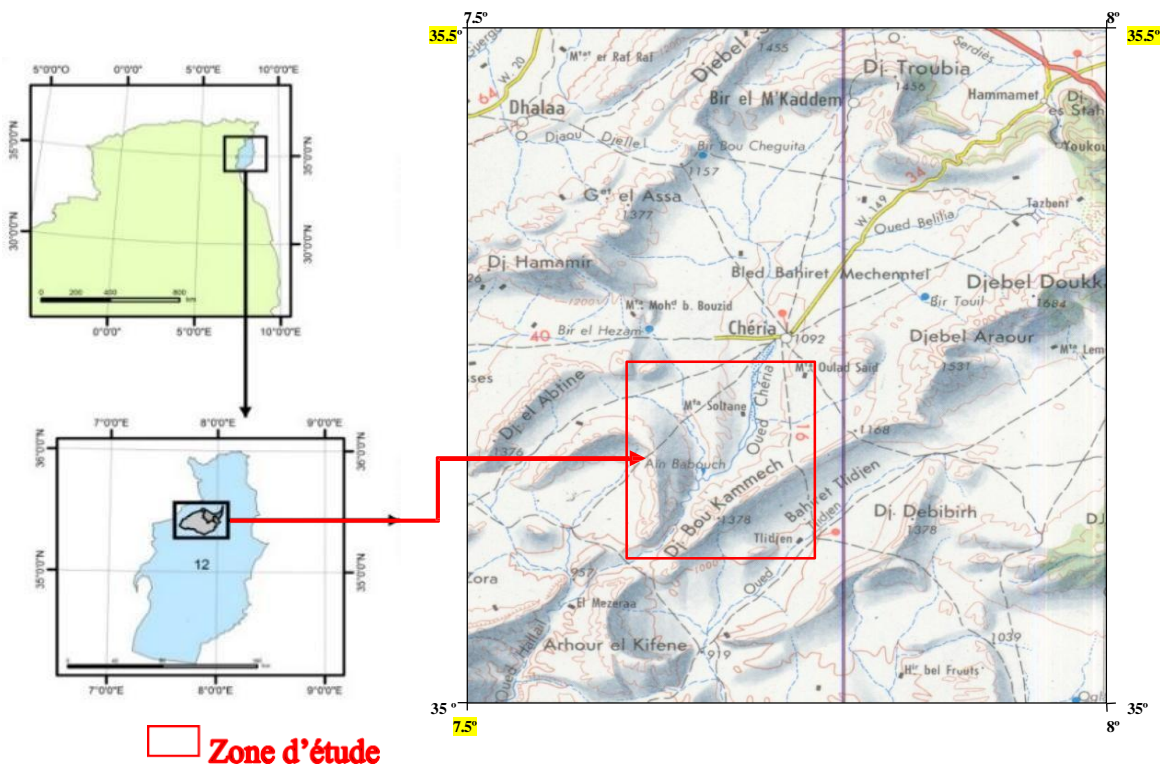


Figure 01 : Situation géographique de la région d'étude (extrait de la carte de Tébéssa 1/500000, N32).

2. La population :

La zone de Ain Babouche fait partie de la commune de Chéria dont le nombre de la population de la zone d'étude est très limité et dispersé.

D'après le recensement de 1990 ; 70 000 habitants occupent la région de Chéria et généralement dans la ville, à Bir mokaddem, M'Chentel, Ouled saidane à Abla et Aïn Babouche.

3. Le Sol :

Selon Jaseix-Bellon (1948) la région d'étude est caractérisé par un sol calcique à alluvial dans la majeure partie et en piedmonts est distingué par un affleurement d'un sol de type roche mère au niveau de Dj Bou Kammech, Djebel Ain Babouche et Djebel Kef En Sour (figure 02).

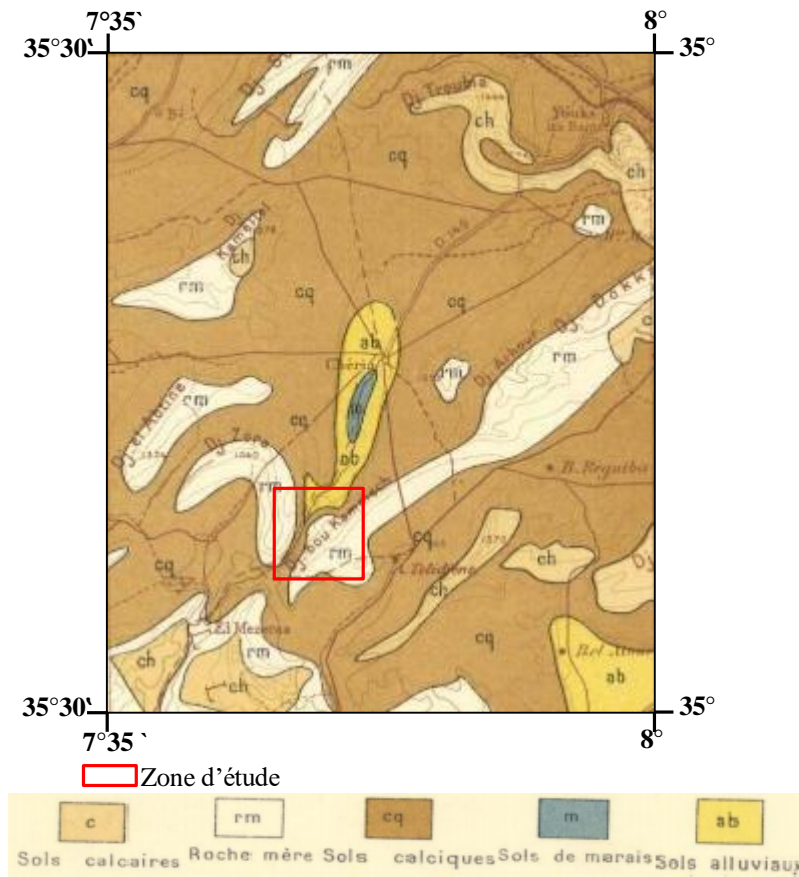


Figure 02 : Carte des sols de la zone d'étude (extrait de la carte des sols de Tébessa 1/500000 (Jaseix-Bellon (1948)).

4. La couverture végétale et activités économiques et industrielles

La région de Ain Babouche fait partie du domaine Sub-saharien ce qui influe directement sur le couvert végétal, ce dernier est très faible en comparaison avec les zones qui les entourent.

Au nord et au niveau des montagnes qui bordent le plateau de Chéria une végétation naturelle à base de pin d'Alep (les forêts) est notable une chose qui disparaît rapidement ou totalement en allant vers la zone d'étude (figure 03).

Parmi les activités les plus importantes dans la région est l'élevage d'ovin et bovin et plus récemment l'élevage de volaille qui connaît une propagation remarquable, cependant l'activité agricole est très limitée à des céréales dont l'irrigation est assurée par les eaux souterraines.

La région d'étude est entourée par quelques vestiges archéologiques qui témoignent de conditions biogéographiques différentes du milieu, à des époques reculées.

Des sites romains plus récents et plus considérables marquent le paysage, et comprennent notamment des vestiges d'anciennes huileries, rappelant l'importance de la culture de l'olivier.

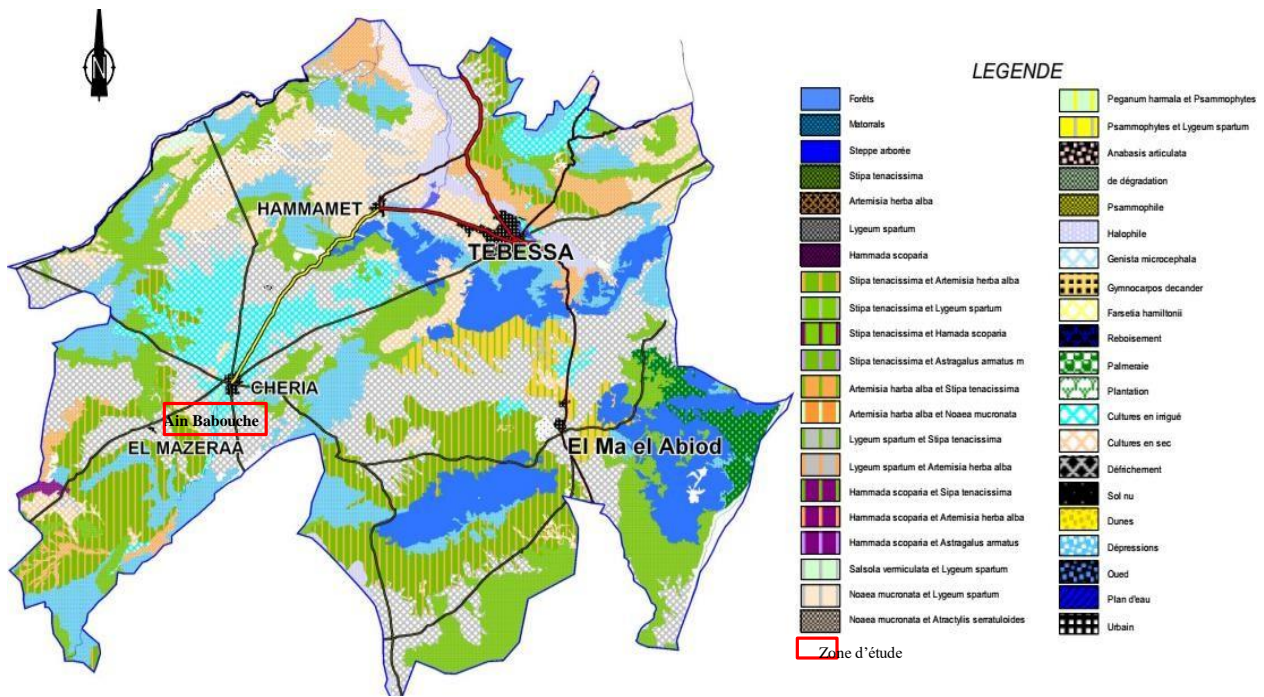


Figure 03 : Carte d'occupation des terres de la région d'étude Image satellite ETM +198/36, Année 2001 (source HCDS) (in Zereg 2010).

1. Introduction :

Ce chapitre est consacré à l'histoire géologique régionale et locale de la région d'étude, et à la définition des grands ensembles lithologiques et leur description.

2. Le contexte géologique général de L'Algérie :

L'Algérie est divisée en deux domaines structuraux principales s'inscrit dans le processus de géodynamique globale de la tectonique des plaques. Ces deux domaines sont séparées par un accident tectonique majeur appelé **Accident Sud-Atlasique** : Le domaine Cratonique et le domaine Actif au Nord (l'Algérie alpine).

Elle se distingue par la dominance de la chaîne atlasique qui fait partie de l'orogène alpin périméditerranéen (Durand-Delga, 1969) d'âge tertiaire où dont sa partie occidentale est formée par deux unités importantes: l'Atlas tellien et l'Atlas saharien séparés par les Haut Plateaux où vers l'Est ces Hauts Plateaux disparaissent et l'Atlas saharien s'élargit pour former l'Atlas oriental constitué par les Aurès et l'Atlas tunisien (figure 04).

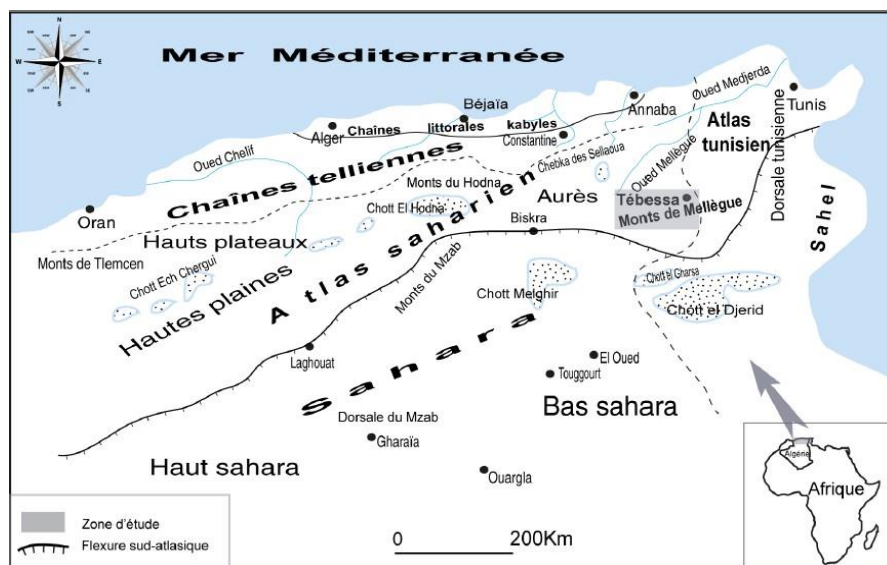


Figure 04 : Les principaux ensembles géomorphologiques du Nord de L'Algérie et de la Tunisie d'après Guiraud 1990.

Ce domaine comporte trois domaines structuraux (figure 05) qui sont, du sud au nord :

2.1 Le domaine Tellien (Tello-refain ou domaine externe) :

C'est un domaine distingué par trois séries principales ; les séries telliennes, les séries d'avant pays allochtone et les séries de l'avant pays Atlasique autochtone (M. Chadi 2002). Cette partie externe est le résultat d'une dislocation de la couverture sédimentaire déposée sur la marge nord de la plaque africaine (A. Chouabi 1987).

2.2 Le sillon de flysch (domaine médiane) :

Ce sont des formations soit turbiditiques (Olivier et al., 1996) d'âge essentiellement créacé-paléogène, soit basiques et ultrabasiques jurassiques (Bouillin, 1979), ces formations chevauchent les unités telliennes. Elles sont donc déposées dans un bassin de nature au moins partiellement océanique, le bassin maghrébin, qui se liait vraisemblablement au bassin ligure de la Téthys (Said.A, 2011). Ces flyschs se présentent de trois manières : Les flyschs maurétaniens ,Les flyschs massyliens ;Les flyschs numidiens.

2.3 Les Kabyldes (socle kabyle ou domaine interne) :

C'est un domaine caractérisé globalement par des massifs de socle poly-métamorphique panafricain et hercynien (principalement des gneiss âgés de 480 Ma à 300 Ma selon des datations Rb-Sr par [J. Sonet et Durand-Delga, \(1969\)](#)). On considère que tous ces terrains formant les Kabyldes font partie d'un ensemble nommé Zones Internes (ou « AlKaPeCa » selon [Bouillin et al,1986](#)), pour Alboran, Kabylies, Peloritain, Calabre). Il est représenté par deux unités principales :Le socle kabyle et la dorsale kabyle (chaîne calcaire).

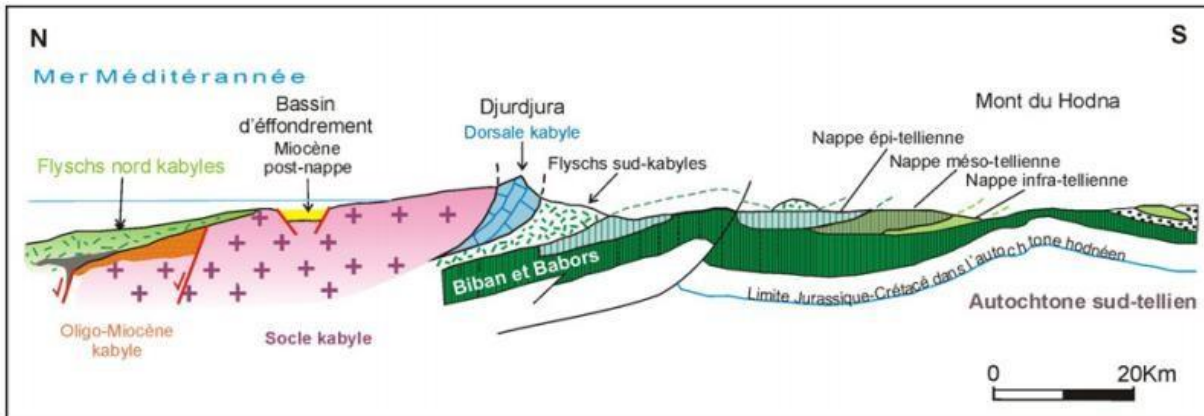


Figure 05 : Les grands ensembles de l'édifice structural alpin de l'Algérie du nord orientale.

3. Le contexte géologique régional :

L'atlas saharien est un vaste complexe structural, Il commence du Maroc « Hauts Atlas » et se poursuit en Tunisie « Atlas Tunisien » sur une longueur de 2000 km, il est formé suite à la fermeture de la Téthys ([Bouillin., J 1986](#)).

En général l'Atlas saharien est composé de trois faisceaux de plis allant du SW vers le NE ; les Monts des Ksour, le Dj Amour, les Monts de Ouled Nail, les Aurès, quant aux séries orientales des confins algéro tunisien qui sont représentées par les Mont de Mellègue auquel appartient notre région d'étude.

