

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

N° d'ordre :

UNIVERSITE de TLEMCCEN

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers

Département des Sciences de la Terre et de l'Univers



MEMOIRE

Présenté par

BELKACEM HOUARIA & MENDI IMANE

En vue de l'obtention du

Diplôme de MASTER

En SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

(Spécialité : Hydrogéologie)

Thème

**CONTRIBUTION A L'ETUDE QUALITATIVE DE QUELQUES SOURCES DANS LA
REGION DE GHAZAOUET ET DE NEDROMA
(NORD-OUEST ALGERIEN).**

Soutenu le....., devant le jury composé de :

Présidente	M ^{me} DJELAD.R	MAA	Université de Tlemcen.
Encadreur	M ^{me} GUETTAIA .S	MCB	Université de Tlemcen.
Co-Encadreur	Mr BOUDJEMA .A	MCA	Université de Tlemcen.
Examineur	Mr KERZABI .R	MAA	Université de Tlemcen.

Année universitaire 2019/2020.

REMERCIEMENTS.

Tout d'abord, nous remercions le bon dieu, tous puissant, de nous avoir donné la santé, la patience et le courage pour accomplir ce travail.

Nos sincères remerciements sont adressés à nos encadreurs **M^{me}** et **Mr BOUDJEMA** pour leur aide, leurs conseils et leur disponibilité durant l'élaboration de ce mémoire.

Nos remerciements vont aussi à **M^{me} DJELAD.R** d'avoir accepté de présider le jury et à **Mr KERZABI.R** d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous remercions aussi **Mr TABET HELLAL.A** qui nous a trop aidé au 0niveau du laboratoire n°25 pour faire les analyses, que malheureusement nous n'avons pas pu les terminer, vue la pandémie.

Nos remerciements vont également à tout le personnel de **L'ADE/Tlemcen** et de l'**A.N.R.H**

DEDICACES.

*Grâce à ALLAH, le bienveillant qui nous a permis d'achever ce
modeste travail, que je dédie à :*

*Mes très chers parents, pour leur amour, leurs encouragements, et
leurs sacrifices tout au long de mon chemin que dieu les protège.*

Ma chère mère ZINEBE.

Mes sœurs : YAMINA, et RACHIDA.

BOUHLITE.A qui a nous a aidé à mener ce travail à terme.

Toute la famille BELKACEM, TARI, et BOUHLITE.

*M. MENDI qui était avec nous, lors de notre sortie sur terrain,
puisque'il connaît la région d'étude.*

*Ma collègue et ma chère sœur IMENE, à qui je souhaiterai une vie
pleine de réussite.*

RESUME :

Ce travail a pour objectif l'évaluation de la qualité physico-chimique de quelques sources dans la région de Nédroma et de Ghazaouet.

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff montre que les faciès hydro- chimiques des eaux de source sont 3 : Sulfaté calcique, Sulfaté magnésien et Bicarbonaté calcique.

Le diagramme de Piper a classé les eaux de la région de Nedroma et de Ghazaouet selon deux grandes familles : Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne et Bicarbonatée calcique et magnésienne.

Du point de vue de la potabilité, toutes les sources sont conformes aux normes algériennes de potabilité.

Concernant l'irrigation, en utilisant des indices comme le pourcentage en Na^+ , et le Kr et des diagrammes :

-D'après les résultats du Kr, toutes les sources sont de bonne qualité pour l'irrigation,

-Le pourcentage en Na^+ calculé a montré que la source n°13 est de très bonne qualité pour l'irrigation, tandis que les autres sources sont de bonne qualité.

-Selon le diagramme de Riverside, les sources n° 2 et 3 sont dans la classe C2-S1 (classe bonne pour l'irrigation), Le reste des sources sont dans la classe C3-S1, ils sont de qualité admissible pour l'irrigation.

-Le diagramme de Wilcox a fait ressortir deux classifications:

✓ *Excellente* : 1, 2, 3

✓ *Bonne* : toutes les sources d'eau restantes.

Mots clés : Ghazaouet- Nédroma-Sources- Paramètres physico-chimiques-Diagrammes.

ABSTRACT:

The aim of this work is to evaluate the physico-chemical quality of some sources in the Nedroma and Ghazaouet region.

The Schoeller-Berkaloff diagram shows that the hydro-chemical facies of the sources are 3: calcium sulphate, magnesium sulphate and calcium bicarbonate.

The Piper diagram classified the waters of the Nedroma and Ghazaouet region into two main families: Calcium and magnesian chloride and sulphate and calcium and magnesian bicarbonate.

From the point of view of potability, all the sources comply with Algerian standards of potability.

Concerning irrigation, using indices such as the percentage in Na^+ , and Kr and diagrams:

-According to the results of the Kr, all sources are of good quality for irrigation,

-The calculated % Na^+ showed that the source n°13 is of very good quality for irrigation, while the other sources are of good quality.

-According to the Riverside diagram, sources n° 2 and 3 are in class C2-S1 (good for irrigation), the rest of the sources are in class C3-S1, they are of acceptable quality for irrigation.

-The Wilcox diagram showed two classifications:

✓ Excellent: n° 1, 2 and 3.

✓ Good: all remaining water sources.

Key words: Ghazaouet- Nedroma-Sources- Physico-chemical parameters-Diagrams.

نبذة مختصرة:

الهدف من هذا العمل هو تقييم الجودة الفيزيائية والكيميائية لبعض المصادر في منطقة ندرومة وغزوات. ويبين الرسم البياني Schoeller-Berkaloff ان السمات المائية الكيميائية للمياه الينابيع هو 3: كبريتات الكالسيوم، والكبريتات المغنيزية، وبيكاربونات الكالسيوم. وصنف مخطط Piper مياه منطقة ندرومة وغزوات وفقا لأسرتين كبيرتين: الكلوريدية والكالسيوم والكبريتات المغنيسيوم والكالسيوم وبيكاربونات المغنيزية. - من وجهة نظر صلاحية الشرب : جميع المصادر تتوافق مع المعايير الجزائرية للشرب .

- فيما يتعلق بالري: باستخدام مؤشرات مثل النسبة المئوية في Na^+ و Kr والرسم البيانية :

وفقا لنتائج Kr ، جميع المصادر ذات نوعية جيدة للري، النسبة المئوية المحسوبة في Na^+ أظهرت أن المنبع 13 هو من نوعية جيدة جدا للري، في حين أن الينابيع أخرى هي ذات نوعية جيدة. وقال للرسم البياني Riverside، المنبع 2 و3 في الفئة C2-S1 (فئة جيدة للري)، وبقية الينابيع هي في فئة C3-S1، فهي من نوعية جيدة. - رسم Wilcox الرسم البياني أبرز تصنيفين: ✓ ممتاز: 1, 2, 3 ✓ جيد: جميع الينابيع المياه المتبقية.

الكلمات الرئيسية: ندرومة - غزوات - الينابيع - عوامل فيزيو كيميائية - Diagrammes .

Table des matières.

Remerciements.

Dédicaces.

Résumés.

INTRODUCTION GENERALE.....01

PARTIE I : GENERALITES.

I.	SITUATION GEOGRAPHIQUE	04
II.	SYNTHESE GEOLOGIQUE	06
	1. Historique des études	06
	2. Analyse litho-stratigraphique	08
	3. Synthèse tectonique.....	12
	4. Principales phases tectoniques	12
III.	SYNTHESE HYDROGEOLOGIQUE	14
IV.	ETUDE CLIMATOLOGIQUE.....	16
	1. Introduction.....	16
	2. Etude des Précipitations	16
	2-1. Précipitations annuelles	16
	2-2. Précipitations moyennes mensuelles	17
	2-3. Précipitations saisonnières.....	18
	3. Etude des Températures	19
	3-1. Températures moyennes annuelles	19
	3-2. Températures moyennes mensuelles	20
	4. Synthèse climatique.....	21
	5. Les indices climatiques	22
	5-1. indice d'aridité	23
	5-2. indice annuel.....	24
	5-3. indice mensuel	24
	6. Bilan Hydrologique.....	25
	6-1. Evapotranspiration et déficit d'écoulement	25
	6-2. Evapotranspiration réelle (ETR).....	25
	6-2-1. Méthode de TURC.....	25
	6-2.2. Méthode de COUTANGNE.....	26
	6-2-3. Méthode de WUNDT	27
	6-3. Evapotranspiration potentielle (ETP).....	28
	6-3-1. Méthode de THORNTHWAITE	28
	7. Evapotranspiration réelle.....	28
	8. CONCLUSION	30

PARTIE II : QUALITE DES EAUX DES SOURCES.

1. Introduction.....	32
2. Balance ionique.....	33
3. Etude classificatoire et qualitative des eaux souterraines.....	34
3-1 Faciès hydro-chimiques	34
3-1-1. Classification de Schoeller et Berkloff	34
3-1-2. Classification de Piper	38
3-1-3. Classification de Stiff	39
3-1-4. Classification de Stabler	40
4. Comparaison des paramètres physico-chimiques avec les normes = potabilité.....	41
1. PH	41
2. Conductivité électrique (CE).....	41
3. Les cations.....	44
4. Les anions.....	47
5. Aptitude des eaux souterraines destinées à l'irrigation	50
6. Sodium adsorption ratio (SAR).....	51
7. Pourcentage en sodium et classification des eaux par la méthode de Wilcox	54
8. Conclusion	56
Conclusion générale	58
Références bibliographiques.	
Annexes.	
Résumés.	

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE.

L'accès durable aux ressources en eau est une préoccupation majeure qui concerne tous les pays du bassin méditerranéen. Le changement climatique, la croissance urbaine et démographique et l'évolution de la demande en eau risquent d'aggraver la situation du stress hydrique.

Eau douce, souterraine en quantité s'écoule à des profondeurs variables et devrait satisfaire à des besoins humains accrus. Donc, c'est important de capter cette eau, de l'extraire du le sous-sol pour alimenter les populations. Ce patrimoine précieux et commun ne pourra être véritablement préservé, que lorsque chacun aura vraiment pris conscience à tous les niveaux, des enjeux et notamment, de la fragilité de ce capital et de la portée des conséquences des actions quotidiennes de tous à son égard. La préservation des ressources en eau est l'affaire de tous. Il convient de changer à la fois les mentalités et comportements, collectifs et individuels. C'est la condition d'un développement durable, soutenable et largement partagé.

Dans la région de Nédroma et de Ghazaouet, une bonne partie de la population utilise comme 'eau potable', l'eau des sources. Parmi celles qui existent au niveau de cette région d'étude, nous avons étudié 13 sources, d'après notre enquête sur terrain, les habitants des deux régions puisent leurs eaux de ces sources et de bien autres sources, surtout avec la crise d'eau qui menace la région.

Dans le cadre de ce travail, nous avons étudié, du point de vue qualitatif, les eaux de quelques sources réparties dans la région de Nédroma et de Ghazaouet, dans le but d'identifier leur qualité pour la consommation humaine et l'irrigation. Ce travail s'étale en deux parties :

1^{ère} PARTIE : GENERALITES.

Qui englobe les parties suivantes :

- **Situation Géographique** : C'est une présentation géographique générale du secteur d'étude.
- **Synthèse Géologique** : L'objectif est de déterminer les formations géologiques existantes dans le secteur d'étude.
- **Synthèse Hydrogéologique** : Pour décrire les formations géologiques qui peuvent être aquifères.
- **Etude Climatologique** : Elle nous a permis de déterminer le type du climat régnant dans la zone concernée et les variations climatiques à partir des données de précipitations et de températures.

2^{ème} PARTIE : QUALITE DES EAUX DES SOURCES.

Le but est d'interpréter les paramètres physico-chimiques et de déterminer les différents faciès et familles des eaux de sources étudiées et aussi voir leur qualité, du point de vue potabilité et aux fins d'irrigation.

À la fin, ce travail sera clôturé par une **Conclusion Générale**, où nous présenterons les différents résultats.

PARTIE I :
GENERALITES

I- SITUATION GEOGRAPHIQUE :

Le périmètre de notre étude concerne les régions de Ghazaouet et de Nédroma.

Ghazaouet est située dans la Wilaya de Tlemcen, dans la partie méridionale des Monts des Traras. Elle constitue avec Beni-Saf l'armature maritime de la région extrême ouest algérienne. Son relief est caractérisé par des falaises abruptes où surplombent les replats d'Ouled Ziri, Arcoub et Sidi Amar. L'isolement de Ghazaouet dans le passé était dû à un cadre topographique accidenté et à la vétusté des voies de communication. Avec l'ouverture des voies Ghazaouet - Maghnia (46 km) et Ghazaouet - Tlemcen (68 km), l'enclavement dont elle souffrait s'est estompé. L'isolement géographique de Ghazaouet n'est que partiellement rompu par la percée naturelle de la vallée de Ghazouanah, elle est bloquée au Sud par les Chaînon de Fillaoucène et d'El Goulia.

Ghazaouet est limitée (Fig.01) :

- ✓ Au Nord, par la mer Méditerranée,
- ✓ Au Sud, par la commune de Tient,
- ✓ Au Sud-Est, par la commune de Nédroma,
- ✓ A l'Ouest, par la commune de Souahlia,
- ✓ A l'Est, par la commune de Dar Ben Tata.



Figure 01 : Situation géographique de Ghazaouet.
(Google map : Altitude : 33m 35°5'38Nord.1°51'37 Ouest).

Nédroma est une petite ville de l'extrême nord-ouest de l'Algérie, C'est une ville montagneuse, qui fait partie d'un massif montagneux du Nord-Ouest algérien, appelé le massif ou les Monts des Traras, ces derniers sont un grand anticlinal orienté NW-SE qui fait 20 km sur 6 km (wikipedia.org), ils représentent l'extrémité occidentale de l'Atlas tellien en Algérie, puisque leur continuité ouest est les Monts de Béni Snassène à l'Est marocain.

Nédroma est limitée (Fig.02) :

- ✓ Au Nord, par la commune de Dar Yaghmouracene.
- ✓ Au Sud, par la commune de Djebala.
- ✓ A Est, par la commune d'AinKebira.
- ✓ A l'Ouest, par la commune de Tient.



Figure 02 : Communes limitrophes de la ville de Nédroma (wikipedia.org).



Figure 03 : Situation géographique de Ghazaouet et de Nédroma.
(Google map).

II- SYNTHESE GEOLOGIQUE :

II-1 Historique des études :

Les Traras peuvent se subdiviser en une série de massif montagneux, séparés par de profondes vallées, tels que le massif des Béni Ouarsous, le massif de Fellaoucène, la plaine de Nédroma, la dépression de M'Sirda Fouaga qui domine l'ensemble volcanique de M'Sirda Thata. (Nouad-Merzoug,2017). Les dépôts de la plate-forme carbonatée des Traras orientaux d'âge Jurassique, s'étendant du Pliensbachien inférieur (Carixien) jusqu'au Bathonien inférieur ont été largement étudiés, que ce soit par des géologues algériens (Ameur, Benhamou, ou par les autres géologues étrangers (Guardia, Elmi, Ciszak, Benest...).

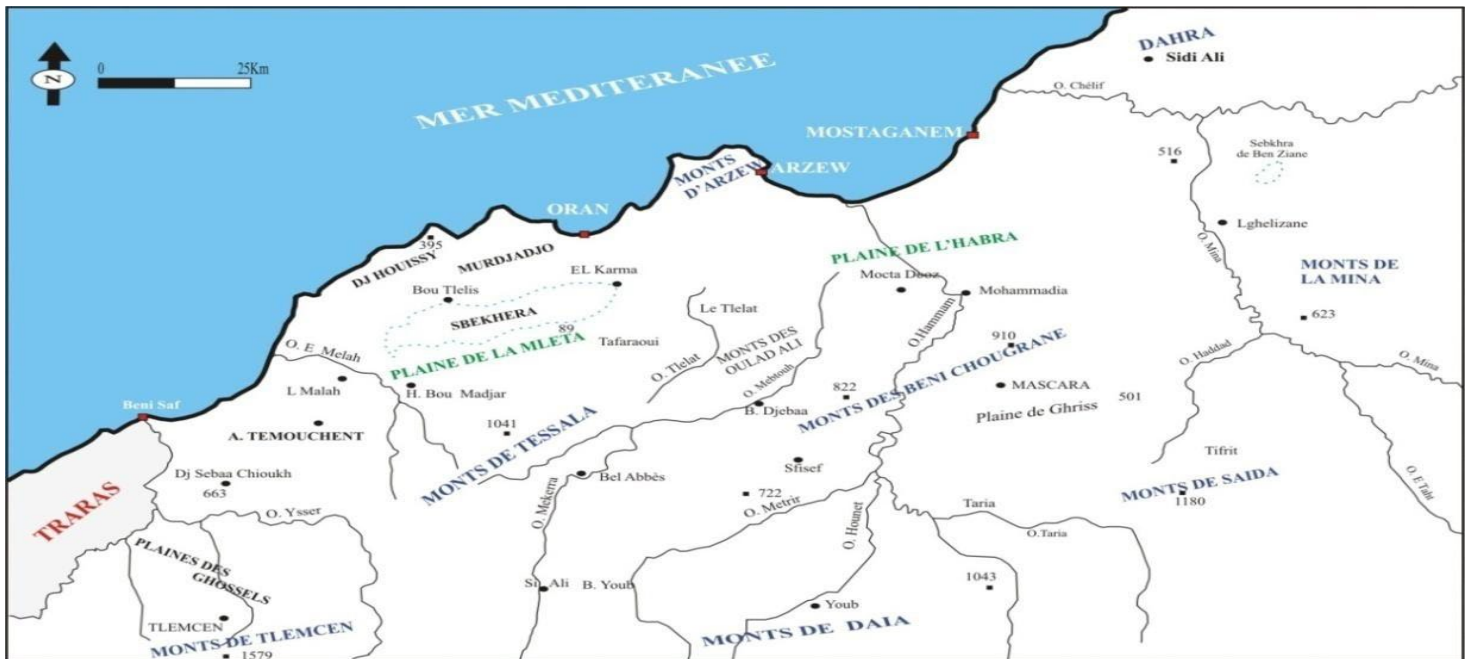


Figure 04: Position des Monts des Traras dans le bloc oranais.