Les formations qui affleurent sont essentiellement des roches sédimentaires à dominance épicontinentale allant du Trias au plio-quadernaire (figure 06)

		Lithologie	Epaisseur(m)	Description lithologique	
C é n o z o i q u e	<i>Quaternaire</i>		⑥ 10-30	Dépôts clastiques d'origine continentale.	
	N o g è n e	<i>Miocène</i>	⑤ 10-150	Conglomérats à grains variés avec un ciment carbonaté, grès quartzeux et calcaire sableux avec intercalations d'argiles.	
		<i>Eocène</i>	200	Calcaires marneux à silex et intercalation de phosphates par endroits dans le mur.	
	P al é o g è n e	S u p é r i e r	<i>Maast richien</i>	250-300	Calcaires gris clair, calcaires crayeux et marnes argileuses avec intercalation d'argiles dans la partie supérieure.
			<i>Companien</i>	500-600	Marnes argileuses gris -foncées et des calcaires blancs dans la partie moyenne et supérieur.
			<i>Contacien - Stantonien</i>	500-600	Marnes argileuses et grises bleuâtres.
			<i>Turonien</i>	180-250	Calcaires en bancs ; partiellement marneux à teinte noire et gris-foncée.
			<i>Cénomane</i>	900-1000	Marnes gris-verdâtres et grises dans la partie supérieure avec intercalation de calcaires marneux.
			<i>Vraconnien</i>	500-600	Marnes et marnes argileuses avec intercalations de calcaires argileux et argilites
			<i>Albien</i>	480-600	Marnes grises et grises-foncée, noires dans la partie supérieure avec de minces intercalations de calcaires argileux.
			<i>Clansayésien</i>	100-200	Marnes grises, gris-jaunes partiellement avec des intercalations de calcaires.
			<i>Aptien</i>	300-600	1- Facies clastique, marnes argileuses avec intercalations de marnes sableuses et grès calcaires. 2- Facies carbonaté, calcaires organo-détritique, bioblastes, ooclastes et interclastes.
			<i>Barrémien</i>	< 250	Calcaires et dolomies, argilites et argiles dans la partie supérieur (Grés à Masloula)
	J u r a s s i q u e	<i>Jurassique</i>		?	
<i>Trias</i>		< 700	Formations marno-gypsières bariolées avec peu d'intercalation de grès à grains fins, dolomies et calcaires marno-dolomitique.		

Figure 06 : Colonne stratigraphique synthétique des monts du Mellègue

4. Géologie de la zone d'étude :

La région de Aïn Babouche fait partie du bassin versant de Chéria (représenté principalement sur deux cartes au 1/50.000 de Chéria (N° 234), Aïn Telidjene (N° 265)), elle appartient à la zone des hautes plaines. La géologie de la région d'étude fait partie de notre recherche et on a repris les anciens travaux réalisés par les différents auteurs tels que (Lambert et Durozoy ,1947 ; Gaud ,1977 ; Ricard ,1979).

4.1 Aspect géomorphologique :

Afin d'atteindre une bonne compréhension du comportement hydrogéologique un aperçu géomorphologique est indispensable.

La région d'étude occupe la partie Sud-Ouest du bassin versant de Chéria qui a une forme globale presque triangulaire.

Elle est limitée par des chaînes de montagnes continues et qui se convergent en entonnoir et forment une vallée étroite entre elles en allant vers sud -ouest. Ces montagnes sont formées essentiellement par des calcaires massifs du Maestrichtien et Eocène et leurs flancs présentent des pentes accentuées. Le sommet le plus culminant est celui Bou Kammech à 1378m.

4.2 La stratigraphie :

La succession chronologique des formations géologiques de la région d'étude peut être citée du plus récent au plus ancien comme Suit :

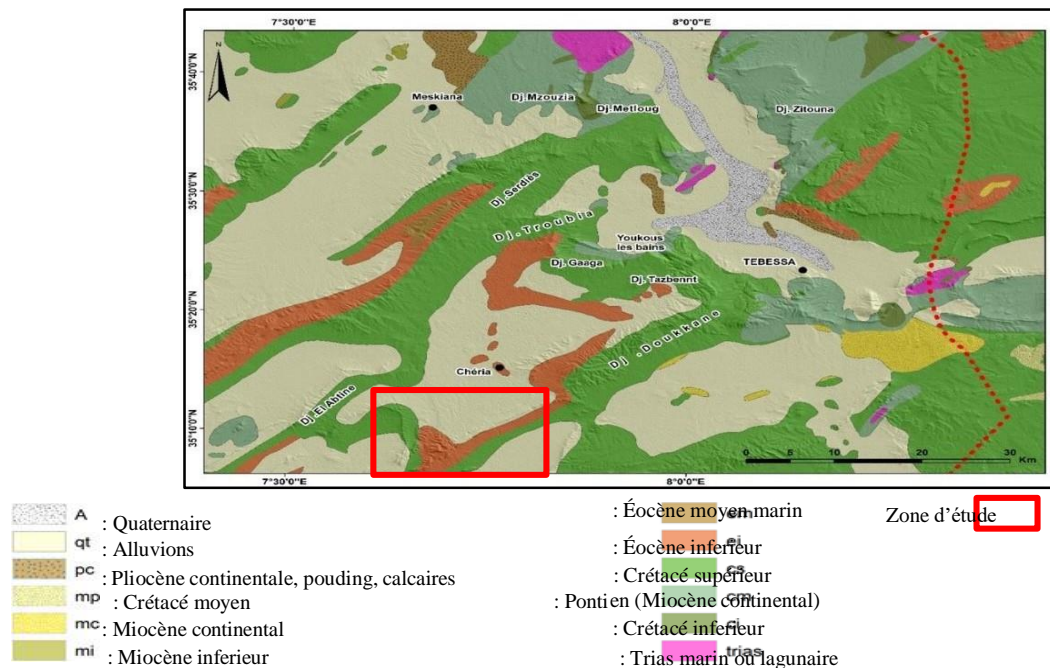


Figure 07 : Géologie de la région de Aïn Babouche et ses environs (extrait de la carte géologique de l'Algérie 1/500000).

4.2.1 Les formations Quaternaires

Ces formations ont une origine continentale, elles occupent des importantes surfaces surtout dans les plaines et aux pieds des montagnes, elles sont représentées par des cailloutis fluviaux. Elles s'agissent :

A. Eboulis actuels et récents

Les éboulis sont assez peu fréquents et généralement liés à la corniche maestrichtienne. Ils se trouvent et continuent à se former sur les pentes et au pied de tous les grands reliefs calcaires.

B. Alluvions actuelles et lit majeurs des oueds

Les alluvions actuelles et récentes sont constituées de :
Sables graviers et des cailloutis mal calibrés régulièrement balayés par les crues, correspondant au lit majeur des écoulements organisés ou en nappes dans les zones à faible déclivité.



Figure 08 : Dépôts des alluvions au niveau d'Oued Babouche.

C. Limons horizontaux des fonds de vallée et quaternaire indéterminé

Limons clairs assez fins, généralement aisément cultivés organisés (figure 09A) en à des surfaces assimilables à une basse terrasses (Figure09B), balayés exceptionnellement en sheet-flood lors des crues exceptionnelles. On peut les assimiler au Rharbien .



Figure 09 : les formations quaternaires au niveau d'Oued Babouche.

D. Glacis récent

Glacis polygéniques ; ce sont des accumulations de débris qui se raccordent progressivement aux principales falaises et qui reposent directement sur le substratum érodé.
Il est largement porte des cultures et supporte la plupart des aménagement anciens en terrasses.

D. Eventails alluviaux

Ces éventails à morphologie caractéristiques sont bien développés ou ils enregistrent très fidèlement l'activités de l'érosion aux alentours des zones actuellement mobiles, notamment les décrochement NW-SE qui traversent les structures.

4.2.2 Tertiaire

A. Miocène

Dans notre zone d'étude cet étage est discordant et transgressif sur les calcaires de l'éocène moyen. Il est constitué de bas en haut par des alternances d'argiles gypseuses et de lentilles de sable de 40 mètre d'épaisseur et des sables siliceux jaunes de 20 mètre d'épaisseur dont la silice est provenue de la trituration des rognons de silex des calcaires de l'Éocène.

Il s'agit -la de la formation vraisemblablement fluvatile.

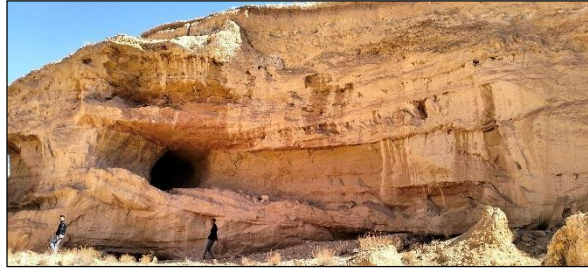


Figure 10 : les sables siliceux jaunes du Miocène (Ain Babouche).

B. Le Paléogène

Ce sont des formations généralement marneuses analogues à celle du Maastrichtien supérieurs couvertes au sommet par des marno-calcaires renfermant des couches phosphatées avec une épaisseur de 10 à 15 mètre.

4.2.3 Eocène Inferieur

A. Yprésien

L'Eocène inferieur dans la région d'étude affleurent au niveau de Djebel Babouche ; ce sont des formations calcaireuses massifs à Silex et d'autres à Nummulites avec une épaisseur qui peut atteindre 50 m.

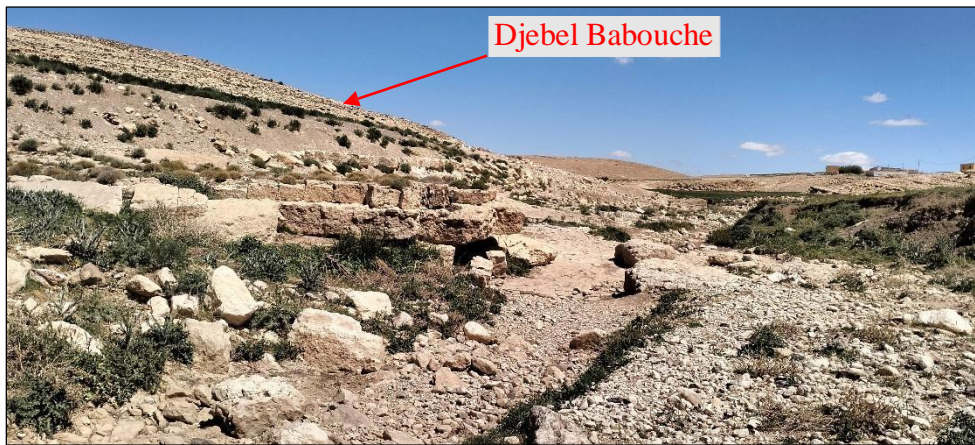


Figure 11 : les calcaires Eocène (Djebel Babouche).

B. Lutétiens supérieur gypsifères

Quelques mètres de gypses bien lités blancs, roses ou rouges sont visibles en trois points seulement. D'une part au cœur du synclinal de Babouche, dans l'angle nord-ouest du bassin versant de Chéria, au-dessus des assises de fer oolithiques.

C. Lutétien supérieur ou moyen

Ce sont des marnes et argiles à huîtres et à intercalations de fer oolithique ; ils affleurent dans le synclinal de Babouche, en rive droite de l'Oued Babouche, le dernier banc calcaire lumachellique est surmonté par des argiles vertes à huîtres, à rares intercalations de marno-calcaires jaunâtres et lentilles de fer oolithique (figure 33).

Les premiers niveaux marneux ont livré au milieu d'abondants débris d'échinodermes, de nombreux ostracodes avec surtout *Cavernocythereis*, accompagnés de quelques *Nonionella*.

Les niveaux de fer oolithique dont la lentille la plus épaisse n'excède pas dix mètres d'épaisseur.



Figure 12 : Les formations du Lutétien Supérieur (Rive droite d'Oued) **Babouche**)

4.2.4 Calcaire Paléocène-Eocène à base phosphaté

Ces calcaires n'ont livré aucune microfaune déterminée avec précision (Nummulites sp (BEGHOUL,1974) ; les formes les plus proches, datées de l'Éocène inférieur par leur association avec des Operculines. La base phosphatée est rapportée au Paléocène supérieur depuis les travaux de J.FLANDRIN(1948),notamment au Djebel Dyr où ,au-dessus ;ont été datés l'Yprésien et Lutétien inférieur à Nummulites.

Des marnes grises feuilletées superposées au niveau phosphaté ont livré un nannoplancton de la limite Paléocène -Yprésien à fréquents *Dscoaster multiradiatus* et plus rares *D.gemmeus* .

La série calcaire,à nombreux silex noirs ou bruns multiformes,est riches en débris coquilliers.ses bancs sont souvent d'aspect lumachelliques à Thersités et Hémithersités.

4.2.5 Maestrichtien terminal -Paléocène moyen

Ce sont des marnes sombres livrent au Djebel Boukammech, quelque mètres au-dessus des derniers bancs carbonatés maestrichtiens de très nombreux petits benthiques : *Allomorpha* sp., *Anomalina* sp ; et des pélagiques *Globigerina*, *Globorotalia* , de rare Ostracodes et de debris de Gastéropodes et de bivalves .Il s'agit de Dano-Mentien .

La séparation entre les niveaux fini-Maestrichtiens et daniens, correspond au développement de quelques bancs décimétriques de marno-calcaires jaunâtres.

Secondaire

Le Crétacé

C'est une période distinguée par des formations marneuses très importantes que signifie une sédimentation vaseuse généralisée suivi par l'apparition des formations essentiellement carbonatés à la fin de cette époque.

4.2.6 Maestrichtien calcaire à silex

C'est une barre calcaire unique de 150 à 200 m d'épaisseur, commencent par des calcaires finement lités en plaquettes, s'enrichissant vers e het en silex blancs ou brun clair, exceptionnellement rouges et passant enfin vers le haut à des calcaires cristallins clairs ou blancs. Dans ces derniers, les débris coquilliers abondant ; bivalves (parmi lesquels de nombreux Inocérames), échinodermes.

A 15 -20 m de la base de la barre, comme au sud du Boukammech ; quelques niveaux de belle section de grandes formes de *Lepidorbitoides socialis*.

4.2.7 Campanien et Maestrichtien basal marneux

C'est une épaisse série de marnes sombres à patine jaune-verdâtre, toujours gypseuses, avec au sommet 2 à 3 barres métriques de biomicrite. Ces derniers apparaissent peu après les marnes contenant le datum à *Globotruncana calcarata* CUSH.du campanien terminal .au-dessus de ces barres peuvent notamment être récoltées des associations à *Globotruncana* cf .au Boukammech, Il s'agit bien de Maestrichtien.

A. Campanien (barre calcaire)

Son développement est très inégal et correspond à une évolution des facies le long du flanc Est du Djebel Boukammech et le flanc nord-ouest de l'anticlinal d'Aïn Télijdène, cette barre est plus discrète et ne dépasse guère une vingtaine de mètres d'épaisseur ; sa base également conglomératique, montre surtout des facies micritiques à débris divers.

B. Coniacien, Santonien :

Les affleurement santonien datés, se présentes en deux parties séparées par de recouvrement quaternaires :

- Des marnes gypseuses (35 m), gris-vert à jaune-vert avec un banc de calcaire noduleux à lamellibranches.
- Au-dessus, après une large interruption d'affleurement, des marnes gypseuses gris brun-vert, toujours à lumachelle d'ostréidés, riche en foraminifères pélagiques appartient au santonien terminal.

La limite entre le Coniacien et le santonien correspond à peu à l'accroissement brutal des bancs de lumachelles.

C. Turonien moyen à Coniacien

Ce sont des marnes gris-verts (10 m) composent les niveaux visibles du turonien supérieur au Coniacien basal.

Sépare du Turonien inférieur par un banc de 1 mètre de calcaire noduleux lumachellique à huitre et autres bivalves, le Turonien moyen est épais d'environ 22 mètres et composés de marnes jaune-verdâtre avec, à mi- épaisseur et au sommet, des intercalations en bancs métriques de calcaires noduleux gris à bivalves.

5. Description tectonique et structurale :

L'Atlas saharien oriental est caractérisé par de puissants séries de Crétacé, plissées selon une direction SW-NE, percée par le Trias diapiriques et recoupées par des fossés d'effondrement de direction orthogonale à la direction du plissement. La région d'étude fait partie d'une structure dominée par le vaste pli atlasique, dont l'ellipse assez régulière, de grand axe N45 (figure 13). Ce pli est bordé au Nord-Ouest par le synclinal de Babouche lequel s'ouvre vers le nord -Est par sur la feuille de Chéria et se ferme au Sud-Ouest vers El Mazeraa.

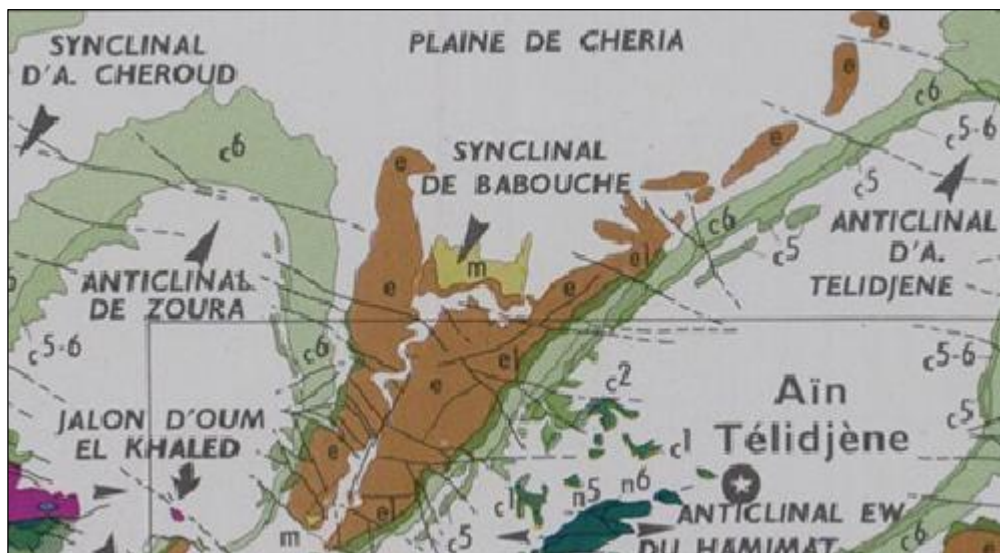


Figure 13 : schéma structurale de la région de Ain Babouche (extrait du schéma structural au 1/250000 « feuille n°265 »)

D'autres part ces plis sont venus former une succession de synclinaux et d'anticlinaux résultant des compressions néogènes, sont souvent interrompus par les accidents bordiers. L'âge exact de ces plissements est très discuté, il est compris entre l'Eocène et le Miocène marin.



Les décrochements sont assez nombreux, généralement dextres et cumulatifs, avec une orientation peu dispersée autour de N140, associée aux directions conjuguées correspondantes beaucoup moins nettement exprimés. Les plans stries sont partout aisément visibles dans le matériel carbonaté.

6. Conclusion :

La géologie de l'Algérie est le résultat de l'interaction complexe entre des processus tectoniques globaux et des dynamiques locales. La distinction entre le domaine cratonique stable au sud et le domaine actif au nord illustre la diversité géologique de la région. La chaîne atlasique et les différentes formations telliennes, flyschs et kabyliques témoignent d'une histoire géologique riche et complexe, influencée par la convergence des plaques tectoniques africaine et eurasiatique. Cette complexité offre une riche mosaïque de formations géologiques, rendant l'Algérie unique dans son contexte géologique.

La région est intégrée dans les hautes plaines, une zone caractérisée par des altitudes relativement élevées et une topographie ondulée.

Stratigraphie et Lithologie de la région révèle une succession de formations sédimentaires variées, comprenant des couches marneuses, calcaires et parfois des formations détritiques.

Les formations marneuses et calcaires dominent, témoignant d'un environnement de dépôt marin peu profond à certaines périodes géologiques. Structure Tectonique La région est influencée par la tectonique alpine, avec des plis et des failles résultant des mouvements compressifs qui ont affecté l'ensemble de l'Atlas.

Les principales structures tectoniques identifiées incluent des plis isoclinaux et des failles inverses, témoignant de l'activité tectonique significative durant le Cénozoïque

Chapitre II

Climatologie et

Hydrologie

. Climatologie:

1. Introduction:

Le climat joue un rôle crucial dans la modification de la surface du sol à travers des processus tels que l'érosion et l'altération. Ces processus peuvent influencer considérablement les caractéristiques hydrogéologiques du sol. L'étude des caractéristiques climatiques est essentielle pour quantifier divers paramètres hydrologiques, tels que la lame d'eau écoulée, la durée de récurrence des crues et l'évapotranspiration. Pour ce faire, on se base généralement sur deux paramètres principaux : les précipitations et la température.

Les précipitations fournissent l'eau nécessaire pour alimenter les cours d'eau et les réserves souterraines, tandis que la température influence l'évaporation de l'eau du sol et des surfaces, ainsi que la quantité d'eau absorbée et retenue par le sol. En combinant ces données, il est possible d'évaluer la disponibilité en eau, le bilan hydrique et d'autres aspects hydrologiques importants pour la gestion des ressources en eau et la planification des activités agricoles. Ainsi, une compréhension approfondie des caractéristiques climatiques est essentielle pour une gestion durable des ressources en eau et des terres, ainsi que pour l'évaluation des risques liés aux phénomènes hydrologiques extrêmes tels que les inondations et les sécheresses.

2. Aperçue climatique de l'Algérie:

Le climat de l'Algérie est de type méditerranéen, ce qui signifie qu'il est caractérisé par une période pluvieuse qui s'étend généralement de septembre à Mai, suivie par un été sec et ensoleillé. La diversité climatique en Algérie est le résultat de la combinaison complexe de facteurs tels que l'altitude, la distance par rapport à la mer, et la géographie locale, et elle contribue à la richesse de la biodiversité et des écosystèmes dans la région (figure 15).

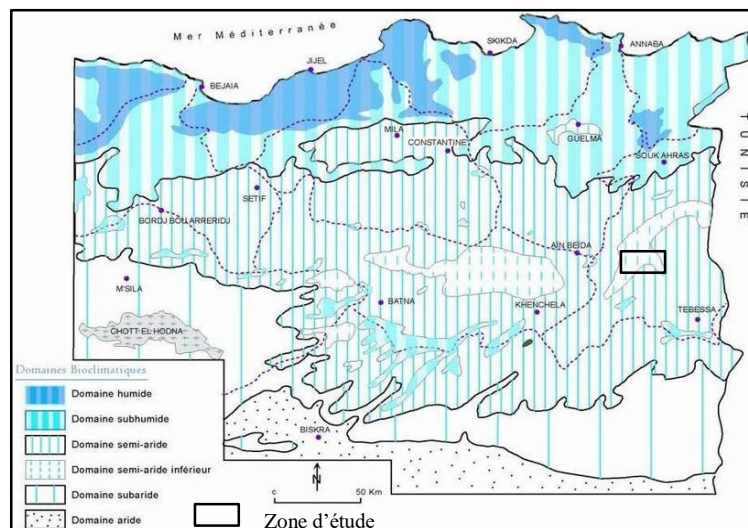


Figure 15 : Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien (établie d'après Côte M., 1998 a).

3. Caractéristique climatique de la région d'étude:

Les données de température et de pluviométrie utilisées dans ce chapitre sont issues de la base des données d'ARNH (Alger) et de la station météorologique de Tébessa.

La station, située à Chéria et à Aïn Babouche sont les plus proches de la zone d'étude et les chroniques enregistrées entre 1975 et 2014 permettent de dresser un bilan du contexte climatique de notre zone d'étude.

Le tableau (01) ci-dessous montre les coordonnées géographiques des stations météorologiques existant dans le bassin versant étudiée avec leurs principales caractéristiques compléter par une implantation géographique donnée sur la figure 38.

Tableau 01: Coordonnées Géographiques des stations de mesures

Station pluviométrique	Coordonnées (Lambert ; km)		Altitude (m)
	X	Y	
Aïn Babouche (hors service)	954.10	241.80	1175
Chéria	959.20	231.10	1087
Tébessa	994.50	248	850

4. Les paramètres climatiques de la région d'étude :

Elle est basée essentiellement sur les précipitations et la température.

4.1 La température:

La température est éléments clé qui interagisse avec d'autres facteurs météorologiques et biogéographiques pour régir divers processus hydrologiques. Ces interactions influencent directement sur des phénomènes tels que l'insolation, la vitesse et la turbulence du vent, les précipitations, l'évapotranspiration et les déficits d'écoulement annuels et saisonniers. Comprendre ces interactions est crucial pour évaluer les régimes hydrologiques, la disponibilité en eau et les impacts sur les écosystèmes et les sociétés humaines.

Les données de températures de la station météorologique de Tébessa, qui est la plus proche de notre région d'étude, nous à aider pour calculer le bilan hydrique sur une période allant de 1975 à 2014(tableau 02).

Tableau 02 : Températures moyennes mensuelles en °C à la station de Tébessa (1975-2014).

Mois Station	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Tébessa Aéroport 1975-2014	21,36	18,54	12,05	09,32	07,50	07,98	09,35	15,70	16,94	22,76	25,91	25,69

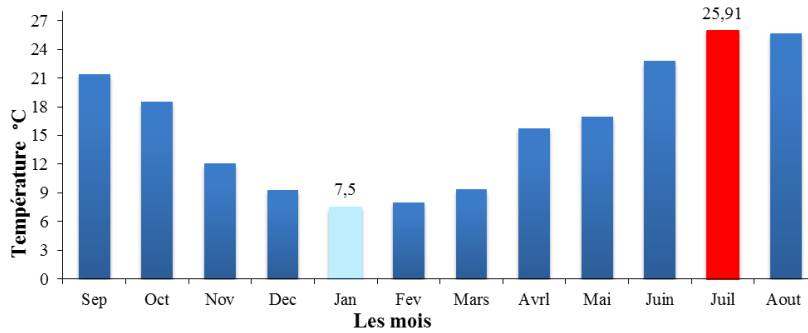


Figure 16: Répartition mensuelle des températures 1975 / 2014.

La représentation graphique des températures moyennes mensuelles (1975 -2014) montre que

- Le mois le plus chaud est le mois de Juillet (25,91°C) ;
- Le mois le plus froid est le mois de Janvier (07,50°C).
- D'autre part à l'échelle annuelle, une fluctuation thermique de faible amplitude donnant une certaine constance de l'allure générale (figure 17).
- La moyenne annuelle est de 16,09 °C
- L'année la plus chaude est l'année 2007-2008 avec une valeur maximale de 18.14 °C ;
- L'année la plus froide est celle de 1976-1977 avec une valeur minimale de 13.8 °C

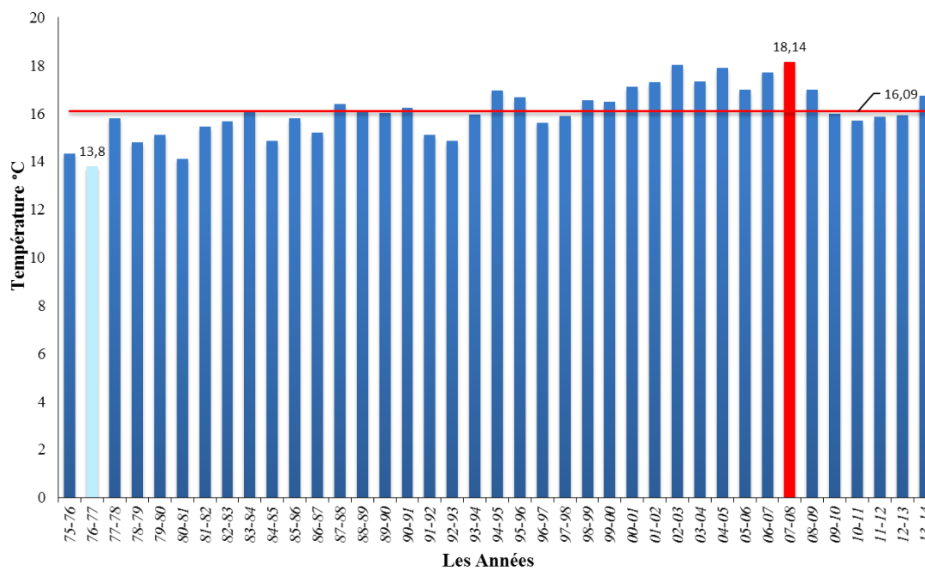


Figure 17: Les moyennes interannuelles de températures. (1975 / 2014)

4.3 Le vent

La vitesse du vent atteint des valeurs maximales pendant la saison du printemps, avec une moyenne d'environ 14 km/h. En revanche, elle atteint des valeurs minimales pendant la saison de l'automne, avec une moyenne d'environ 9 km/h (CHAMEKH ,2016).

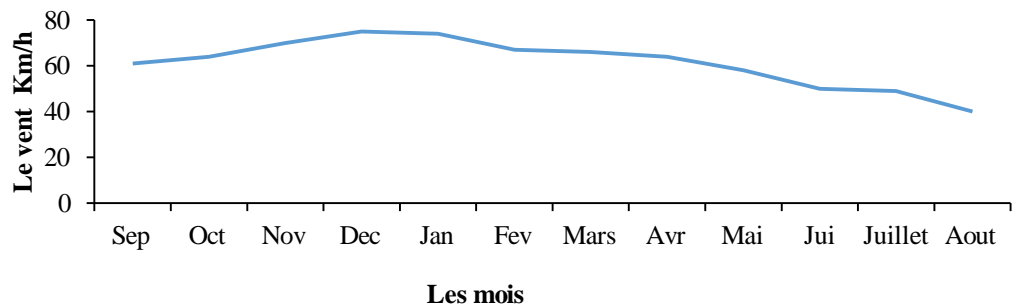


Figure 18: Vents mensuels interannuels (1982 - 2014).

Les vents prédominants dans la région d'étude sont caractérisés par deux directions saisonnières (d'après la station météorologique de Tébessa):

- Les vents de direction Ouest-Nord-Ouest «W-N-W» jouent un rôle important dans les précipitations en Hiver (du mois de novembre au mois d'avril).
- Les vents de direction sud, se sont le siroco, ils engendrant une forte évaporation et une sécheresse qui diminue l'humidité (du mois de mai au mois de juillet).

4.4 Humidité :

Les valeurs d'humidité varient entre 75% et 40% (figure 19), la comparaison entre la courbe du vent et l'humidité montre que cette dernière varie proportionnellement inverse avec le vent, cette relation est très favorable à la réalité.

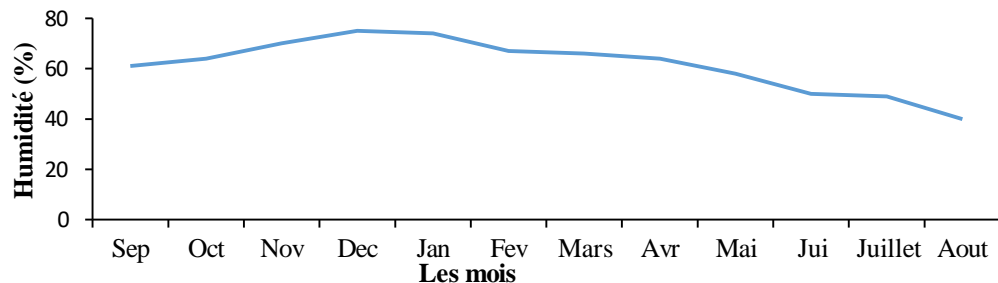


Figure 19: Humidité mensuelle interannuelle (1982 - 2014).

4.5 Les précipitations:

Les précipitations ont une importance vitale pour l'alimentation en eau des écosystèmes terrestres, y compris les réseaux hydrographiques et les systèmes aquifères. L'importance des précipitations peut ce résumé comme suit :

- Alimentation des réseaux hydrographiques : elles fournissent de l'eau aux cours d'eau, aux rivières. Ces sources d'eau douce sont cruciales pour l'irrigation agricole, l'approvisionnement en eau potable et d'autres utilisations humaines.
- Recharge des aquifères : Les précipitations s'infiltrent dans le sol et recharger les aquifères, qui sont des formations géologiques souterraines capables de stocker et de fournir de l'eau souterraine.

- Bilans hydriques : elles sont un élément clé des bilans hydriques, qui quantifier les entrées et les sorties d'eau dans un système hydrologique donné. En combinant les précipitations avec l'évaporation, l'évapotranspiration, les écoulements de surface et les flux souterrains, les experts peuvent évaluer l'état de l'eau dans une région, ce qui est crucial pour la gestion durable des ressources en eau.

L'Algérie est caractérisée par un climat de type méditerranéen, extra tropical tempéré, distingué par une longue période de sécheresse estivale (3 à 4 mois sur le littoral, 5 à 6 mois au niveau des hautes plaines et plus de 6 mois au niveau de l'atlas Saharien) ,(400 mm à 1000 mm de pluie par an).

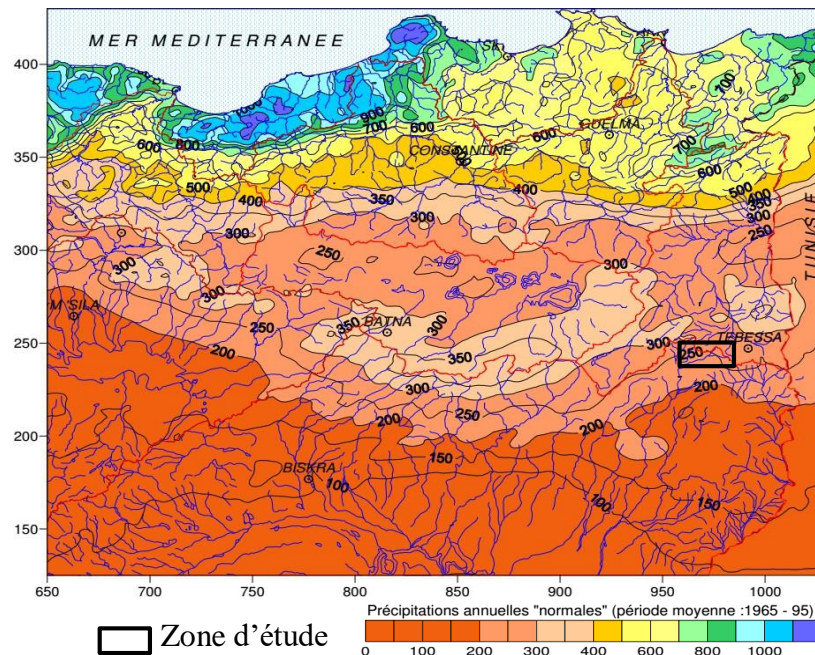


Figure 20 : Précipitations annuelles médianes « normales » (1965-95) (d'après étude ANRH-GTZ ,2003) In Azzedine Mebarki (*) et Jean-Pierre Laborde (**).

D'après la carte de répartition des précipitations (carte dressée par les ingénieurs et techniciens de l'A.N.R.H avec la collaboration scientifique de Jean Pierre Laborde) la région d'étude est caractérisée par une précipitation de l'ordre de 250 mm/an (figure 20).

Variations interannuelles des précipitations

L'étude des variations interannuelles des précipitation montrent que la stations a connues des périodes de sècheresses marquée par des précipitations généralement au-dessous des moyennes annuelles plus que des périodes de pluviosités (figures 21).

Les valeurs enregistrées les plus remarquables sont :

- L'année 1995, avec des précipitations exceptionnellement élevées atteignant jusqu'à 458,9 mm, peut être considérée comme une année très pluvieuse.
- En revanche, l'année 2002-2003 a enregistré une précipitation relativement faible, avec 170,9 mm/an.