II-2 Analyse litho- stratigraphique :

Les formations géologiques qui caractérisent le secteur d'étude sont : (Fig05)

II-2-1 Paléozoïque :

Le paléozoïque représente le substratum, il est représenté par des flysch métamorphisés, c'est une alternance d'argiles et de grès. Après le métamorphisme, les argiles sont transformées en schistes et les barres de grès en pseudo-quartzites, sinon elles sont restées de nature gréseuse.

Dans cette formation flychoïde hercynienne, l'épaisseur des barres de grès n'est pas conservée. Les Traras est un grand anticlinal, c'est pour cela que le substratum paléozoïque représente le cœur de la série. Cette formation flychoïde primaire se trouve à côté des marabouts de Sidi Ben Amer au flanc nord de Fillaoussène et à Bab Tanguira dans le flanc sud de Djebel Foukanine. (Abdelhalim.R.1973).

Le Paléozoïque est représenté essentiellement par : (Guardia, 1975)

- La formation Schisto-quartzitique d'âge Infra-Silurien à Dévonien,
- Le massif granitique situé au Nord-Est de la ville de Nédroma,
- L'intrusion granitique développant une auréole de métamorphisme dans la formationschisto-quartzique.

II-2-2 Mésozoïque :

- **Trias** : représenté par des conglomérats rougeâtres, lités, hétérométriques, et hétérogènes. La couleur rouge est une oxydation à la base qui provient d'une oxygénation due à la forte énergie d'un milieu marin (milieu agité). Les éléments qui composent ces conglomérats sont des schistes, des granites et des cornéennes paléozoïques ; ces éléments sont le produit de démantèlement de la chaîne hercynienne. (Naimi, 2017).

Le Trias affleure à Ain Meftah sur la route nationale de Ghazaouet, avant d'arriver à la ville de Nédroma, et à-il affleure également à Djorf El Asgou (Naimi, 2017).

- **Jurassique inférieur** :

Le Jurassique inférieur affleure à Fillaoussène entre les marabouts de Sidi Ben Amer et Ouled Sidi Lahcen et dans une casquette aux côtés de Djorf El Asgou ; il s'agit de calcaires massifs métriques « Saccharoïdes » (Naimi, 2017), représenté par des calcaires tres dure,occupant des parties des parties très vastes à l'Est et au Sud-Ouest de la commune de Ghazaouet.

- **Jurassique moyen et supérieur** :

Le Jurassique moyen et le supérieur sont représentés par une formation flychoïde qui affleure au niveau de la station des marabouts de Ben Amer sur les flyschs paléozoïques. D'âge Callovo-oxfordien, une alternance d'argiles appelées à l'échelle régionale sous le nom des argiles de Saïda et des barres de grès. L'Oxfordien supérieur se localise sur une partie du Sud-Est à côté d'Oued Tleta.

Cette série du Jurassique moyen à supérieur est caractérisée par des formations représentées par des calcaires, marnes, argiles, grès, et des dolomies.

II-2-3 Tertiaire :

Représenté par des marnes se trouvant sur une petite partie au Sud d'Oued Ghazouanah, alternance de marnes et grès et les basaltes de Boukiou.

II-2-4 Quaternaire :

- ✓ Basalte quaternaire : Ce sont des roches volcaniques dispersées sur les points les plus hauts.
- ✓ Calabrien marin et dunaire : Cette formation localisée sur les parties Est limitrophes de la mer.

- ✓ Croûtes calcaires anciennes : Sont dispersées en petites superficies sur l'ensemble de la commune.
- ✓ Post-calabrienanté-croûte : Se limitant à la partie sud d'Oued Abdellah.
- ✓ Alluvions et limons : occupent des surfaces étendues sur les vallées des Oueds et le Nord-Ouest de la région. (Ahmed Ammar Y, 2014).


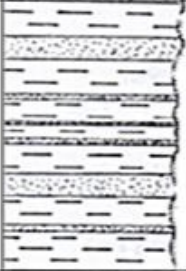

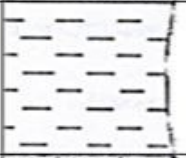

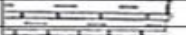






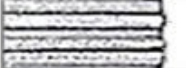

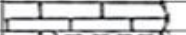


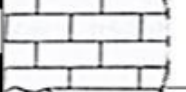
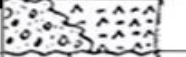

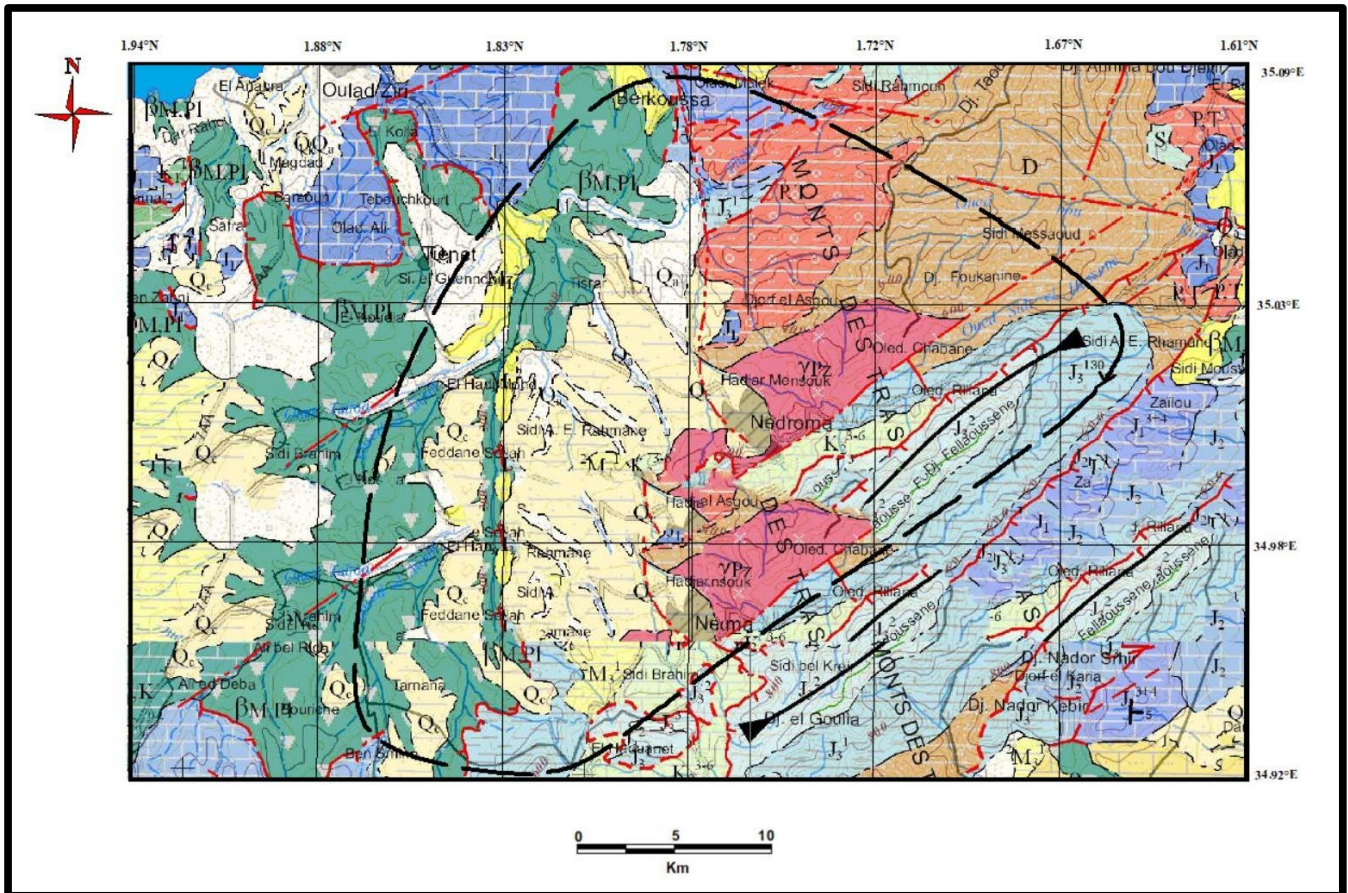
Ages des Formations	Colonne lithostratigraphique	Les Formations
Quaternaire		Alluvions + Limons
Miocène moyen (Serravalien)		Alternances de marnes et de grès
Miocène inférieur		Basaltes de Boukiou
Miocène inférieur		Marnes verdâtres
Miocène inférieur		Conglomérats de base
Coniacien		Marno-calcaires blancs
Turonien		Calcaires argileux
Cénomannien		Groupe argilo-marneux
Aptien		Dolomie aptienne
Tithonien à Valanginien		Groupe marno-carbonaté
Kimmeridgien supérieur		Dolomie de Tlemcen
Oxfordien supérieur à Kimmeridgien inférieur		Grès de Boumédiene
Callovo - Oxfordien		Argiles de Saïda
Bathonien		Marnes de Sekika
Aaléno-Bajocien		Calcaires des Traras
Toarcien		-Marno-calcaires de Bayada -Ammonitico rosso des Traras
Domérien		Calcaires de Tisedoura
Carixien		Calcaires compacts de Zailou
Permo-Trias à Infra Lias		-Formations volcano-sédimentaire -Série détritique pourpre
Paléozoïque		Schistes quartzitiques

Figure 05 : Colonne litho-stratigraphique synthétique (Miri et Kebir,1992).



Légende :

- Q^a Quaternaire (Holocène) Alluvions actuelles et récentes par endroit éboulis des pentes et accumulation de piémont (sables, graviers et argiles) et mollasses
 - Q^a Quaternaire Croûte calcaire - dépôts quaternaires anciens avec surface encroûtée
 - M.P.I. Mio-Pliocène Basaltes et tufs basaltiques
 - Mi¹ Miocène supérieur (Tortonien) Marnes bleues
 - Mi² Miocène inférieur (Burdigalien) Grès et poudingues
 - K^{3a} Crétacé supérieur (Coniacien-Maastrichtien) Marnes grises et calcaires lites au sommet
 - J² Jurassique supérieur (Kimméridgien) Dolomies, calcaires, grès et argiles
 - J¹ Jurassique supérieur (Oxfordien) Argilites, grès calcaires et marnes
 - J¹ Jurassique inférieur (Lias) Calcaires massifs et localement dolomitiques
 - P.T. Permo-Trias Schistes, quartzites et conglomérats
 - D Dévonien Schistes, microbrèches et grès
 - Pz Paléozoïque? Granites
- Limite de zone d'étude
 Chevauchement déterminé
 Faille supposée
 Synclinale

Figure 06 : l'extrait de deux cartes géologiques Ghazaouet et Tlemcen au sud de la zone d'étude. (Extraite de la carte géologique de Ghazaouet 1/200000).

II-3 Synthèse tectonique :

D'après Guardia 1970-1975, les grands traits structuraux du massif et ceux de notre secteur d'étude sont acquis avant la transgression du Miocène moyen. Les principales phases responsables de l'apparition des structures appartiennent à l'orogénèse atlasique reconnaissable par son style, d'anticlinaux discontinus (Guardia, 1970, 1975, in Benhamou, 1983).

La tectonique cassante de la couverture mésozoïque affecte le substratum primaire préalablement tectonisé. En effet, la discordance angulaire du Permo-Trias sur le Primaire, démontre l'existence d'une tectonique hercynienne qui agit en compression et engendre des plis isopaques (Guardia, 1975). Les schistes fortement plissés dessinent des plis à grands rayons de courbure plongeant vers le Sud (Gentil, 1903) d'une orientation ENE-WSW.

II-3-1 Principales phases tectoniques :

Selon Guardia 1970- 1975, l'évolution structurale s'est déroulée suivant quatre phases post -Jurassique :

A) Phase de compression d'âge Eocène moyen :

Responsable des structures plissées qui sont à l'origine du Djebel Sekika et du Djebel Fillaoucène. Elle correspond à la phase lutétienne du Tell largement décrite par les auteurs (Delteil & Fenet, 1975, Guardia & Polvèche, 1971, Guardia, 1973 in Benhamou, 1983).

B) Phase de distension d'âge Oligocène :

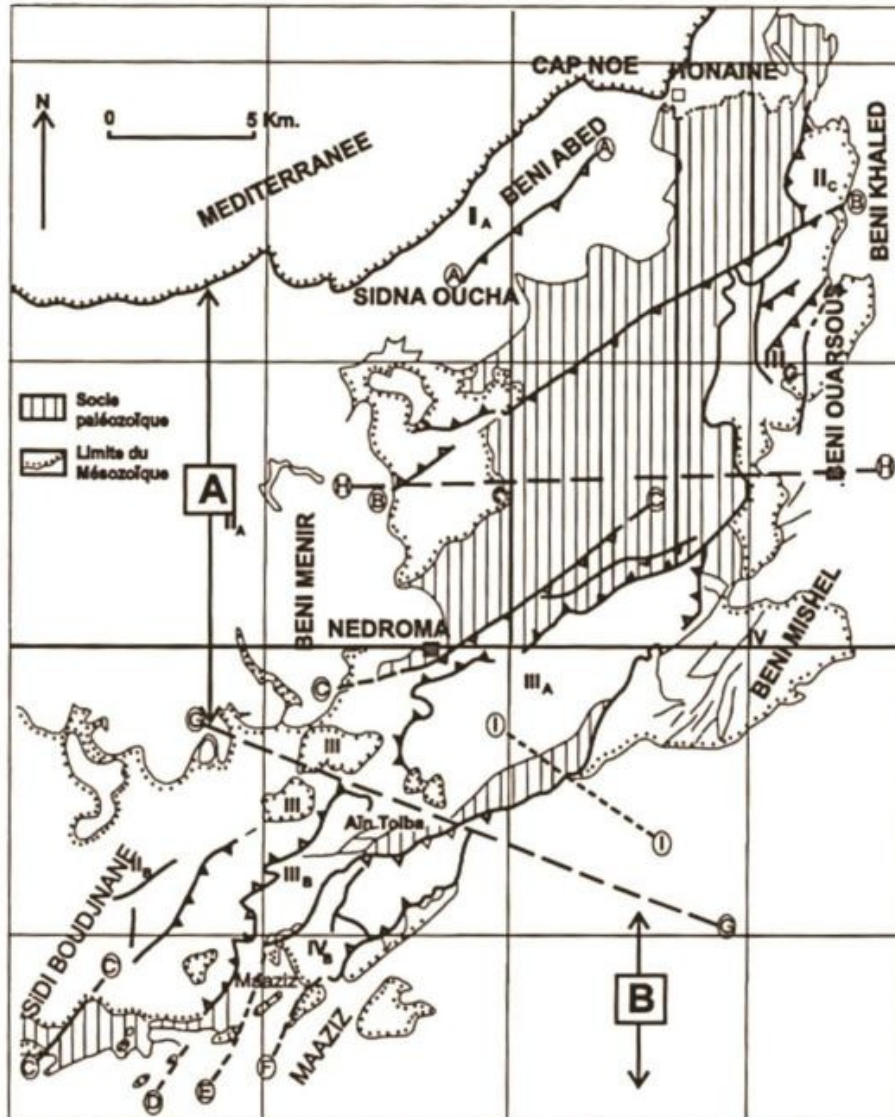
Elle présente une très grande importance dans l'architecture de la région, elle est responsable de son découpage en horsts et en grabens de direction moyenne N50 (pour une moindre part, de direction N20). Ils recoupent les plis de la première phase et présentent le plus souvent des rejets importants.

C) Phase de compression miocène :

Beaucoup plus accentuée que celle de la première phase, intervient sur la tectonique déjà complexe. Cette phase déforme les failles plis. Dans la chaîne de Fillaoucène, l'anticlinal à cœur primaire se déverse vers le NW. Le flanc nord du Djebel Fillaoucène nous montre une évolution en anticlinal couché sur les formations crétaées.

D) Phase de compression pliocène :

Cette phase semble redresser les dépôts marins du Miocène et donne des failles de faible rejet, visibles dans les bordures orientales.