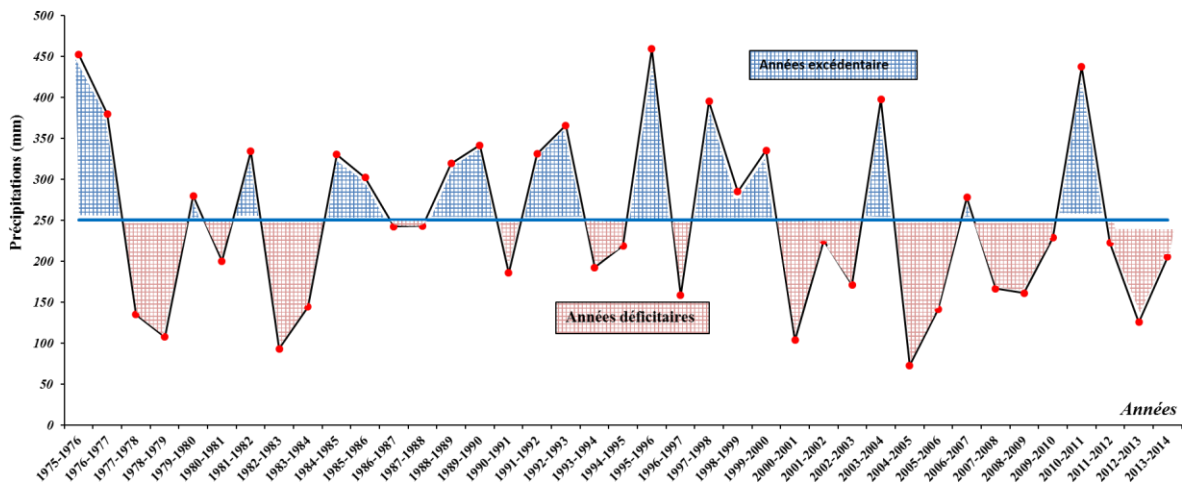


Figure 21: Les variation interannuelles des précipitations. (1975 / 2014)

Ces variations peuvent avoir des implications significatives pour les ressources en eau, les écosystèmes locaux et les activités humaines telles que l'agriculture.

Variations mensuelles des précipitations

L'étude de la courbe des variations mensuelles des précipitations sur une période de 39 ans (figure 22), montre que :

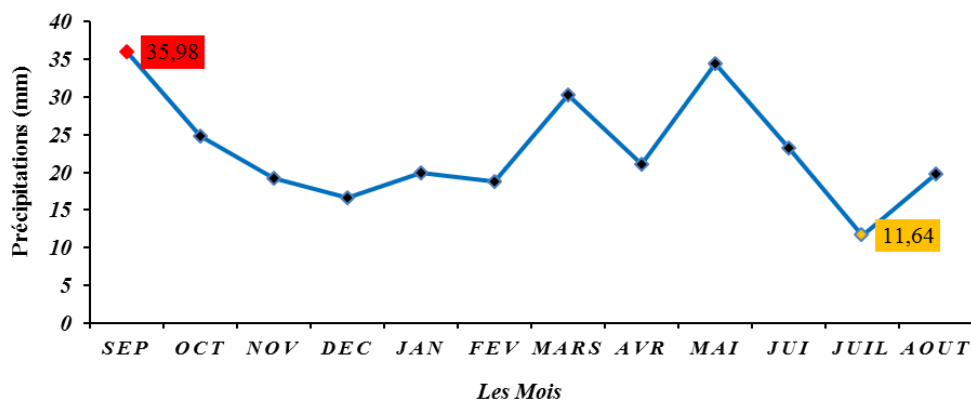


Figure 22: Les variation des moyennes mensuelles des précipitations. (1975 / 2014)

- Le mois de Juillet est le mois le moins arrosé avec une précipitation moyenne mensuelle de 11,64 mm.
- Le mois de Septembre est le plus pluvieux avec une précipitation moyenne mensuelle égale à 35,98 mm.

Mais il faut signaler que le mois de juin ou les mois de septembre ou octobre encadrant la saison sèche peuvent être le siège de très violents orages donnant des quantités importantes d'eau.

5. Type de climat :

5.1 Diagramme pluviothermique :

Pour la figure 23 (station de Chéria) montre deux saisons.

- La première est sèche qui s'étale du mois de Juin jusqu'au la première quinzaine de Décembre ;
- La seconde est humide qui commence à la mi-Décembre jusqu'au mois de Mai.

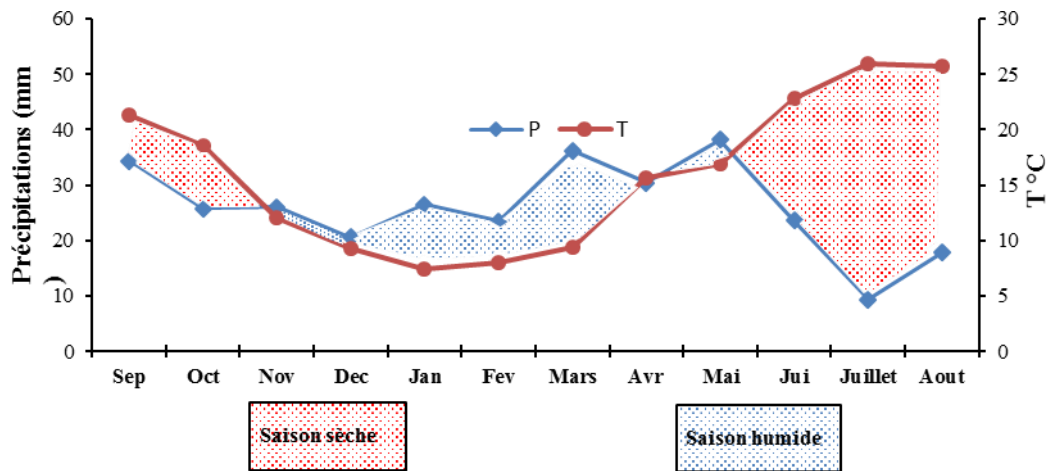


Figure 23 : Diagramme pluviothermique de la station de Cheria (1975- 2014).

5.2 Détermination du type de climat Par l'indice d'aridité :

Continentalité pluviale moyenne

La continentalité pluviale moyenne permet de définir le type de climat continental, elle s'exprime par le rapport (R) de la somme des coefficients pluviométriques relatifs mensuels des mois les plus chauds et la somme des mois les plus froids, on a alors la classification suivante :

$$I < R < 1,75 \quad \text{climat semi continentale}$$

$$R < 1 \quad \text{climat continentale}$$

- Calcul du coefficient pluviométrique

$$C_p = 365 \times P_i / P_n$$

P : précipitation, P_i : précipitation du mois du rang.

n : nombre de jours par mois, C_p : exprime le caractère plus ou moins pluvieux du

On peut écrire la formule précédente sous la forme :

$$C_p = k \cdot P_i / P.$$

Avec :

K : coefficient dépendant du nombre de jours du mois considéré.

Si : n=31 jours $k = 365/31 = 11,77$.

Si : n=30 jours $k = 365/30 = 12,16$.

Pour le mois de février 28 jours chaque trois ans et une fois 29 jours,

$$K = 365 / (28 \text{ jours} \cdot 3 \text{ ans} + 29) / 4 = 12,92.$$

Tableau 3: Coefficient pluviométrique de Chéria. (1975/2014).

Moi s	Saison humide						Saison sèche					
	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU T	SEP	OCT
Pi	20,77	17,36	20,11	19,55	31	22,35	36,24	24,20	11,99	19,75	36,51	24,87
K	12,16	11,77	11,77	12,92	11,77	12,16	11,77	12,16	11,77	11,77	12,16	11,77
Cp	00,98	00,79	00,92	00,98	01,41	01,05	01,65	01,14	0,55	00,90	01,72	01,13

Saison humide : Cp (sh) = 6,13

Saison sèche : Cp (ss) = 7,09

$$R = C_p(\text{sh})/C_p(\text{ss}) = 6,05 / 7,09 = 0,86$$

R<1 Climat continental.

Détermination du type de climat (Indice De Martonne) :

Pour la détermination du type de climat, De Martonne (1925) a proposé une formule climatologique appelée indice d'aridité qui est fonction de la température moyenne annuelle et des précipitations moyennes annuelles :

$$A = P / T + 10$$

Avec :

- **A** : indice d'aridité annuelle
- **P** : précipitations moyennes annuelles en mm.
- **T** : températures moyennes annuelles en mm.

Dans le cas de notre région A = 9,6. tel que P = 250,26mm et T = 16,09°C

Selon De Martonne :

Le résultat de l'indice d'aridité trouvé montre globalement que le climat est sec caractérisé par deux saisons l'une humide et froide et l'autre sèche et chaude (figure 25).

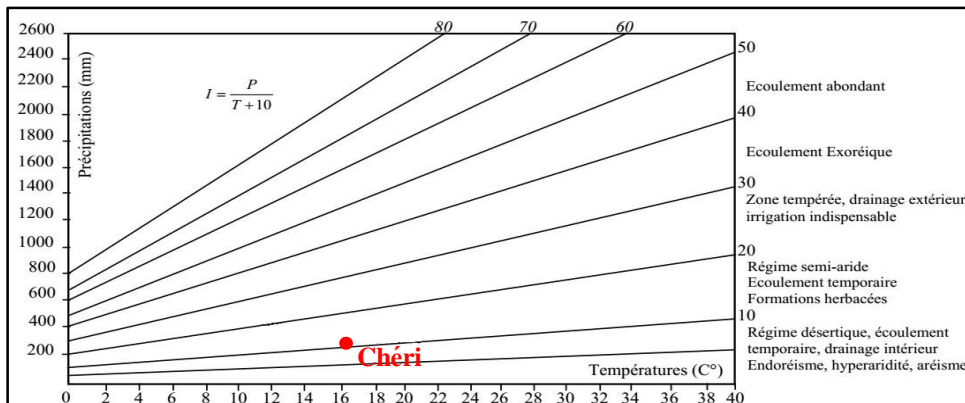


Figure 24 : Abaque de l'Indice d'aridité annuel de DE Martonne 1923

L'indice d'aridité mensuel (1923)

L'indice mensuel (i), donné par la formule :

$$I = 12.P/T + 10$$

Avec

P : moyenne mensuelle des précipitations en mm

T : moyennes mensuelle des températures en c°.

Cette équation définit l'évolution des conditions climatiques au cours de l'année, et son application donne les résultats suivant tableau 4.

Tableau 4 : Indice d'aridité mensuel.

Le mois de juillet présente un climat hyperaride, pareil pour le mois de juin qui présente un climat steppique. Alors que le mois d'août présente quant à lui un climat désertique, le climat semi-aride marque le reste des mois.

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Août
Cheria												
I	13,96	10,45	11,30	10,78	13,79	13,04	19,22	10,43	16,13	8,86	4,0	6,64

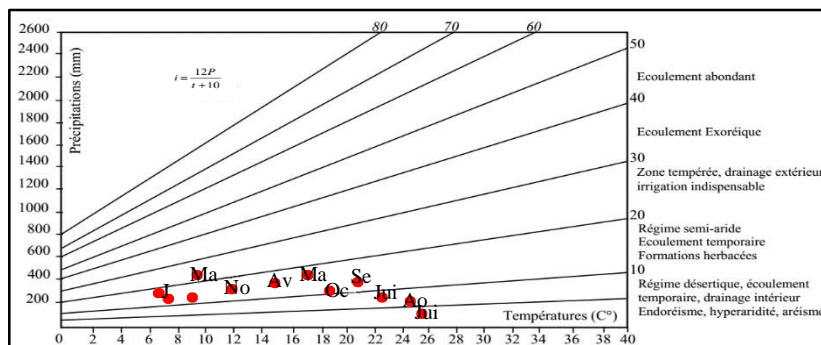


Figure 25 : Abaque de l'Indice d'aridité annuel de DE Martone

Variations saisonnières des précipitations

L'analyse des résultats présentée dans la figure 27 montre que la saison printanière est la plus pluvieuse avec 85,77 mm de précipitations soit 31,09% du total annuel. La saison estivale est la plus sèche, la pluviométrie enregistrée est la plus faible de l'ordre de 54,59 mm soit 19,79% de la totalité des pluies.

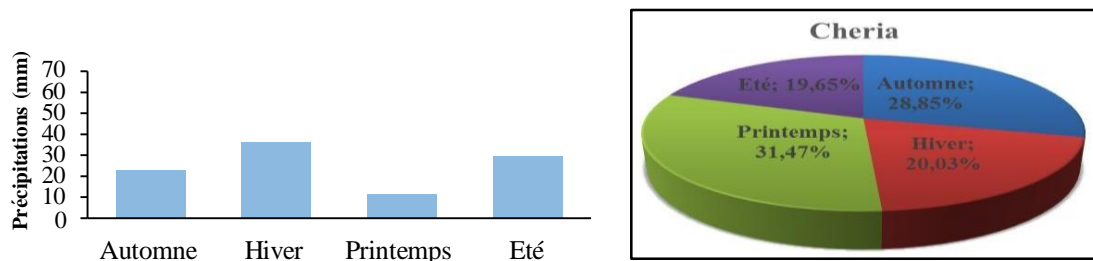


Figure 26 : Comparaison graphique entre la répartition saisonnière des précipitations station de Chéria (1975-2014).

Ce détail permet de visualiser les saisons pour lesquelles les sources reçoivent des entrées efficaces.

6. Établissement du bilan hydrique:

Les études hydrogéologiques nécessitent des données climatiques très importants parmi eux l'évapotranspiration (Borelli 2006), un facteur difficile à approcher et indispensable après les précipitations ; elle correspond à la somme de la quantité d'eau évaporée par suite d'un déficit hydrométrique de l'air et de la quantité d'eau transpirée par la végétation (conclusion des travaux du botaniste et climatologue Américain Thornthwaite sur la croissance des végétaux. (Brochet, Gerbier 1975). On distingue :

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.

Plusieurs méthodes ont été utilisées pour le calcul de ce paramètre.

a- Evapotranspiration réelle annuelle moyenne (ETR) :

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

➤ Formule de L. TURC annuelle :

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

P : Précipitations annuelles moyennes en (mm)

L = 300 + 25T + 0.05T³ où T est la température annuelle moyenne en ° C.

Station	P (mm)	ETR (mm)
Chéria	250,22	252,74

➤ Formule A. Coutagne :

Donnée comme suit : $ETP = P - \lambda P^2$

Cette formule n'est valable que lorsque les précipitations sont comprises entre 12 et 18 de λ .

Avec : $\lambda = \frac{1}{0.8+0.2T}$

T : température moyenne annuelle en °C.

Cette formule n'est pas applicable pour la région d'étude puisque la condition de départ n'est pas vérifiée.

➤ Formule de G.W Thornthwaite

Pour l'estimation de l'ETP, on utilise la formule de Thornthwaite.

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

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

$$i = \left[\frac{T}{5} \right]^{1,514} \quad I = \sum_{1}^{12} \dot{u} \quad \text{avec} \quad a = \left(\frac{1,6}{100} \right) I + 0,5$$

T : Température moyenne du mois considère en °C

ETP : Évapotranspiration potentielle du mois considéré en mm

K : coefficient de correction de la latitude, I : indice thermique annuel.

I : indice thermique mensuel.

F(λ) : 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.

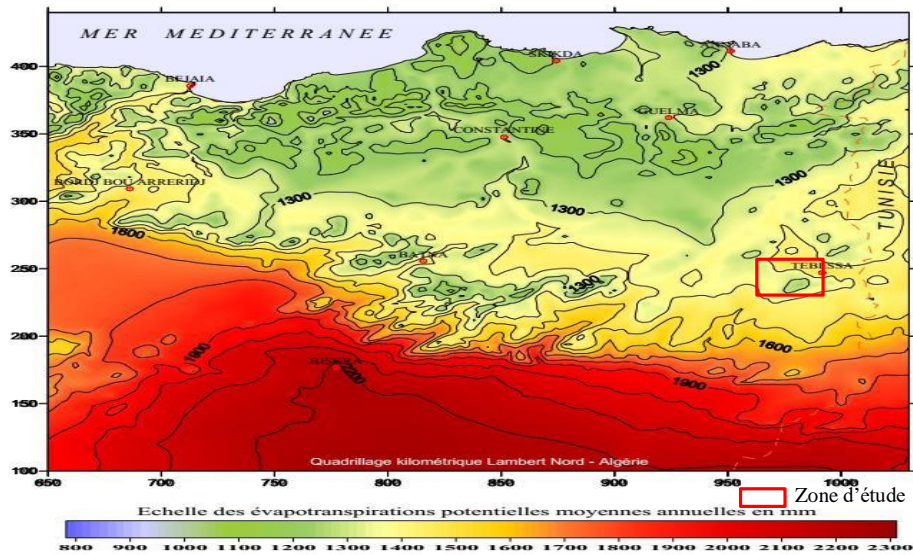


Figure 27 : Carte d'évapotranspiration potentielle moyenne annuelle de l'Est algérien (in Mebarki 2002).

Selon la figure 28 la région d'étude est distinguée par une évapotranspiration potentielle moyenne annuelle de l'ordre de 1300 à 1400 mm.

Tableau 5: Résultats de calcul de l'ETP par Thornthwaite.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jul	Aut
ETP_c	97,68	72,31	30,82	19,68	13,91	15,12	23,97	61,26	77,39	127,84	161,99	150,52

Pour le calcul de l'ETR, on a utilisé la méthode de Thornthwaite où on distingue deux cas principaux :

Si : P – ETP > 0 ; c'est - a - dire P > ETP => ETR = ETP. > ETP => ETR = ETP.

Si : P – ETP < 0 ; c'est - a - dire P < ETP ; ce cas est subdivisé en deux cas :

$$\text{Si : } P + \text{RFU} > \text{ETP} \Rightarrow \text{ETR} = \text{ETP}.$$

$$\text{Si : } P + \text{RFU} < \text{ETP} \Rightarrow \text{ETR} = P + \text{RFU}.$$

Estimation des réserves facilement utilisées R.F.U.

Elle présente la quantité d'eau emmagasinée dans le sol, son degré de saturation dépend de plusieurs facteurs :

- La nature, la lithologie et l'épaisseur de la couche superficielle ;
- La profondeur du niveau piézométrique de la nappe aquifère ;
- Le climat de la région ;
- Le type de la couverture végétale.

Elle est donnée par la formule de J. Richard 1979.

$$\text{R.F.U} = \frac{1}{3}(\text{Da} \cdot \text{He} \cdot \text{P})$$

Où:

R.F.U : Réserve facilement utilisable.

Da : Densité apparente du sol.

He : L'humidité équivalente du sol (capacité de rétention).

P : Profondeur de la couche de la terre par Courier par les racines en (mm).

•Application numérique :

$$\text{Da} = 14, \text{He} = 0.25, \text{P} = 25 \text{ mm} \quad \text{D'où:}$$

$$\text{RFU} = \frac{1}{3} (14 \cdot 0.25) = 29.0 \text{ mm}$$

4.1. Bilan hydrique

Cette méthode permet d'établir un bilan hydrique à l'échelle mensuelle.

L'évapotranspiration potentielle (ETP) et réelle (ETR) sont définies en fonction des pluies, de la température et de la latitude en tenant compte de la variation mois par mois de la réserve facilement utilisable (RFU).

- T : température mensuelle en °C,
- Pr : précipitation mensuelle en (mm) ;
- i : indice thermique ;
- RFU : réserve facilement utilisable en (mm) ;
- k : coefficient de latitude ;
- ETR : évapotranspiration réelle en (mm) ;
- ETP : évapotranspiration potentielle en (mm) ;
- Def : déficit agricole en (mm) ;
- BH : Bilan Hydrique ;
- EXC: excédent en (mm) ;

L'analyse du bilan hydrique de la station de Chéria, couvrant les années de 1975 à 2014, révèle plusieurs caractéristiques importantes des précipitations et de leur variabilité au cours des mois et des années.

Les moyennes des précipitations mensuelles sont calculées en prenant en compte tous les jours du mois, qu'ils soient pluvieux ou non. Cela donne une image globale des précipitations, mais peut également diluer l'impact des jours réellement pluvieux.

Les mois déficitaires en précipitations (ceux où les précipitations sont inférieures à la normale) sont généralement plus nombreux et plus significatifs que les mois excédentaires (ceux où les précipitations dépassent la normale). Cela indique une tendance vers des périodes de sécheresse plus fréquentes ou plus prononcées.

Tableau 6 : Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite. Station de Chéria (1975/2014).

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aout	Total
T.C°	21,36	18,55	12,05	9,33	7,5	7,98	9,35	15,71	16,95	22,77	25,92	25,69	193,16
i	9,01	7,27	3,79	2,57	1,85	2,03	2,58	5,66	6,35	9,92	12,07	11,92	75,04
I	75,04												
A	1,81												
K	1,03	0,97	0,86	0,85	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	/
P	36,51	24,87	20,77	17,36	20,12	19,55	31	22,36	36,24	24,21	11,99	19,75	284,73
ETPc	97,68	72,31	30,82	19,68	13,91	15,12	23,97	61,26	77,39	127,84	161,99	150,52	852,49
P-ETP	-61,17	-47,44	-10,05	-2,32	6,21	4,43	7,03	-38,9	-41,15	-103,63	-150	-130,77	/
ETR	36,51	24,87	20,77	17,36	13,91	15,12	23,97	40,03	36,24	24,21	11,99	19,75	
RFU	00	00	00	00	6,21	10,64	17,67	00	00	00	00	00	00
DA	61,17	47,44	10,05	2,32	00	00	00	21,23	41,15	103,63	150	130,77	567,76
EXE	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00

$$P = \sum ETR + \sum EX = 228,4 + 0 = 228,4 \text{ mm / vérifiée.}$$

$$ETP = \sum ETR + \sum DA = 228,4 + 609,4 = 837,8 \text{ mm / vérifiée.}$$

L'analyse des données de précipitations de la station de Chéria sur cette période de 39 ans met en évidence une prédominance des mois déficitaires en précipitations, une grande variabilité interannuelle et des impacts significatifs sur les bilans hydriques. Ces observations sont cruciales pour la gestion des ressources en eau et la planification des activités agricoles et économiques dans la région.

Tableau 7 : Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite. Station de Cheria (1995/1996).

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aout	Total
T.C°	21,36	18,55	12,05	9,33	7,5	7,98	9,35	15,71	16,95	22,77	25,92	25,69	193,16
i	9,01	7,27	3,79	2,57	1,85	2,03	2,58	5,66	6,35	9,92	12,07	11,92	75,04
I	75,04												
A	1,81												
K	1,03	0,97	0,86	0,85	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	/
P	60,2	68,1	25,3	18,7	38,2	69,3	64,6	28,7	30,4	27,8	6,5	21,1	284,73
ETPc	97,68	72,31	30,82	19,68	13,91	15,12	23,97	61,26	77,39	127,84	161,99	150,52	852,49
P-ETP	-37,48	-4,21	-5,52	-0,98	24,29	54,18	40,63	-32,56	-46,99	-100,04	-155,49	-129,42	/
ETR	60,2	68,1	25,3	18,7	13,91	15,12	23,97	57,7	30,4	27,8	6,5	21,1	
RFU	00	00	00	00	24,29	29	29	00	00	00	00	00	
DA	37,48	4,21	5,52	0,98	00	00	00	3,56	46,99	100,04	155,49	129,42	
EXE	00	00	00	00	00	49,47	40,63	00	00	00	00	00	90.1

RFU = 29 mm

$$\Sigma P = \Sigma ETR + \Sigma Exc \rightarrow 458,9 = 368,8 + 90,1$$

$$\Sigma ETP = \Sigma ETR + \Sigma Def \rightarrow 852,49 = 368,69 + 483,69$$

Nous constatons que les résultats issus du bilan hydrique sont vérifiés.

Estimation du ruissellement

La méthode de Tixeront-Berkaloff permet le calcul du ruissellement, le raisonnement tenu par les deux auteurs est le suivant :

- lorsque les précipitations augmentent, le ruissellement tend à égaler les précipitations déduction faite de l'évapotranspiration plafonnée à la valeur de l'évapotranspiration potentielle.
- lorsque les précipitations tendent aussi vers zéro, le ruissellement tend aussi vers zéro, et le rapport de ruissellement à la pluviométrie tend vers zéro.

Le défaut de la méthode est qu'elle ne tient pas compte de la nature des sols ou des formations traversées.

La formule est :

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

Calcul du ruissellement.

P(mm)	ETP(mm)	R(mm)	R (%)
284,73	852,49	7,78	3,02%

Estimation de l'infiltration

Selon la méthode de Thornthwaite :

$$EXE=R+I \Rightarrow I=EXE-R$$

EXE(mm)	R(mm)	I(mm)	I (%)
24,09	7,78	16,31	6,34%

7. Conclusion :

Le contrôle des données de précipitation de la station de La région de Chéria est soumis à un climat semi-aride avec un été chaud et sec prolongé et un hiver froid, avec des précipitations d'une moyenne qui ne dépasse pas 250 mm/an, Les cinq dernières d'années Les calculs du bilan hydrique en utilisant la méthode de Thornthwaite montre que les bilans globaux sont généralement déficitaires. L'année 1995/1996, est la plus pluvieuse avec 284,73 mm/an. Tandis que l'année 2004 et moins pluvieuse avec 72.6mm/an.

Le mois de juillet est le sec, en l'occurrence le mois de septembre est le plus arrosé. Pour la même période d'étude le mois le plus chaud est le mois de Juillet (25,91°C) et le mois le plus froid est le mois de Janvier (07,50°C). Les moyennes interannuelles des températures avoisinent les 16.09°C. Dans l'ensemble,

le bilan hydrique est déficitaire ; l'évapotranspiration réelle moyenne est d'environ 252,74mm/an,

le ruissellement est faible, correspondant et du total des précipitations. Mais l'infiltration est négative.

B. Hydrologie :

1. Introduction :

Le régime hydrographique du plateau de Chéria diffère considérablement entre le nord et le sud. Au nord, les oueds convergent depuis les bordures vers la cuvette avec de nombreux talwegs. Deux oueds principaux collectent les eaux de pluie et les drainent vers le centre de cette partie du plateau. Oued Blilia suit une trajectoire depuis Djebel Tazbent vers la route de Chéria, El Hammamet (NE-SW).

Oued Troubia part de Djebel Troubia, parcourt environ 15 kilomètres et se perd dans la plaine de Bir Djelmda, sauf pendant les périodes de grandes crues où son écoulement peut atteindre la ville de Chéria. Ces grandes crues provoquent des inondations dans la ville, ce qui a conduit les autorités à construire une digue de protection autour de la ville, déversant l'eau dans l'Oued Chéria. Ce dernier sert de canal d'évacuation jusqu'au défilé de Mazraa, encadré par deux vallées affluentes : à l'ouest, Oued El Allouchet et à l'est, Oued Tbagga. Tous les oueds, à l'exception de Chéria, sont intermittents et n'ont pas d'intérêt significatif.

Dans les années soixante-dix, plusieurs sources alimentaient le réseau hydrographique de bassin, mais elles ont disparu en raison de la sécheresse et de l'exploitation excessive des sources du nord : Tazbent, Oglat Eddieb, Gueriene et Bouchguifa, ainsi que celles du sud : Chéria et Ain Babouche.

2. Étude des caractéristiques physiques du bassin versant :

Ces paramètres peuvent être utilisés pour déterminer la vulnérabilité d'un écosystème à des variations hydrologiques. Ils peuvent également être utilisés pour influencer les politiques d'aménagement et de protection de l'environnement.

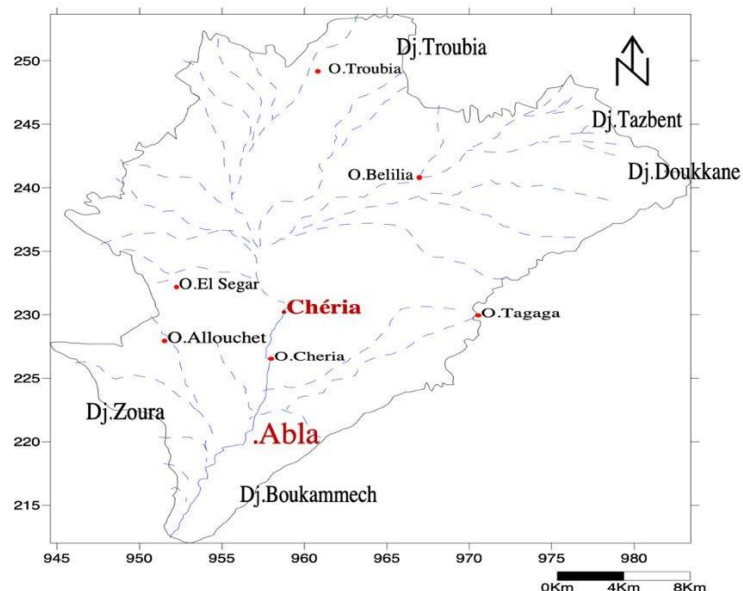


Figure 28: Réseau hydrographique du plateau de Chéria

2.1 Délimitation du bassin versant :

Chaque bassin versant est défini par une ligne de partage des eaux, également appelée ligne de partage des bassins versants. Cette ligne marque la frontière entre deux bassins versants adjacents, où les eaux de ruissellement s'écoulent soit vers un côté de la ligne, soit vers l'autre, en fonction de la topographie.

Les caractéristiques hydrologiques d'un bassin versant sont essentielles pour comprendre le comportement d'un cours d'eau et pour la gestion des ressources en eau. Elles comprennent des paramètres tels que la taille du bassin versant, la forme du bassin, le type de sol, la végétation, le climat et les précipitations. Toutes ces variables interagissent pour déterminer le débit et le comportement hydrologique du cours d'eau et de ses affluents. La connaissance des bassins versants est cruciale pour la planification et la gestion des ressources en eau, notamment pour la prévision des crues, la gestion des ressources en eau, la protection de l'environnement et la conception de projets d'aménagement du territoire. Les cartes topographiques, avec leurs lignes de crête et de partage des eaux, sont des outils essentiels pour délimiter et étudier ces bassins versants.

2.2 Analyse des caractéristiques géométriques :

Tableau 8 : Les caractéristiques géométriques .

Les paramètres géométrique	Les formules	Les Résultats	Les remarque
La superficie	(S) Déterminée par planimétrie sur une carte topographique	810 km ²	/
Le périmètre	(P) Déterminée par planimétrie sur une carte topographique	136 km	/
L'indice de compacité	$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}}$	1,34	Le bassin versant de Chéria a une forme généralement étalée.
La longueur (L)	$L = \frac{Kc \sqrt{A}}{1,12} [1 + \sqrt{1 - [\frac{1,12}{Kc}]^2}]$	52,745 km	/
La largeur (l)	$l = \frac{Kc \sqrt{A}}{1,12} [1 - \sqrt{1 - [\frac{1,12}{Kc}]^2}]$	15,357 km	/

3. Courbe hypsométrique :

Le relief du bassin versant de l'oued Chéria est caractérisé par sa courbe hypsométrique, qui illustre la répartition de la surface en fonction des tranches d'altitude. Dans cette représentation, les tranches d'altitude sont indiquées sur l'axe des ordonnées, tandis que sur l'axe des abscisses, on trouve la surface du bassin pour laquelle chaque point correspond à une altitude au moins égale à celle représentée. Les valeurs en abscisse sont exprimées en pourcentage de la surface totale du bassin.

Le tableau présente la répartition altimétrique du bassin versant de l'oued Chéria, tandis que la courbe hypsométrique montre une allure généralement irrégulière, ce qui indique une variabilité significative des altitudes à travers le bassin.

Tableau 9 : 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

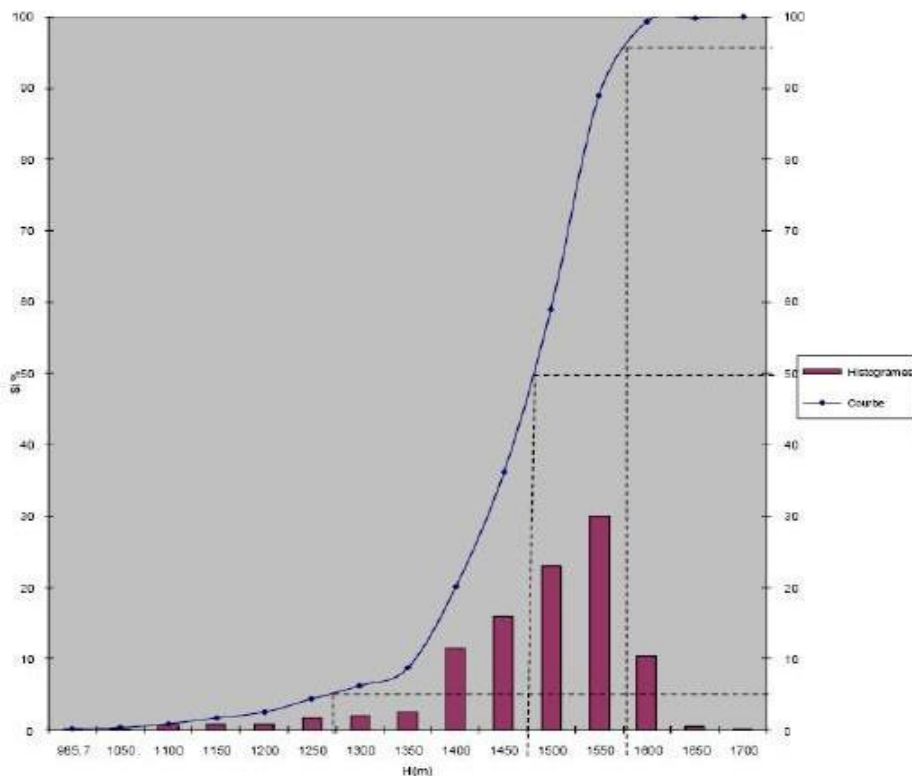


Figure 29 : Courbe hypsométrique et des fréquences altimétriques

A partir de cette courbe, on détermine:

-Altitude à 5 % de la surface, $H = 1275\text{m}$; -Altitude à 50 %, $H = 1475\text{m}$; -Altitude à 95 % $H = 1575\text{m}$

De la surface, $H_{95} = 1575\text{m}$;

L'altitude du bassin versant de Chéria varie entre 985.70 m et 1712 m.

3. Rectangle équivalent:

Il s'agit d'une transformation purement géométrique dans laquelle.

-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 des petites côtes du rectangle.

La longueur L et la largeur I sont données par:

Donc on aura: $L = 52,745\text{ km}$; $I = 15,357\text{ km}$

$$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right] \quad ; \quad I = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right]$$

4. Conclusion :

Les lignes de crête bordant ce bassin sont bien définies et forment une structure triangulaire, avec la base située au nord et les sommets à l'est et à l'ouest. La région est une zone inondable, sensible aux crues. L'Oued Chéria est utilisé comme un canal évacuateur, ce qui peut s'expliquer par la superposition de l'axe d'effondrement sur l'axe de l'oued, en raison de l'écoulement rapide le long des fissures. Cette irrégularité dans le régime des précipitations influence directement le phénomène de "battement des nappes", c'est-à-dire la variation du niveau des nappes phréatiques.

Le climat de la région est caractérisé comme semi-aride, ce qui se traduit par un été chaud et sec prolongé, ainsi qu'un hiver froid. Pendant les mois de décembre et janvier, des chutes de neige sont fréquentes et peuvent couvrir les montagnes pendant plusieurs semaines. Cette variation saisonnière entre un été chaud et sec et un hiver froid avec des chutes de neige contribue à définir le caractère semi-aride du climat de la région.

Chapitre III

Hydrogéologie

1.Introduction:

Dans cette section, nous avons eu recours à diverses méthodes d'investigation afin de déterminer certains paramètres, tels que le sens d'écoulement et les conditions limites.

Les recherches antérieures sur la stratigraphie du plateau ont permis de définir les horizons aquifères ainsi que leur composition lithologique.

Quatre aquifères distincts ont été identifiés :

- L'aquifère des calcaires maastrichtiens.
- L'aquifère des calcaires éocènes.
- L'aquifère Le Mio-Plio-Quaternaire.