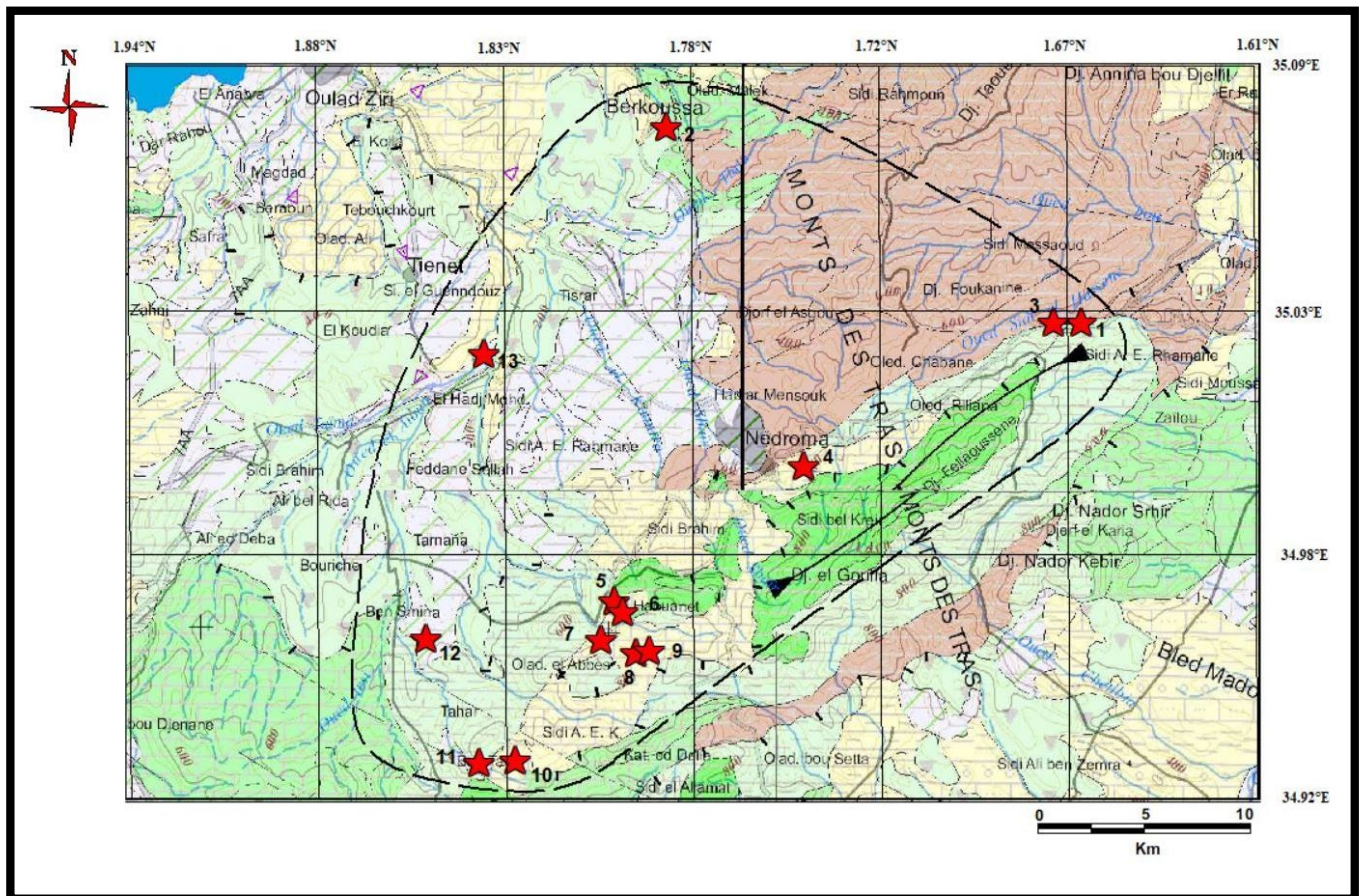
A : Traras septentrionaux ; **B** : Traras méridionaux ; **A** : faille de cap Noé **B** : Faille de Dhar ed Diss
C : Faille de Nedroma ; **J** : linéament de fernane **IA** : linéament de sidna oucha-Beni abed ; **IIA** : compartiment des Beni Menir ; **IIB** : compartiment de Sidi boudjane ; **IIIC** : compartiment des Beni khaled ; **IIIA** : compartiment de Fellaoucene ; **IIIB**/compartiment des Djebala-maaziz ; **IIIC** : compartiment de Beni ouarsous ; **IVA** : compartiment des Beni mishel ; **IVB** : compartiment du Dj. Tiouina-Bentouila.

Figure 07: Carte structurale des Monts des Traras d'après Guardia (1975), modifiée par Ameur, 1999

III- SYNTHESE HYDROGEOLOGIQUE :

Cette partie va nous permettre de déterminer les formations géologiques qui peuvent être aquifères et qui sont citées comme suit :

- * **Granite de Nédroma** : dans le secteur d'étude, le granite présente une perméabilité de fissures.
- * **Calcaires du Lias** : ils sont représentés par les calcaires compacts de Zailou et les calcaires de Tisedoura. Les sources qui émergent de ce niveau témoignent de son intérêt hydrogéologique, exemple : Ain Znaina (A.N.R.H, 2008)
- * **Calcaires des Traras** : ces formations sont très fissurées, elles sont caractérisées par leur potentiel réduit, à cause de leur faible surface d'affleurement (A.N.R.H, 2008).
- * **Grès de Boumediène**: ces grès présentent une perméabilité généralement faible ou nulle dans l'ensemble. La présence de fissures et/ou diaclases donnent à ces grès une certaine perméabilité.
- * **Dolomies de Tlemcen**: affleurent dans le secteur étudié au sommet du Djebel Fillaoussène, constituent ainsi le château d'eau de la région. L'intensité de la karstification et des fissures, ainsi que la présence de sources qui se localisent aux points bas de leurs affleurements (exemple Ain Kebira) témoignent de leur intérêt hydrogéologique (A.N.R.H, 2008).
- * **Conglomérats de base du Miocène inférieur** : les conglomérats résultent de la destruction des montagnes aux pieds desquelles ils constituent une sorte de ceinture de cône de déjection ou d'éboulis. Le réservoir perd de ses potentialités et se colmate de ses bordures, selon sa géométrie et ses variations lithologiques (A.N.R.H, 2008).
- * **Aquifère des basaltes** : C'est un aquifère discontinu (A.N.R.H, 2008), il occupe une superficie très importante au Sud de Ghazaouet et dans la région de Fillaoucène.
- * **Les alluvions du Quaternaire** : Ces formations sont localisées dans les vallées et au niveau des oueds : Oued Ghazouanah ainsi qu'à Ouled Ziri.



Légende :

Aquifère continu - porosité intergranulaire		
Perméabilité	Stratigraphie	Composition Lithologique
bonne	Holocène	Alluvions actuelles; sables, graviers et argiles
bonne	Quaternaire	Alluvions actuelles et récentes; sables, graviers et argiles
bonne	Quaternaire	Croûte calcaire-dépôts quaternaires anciens avec surface encroûtée
bonne	Quaternaire	Formations dunaires consolidées, lumachelles, poudingues et grès

- Source d'eau ★
- Oued temporaire ---
- Oued permanent —
- Limite de la zone d'étude ---

Aquifère discontinu - Porosité de fissure et karstique

	Quaternaire	Travertins, tufs et calcaires hydrothermaux
	Mio-Pliocène	Basaltes et tufs basaltiques
	Miocène supérieur Messinien	Calcaires crayeux
	Miocène supérieur Tortonien	Calcaires à lithothamnium et grès à clypeâstres
	Jurassique sup. Malm	Calcaires
	Jurassique sup. Tithonien	Dolomies cristallines
	Jurassique sup. Kimmerigien	Dolomies, calcaires, grès et argiles
	Jurassique sup. Oxfordien	Calcaires, grès, marnes et argilites
	Jurassique moyen Dogger	Calcaires à silex et dolomies
	Jurassique moyen Crétacé inférieur	Dolomies, calcaires, grès et argiles
	Jurassique inférieur Pliensbach. et Toar.	Calcaires marneux à silex et marnes

Figure 08: Localisation des sources.

IV- **ETUDE CLIMATOLOGIQUE :**

Afin de déterminer le climat de la région d'étude, nous avons exploité les données climatologiques (Températures et Précipitations) de la station de Ghazaouet.

Tableau 01: Caractéristiques de la station climatologique de Ghazaouet (A.N.R.H).

Station	Longitude	latitude	Altitude (m)
Ghazaouet	01°52'21''Ouest	35°06'00''Nord	04

Cette étude est basée essentiellement sur les données climatiques de la station de Ghazaouet dont les paramètres sont donnés au tableau n°01, en annexes, ces données sont régulières et s'étalent sur la période allant de 2001 à 2019.

IV-1 Etude des Précipitations :

Les précipitations sont considérées comme un paramètre climatique important du bilan hydrologique, c'est un facteur qui permet de déterminer le type du climat. L'évaluation pluviométrique est abordée à travers l'étude de variabilité temporelle des données de précipitations annuelles, mensuelles ainsi que saisonnières.

IV-1-1 Précipitations annuelles :

Les valeurs des précipitations annuelles (2001-2019) sont consignées dans le tableau 02 :

Tableau 02 : Précipitations annuelles à la station de Ghazaouet (2001-2019).

Années	Précipitations (mm)	Années	Précipitations (mm)
2001	328,5	2011	490
2002	438,8	2012	302
2003	610,2	2013	215
2004	532,2	2014	451
2005	484,1	2015	342
2006	465,3	2016	265
2007	579,5	2017	215
2008	760,3	2018	384
2009	511,9	2019	248,8
2010	754,1	Moy	440,91

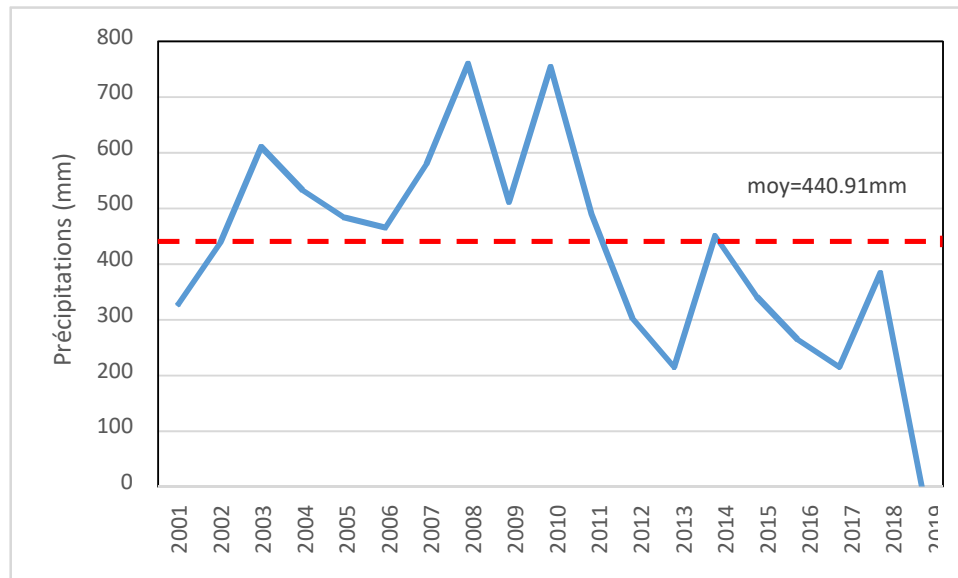


Figure 09: Variation des précipitations moyennes annuelles à la station de Ghazaouet (2001-2019).

Les variations inter- annuelles des précipitations montrent que :

- *Le maximum est enregistré en 2010. avec 754,1 mm.
- *Le minimum est enregistré en 2013 et 2017 avec 215 mm.
- *La moyenne des précipitations est de 440.91 mm.

IV-1-2 Précipitations moyennes mensuelles :

Tableau3 : Précipitations moyennes mensuelles à la station de Ghazaouet (2001-2019).

Station	Précipitations (mm)											
	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Août
Ghazaouet	20,6	50,0	74,9	47,9	67,6	44,5	37,1	40,4	26,8	5,6	1,1	8,7

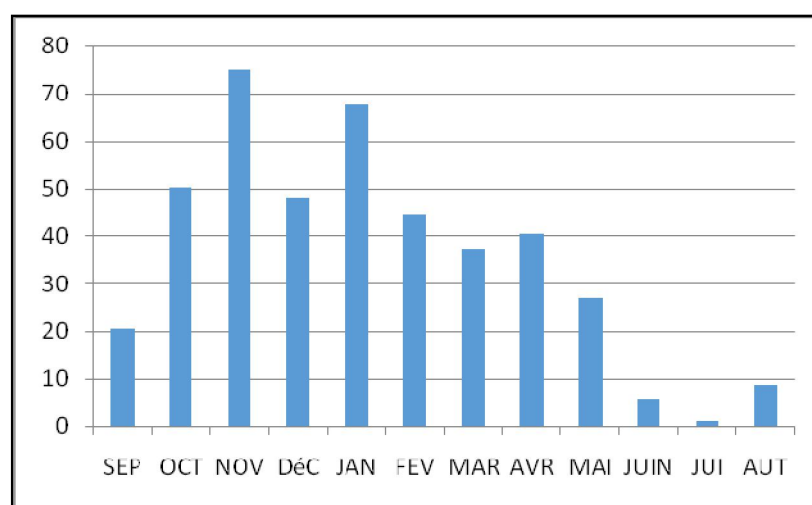


Figure 10 : Histogramme de la variation mensuelle des précipitations moyennes (2001-2019)

On note une augmentation des précipitations moyennes mensuelles au mois de Novembre (74.9mm), tandis que le mois de juillet est marqué par les précipitations les plus faibles (1.1mm).

IV-1-3 Précipitations saisonnières :

Les précipitations saisonnières correspondant aux quatre saisons de l'année :

- Hiver : Décembre, Janvier, Février ;
- Printemps : Mars, Avril, Mai ;
- Eté : Juin, Juillet, Août ;
- Automne : Septembre, Octobre, Novembre.

Les valeurs des précipitations saisonnières (2001-2019) sont consignées dans le tableau 04 :

Tableau 04 : Précipitations saisonnières (station de Ghazaouet).

Station	Précipitations saisonnières (mm)			
	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Ghazaouet	48,56	53,40	34,82	5,18

La figure ci-dessous montre que l'hiver est la saison la plus pluvieuse, par contre l'été est la saison la plus sèche.

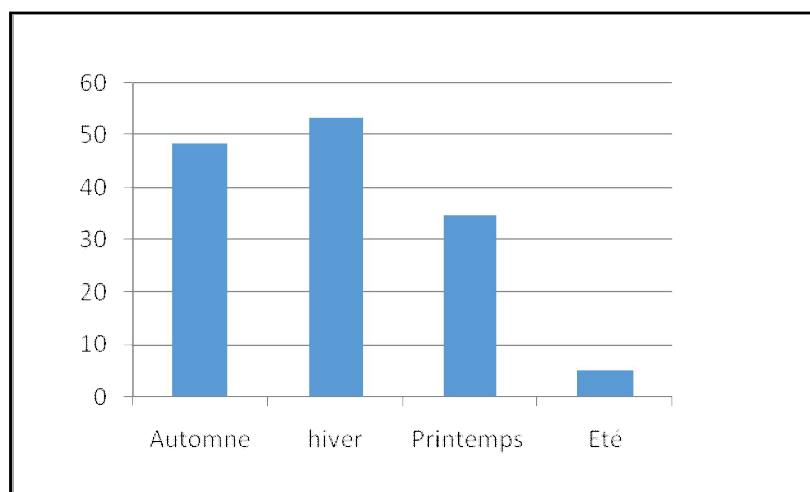


Figure 11: Variation des précipitations saisonnières à la station de Ghazaouet (2001-2019).

IV-2 Etude des températures :

IV-2-1 Températures moyennes annuelles :

Les paramètres thermiques jouent un rôle déterminant pour déceler le caractère climatique d'une région donnée, sans oublier son rôle dans le déroulement de tous les processus biologiques, selon des modalités diverses (Chekouki Z. &Belguerna A., 2012).

Les valeurs des températures moyennes annuelles (2001-2019) sont données dans le tableau 06.

Tableau 06 : Températures moyennes annuelles de la station de Ghazaouet (2001-2019).

Années	Températures annuelles (°C)	Années	Températures annuelles (°C)
2001	19,20	2011	18,95
2002	19,53	2012	18,50
2003	19,45	2013	18,30
2004	18,93	2014	19,02
2005	18,43	2015	18,85
2006	19,34	2016	18,92
2007	18,97	2017	18,83
2008	18,96	2018	18,42
2009	19,50	2019	18,54
2010	19,33	Moyenne	18,95

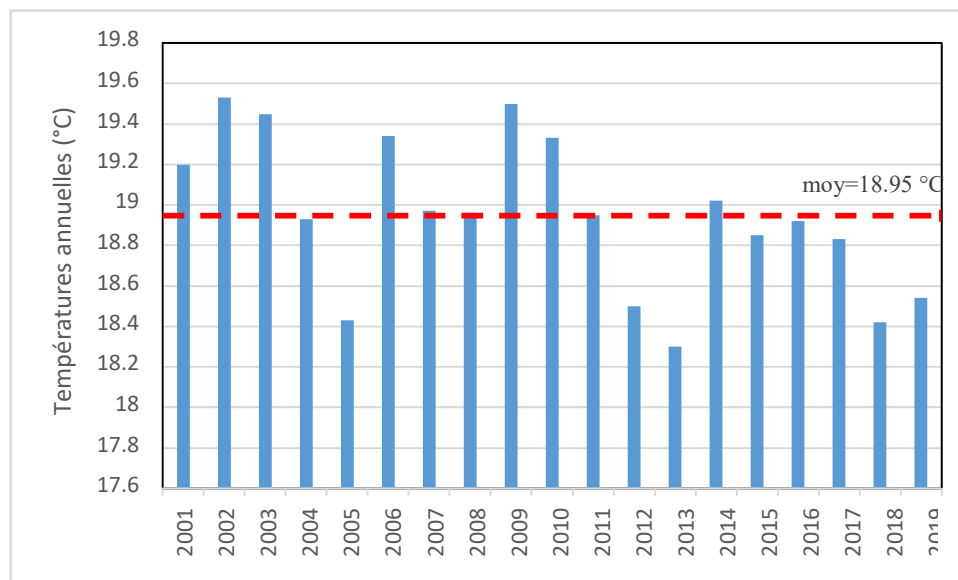


Figure 12 : Variation des températures moyennes annuelles (2001-2019).