2. Description la nature des nappes aquifères :

La compréhension des interactions entre les différentes formations géologiques et les aquifères est cruciale pour une gestion efficace des ressources en eau souterraine. Voici quelques raisons pour lesquelles cette compréhension est si importante :

2.1 Aquifère des calcaires maastrichtiens:

Cette formation qui affleure aux bordures a été mise en évidence par l'investigation de sondages mécaniques, qui ont montrés que cette formation était aquifère à la périphérie et présentait de bonnes potentialités, avec présence de drains importants (débits importants et faibles rabattements).

Au centre, cette formation ne présente pas les mêmes indices que les bordures, en effet, il n'y a pas de pertes de fluide de circulation (boue de forage) lors des opérations de réalisation des sondages (Fig. 25). Nous ne pouvons avancer aucune affirmation pour ce qui est des potentialités hydriques du niveau maastrichtien dans le centre du bassin,

En raison du faible nombre de forage d'exploration qui ont atteint un niveau au-delà du niveau marneux dano-montien.

2.2 Aquifère des calcaires éocènes:

Ce niveau constitué de calcaires, reposant sur les marnes suscitées, est notre principal réservoir étudié, il est aussi celui qui fait l'objet de la plus grande part d'exploitation pour les besoins (agricoles et urbains) de la région de Chéria.

Le caractère aquifère de ce niveau et ses potentialités, ont été mis en évidence, par les nombreuses opérations de forages dans cette région. En effet les nombreux phénomènes de pertes de boue et même de chute d'outils ont mis en évidence l'existence de niveaux fissures et karstifiés. La fissuration étant plus développée (karst) dans la partie supérieure (jusqu'à 50m).

Dans notre cas, et par rapport à la problématique traitée, c'est-à-dire l'effet de la variabilité climatique sur l'évolution de l'aquifère karstique Éocène, nous avons tenté une approche de suivi de cette aquifère sur une certaine période et de corrélérer l'évolution à celle de la recharge, les précipitations.

2.3 Aquifère Le Mio-Plio-Quaternaire :

Constitué de deux niveaux différents, cet aquifère est composé d'un niveau sableux d'âge Miocène, avec un niveau de graviers et de sable quartzeux.

Les formations alluvionnaires, formées de cailloutis fluviaux et de formations de piedmont, qui appartiennent au Quaternaire, ont une extension assez importante sur le plateau de Chéria. Ce niveau joue un rôle tampon dans l'alimentation des aquifères sous-jacents (Éocène et Maestrichtien).

Ce niveau a longtemps constitué le réservoir exploité dans l'activité agricole avec des puits relativement peu profonds (20 m), l'effet de la sécheresse qui a sévi et une demande sans cesse croissante a entraîné un abaissement progressif et continu du niveau d'eau jusqu'à l'assèchement de la majorité de ses puits.

Cet assèchement a eu pour conséquence, l'abandon de la majorité des puits domestiques ou leur développement en forages profonds, atteignant ainsi le niveau des calcaires Éocène.

Enfin notons que la structure globale se présente sous forme de synclinal perché.

3. Les contraintes aux limites:

Les calcaires éocènes sont en contact direct avec les alluvions quaternaires aquifères (figure 31 et 32, qui ont tendance à drainer les calcaires maestrichtiens. Cette interaction crée une limite perméable d'alimentation. Si l'on interrompt le flux d'alimentation provenant d'Outa Oum Khaled, situé vers le sud, il est nécessaire de prendre en compte la possibilité d'une fuite souterraine dans cette direction.



Figure 30: Carte des conditions aux limites; (modifiée en 2016). (Baali.F;2006).

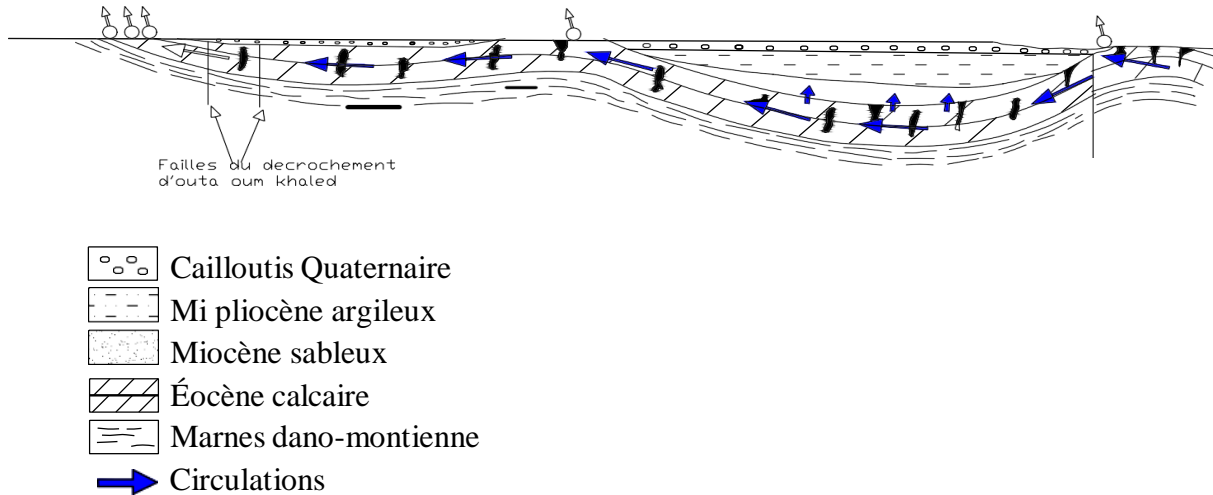


Figure 32: schéma théorique montrant les relations entre les aquifères au sud de Chéria

4. Les colonnes lithologiques

Les colonnes lithologiques révèlent une série des couches sédimentaires allant de la surface jusqu'à une profondeur qui peuvent atteindre 260 m

Ces colonnes nous aident beaucoup à mieux comprendre l'évolution du chimisme d'eau dans la région d'étude;

Ils traversent les différentes formations existantes dans la région de Ain Babouche qui commence par des formations superficielle (sol brun), des sables, des calcaires compact et fissures ,des marnes et des argiles.

Les figures ci-dessous (figure 33) expriment clairement la variation des formations traversés,

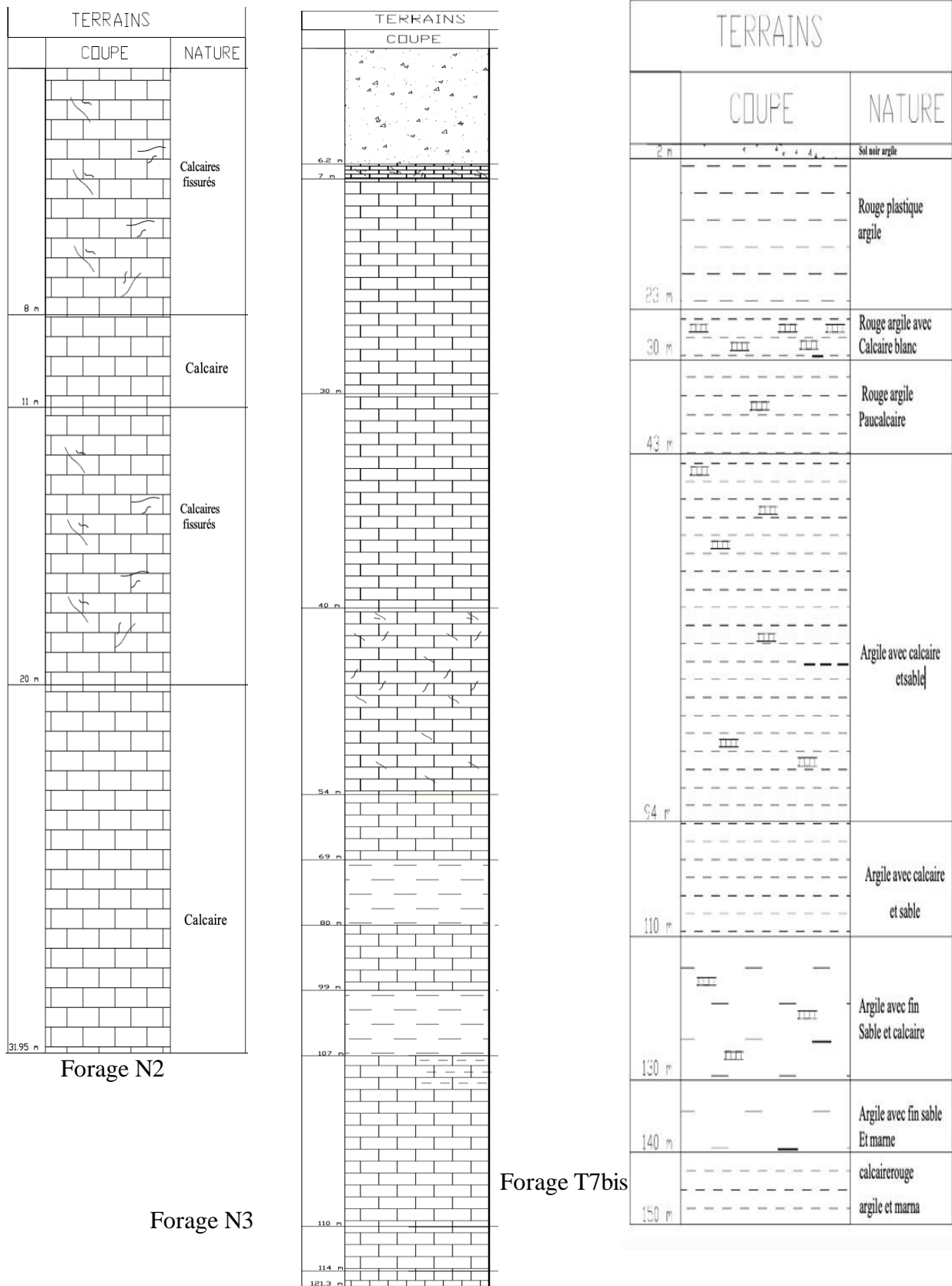


Figure 33 : les colonnes lithologiques des forages dans la région de Ain Babouche

5. Conclusion :

Notre région d'étude fait partie du plateau de Chéria, qui est constitué essentiellement de trois aquifères. Le premier est caractérisé par les calcaires Maastrichtiens, qui sont perméables aux bordures et stériles au centre. Le second, le plus important pour la région et sa périphérie, est constitué des calcaires de l'Éocène, avec une épaisseur variant de quelques dizaines à deux centaines de mètres. Le troisième aquifère, le Mio-Plio-Quaternaire, a perdu de son intérêt hydraulique en raison de la sécheresse aiguë des dernières décennies.

L'absence de normes et de réglementation précise a engendré une anarchie dans l'implantation des ouvrages de captage (forages et puits) pendant plusieurs années. La présence de calcaires fissurés peut indiquer de bons aquifères, mais aussi des risques de contamination des eaux souterraines par des polluants. Ingénierie et construction :, nécessitant des études supplémentaires pour évaluer les risques. Exploration minière, La présence de fractures peut faciliter l'extraction des ressources minérales, mais aussi nécessiter des techniques spécifiques pour assurer la sécurité des opérations.

En résumé, l'interprétation d'une coupe lithologique implique une analyse détaillée des caractéristiques géologiques des différentes couches.

Chapitre IV

Hydrochimie

1. Introduction:

L'étude de la chimie des eaux souterraines est un élément essentiel de l'hydrogéologie, apportant une contribution précieuse à cette discipline. Elle constitue une méthode simple de prospection qui vient efficacement compléter les cartes piézométriques. Cette approche permet de comparer les différentes eaux entre elles et de résoudre divers problèmes liés à l'alimentation, au drainage et à l'écoulement, notamment pour une couche aquifère donnée ou une structure hydrogéologique spécifique (Castany, 1968). Les eaux souterraines renferment une teneur en substances minérales dissoutes d'origine naturelle géologique, ce que l'on appelle le "bruit de fond" (Castany, 1982). Cette composition résulte d'un ensemble de mécanismes d'interaction entre l'eau et le réservoir, incluant la dissolution, la précipitation et les échanges ioniques. L'objectif est d'obtenir des informations permettant de reconstituer le cheminement géochimique ayant conduit à la qualité actuelle des eaux. Il est important de noter que les phénomènes hydrogéologiques et hydrochimiques sont étroitement liés. Le choix de la méthode pour caractériser et classer les eaux souterraines dépend de divers facteurs, notamment la qualité et la quantité des données disponibles, leur répartition dans l'espace et dans le temps, ainsi que le type de problème à étudier. Dans cette partie, nous aborderons la caractérisation hydrochimique des eaux souterraines karstiques et la détermination de l'origine éventuelle de la pollution.

2. Analyses hydrochimiques :

Ces analyses concernent la qualité ainsi que la répartition spatiale des variables mesurées dans la région de Ain Babouche. Elles servent également à déterminer l'origine des éléments chimiques présents dans les eaux souterraines. Dans cette section, nous examinerons les résultats des analyses physico-chimiques pour la période d'étude Mai 2024. 09 prélèvements des eaux souterraines sur la zone d'étude ont été prélevés (figure 34):

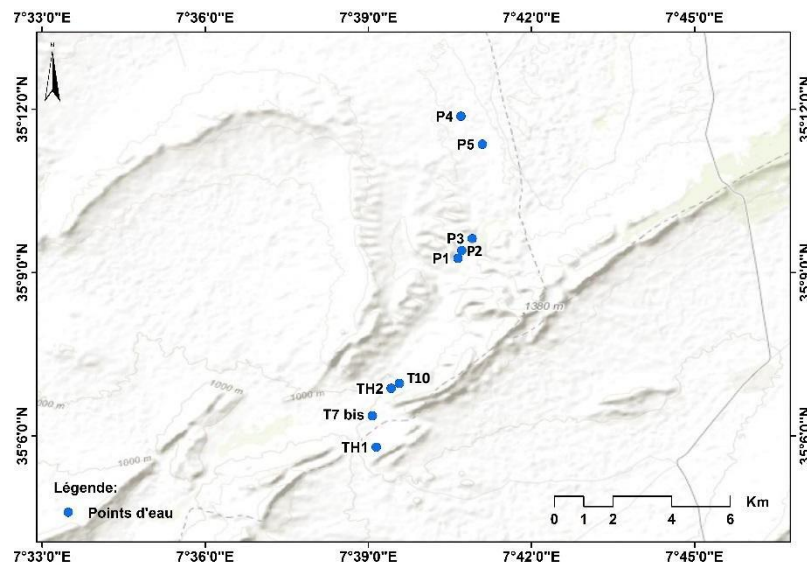


Figure 34 : Carte d'inventaire des points de prélèvements dans la région de Ain Babouche

3. Les paramètres physico-chimiques

3.1 Les paramètres physiques:

Le tableau 10 ci-dessous montre les variations des paramètres physiques de la région d'étude (max ,min et moyen).

Variable	Unité	Minimum	Maximum	Moyenne	Normes Algérienne	OMS
Cond	µs/cm	480	2016	1270,77	28000	400
Salinité	/	0	1,1	0,51	/	/
TDS	mg/l	275	1230	733,33	/	/
PH	/	6,38	7,9	7,41	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5

A- Température

La connaissance précise de la température de l'eau est cruciale, car elle influence plusieurs aspects, notamment la solubilité des sels et des gaz, ainsi que la dissociation des sels dissous. La température impacte la cinétique et l'équilibre des réactions chimiques et physiques qui se produisent dans l'eau. La température des eaux souterraines dans la région varie entre 21.1 et 19.2 °C. Ces valeurs reflètent un aspect des températures atmosphériques moyennes observées dans les régions arides à semi-arides.

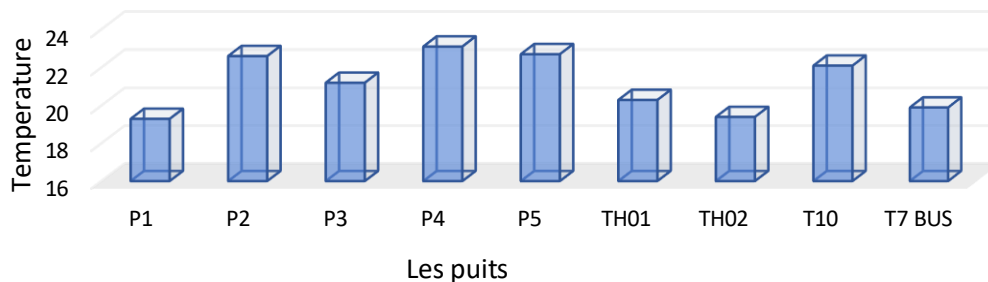


Figure 35 : Évolution de la température dans les eaux souterraines de la région de Ain Babouche.

B- Potentiel hydrogène PH:

La détermination de l'alcalinité et de l'acidité des eaux repose souvent sur la mesure du pH, qui est le cologarithme du nombre d'ions hydrogène dans la solution. En solution aqueuse, il est communément admis que la concentration d'ions hydronium est équivalente à celle des ions hydrogène et que la

concentration en ions hydroxyde, ce qui correspond à un pH de 7, considéré comme neutre. est également de $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7} M$

Dans la région d'étude mentionnée, la plupart des eaux étaient adaptées à la consommation humaine, car leur pH se situait généralement entre 6,38 et 7,8, ce qui est considéré comme acceptable pour la consommation humaine.

- Un pH entre 0 et 7,5 indique une eau acide.
- Un pH entre 6 et 7 correspond à une eau neutre.
- Un pH entre 7,5 et 14 indique une eau basique ou alcalin.

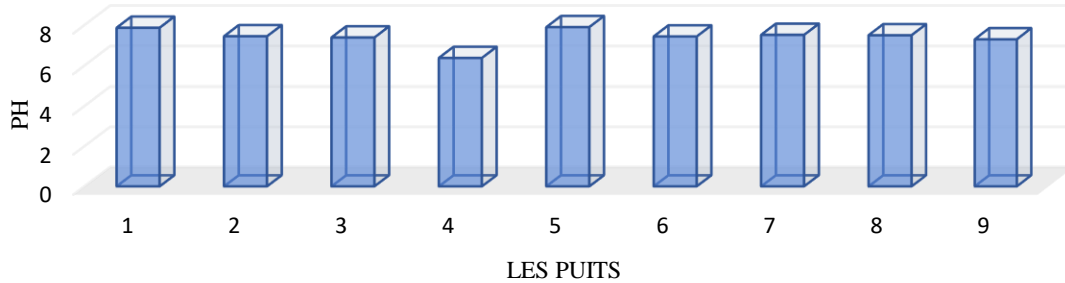


Figure 36 : Évolution des valeurs de PH dans la région de Ain Babouche .