La figure ci-dessus montre que l'année 2002 est la plus chaude, avec une température annuelle maximale de 19.53 °C, tandis que l'année 2013 est l'année la plus froide avec une température de 18.30°C. La température moyenne annuelle est de 18.95°C.

IV-2-2 Températures moyennes mensuelles :

Le tableau ci-dessous montre les variations des températures mensuelles : minimales, maximales et moyennes sur une période de 18 ans.

Tableau 05 : Températures mensuelles minimales, maximales et moyennes (2001-2019).

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil.	Août
T° max (C°)	24,5	24,4	18,8	16,9	14,8	16,2	17,5	17,8	20,4	24,4	26,8	27,9
T° min (C°)	23	19,6	15,4	13,3	10,7	11	13,5	15,6	17,6	19,3	24	25,3
T° moy (C°) (t.max+t.min) /2	23,75	22	17,1	15,1	12,75	13,6	15,5	16,7	19	21,85	25,4	26,6

- La plus basse et la plus haute valeur des températures maximales sont enregistrées respectivement aux mois de **Janvier** avec **14.8°C** et d'**Août**, avec **27.9°C**.
- La plus basse et la plus haute valeur des températures minimales sont enregistrées respectivement aux mois de **Janvier** avec **10.7°C** et d'**Août** avec **25.3°C**.
- Les températures moyennes sont calculées par la relation suivante : $T^{\circ}\text{moy}=(T^{\circ}\text{max}+T^{\circ}\text{min}) /2$; il ressort des résultats obtenus que le mois de **Janvier** est le plus froid, avec **12.75°C** et le mois d'**Août** est le plus chaud, avec **26.6°C**.

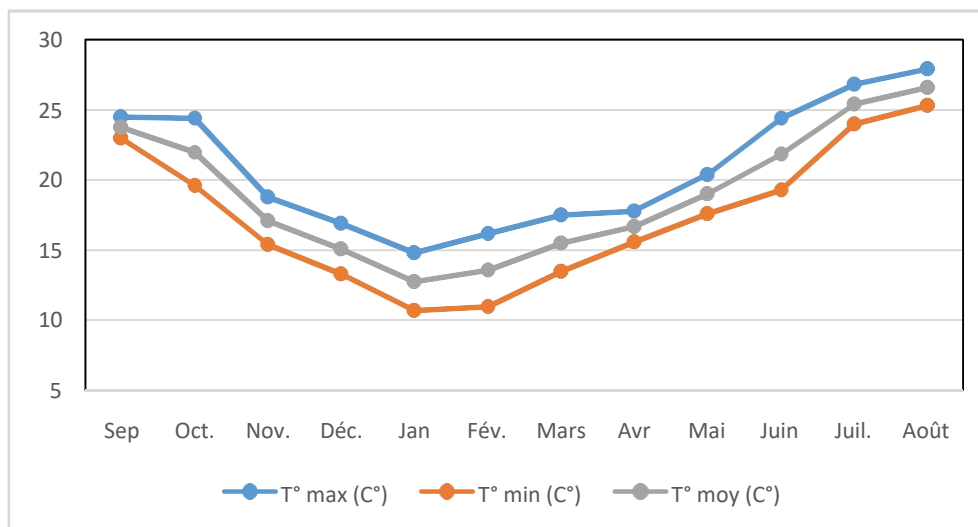


Figure13 : Variations des températures (minimales, maximales et moyennes).

Les valeurs des températures moyennes mensuelles (2001-2019) sont représentées dans le tableau ci-dessous:

Tableau 07 : Températures moyennes mensuelles de la station de Ghazaouet (2001-2019).

Station	Températures mensuelles (°C)											
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Ghazaouet	23,75	22	17,1	15,1	12,75	13,6	15,5	16,7	19	21,85	25,4	26,6

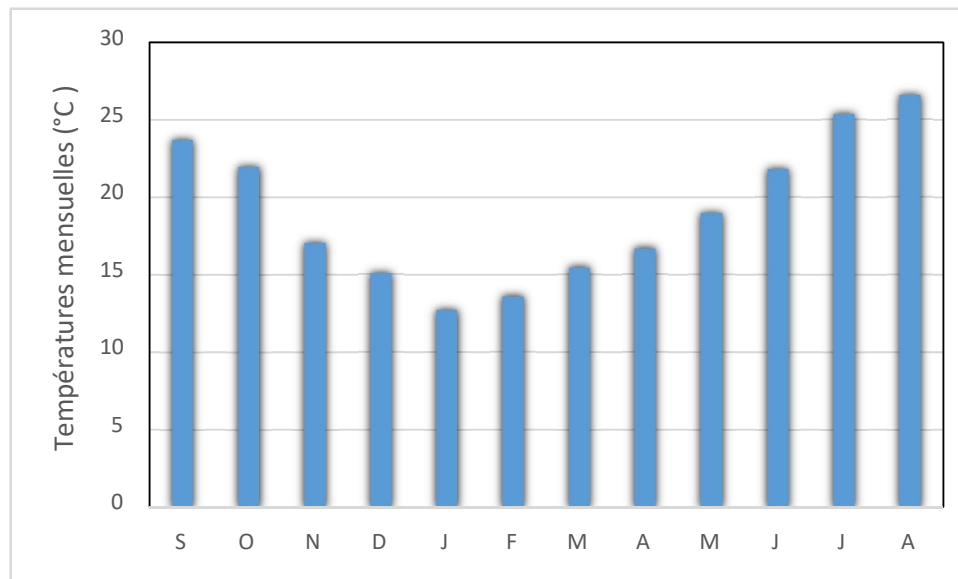


Figure13 : Histogramme de variation des températures moyennes mensuelles (2001-2019).

La figure n°13 montre une diminution de la température de Septembre jusqu'à janvier avec une température minimale de 12,75°C au mois de Janvier, puis elle augmente jusqu'au mois d'Août avec une température maximale de 26,6 °C.

IV-3 Synthèse climatique :

Afin d'identifier la nature du climat qui règne dans notre zone d'étude, nous avons essayé d'utiliser des méthodes empiriques et graphiques telles que :

✓ **Diagramme de Bagnouls et Gaussen** : Pour Bagnouls et Gaussen, un mois sec est celui où le total moyen des précipitations exprimé en mm, est inférieur ou égal au double de la température moyenne exprimée en °C. Cette relation ($P \leq 2T$), permet d'établir des diagrammes pluvio-thermiques sur lesquels la température est portée à une échelle double de celle des précipitations. Pour un mois sec, la courbe des températures passe au-dessus de la courbe des précipitations. Pour un mois humide, la courbe des précipitations passe au-dessus de celle des températures. A partir des valeurs des précipitations moyennes mensuelles et celles des températures moyennes mensuelles on peut établir un diagramme pluvio-thermique (figure14).

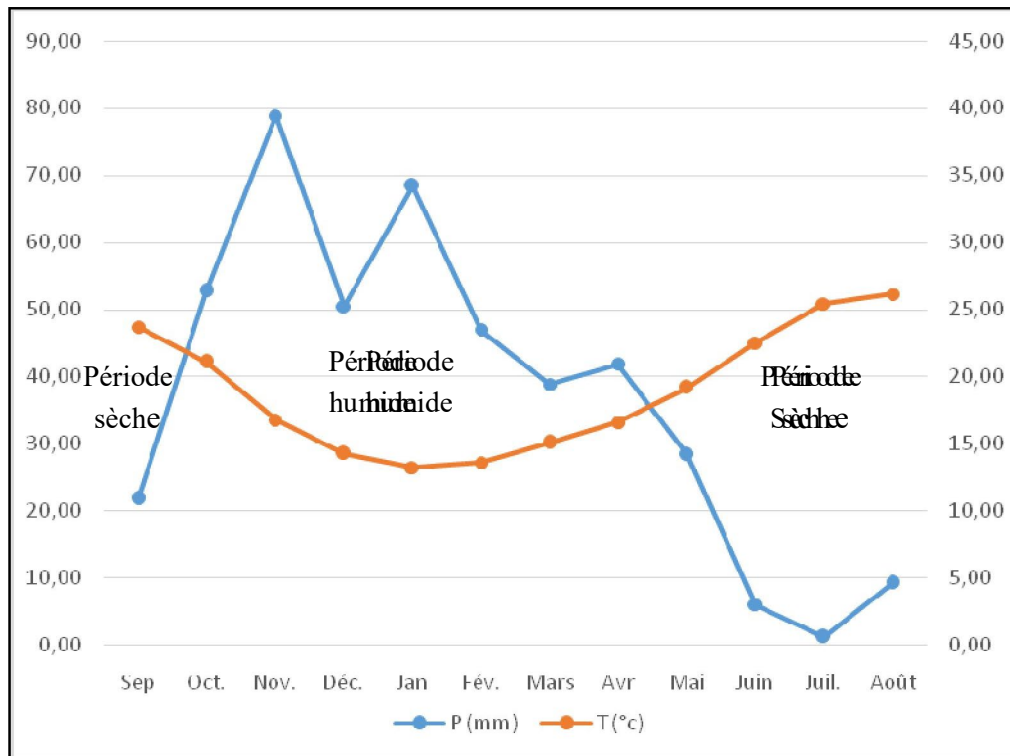


Figure 14 : Diagramme pluvio-thermique de Bagnouls et Gausson (2001-2019).

D'après le diagramme, on constate que la courbe des précipitations se situe au-dessus de celle des températures.

- Une période humide : qui s'étend de la fin septembre, à la mi-Avril.
- Une période sèche : qui s'étale sur le reste des mois de l'année.

✓ *Les indices climatiques :*

❖ **Indice annuel de DE Martonne : (1923)**

L'indice d'aridité de DE Martonne, noté I, a permis de déterminer le degré d'aridité annuel de la région d'étude suivant la formule :

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

P : Précipitations moyennes annuelles (mm).

T : Température moyenne annuelle (°C).

Pour :

- * $20 < I < 30$ → climat tempéré
- * $10 < I < 20$ → climat semi-aride
- * $7.5 < I < 10$ → climat steppique
- * $5 < I < 7.5$ → climat désertique
- * $I < 5$ → climat hyper-aride.

Tableau 10 : tableau d'indice d'aridité annuel de DE Martonne.

Station	P (mm)	T°C	I	Type du climat
Ghazaouet	440.91	18,95	15,23	Semi-aride

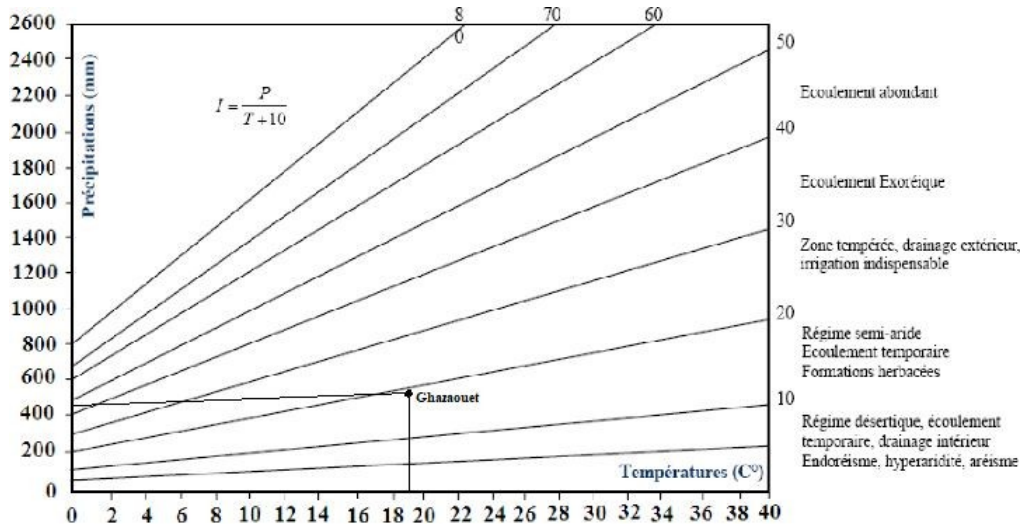


Figure15: Abaque d'indice d'aridité annuel de DE Martonne.

❖ **Indice d'aridité mensuelle de DE Martonne :**

Cet indice a été mis au point par les élèves de DE Martonne. Il est donné par la formule suivante :

$$i = \frac{12P}{t+10}$$

Avec :

p : Précipitations moyennes mensuelles (mm).

t: Températures moyennes mensuelles (°C).

Tableau 11 : Valeurs des indices mensuelles de DE Martonne.

Station	Indice d'aridité mensuelle (i)											
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Ghazaouet	7.64	20.1	34.71	25.71	35.08	22.67	17.07	18.30	11.44	2.17	0.44	3.00

Tableau 12 : Caractérisation des mois.

Station/Mois	Type du régime climatique mensuel											
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Ghazaouet	S	T	T	T	T	T	S	S	S	H	H	H

Avec :

- * H : mois hyper- aride,
- * D : mois désertique,
- * S : mois semi-aride,
- * T : mois tempéré.

❖ **Indice de Moral Annuel :(1964)**

Après des études faites sur le régime pluviométrique de l’Afrique de l’Ouest, Moral a établi un indice d’aridité annuel. Cet indice est donné par la relation suivante :

$$I(a) = \frac{P}{T^2 - 10T + 200}$$

Avec :

- P : Précipitations moyennes annuelles (mm),
- T : Température moyenne annuelle (°C).

Tableau 13 : indice annuel de Moral :

Station	P (mm)	T (°C)	I(a)
Ghazaouet	440,91	18,95	1.2

Lorsque :

$I_a < 1$ le climat est considéré comme sec.

$I_a > 1$ le climat est considéré comme humide

Ce tableau confirme que notre région d’étude est caractérisée par un climat humide.

❖ **Indice mensuel : (Im)**

Moral a proposé aussi un indice mensuel selon la formule :

$$i(m) = \frac{P}{0.1Tm^2 - Tm + 20}$$

Avec :

- P : Précipitations moyennes mensuelles (mm),
- Tm : Températures moyennes mensuelles (°C).

Les quatre types de mois indiqués par Moral sont :

- Mois pluvieux : $P > 0.1 T^2 + T + 30$
- Mois humide : $0.1 T^2 + T + 30 > P \geq 0.1 T^2 - T + 20$
- Mois sec : $0.1 T^2 - T + 20 > P \geq 0.05 T^2 - T + 10$
- Mois aride : $P < 0.05 T^2 - T + 10$.

Tableau 14 : indice mensuel de moral de la station de Ghazaouet.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août
P(mm)	21.7	52.6	78.8	50.4	68.4	46.9	38.8	41.8	28.3	5.9	1.2	9.19
T(C°)	23,75	22	17,1	15,1	12,75	13,6	15,5	16,7	19	21,85	25,4	26,6
<i>Im</i>	0.41	1.21	2.52	1.95	2.82	1.89	1.40	1.35	0.75	0.12	0.02	0.14
Type du Climat	A	H	H	H	H	H	H	H	A	A	A	A

IV-4 Bilan hydrologique :

L'avantage de l'étude du bilan hydrologique c'est de faire une comparaison entre : Les précipitations P (mm) et l'évapotranspiration ETP, ce qui permet de distinguer les différentes situations en fonction de seuils qui sont directement significatifs pour un lieu ou une période donnée (Dastes F. D., 2004).

IV-4-1 Evapotranspiration et déficit d'écoulement :

L'évapotranspiration correspond à la quantité d'eau totale transférée du sol vers l'atmosphère par l'évaporation du sol et par transpiration des plantes.

On distingue deux types d'évapotranspiration :

- *l'évapotranspiration réelle (ETR).
- *l'évapotranspiration potentielle (ETP).

Le déficit d'écoulement est défini comme étant la différence entre les précipitations et la lame d'eau écoulée.

- **Evapotranspiration réelle (ETR) :**

L'estimation de ce paramètre peut se faire à l'aide de plusieurs méthodes :

- ✓ Méthode de TURC.
- ✓ Méthode de COUTAGNE.
- ✓ Méthode de WUNDT.

- ✚ **Méthode de TURC :**

La formule de Turc (1954) ; qui permet d'évaluer l'ETR annuelle à partir de la hauteur de la pluie de la température moyenne annuelle, dont l'expression est la suivante :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{P}{T}\right)^2}}$$

AVEC :

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

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

T : température moyenne annuelle (°C).

ETR : évapotranspiration réelle annuelle (mm/an).

Le résultat est reporté dans le tableau ci-dessous :

Tableau 15 : calcul de l'ETR par la méthode de TURC.