C - Conductivité électrique:

La conductivité électrique d'une solution est directement proportionnelle à la concentration d'ions en solution et à leur mobilité. Ainsi, une solution contenant une plus grande concentration d'ions et/ou des ions ayant une plus grande mobilité électrique aura une conductivité électrique plus élevée.

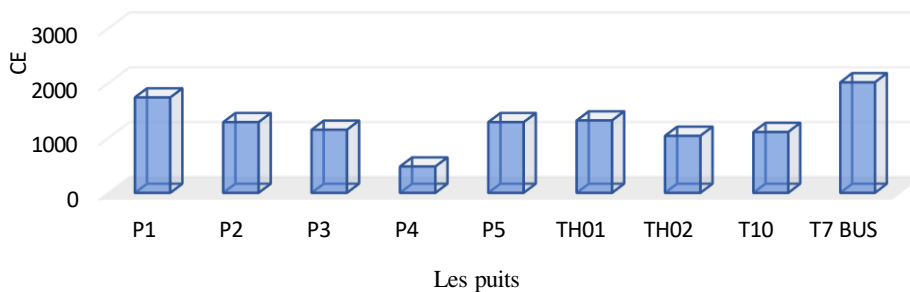


Figure 37 : Évolution des valeurs de CE dans la région de Ain Babouche.

La variation de la conductivité électrique (figure 37) des eaux souterraines varie entre 480 µs/cm et 2016 µs/cm.

3.2 Les paramètres chimique :

Le tableau 11 présente les résultats statistiques des éléments chimiques des eaux prélevées pendant les quatre campagnes d'échantillonnage. Les résultats sont en mg/l.

Tableau 11 : Les paramètres chimiques.

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne
Ca ²⁺	59,200	148,800	93,689
Mg ²⁺	26,300	70,000	45,226
Na ⁺	26,000	110,000	69,256
K ⁺	3,800	8,000	6,200
HCO ₃ ⁻	96,860	276,900	162,411
Cl ⁻	14,200	155,200	88,843
SO ₄ ⁻²	98,000	570,000	230,667
NO ₃ ⁻	1,400	18,500	9,567

A. Les cations :

_ Calcium Ca²⁺ :

Le calcium est en effet fréquent dans les roches sédimentaires, notamment dans les roches carbonatées telles que le calcaire et la dolomite. Ces roches sont principalement constituées de carbonate de calcium (CaCO₃) ou de carbonate de calcium et de magnésium (CaMg (CO₃)₂).

La présence de dioxyde de carbone (CO₂) dans l'eau favorise la dissolution de ces roches carbonatées. Les teneurs en Ca²⁺ sont variées de 59,2mg/l et 148.8 mg/l au niveau des forages (moyenne 93.68 mg/l)(figure 38). Ainsi que le forage T7bis indique la plus forte concentration, il traverse des calcaires blanc et compacte (voir colonne lithologiques) .

Ces fortes valeurs sont due à la position de ces puits et forages par rapport à l'affleurement des formations calcaires (Maestrichtien et Eocene) .

_ Magnésium Mg²⁺ :

Le magnésium est un constituant essentiel de ces roches, contribuant à leur composition chimique et à leurs propriétés physiques.

Dans le contexte des roches sédimentaires, les origines du magnésium sont comparables à celles du calcium. Le magnésium provient principalement de la dissolution des formations carbonatées riches en magnésium, telles que la magnésite (MgCO₃) et la dolomite (Ca²⁺ Mg²⁺ (CO₃)₂). Lorsque ces roches carbonatées se dissolvent dans l'eau, le magnésium est libéré sous forme d'ions magnésium (Mg²⁺) tout comme le calcium est libéré sous forme d'ions calcium (Ca²⁺).

Les faibles teneurs de Mg^{2+} peuvent être attribuées au faible processus de la dolomitisation dans la région d'étude.

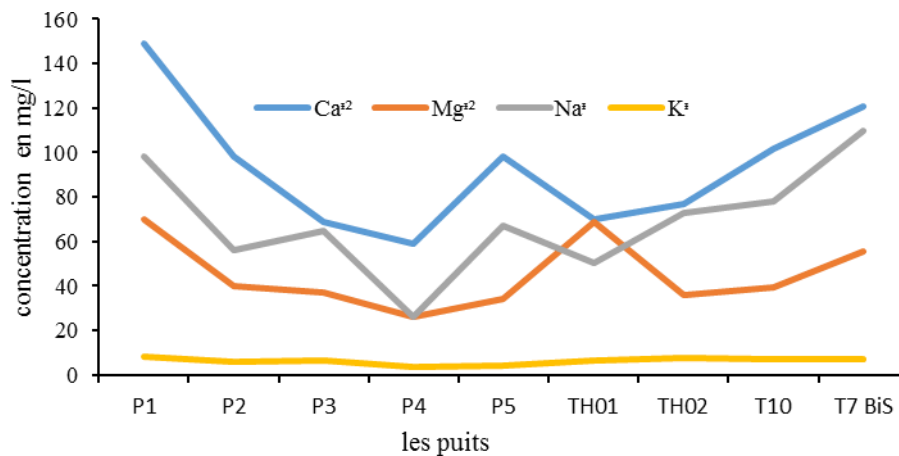


Figure 38: les courbes d'évolution des cations dans la région de Ain Babouche.

_ Sodium et potassium Na^+ et K^+ :

Dans les zones développer en calcaires, les concentrations de sodium (Na^+) et de potassium (K^+) sont généralement faibles. Cela est souvent dû au fait que les eaux traversent des formations géologiques qui ne sont pas riches en ces ions.

La présence de sodium et de potassium dans les eaux peut être attribuée à la dissolution de minéraux et de roches contenant ces éléments.

Les teneurs sont comprises entre 26 à 110 mg/l pour les points d'eau. La variation spatiale de cet élément est représentée dans la figure 38; elle montre que les plus grandes concentrations se localisent au niveau des forages en comparaison à la concentration au niveau des puits.

Le potassium peut également être présent dans les eaux en raison de la dissolution de minéraux contenant du potassium, tels que le feldspath, le mica et la potasse. Cependant, comme pour le sodium, les concentrations de potassium dans les eaux souterraines sont généralement relativement faibles.

Les résultats du potassium sont compris entre 3.8 et 8 mg/l pour les puits et les forages. Il est le cation le moins répandu dans la région d'étude. La variation des concentrations de K^+ pendant la période d'investigation au niveau de points d'eau est représentée dans les figure38 .

B. Les anions :

_ Chlorure (Cl^-):

Il est vrai que les ions chlorures sont très répandus dans la nature, souvent sous forme de sels de sodium ($NaCl$), de potassium (KCl) et de calcium ($CaCl$). En effet, les chlorures représentent environ 0,05 % de la lithosphère.

De façon générale, les chlorure sont présents dans toutes les eaux à des concentrations différentes et importantes. Sa teneur moyenne (88.84 mg/l) C'est l'un des éléments majeurs du milieu qui détermine le faciès chimique de l'eau dans la région d'étude.

_ Bicarbonates HCO₃⁻ :

La concentration de bicarbonates dans l'eau est influencée par la concentration de carbone dissous, la température de l'eau et le pH de l'eau. Des variations dans l'un de ces paramètres peuvent entraîner des variations significatives de la concentration de bicarbonates dans l'eau. l'équation suivante qui explique le phénomène



On constate que, les bicarbonates dominant largement tous les anions, ils prennent une part importante à la minéralisation dans la région avec des valeurs moyennes de 162,41 mg/l

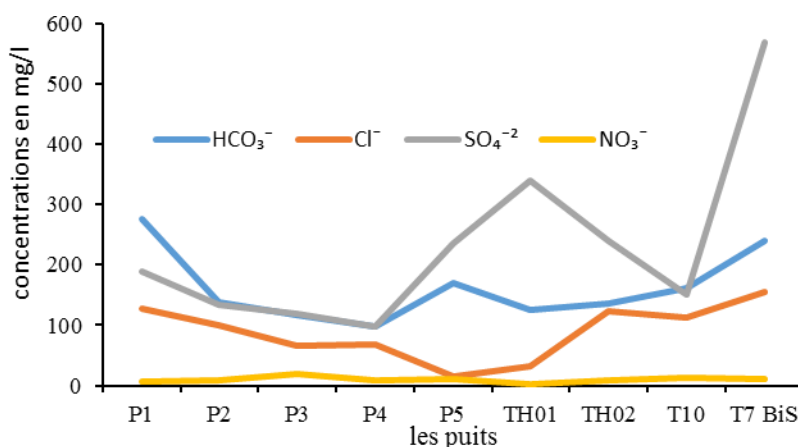
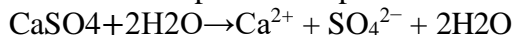


Figure 39 : les courbes d'évolution des anions dans la région de Ain Babouche.

_ Les sulfates SO₄²⁻

En effet, l'origine des sulfates dans la région d'étude peut être attribuée au lessivage de minéraux tels que le gypse (CaSO₄·2H₂O) et l'anhydrite (CaSO₄). Ces deux minéraux sont des sources importantes de sulfates dans les eaux souterraines et de surface. La dissolution du gypse est une réaction chimique importante qui contribue à la présence de sulfates dans l'eau.

Cette réaction peut être représentée comme suit :



Dans cette réaction, le gypse se dissout dans l'eau pour former des ions calcium (Ca²⁺) des ions sulfate (SO₄²⁻), et de l'eau. Cette dissolution se produit assez rapidement, surtout dans des conditions où l'eau est légèrement acide ou neutre.

L'anhydrite, bien que moins soluble que le gypse, peut également se dissoudre en présence d'eau pour former des ions calcium et sulfate. Cependant, sa dissolution est généralement plus lente que celle du gypse.

En résumé, la dissolution du gypse et de l'anhydrite est une source importante de sulfates dans les eaux de la région d'étude, contribuant ainsi à la composition chimique des eaux souterraines et de surface.

Les nitrates

Se retrouvent naturellement en faible concentration dans les eaux souterraines et les eaux de surface. Dans la région d'étude, les concentrations des nitrates dans les eaux souterraines ne dépassent pas les 18 mg /l pour tous les échantillons (tableau 11). Ces faibles valeurs sont dues à l'absence des activités industrielles et ou faible couvert végétale (activité agricole très réduites).

4. Détermination des faciès hydrochimiques

Dans notre démarche, nous avons choisi d'utiliser des diagrammes de représentation tels que ceux de Schoeller-Berkaloff et de Piper afin de mieux cerner les particularités des eaux étudiées. Ces représentations nous permettent d'identifier les faciès qui caractérisent ces eaux.

A. Diagramme de Piper:

Le diagramme de Piper est un outil graphique utilisé pour visualiser la composition chimique de l'eau en termes de cations et d'anions. Il est composé de deux triangles ternaires et d'un losange central.

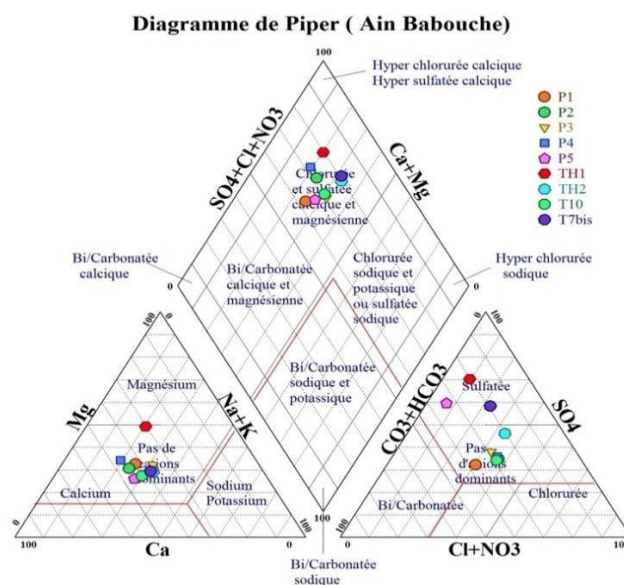


Figure 40 : Diagramme de Piper (Mai 2024)

La composition chimique de l'eau de la région d'Aïn Babouche montre une dominance des cations (calcium et magnésium), ainsi que des anions chlorures et sulfates (figure 37). Cette classification indique un faciès hydrochimiques chlorurés et sulfatée calcique et magnésienne dans la région.

B. Diagramme de Schoeller - Berkallof:

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff fournit une vue d'ensemble claire des caractéristiques chimiques des différents puits et forages d'eau dans la région étudiée. Il aide à identifier les zones avec des concentrations élevées de certains ions.

De façon globale, les faciès chimiques des eaux des puits et forages montrent qu'elles sont faiblement nitrates, relativement magnésiennes, fortement sulfatées, chlorurées et calciques (figure38).

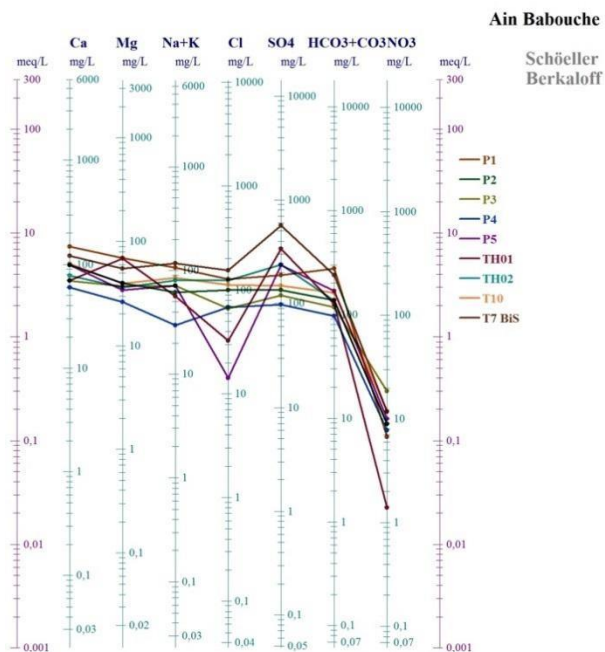


Figure 41 : Diagramme de Schoeller – Berkaloff (Mai 2024).

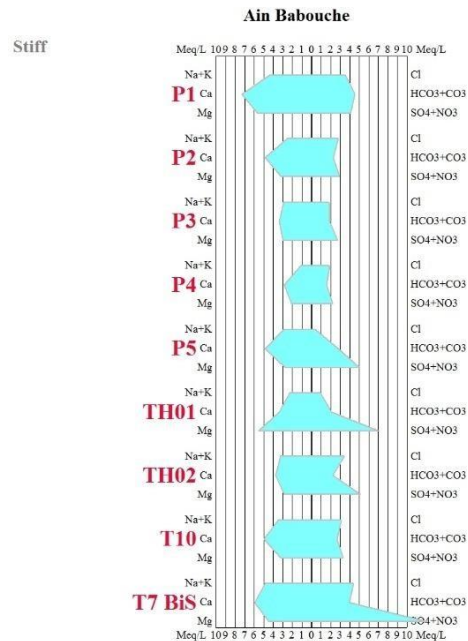


Figure42 : Diagramme de Stiff (Mai 2024).

C. Diagramme de STIFF

Les forages, présentent des teneurs élevées en sulfates et bicarbonates (figure39), due à la dissolution des formations gypseuses adjacentes. Les fortes concentrations des calciums et de magnésium sont toujours distingués par les eaux des puits dispersés dans la région d'étude.

D. Aptitude des eaux à l'irrigation

La présence des sels minéraux et leurs concentrations dans les eaux influe directement sur le sol (sur sa perméabilité et son aération (Person j. 1978)) et perturbe le développement physique des plantes.

Dans cette partie, on a essayé de mettre en évidence l'utilisation à des fins agricoles des eaux du plateau de Tazbennt est les sources de ces environs.

Les méthodes de Richards et Wilcox, les plus fréquemment utilisées, sont développées.

- **Classification de Wilcox**

Cette classification est fondée sur la conductivité électrique et la teneur en sodium dans l'eau, généralement connue en pourcentage du sodium, est définie par la relation :

$$\text{Na}\% = (\text{Na}+\text{K}) / (\text{Ca}+\text{Mg}+\text{Na}+\text{K}) * 100$$

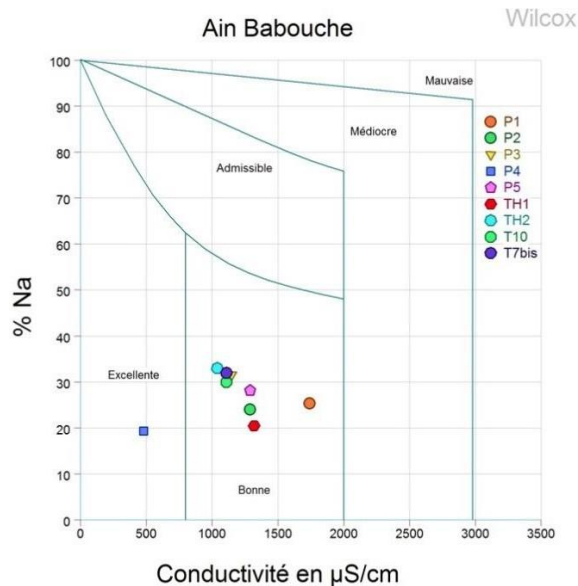


Figure 43 : Diagramme de Wilcox (Mai ,2014).

- **Classification de Richard (Risque de salinité)**

L'augmentation de la concentration des ions Na^+ à l'état soluble dans le sol, exerce des changements néfastes sur la végétation, de façon indirecte, en dégradant les propriétés physiques du sol. ces ions remplacent généralement les cations Ca^{2+} dans le complexe absorbant.

Le risque est déterminé à partir de la valeur du sodium absorbable, « Sodium Absorption Ratio : SAR ». Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé. Le SAR est défini par la relation suivante :

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

Les résultats d'analyses sont représentés sur le diagramme de Richard (figure 40) (wilcox log), qui nous a permis de conclure que les eaux de la région de Ain Babouche, appartiennent globalement à la deuxième classe pour la majorité des échantillons et à la troisième pour d'autre (classe dont le risque de salinisation est faible pour tous les eaux souterraines du plateau).

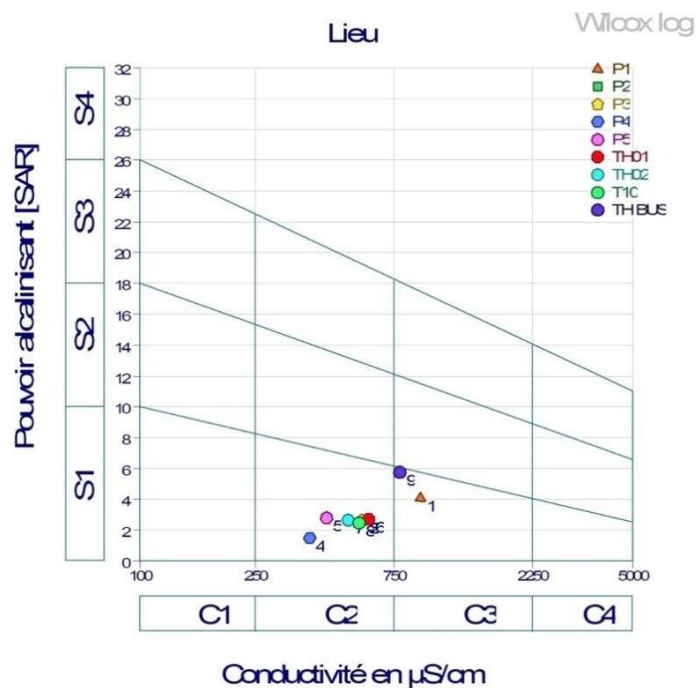


Figure 44 : Diagramme de SAR (Mai 2024).

3.3 Analyses statistiques des éléments physico-chimiques

A. Corrélation inter-éléments (Matrice de corrélation entre variables) :

La matrice de corrélation est une matrice carrée caractérisée par un coefficient de corrélation qui peut être utilisé pour distinguer la relation entre deux paramètres (Davis, 1973). Une matrice de corrélations a été réalisée pour les différents échantillons d'eau analysés, en utilisant le programme Excel stat. La relation entre ses différents constituants peut être résumé de la manière suivante :

Le lien existant entre les différents paramètres pris deux à deux est donné par le tableau de corrélation (tableau 12) :

Tableau12: Tableaux des corrélations de matrice.

Variables	CE	PH	TDS	T°	Ca ²	Mg ²	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	NO ₃ ⁻
CE	1											
PH	0,606	1										
TDS	0,997	0,554	1									
T°	-0,594	-0,387	-0,587	1								
Ca ²	0,789	0,589	0,779	-0,391	1							
Mg ²	0,718	0,423	0,697	-0,692	0,549	1						
Na ⁺	0,867	0,595	0,872	-0,645	0,817	0,490	1					
K ⁺	0,582	0,458	0,568	-0,833	0,512	0,607	0,706	1				
HCO ₃ ⁻	0,842	0,530	0,841	-0,540	0,961	0,625	0,874	0,535	1			
Cl ⁻	0,441	0,005	0,472	-0,513	0,552	0,210	0,668	0,706	0,558	1		
SO ₄ ⁻²	0,714	0,149	0,749	-0,523	0,306	0,497	0,586	0,272	0,475	0,307	1	
NO ₃ ⁻	-0,001	0,011	0,012	0,171	-0,036	-0,504	0,248	0,051	-0,048	0,186	-0,166	1

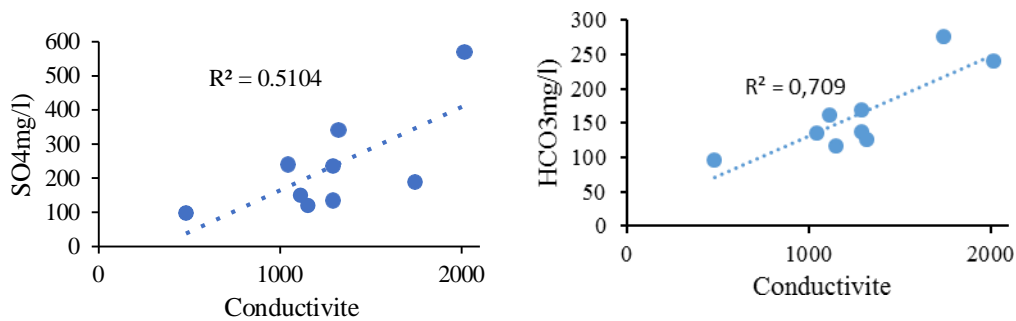


Figure 45 : Corrélation entre la conductivité électrique,Chlore et Sulfates (Mai 2024).

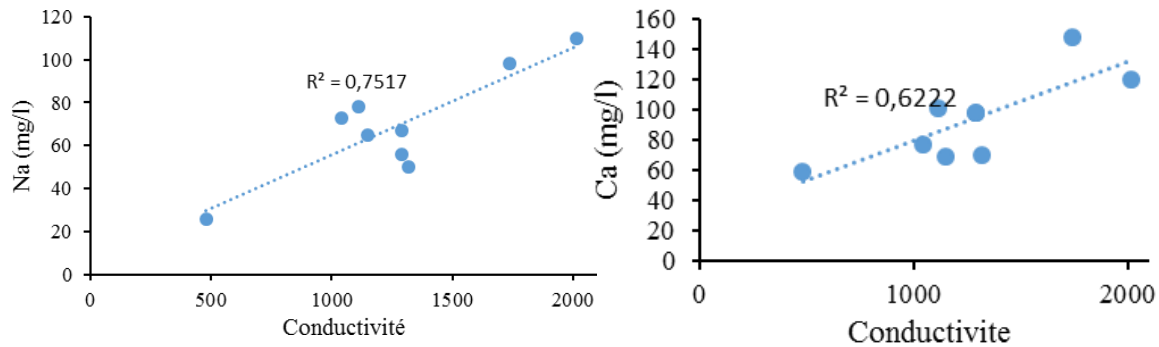


Figure 46: Corrélation entre la conductivité électrique,Sodium et Calcium (Mai 2024).

Les diagrammes de corrélation (figure 43) montrent que les concentrations de Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , et SO_4^{2-} sont très bien corrélées avec la CE, avec des coefficients de corrélations de 0.6 à 0.7. Ceci indiquerait que la minéralisation des eaux dans la région de Ain Babouche est contrôlée principalement par les teneurs de ces éléments, qui sont considérés les ions dominants.

B. Analyse ACP

L'ACP est une analyse utilisée pour réduire la dimensionnalité d'une base de données, tout en conservant le maximum de la variance originale (Jolliffe, 2002). Elle permet d'obtenir des composants principaux sous la forme d'axes, le long desquels les échantillons et les variables ont des valeurs significatives basées sur leur variance.

Dans une ACP, il y a autant d'axes que de variables utilisées, et chacun possède une certaine quantité de l'information totale (Jolliffe, 2002).

Cette analyse est (figure 44) réalisée sur nos données obtenues dans la zone d'étude fournissent 71.85% de l'information totale, en prenant toujours la majorité des paramètres.

Axes F1 et F2 Ces deux axes représentent les deux premières composantes principales. L'axe F1 explique 58,75% de la variance totale des données, et l'axe F2 en explique 13,09%. Ensemble, ils expliquent 71,85% de la variance totale. Ce graphique d'ACP fournit une vue d'ensemble des relations entre différentes variables hydrologiques dans la région étudiée. L'interprétation de ces résultats peut aider à mieux comprendre les facteurs influençant la qualité de l'eau et à orienter les efforts de gestion des ressources hydriques.

dans le pôle positif et le NO_3^- dans le pôle négatif. Donc cet axe est lié à la minéralisation de l'eau dans la zone d'étude. Il correspond aux eaux soumises à un mécanisme d'acquisition rapide de la minéralisation.

L'axe F2 représente et il regroupe NO_3^- , K^+ dans le pôle positif et SO_4^{2-} , pH et Mg^{+2} dans le pôle négatif (figure 44).

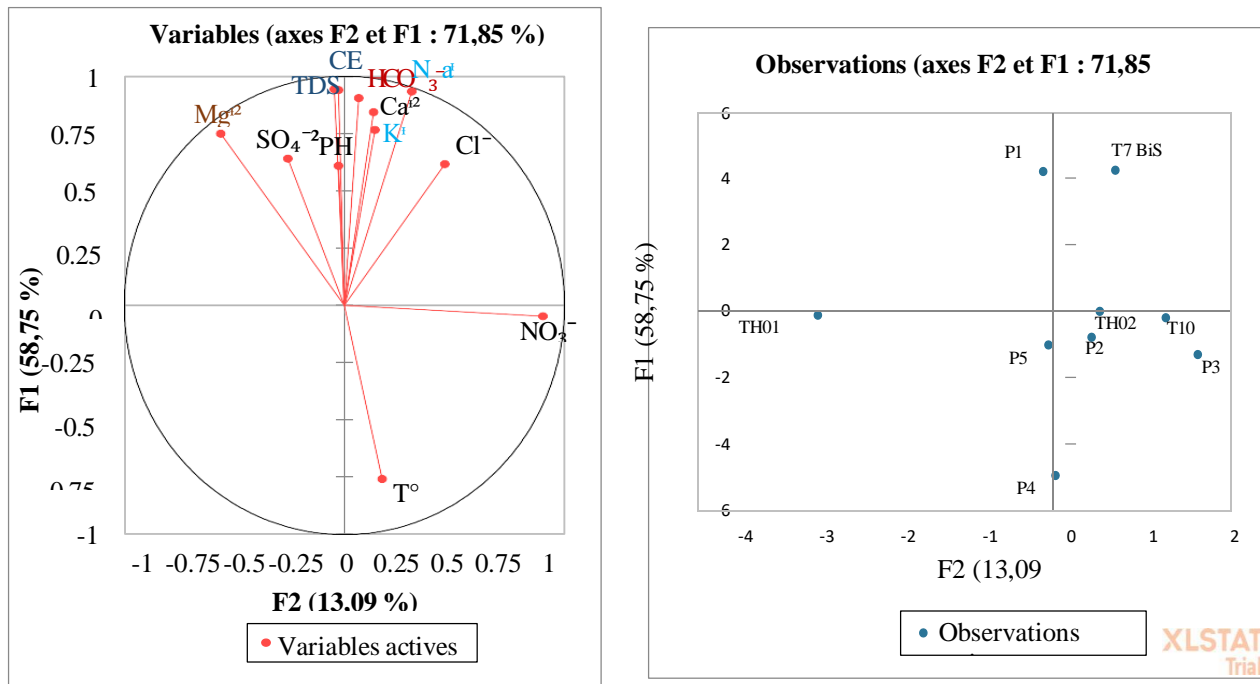


Figure47 : projection des variables sur le plan factoriel F1 et F2.

L'axe F1 représente 58.76% de la variance totale. Il regroupe, la conductivité, le calcium, les chlorures, potassium, sodium et sulfates

8. Conclusion:

Le faciès chimique des eaux souterraines de la région de Ain Babouche est chloruré et sulfaté calcique et magnésienne. Ce résultat montre une concentration élevée des sulfates et en chlorure.

Les concentrations en calcium, magnésium et bicarbonate (Ca^{2+} , HCO_3^- , Mg^{2+}) des eaux sont quasi exclusivement liées au système carbonaté (calcaire maestrichtien et Éocène. Les interactions avec les autres minéraux sont en effet négligeables face aux dissolutions de minéraux carbonatés.

Les résultats obtenus par l'ACP indiquent que les variables qui contrôlent la conductivité électrique des eaux sont le SO_4^{2-} , le Cl^- , le Ca^{2+} , le HCO_3^- et le Na^+ , Elle est dans sa majeure partie liés aux teneurs en SO_4 et Cl , car les formations marneuses traversés sont très riches en gyps.

L'acquisition de la minéralisation dépendra de l'agressivité de l'eau qui parcourt la roche

Conclusion GÉNÉRALE

La région est intégrée dans les hautes plaines, une zone caractérisée par des altitudes relativement élevées et une topographie ondulée. Stratigraphie et Lithologie de la région révèle une succession de formations sédimentaires variées, comprenant des couches marneuses, calcaires et parfois des formations détritiques. Les formations marneuses et calcaires dominent, témoignant d'un environnement de dépôt marin peu profond à certaines périodes géologiques. Structure Tectonique La région est influencée par la tectonique alpine, avec des plis et des failles résultant des mouvements compressifs qui ont affecté l'ensemble de l'Atlas.

Les principales structures tectoniques identifiées incluent des plis isoclinaux et des failles inverses, témoignant de l'activité tectonique significative durant le Cénozoïque. Le contrôle des données de précipitation de la station de La région de Chéria est soumis à un climat semi-aride avec un été chaud et sec prolongé et un hiver froid, avec des précipitations d'une moyenne qui ne dépasse pas 250 mm/an, Les cinq dernières d'années Les calculs du bilan hydrique en utilisant la méthode de Thorntwaite montre que les bilans globaux sont généralement déficitaires. L'année 1995/1996, est la plus pluvieuse avec 284,73 mm/an. Tandis que l'année 2004 et moins pluvieuse avec 72.6mm/an.

Le mois de juillet est le sec, en l'occurrence le mois de septembre est le plus arrosé. Pour la même période d'étude le mois le plus chaud est le mois de Juillet (25,91°C) et le mois le plus froid est le mois de Janvier (07,50°C). Les moyennes interannuelles des températures avoisinent les 16.09°C. Dans l'ensemble, le bilan hydrique est déficitaire ; l'évapotranspiration réelle moyenne est d'environ 252,74mm/an, le ruissellement est faible, correspondant et du total des précipitations. Mais l'infiltration est négative.

Le faciès chimique des eaux souterraines de la région de Ain Babouche est chloruré et sulfaté calcique et magnésienne. Ce résultat montre une concentration élevée des sulfates et en chlorure. Les concentrations en calcium, magnésium et bicarbonate (Ca^{2+} , HCO_3^- Mg^{2+} ,) des eaux sont quasi exclusivement liées au système carbonaté (calcaire maestrichtien et Éocène. Les interactions avec les autres minéraux sont en effet négligeables face aux dissolutions de minéraux carbonatés.

Notre région d'étude fait partie du plateau de Chéria, qui est constitué essentiellement de trois aquifères. Le premier est caractérisé par les calcaires Maastrichtiens, qui sont perméables aux bordures et stériles au centre. Le second, le plus important pour la région et sa périphérie, est constitué des calcaires de l'Éocène, avec une épaisseur variant de quelques dizaines à deux centaines de mètres. Le troisième aquifère, le Mio-Plio-Quaternaire, a perdu de son intérêt hydraulique en raison de la sécheresse aiguë des dernières décennies.

L'absence de normes et de réglementation précise a engendré une anarchie dans l'implantation des ouvrages de captage (forages et puits) pendant plusieurs années. La présence de calcaires fissurés peut indiquer de bons aquifères, mais aussi des risques de contamination des eaux souterraines par des polluants. Ingénierie et construction : nécessitant des études supplémentaires pour évaluer les risques. Exploration minière, La présence de fractures peut faciliter l'extraction des ressources minérales, mais aussi nécessiter des techniques spécifiques pour assurer la sécurité des opérations.

En résumé, l'interprétation d'une coupe lithologique implique une analyse détaillée des caractéristiques géologiques des différentes couches. Les résultats obtenus par l'ACP indiquent que les variables qui contrôlent la conductivité électrique des eaux sont le SO_4^{2-} , le Cl^- , le Ca^{2+} , le HCO_3^- et le Na^+ . Elle est dans sa majeure partie liée aux teneurs en SO_4 et Cl , car les formations marneuses traversées sont très riches en gypses. L'acquisition de la minéralisation dépendra de l'agressivité de l'eau qui parcourt la roche.

BIBLIOGRAPHIE

CHAMEKH.K, Influence de la fracturation sur l'évolution du réservoir karstique. Exemple des calcaires fissurés de la région de Chéria. (Nord - est Algérien)

CHAMEKH.K, BAALIF YAHIAOUI. A, DJABRI.L, Relation Fracturation-Morphologie. Implications hydrogéologiques. Exemple des calcaires fissurés de la région de Chéria (NE algérien)

BENHAMMADI.H, Effets de la variabilité climatique sur les ressources en eau d'un aquifère karstique -cas du plateau de chéria

Chamekh.K, Relation fracturation - morphologie implications hydrogéologiques. Exemple des calcaires fissures de la région de Chéria (NE Algérien), Larhyss Journal,

Baali.F, Étude hydrogéologique et hydrochimique de la région karstique de Chéria W.Tébessa

Lambert et Durozoy, Compte rendu la tournée effectuée dans la région de Tébessa (plateau de Chéria) A.N.R.H de Tébessa. 1947.

GHRIEB Lassaad Impact de la minéralisation des formations triasiques sur la qualité de l'eau et du sol en zonesemi- aride : Cas de la plaine Bekkaria-Tébessa (Extrême Nord-est Algérien).

Gouaidia. L (2000). Approche hydrochimique d'une nappe en zone semi-aride cas de la nappe alluviale de la plaine de Tébessa extrême Nord-est Algérien. Mémoire de magistère Université de Annaba.