Station	P(mm)	T(°C)	ETR (mm/ans)	L	Écoulement et Infiltration (mm) (P-ETR)
Ghazaouet	440.91	18.95	432.26	1107.7	-

✚ Méthode de COUTANGNE :

L'évapotranspiration réelle ou le déficit d'écoulement est calculée à partir de la relation suivante :

$$ETR = D = P - \lambda P^2 \quad \text{AVEC} \quad \lambda = \frac{1}{(0.8 + 0.14T)}$$

D : le déficit d'écoulement en (m/an).

P : précipitation moyenne annuelle (m/an).

T : température moyenne annuelle (°C).

λ : désigne un facteur dépendant de la température moyenne annuelle.

Remarque : cette formule n'est pas applicable que pour P comprise entre $\frac{0.446}{\lambda} < P < \frac{0.8}{\lambda} = 0.28, \frac{0.8}{\lambda} =$

$$0.446, \frac{0.8}{\lambda} = 1.78$$

La formule de Coutagne n'est donc pas applicable dans notre cas, car :

$$\frac{0.8}{\lambda} > P$$

Tableau 16 : Valeur du déficit d'écoulement (Coutagne).

P(mm)	$\frac{1}{8\lambda}$	$\frac{1}{2\lambda}$	D (mm)	Écoulement et Infiltration (mm) (P - D)
440.91	446	1787	-	-

🚧 Méthode de WUNDT :

Wundt a établi un abaque des courbes, modifié par M. Coutagne, permettant d'obtenir une valeur de déficit d'écoulement D en fonction de la température moyenne annuelle T et des précipitations moyennes annuelles P . (fig.16)

Les valeurs du déficit et du quotient d'écoulement en fonction de la température moyenne annuelle et des précipitations reportées sur l'abaque de Wundt donnent les résultats suivants :

Tableau 17 : Valeurs du déficit et du quotient d'écoulement.

P (mm)	T (° C)	D (mm/an)	Écoulement et infiltration (mm)
440.91	18.95	410	9,4 Soit 2,94% de P

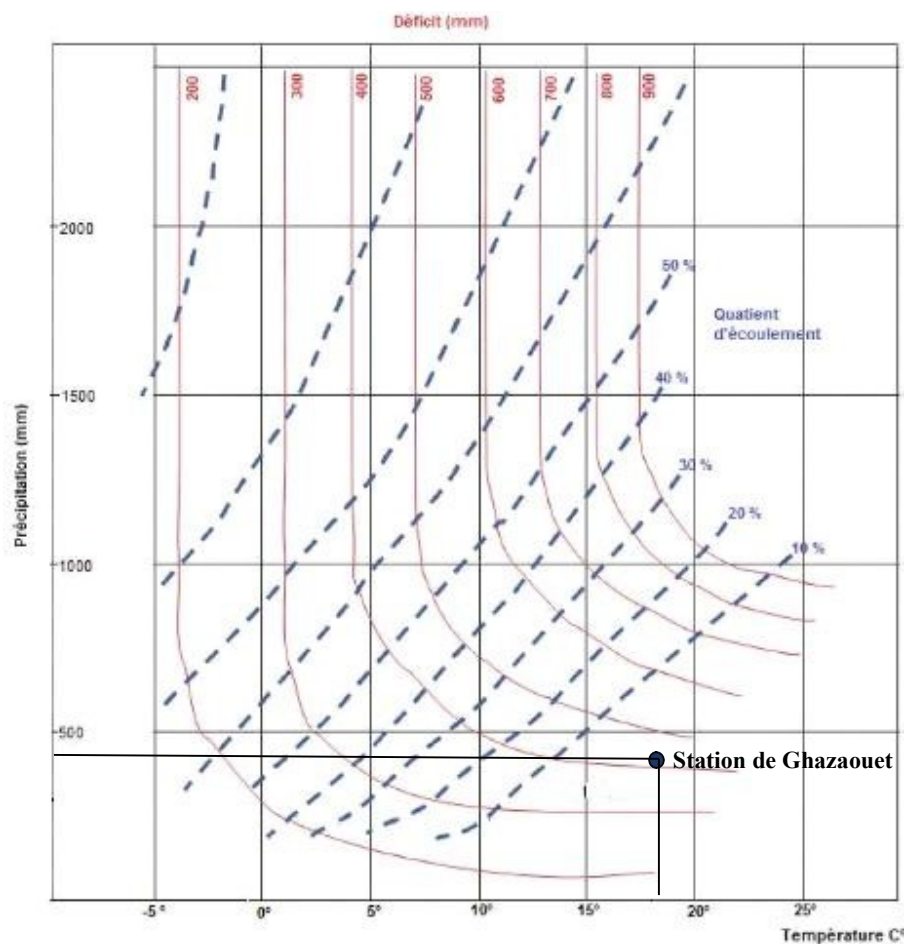


Figure16 : Détermination du déficit d'écoulement (Abaque de WUNDT).

- **Évapotranspiration potentielle (ETP) :**

- **Méthode de THORNTHWAITE :**

On doit d'abord calculer l'évapotranspiration potentielle pour chaque mois ; liée à la température, après on fait une correction en fonction de la latitude ; en utilisant la méthode de Thornthwaite :

La méthode empirique de C.W Thornthwait est donnée par la formule suivante :

$$\text{ETP non corrigée} = 16 \left(\frac{10T}{i} \right)^a \quad \text{avec : } a = 0.492 + 1.79 \cdot 10^{-2} I - 7.71 \cdot 10^{-5} I^2 + 6.75 \cdot 10^{-7} I^3$$

$$\text{ETP corrigée} = 16 \left(\frac{10T}{i} \right)^a \times K$$

AVEC :

ETP : évapotranspiration potentielle (mm).

i : indice thermique mensuelle. $i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$

I : La somme des indices mensuels des 12 mois de l'année en °C.

$$I = \sum i$$

T : Température moyenne mensuelle du mois considéré en °C.

K : Coefficient de correction, en fonction de la latitude de la station de Ghazaouet (35°N)

Tableau12 : Valeurs de l'ETP corrigée à la station de Ghazaouet (2001-2019).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy Ann
T°C	23,75	22	17,1	15,1	12,75	13,6	15,5	16,7	19	21,85	25,4	26,6	18,95
I	10,53	8,83	6,23	4,88	4,35	4,53	5,32	6,13	7,64	9,74	11,72	12,24	92,14
ETP non Corr (mm)	106,98	84,69	53,28	37,92	32,96	34,85	43,11	52,13	69,86	96,59	123,42	130,77	866,57
K	1.03	0.97	0.86	0.85	0.87	0.85	1.03	1.09	1.20	1.20	1.23	1.16	/
ETP Corr (mm)	110,19	82,15	45,82	32,23	28,68	29,62	44,41	56,82	83,84	115,91	151,81	151,70	933,17

- **Évapotranspiration réelle :**

L'évapotranspiration réelle étant liée aux réserves en eau disponible, nous pouvons considérer deux cas :

-Si les précipitations sont supérieures à l'ETP alors ETR=ETP

-Si les précipitations sont inférieures à l'ETP, alors l'ETR sera égale à l'ETP aussi longtemps que les réservoirs en eau du sol seront capables d'équilibrer la balance, alors il y a un déficit.

✚ Calcul de la réserve en eau du sol :

La R.F.U est calculée par application de la formule de Hallaire (1960) suivante :

$$Ru = \frac{C - F}{100 * (H * D + 30)}$$

Ru : réserve utile en eau du sol.

C : capacité au champ.

F : capacité au point de flétrissement.

H : profondeur du sol, (H=500mm)

D : densité apparente du sol.

90mm : Enracinement capillaire.

La valeur de (C-F) dépendent de la nature du sol, d'après les travaux antérieurs on prend C-F=20%, donc Ru= 130 mm.

Tableau 18 : Eléments du bilan hydrologique calculés en (mm) pour la station de Ghazaouet.

Paramètres/Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	At	Annuel
P (mm)	20,6	50,0	74,9	47,9	67,6	44,5	37,1	40,4	26,8	5,6	1,1	8,7	440,91
ETP (mm)	110,19	82,15	45,82	32,23	28,68	29,62	44,41	56,82	83,84	115,91	151,81	151,70	876,36
RU (130mm)	0,00	0,00	31,68	71,05	121,37	130,00	130,00	126,68	87,54	0,00	0,00	0,00	698,32
ETR (mm)	29,50	48,90	45,82	32,23	28,68	29,62	44,41	56,82	83,84	95,24	2,60	6,50	447,34
excédent	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,25	40,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	70,19
Ruissellement	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,00	28,00	14,00	7,00	4,00	2,00	1,00	70,00
Infiltration	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,00	27,00	14,00	7,00	3,00	2,00	1,00	69,00
Déficit agricole (mm)	80,69	33,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,67	149,21	145,20	429,02

P : Précipitations (mm), **ETP** : Evapo-Transpiration Potentielle (mm), **RU**: Réserve Utile (130 mm), **ETR** : Evapo-Transpiration Réelle (mm), **D.A** : Déficit Agricole (mm).

L'application de la méthode de Thornthwaite dans notre région d'étude, nous a montré que l'ETR est égale à 447,34mm et le déficit agricole est de 429.02 mm.

CONCLUSION :

La zone d'étude, où sont réparties les sources, concerne deux régions : celle de Ghazaouet et de Nédroma.

La synthèse géologique et structurale a montré que :

La zone d'étude est composée d'une part, par des formations paléozoïques et mésozoïques qui constituent les reliefs et d'autre part, par des terrains néogènes et quaternaires.

La tectonique joue un rôle important dans l'hydrogéologie de la région. Les formations géologiques sont affectées par de nombreux accidents qui favorisent la circulation des eaux souterraines et probablement l'apparition des sources.

L'analyse litho-stratigraphique a montré les différentes formations qui peuvent présenter un intérêt hydrogéologique dans la région d'étude.

Le périmètre étudié est caractérisé par un climat semi-aride, l'Hiver étant la saison la plus humide et l'été est la saison la plus sèche.

La moyenne annuelle des précipitations est de 440.91 mm, la température moyenne annuelle est de 18,95°C. Le mois d'Août est le plus chaud (26.6°C), tandis que le mois de Novembre est le plus pluvieux (74.9mm).

Le Diagramme pluvio-thermique de Bagnouls et Gaussen a fait ressortir une période humide qui s'étend de la fin Septembre à la mi-Avril, et une période sèche qui caractérise le reste des mois de l'année.

Les calculs du bilan hydrologique ont donné les résultats suivants :

- L'évapotranspiration potentielle a été évaluée à 876,36mm.
- L'évapotranspiration réelle annuelle est de 447,34mm.
- Le déficit agricole est de 429,02mm.

PARTIE : II

QUALITE DES EAUX DES SOURCES

I. Introduction :

L'étude du chimisme des eaux souterraines apporte à l'hydrogéologie beaucoup de renseignements utiles à la compréhension des phénomènes qui se produisent dans les systèmes aquifères : l'échange entre l'eau et la roche, vu que la minéralisation des eaux souterraines peut provenir de l'acquisition de l'élément chimique par dissolution et altération des minéraux du réservoir.

Le but de cette étude est de déterminer la qualité des eaux de 13 sources localisées dans la région étudiée (Fig.17 et Tableau 03 en annexes). Nous avons utilisé les analyses physico-chimiques effectuées par les laboratoires de l'A.D.E et de l'A.N.R.H, en 2016.

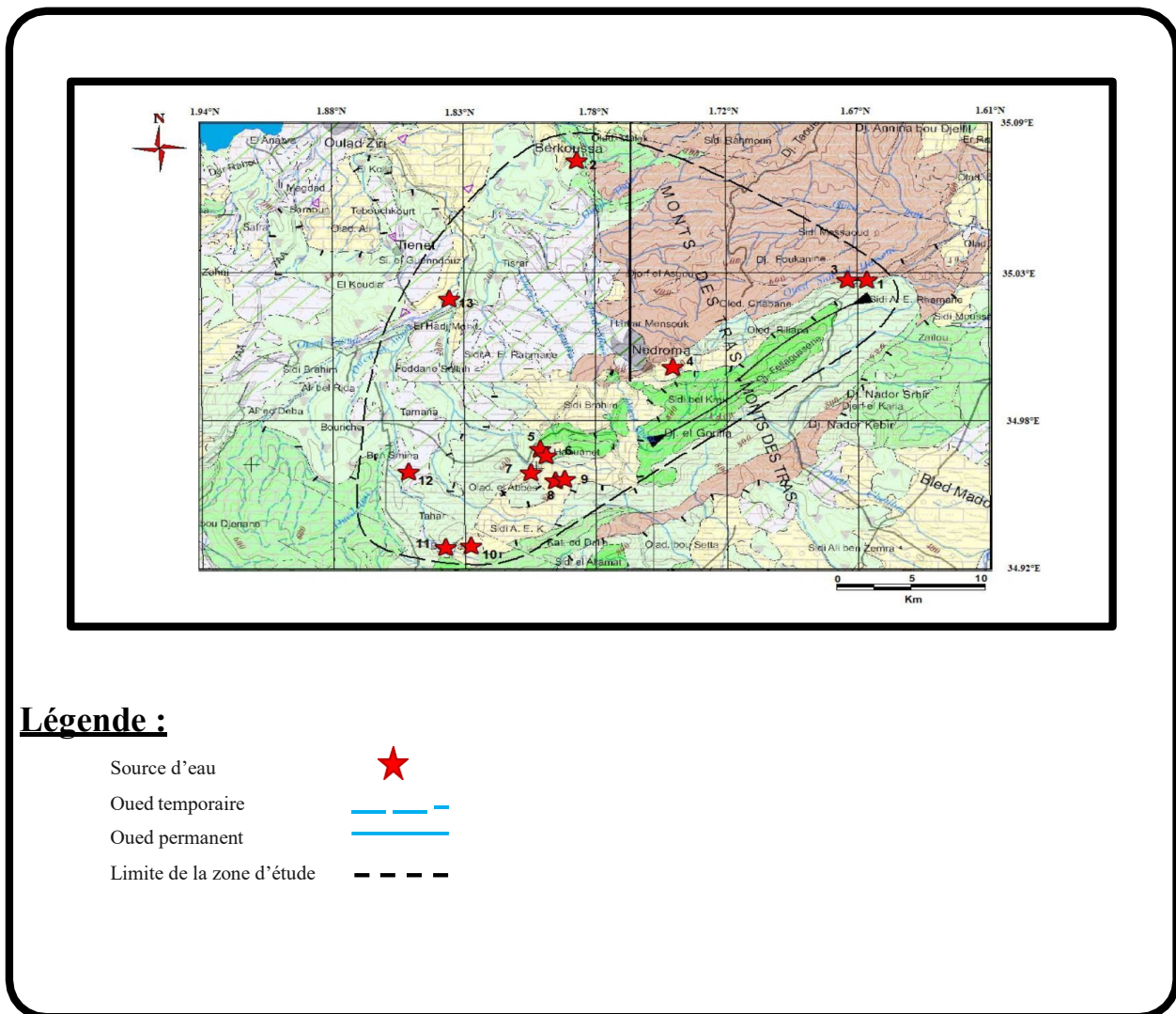


Figure17 : Carte de localisation des sources.

▪ **Balance ionique :**

La balance ionique est déterminée par la formule suivante :

$$BI = \frac{|\sum cations - \sum anions|}{\sum cations + \sum anions} \times 100$$

Lorsque :

BI < 2% : c'est une bonne analyse.

2% < BI < 5% : c'est une analyse acceptable.

BI > 5% : c'est une mauvaise analyse.

Tableau19 : Résultats de la balance ionique des points d'eau de la région d'étude.

Numéros des Sources	Anions	Cations	BI	Observation
(1)	9,24	9,24	0,01	Bonne
(2)	8,98	9,30	1,76	Bonne
(3)	8,31	8,86	3,20	Acceptable
(4)	12,31	11,60	2,97	Acceptable
(5)	12,24	11,98	1,06	Bonne
(6)	11,81	12,24	1,78	Bonne
(7)	10,84	11,41	2,55	Acceptable
(8)	11,71	11,77	0,24	Bonne
(9)	11,71	11,77	0,24	Bonne
(10)	13,55	14,04	1,79	Bonne
(11)	11,77	11,85	0,38	Bonne
(12)	14,24	14,24	0,01	Bonne
(13)	12,42	13,56	4,40	Acceptable.

Les valeurs des balances ioniques (**BI**) montrent que sur les 13 sources d'eau étudiée, on a des valeurs inférieures à (5%) (Tableau 19) pour la totalité des points. **9** sources sont qualifiées par une bonne analyse et **4** sources par une analyse acceptable.

II.ÉTUDE CLASSIFICATIVE ET QUALITATIVE DES EAUX DES SOURCES : II-

1 Faciès hydro-chimiques et familles d'eau :

Les fronts chimiques de l'eau établissent un équilibre entre la composition chimique de l'eau et des roches ; L'eau prend une minéralisation qui sert à distinguer les faciès chimiques.

Plusieurs méthodes ont été définies par divers auteurs pour classer et connaître les différents faciès hydro-chimiques des eaux.

Dans le cadre de notre étude, nous avons utilisé les méthodes principales les plus connues à savoir :

- **La classification de Schoeller et Berkaloﬀ.**
- **La classification de Piper.**
- **La classification de Stiff.**
- **La classification de Stabler.**

Toutes ces classifications sont basées sur la composition chimique des eaux.

A- Classification de Schoeller -Berkaloﬀ :

Le diagramme de Schoeller et Berkaloﬀ permet de reconnaître simplement le faciès d'une eau souterraine, en utilisant les concentrations des éléments majeurs et en les reportant sur un graphique en colonnes à échelles logarithmiques. Les valeurs utilisées sont exprimées en **mg/L** au milieu du diagramme et latéralement en **meq/L**.

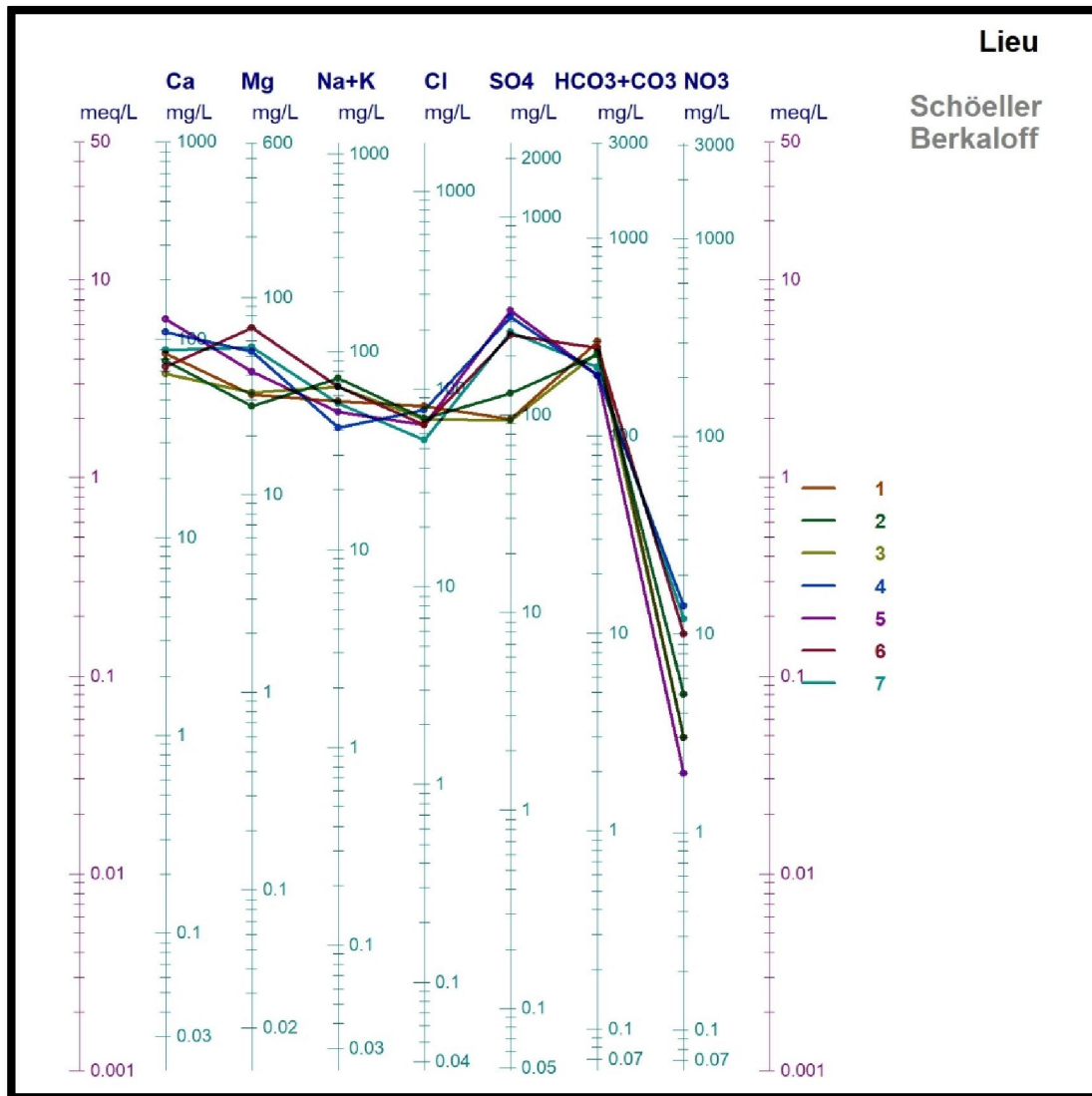


Figure20 : Diagramme de Schoeller et Berkaloff. (Groupe1).

D'après le diagramme de Schoeller- Berkaloff (Groupe1), on distingue 3 types de faciès chimiques :

- **Sulfaté calcique** : pour les points d'eau 4 et 5 et **sulfaté magnésien** pour les points d'eau 6 et 7.
- **Bicarbonaté calcique** : pour les points d'eau 1,2 et 3.

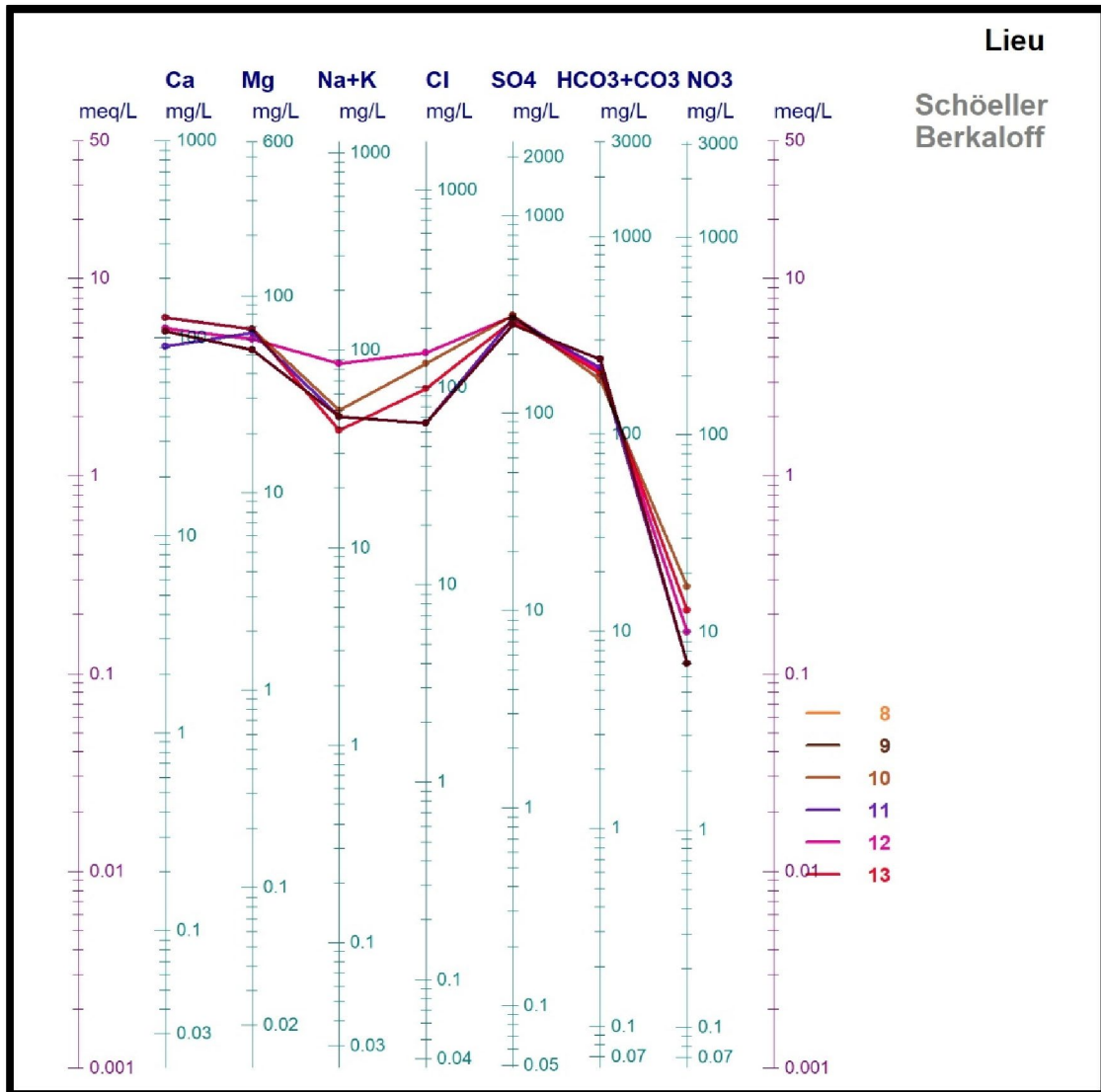


Figure 21: Diagramme de Schoeller et Berkaloff (Groupe 2).

Le groupe 2 englobe les points d'eau 8, 9, 10, 11, 12 et 13 et montre l'existence de deux faciès chimiques :

- **Sulfaté calcique** : représenté par les points d'eau 8, 9, 10, 12 et le 13.
- **Sulfaté magnésien** : représenté par le point d'eau 11.

Tableau 20 : Faciès chimiques des points d'eau.

Points d'eau	Anions	Cations	Faciès chimiques
4	$\text{NO}_3^- < \text{Cl}^- < \text{HCO}_3^- < \text{SO}_4^{2-}$	$\text{K}^+ < \text{Na}^+ < \text{Mg}^{2+} < \text{Ca}^{+2}$	Sulfaté calcique
5	$\text{NO}_3^- < \text{Cl}^- < \text{HCO}_3^- < \text{SO}_4^{2-}$	$\text{K}^+ < \text{Na}^+ < \text{Mg}^{2+} < \text{Ca}^{+2}$	
8	$\text{NO}_3^- < \text{HCO}_3^- < \text{Cl}^- < \text{SO}_4^{2-}$	$\text{K}^+ < \text{Na}^+ < \text{Mg}^{2+} < \text{Ca}^{+2}$	
9	$\text{NO}_3^- < \text{Cl}^- < \text{HCO}_3^- < \text{SO}_4^{2-}$	$\text{K}^+ < \text{Na}^+ < \text{Mg}^{2+} < \text{Ca}^{+2}$	
10	$\text{NO}_3^- < \text{HCO}_3^- < \text{Cl}^- < \text{SO}_4^{2-}$	$\text{K}^+ < \text{Na}^+ < \text{Mg}^{2+} < \text{Ca}^{+2}$	
12	$\text{NO}_3^- < \text{HCO}_3^- < \text{Cl}^- < \text{SO}_4^{2-}$	$\text{K}^+ < \text{Na}^+ < \text{Mg}^{2+} < \text{Ca}^{+2}$	
13	$\text{NO}_3^- < \text{Cl}^- < \text{HCO}_3^- < \text{SO}_4^{2-}$	$\text{K}^+ < \text{Na}^+ < \text{Mg}^{2+} < \text{Ca}^{+2}$	
6	$\text{NO}_3^- < \text{Cl}^- < \text{HCO}_3^- < \text{SO}_4^{2-}$	$\text{K}^+ < \text{Na}^+ < \text{Ca}^{2+} < \text{Mg}^{+2}$	Sulfaté magnésien
7	$\text{NO}_3^- < \text{Cl}^- < \text{HCO}_3^- < \text{SO}_4^{2-}$	$\text{K}^+ < \text{Na}^+ < \text{Ca}^{2+} < \text{Mg}^{+2}$	
11	$\text{NO}_3^- < \text{Cl}^- < \text{HCO}_3^- < \text{SO}_4^{2-}$	$\text{K}^+ < \text{Na}^+ < \text{Ca}^{2+} < \text{Mg}^{+2}$	
1	$\text{NO}_3^- < \text{SO}_4^{2-} < \text{Cl}^- < \text{HCO}_3^-$	$\text{K}^+ < \text{Na}^+ < \text{Mg}^{2+} < \text{Ca}^{+2}$	Bicarbonaté calcique
2	$\text{NO}_3^- < \text{Cl}^- < \text{SO}_4^{2-} < \text{HCO}_3^-$	$\text{K}^+ < \text{Mg}^{2+} < \text{Na}^+ < \text{Ca}^{2+}$	
3	$\text{NO}_3^- < \text{SO}_4^{2-} < \text{Cl}^- < \text{HCO}_3^-$	$\text{K}^+ < \text{Mg}^{2+} < \text{Na}^+ < \text{Ca}^{2+}$	

Selon le tableau ci-dessus et les diagrammes de **Schoeller- Berkaloff**, nous aboutissons à (3) faciès chimiques :

- ✓ **Sulfaté calcique.**
- ✓ **Sulfaté magnésien.**
- ✓ **Bicarbonaté calcique.**

B- Classification de Piper :

Le diagramme de Piper utilise les éléments majeurs pour déterminer les différentes familles des sources. Il est composé de deux triangles et un losange. Les triangles sont remplis :un de cations et l'autre d'anions.

Le report des résultats des analyses des 13 échantillons sur le diagramme de Piper est donné par la figure suivante :

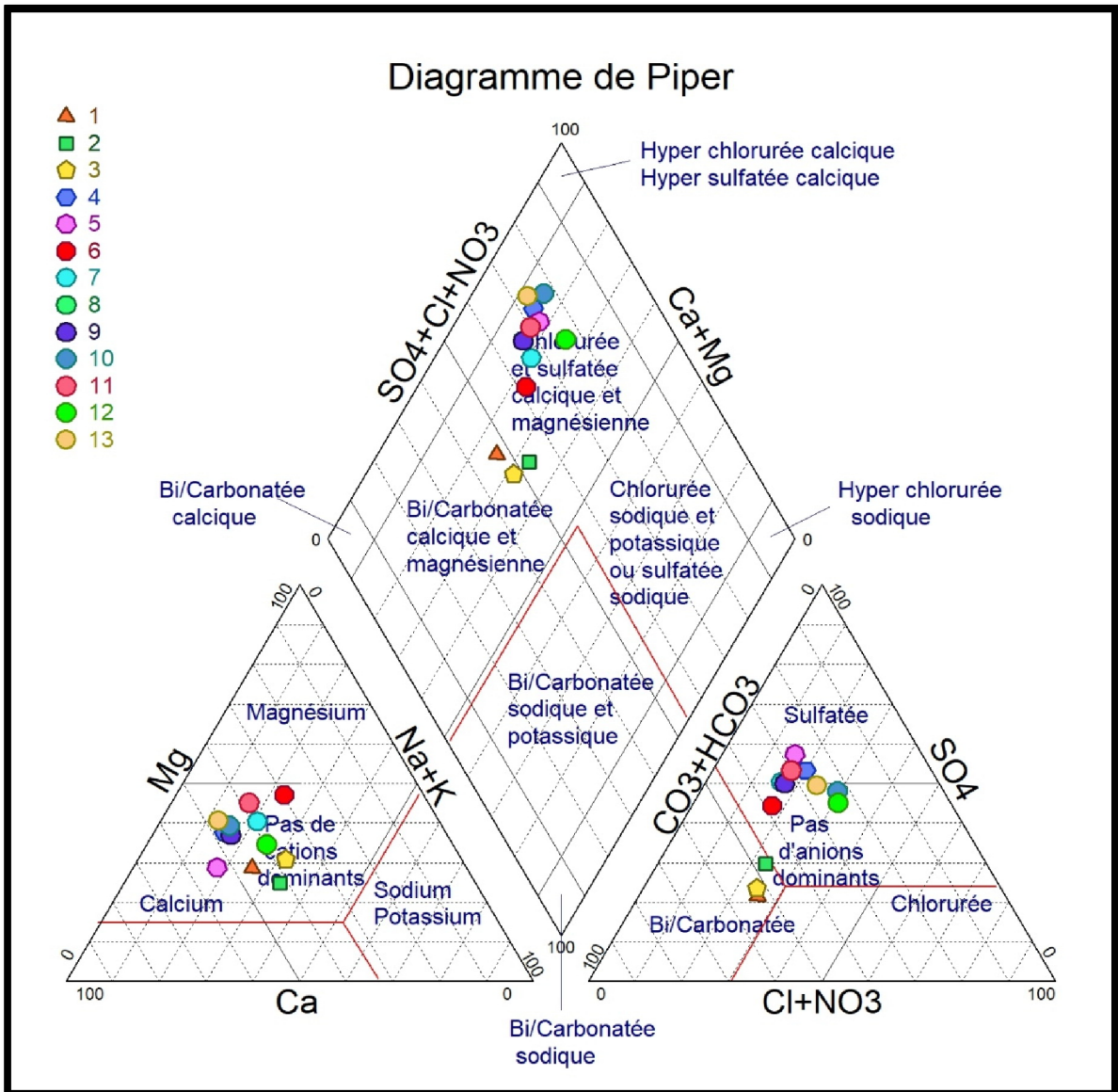


Figure22 : Diagramme de Piper.

Selon ce diagramme, on peut classer les eaux de la région étudiée selon deux grandes familles :

- **Bicarbonatée calcique et magnésienne**: représentée par les sources n° 1 et 3.
- **Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne** : représentée par les points d'eau restants : n° 2,4,5,6,7,8,9,10,11,12 et 13.

C- Classification de Stiff :

Le diagramme de Stiff présente les analyses en deux axes différents, l'axe gauche présente les cations ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Ca^{2+} , Mg^{2+}) et l'axe droit présente les anions (Cl^- , $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$, $\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-$). Les valeurs utilisées sont exprimées en **meq/L**.

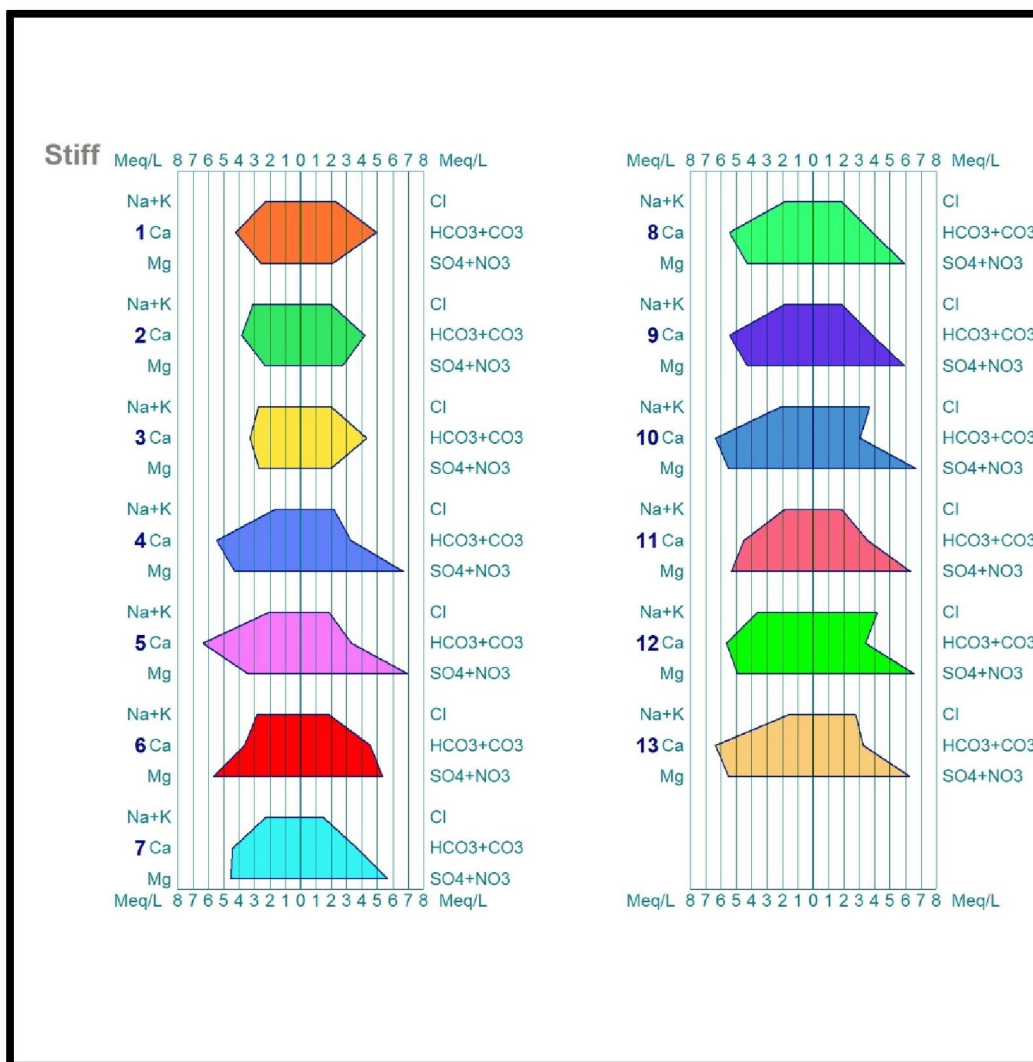


Figure.23 : Diagramme de Stiff.

D'après le diagramme de Stiff, nous observons les faciès suivants :

Bicarbonaté calcique : pour les points d'eau 1, 2 et 3.

Sulfaté calcique : pour les points d'eau 4, 5, 8, 9, 10, 12 et 13.

Sulfaté magnésien : pour les points d'eau 6, 7 et 11.

D- Classification de Stabler :

Le diagramme de Stabler est utilisé pour déterminer rapidement les différents titres d'une eau. Pour cela les concentrations en meq/L des anions et des cations sont reportées sur deux barres ou colonnes distinctes de même longueur, les concentrations étant reportées en %. La détermination des différents titres est visuelle.

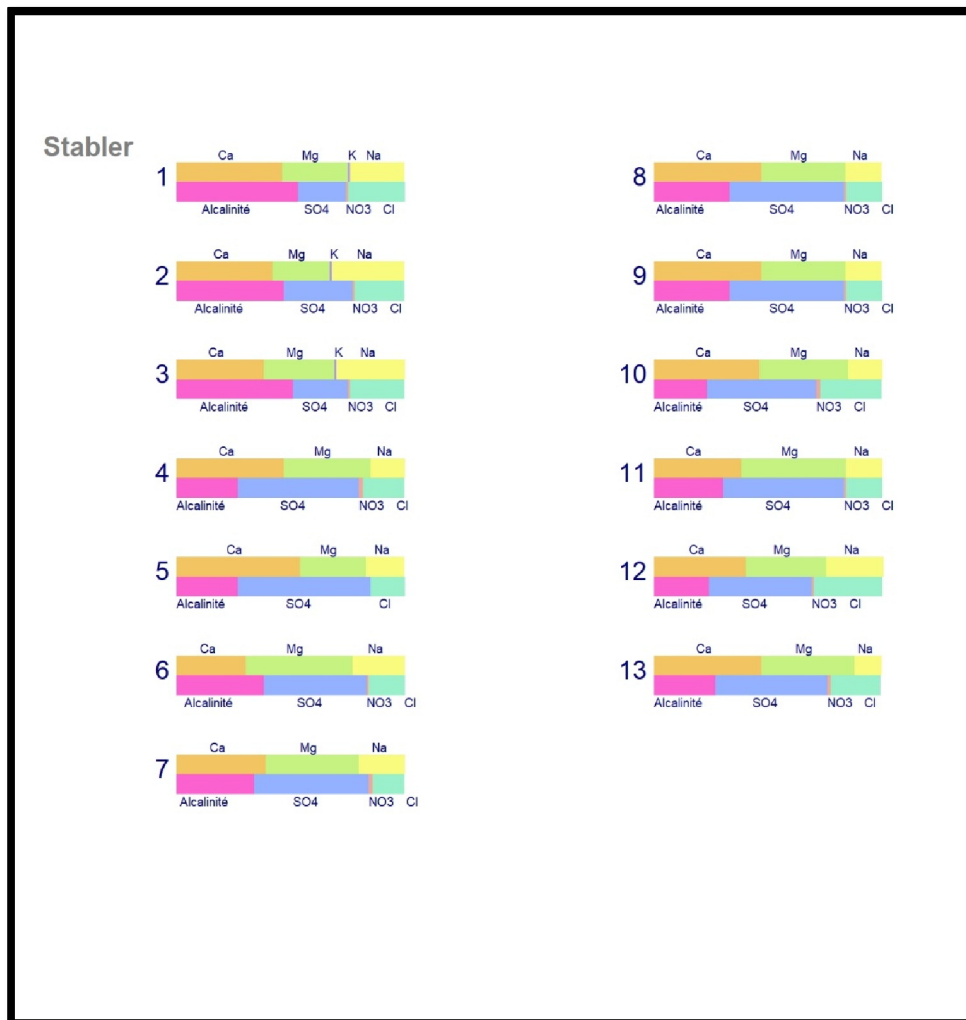


Figure24. : Diagramme de Stabler.

D'après le diagramme de Stabler, nous observons que le faciès dominant est **sulfaté calcique** représenté par les sources numérotées comme suit : 4, 5, 8, 9, 10, 12 et 13. Les autres faciès sont : **sulfaté magnésien** (7, 6, 11) et **bicarbonaté calcique** (1, 2, 3).

II-2 Comparaison des paramètres

physicochimiques avec les normes=potabilité:

1- pH :

D'après les normes algériennes, le pH doit être entre 6.5 et 9. Tous les points d'eau étudiés sont conformes aux normes (fig.25.). La valeur maximale enregistrée est de 7.50 aux points d'eau n° 2 et 13, tandis que la valeur minimale est de 7,10 aux sources n°4 et 5

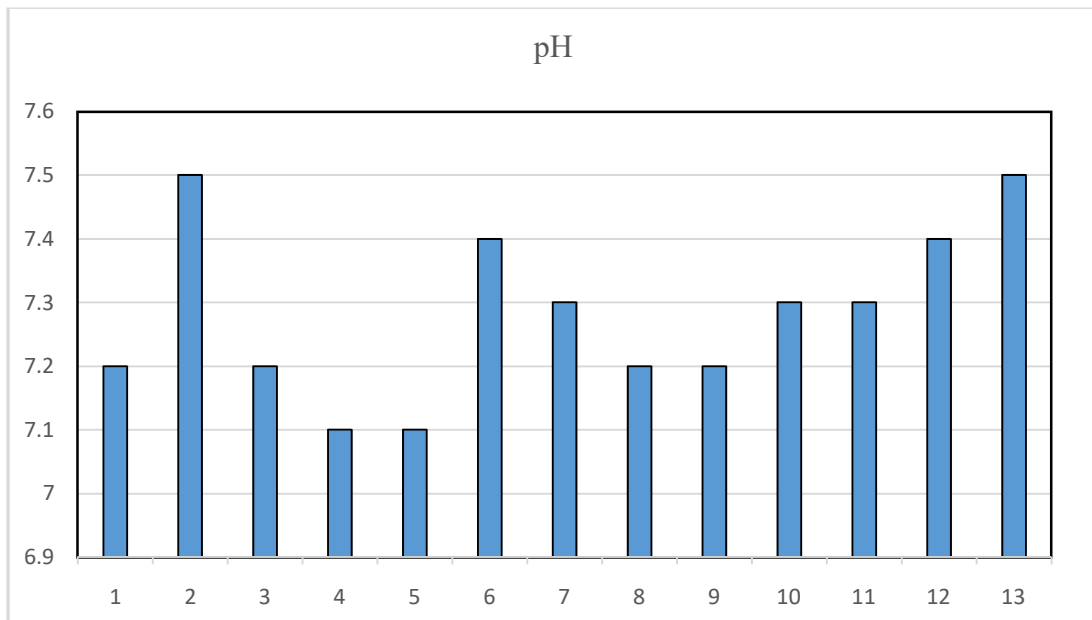


Figure25. : Histogramme du pH.

2- Conductivité électrique (CE) :

La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement la minéralisation globale de l'eau. Le tableau suivant donne la relation entre la conductivité et la minéralisation des eaux (J.Rodier, 2009).

Tableau 21 : la relation entre la conductivité et la minéralisation (J.Rodier 2009)

Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Minéralisation (mg/L)
Conductivité<100	Très faible
100<conductivité<200	Faible
200<conductivité<333	Moyenne
333<conductivité<666	Moyenne à accentuée
666<conductivité<1000	importante
Conductivité>1000	Elevée

Le tableau suivant contient les valeurs de la conductivité et la classification de la minéralisation :

Tableau 22 : Conductivité et minéralisation des sources étudiée.

La source	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Minéralisation
3	632	Moyenne à accentuée
2	646	
1	790	Importante
11	851	
4	883	
13	870	
5	892	
7	892	
6	893	
8	901	
9	901	
10	961	
12	1177	Elevée

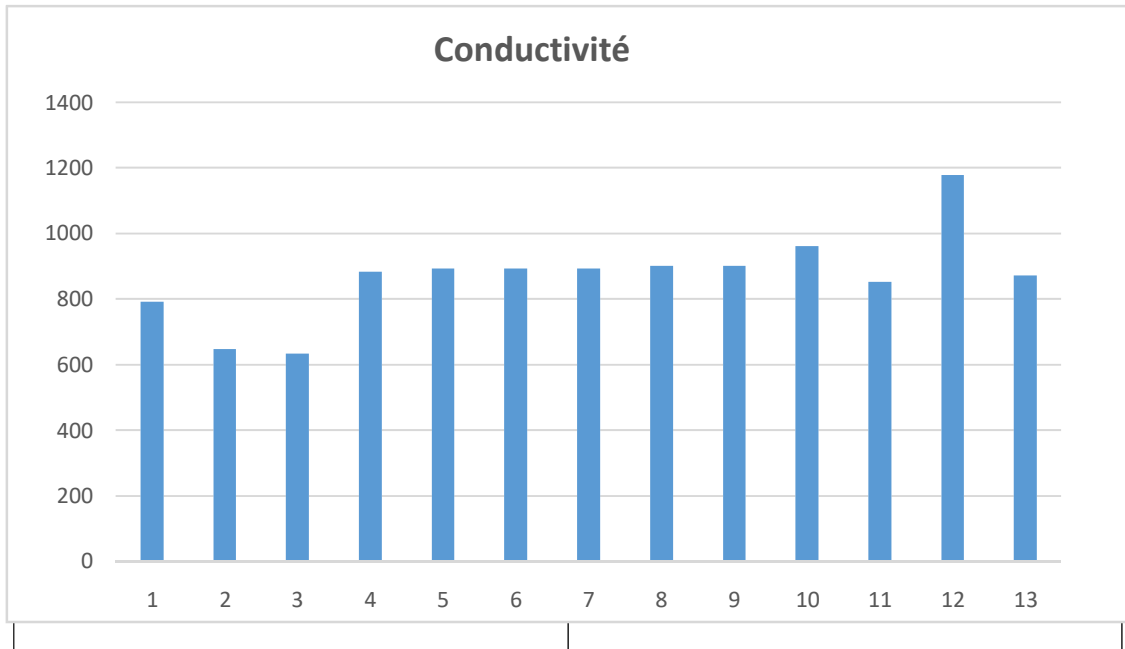


Figure26 : Histogramme des conductivités.

Les valeurs des conductivités des sources étudiées varient entre 632 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour le point d'eau n°3 et 1177 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour le point d'eau n°12, ces valeurs sont inférieures à la norme 2800 ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

La conductivité permet d'apprécier le degré de minéralisation de l'eau dans la mesure où la plupart des matières sont dissoutes dans l'eau.

Tableau 23 : Relation entre la conductivité et la minéralisation (J. RODIER ,2009).

Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Minéralisation (mg/L)
Conductivité<50	1.365079 x conductivité
50<conductivité<166	0.947658 x conductivité
166<conductivité<333	0.715920 x conductivité
333<conductivité<833	0.715920 x conductivité
833<conductivité<10000	0.755844 x conductivité
Conductivité>10000	0.850432 x conductivité

Tableau24 : Détermination de la minéralisation à partir de la conductivité.

N° de source	Conductivité (μ S/cm)	Minéralisation (Mg/L)	Classification
1	790	565,58	Moyenne à accentuée
2	646	477,69	Moyenne à accentuée
3	632	462,48	Moyenne à accentuée
4	883	667,41	Important
5	892	674,21	Important
6	893	674,97	Important
7	892	674,21	Important
8	901	681,02	Important
9	901	681,02	Important
10	961	726,37	Important
11	851	643,22	Moyenne à accentuée
12	1177	889,63	Important
13	870	657,58	Moyenne à accentuée

D'après ces résultats, la valeur maximale de la minéralisation est au point d'eau n° 12 (889.63 mg/L) et la valeur minimale est au point 3 (462.48mg/L).

3- Les cations :

3-1 L'ion Calcium :

Est un élément de la dureté totale. Les normes algériennes recommandent une concentration de 200 mg/L .pour les eaux des sources, toutes les valeurs sont dans l'intervalle de la norme.

La valeur maximale est atteinte aux points d'eau : 5,10 et 13 (128mg/L).Tandis que la plus basse valeur est enregistrée à la source 3 (67mg/L).

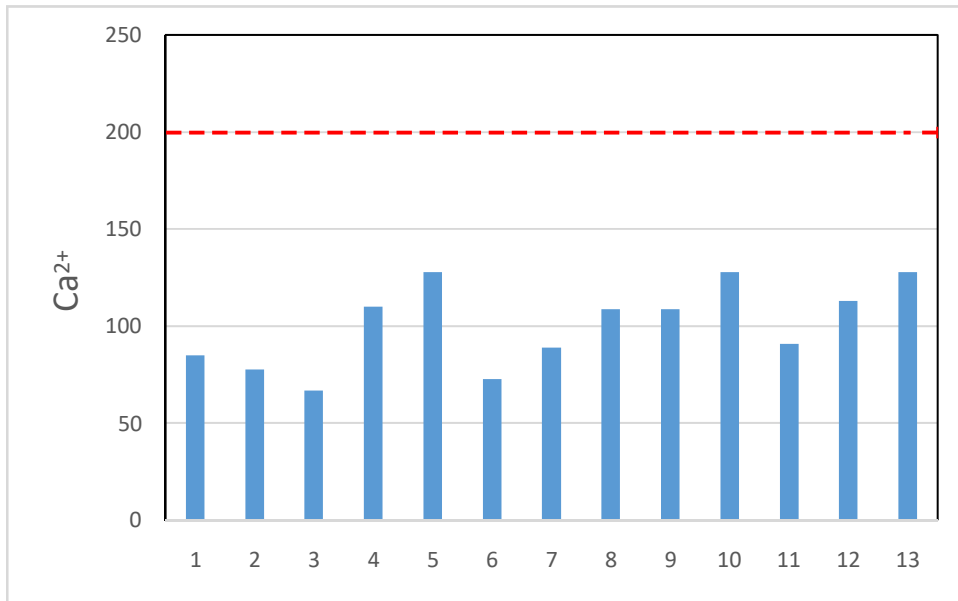


Figure 27: Histogramme de Calcium.

3-2 L'ion Magnésium :

Un des éléments les plus répandu dans la nature, c'est un élément significatif de la dureté totale. Les normes algériennes donnent une concentration maximale de 150mg/L de Mg²⁺, toutes les sources sont dans cet intervalle. La valeur maximale est au point d'eau n°6 (70 mg/L), la valeur minimale est atteinte au point 2 (28mg/L).

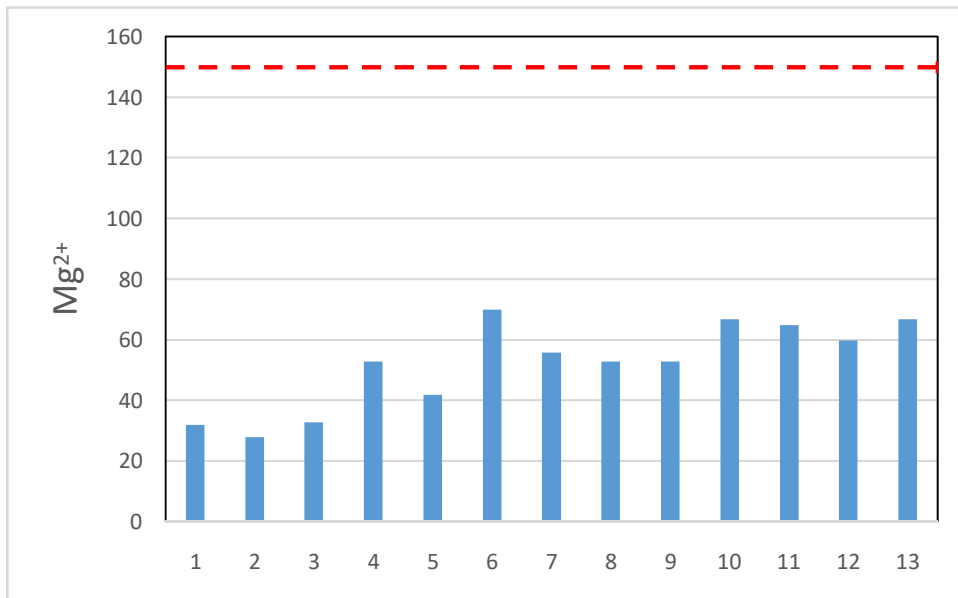


Figure28 : Histogramme du Magnésium.

3-3 L'ion Sodium :

Un élément le plus abondant des éléments alcalins. Les normes algériennes recommandent pour le sodium une valeur de 200 mg/L, les valeurs dans les sources étudiées sont inférieures à cette norme, la concentration la plus élevée est enregistrée à la source n° 12 (83mg/L), et la plus basse est de 37mg/L à la source n°13.

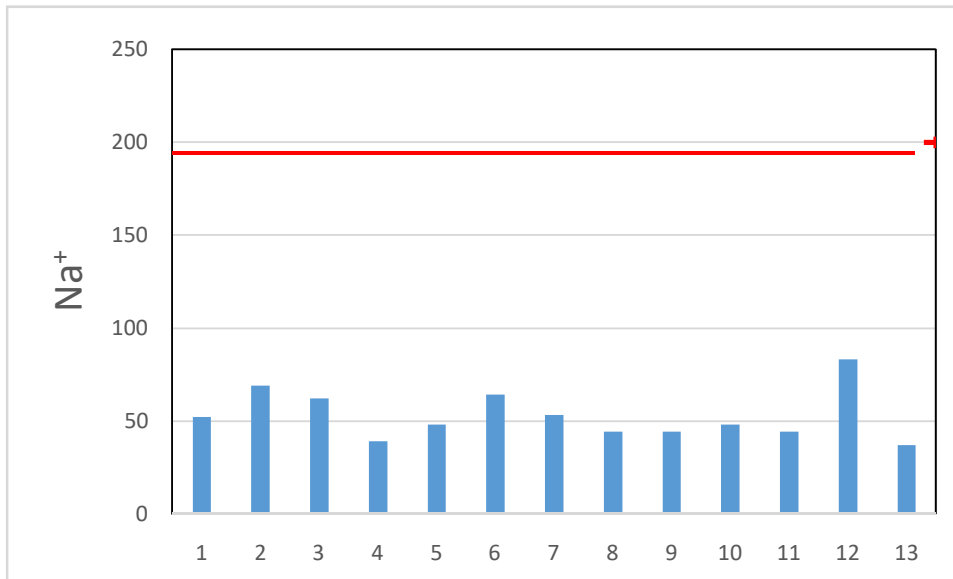


Figure 29 : Histogramme de Sodium.

3-4 L'ion Potassium :

Est un élément naturel dans les eaux, sa présence est soit liée à la nature géologique des terrains ou à l'utilisation des engrais. Pour les eaux étudiées, les concentrations sont inférieures à la norme algérienne 12mg/L.

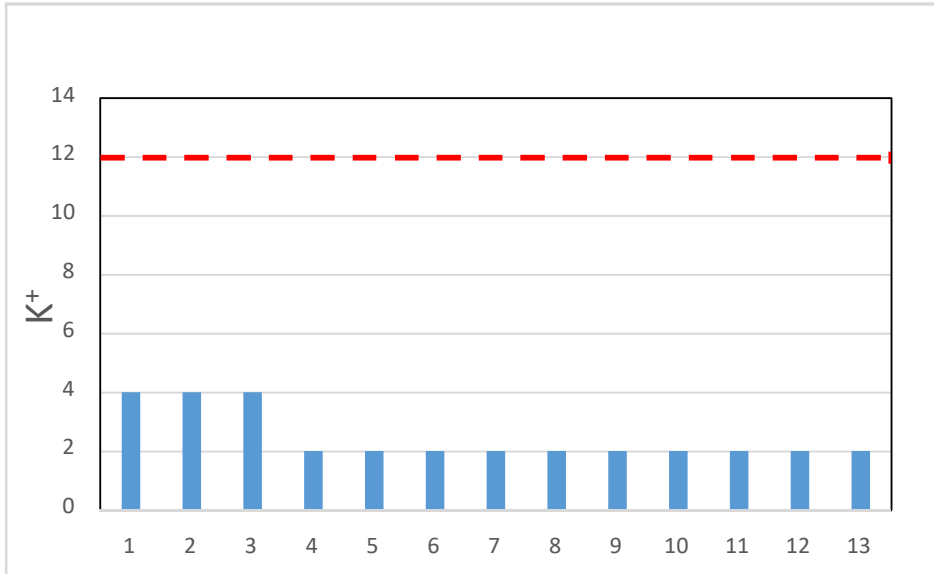


Figure30 : Histogramme de Potassium.

4- Les anions :

4-1 L'ion Chlorure :

D'origine naturelle en fonction de la nature des terrains traversés.

La norme algérienne indique une concentration maximal de 500mg/l .toutes les valeurs sont au dessous de cette norme.

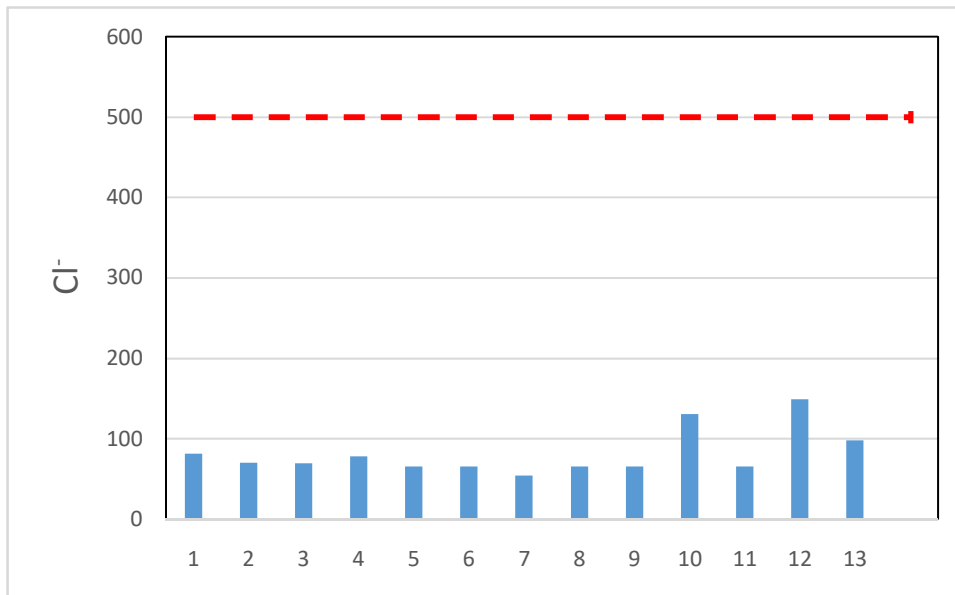


Figure31 : Histogramme des Chlorures.

4-2 L'ion Sulfate :

Naturellement présent dans l'eau en concentration très variable, il peut aussi provenir des rejets des eaux usées ou de l'utilisation des engrais.

La norme algérienne indique une concentration maximale de 400mg/L. Tous les points d'eau ont des concentrations inférieures à cette norme. La valeur maximale est de 337mg/L à la source 5 et la valeur minimale est enregistrée à la source3 (94mg/L).

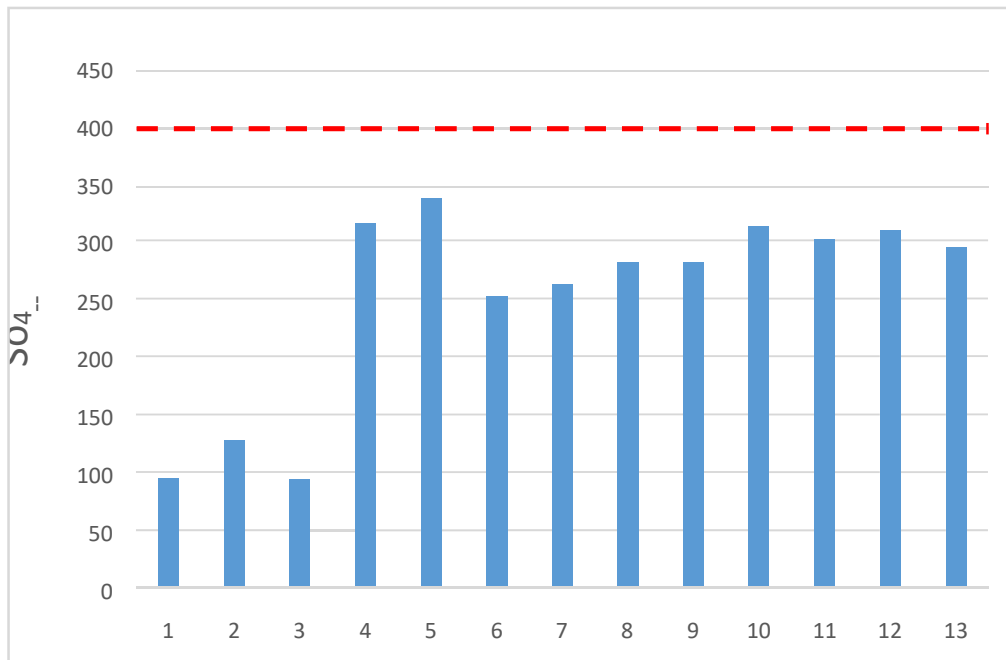


Figure32 : Histogramme des Sulfates.

4-3 L'ion Bicarbonate :

La teneur des bicarbonates dans l'eau dépend des terrains traversées.(J.Rodier.2009) .Les normes algériennes ne fixent aucune valeur pour ce paramètre, quelque soit les teneurs en bicarbonates dans les eaux de consommation, la potabilité n'est pas affectée. La valeur la plus élevée est au point d'eau1 (299mg/L), tandis que la valeur minimale (201mg/L) est enregistrée aux points d'eau 4 et 13.

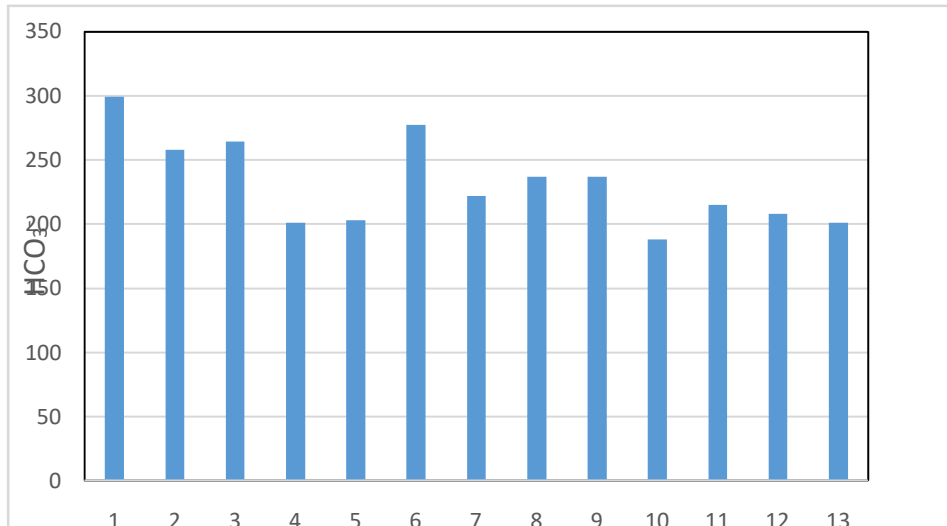


Figure33: Histogramme des Bicarbonates.

4-3 L'ion Nitrate :

Les nitrates peuvent provenir des engrais chimiques utilisés dans l'agriculture qui s'infiltrent dans le sol. La norme algérienne est de 50mg/L, les concentrations des eaux analysées varient entre 2 mg/L et 17mg/L. Elles sont au-dessous de la norme recommandée.

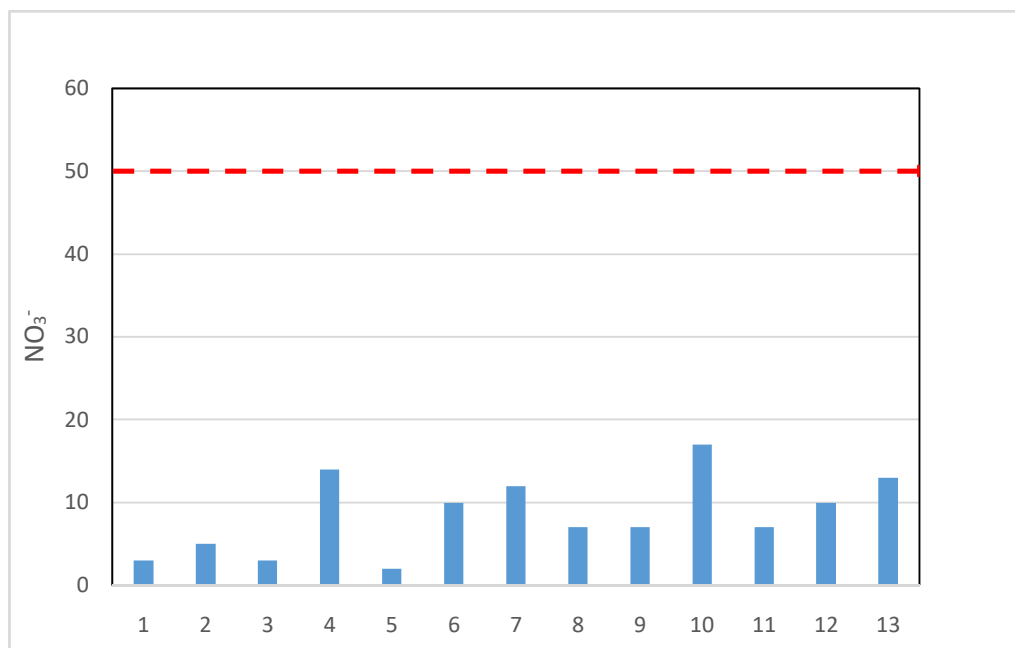


Figure34 : Histogramme des Nitrates.

Tableau.25: Etat qualitatif des eaux des sources, selon les paramètres Physico-chimiques.

Paramètres	pH	Conductivité	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Etat
Les normes algériennes de potabilité	≥ 6.5 et ≤ 9	2800	75-200	150	12	200	200-500	200-400	/	50	/
1	7.20	790	85	32	4	52	82	95	299	3	Potable
2	7.50	646	78	28	4	69	71	128	258	5	Potable
3	7.20	632	67	33	4	62	70	94	264	3	Potable
4	7.10	883	110	53	2	39	79	315	201	14	Potable
5	7.10	892	128	42	2	48	66	337	203	2	Potable
6	7.40	893	73	70	2	64	66	252	277	10	Potable
7	7.30	892	89	56	2	53	55	262	222	12	Potable
8	7.20	901	109	53	2	44	66	281	237	7	Potable
9	7.20	901	109	53	2	44	66	281	237	7	Potable
10	7.30	961	128	67	2	48	131	312	188	17	Potable
11	7.30	851	91	65	2	44	66	301	215	7	Potable
12	7.40	1177	113	60	2	83	150	309	208	10	Potable
13	7.50	870	128	67	2	37	99	294	201	13	Potable

II-3 Aptitude des eaux souterraines destinées à l'irrigation :

Cette aptitude dépend de plusieurs facteurs, reliés à la nature des sols et des plantes.

Elle peut être évaluée par un certain nombre d'indices et de diagrammes, tels que :

- L'indice de Kelly's Ratio (Kr).
- Sodium Adsorption Ratio (S.A.R).
- Diagramme de Riverside.
- Le pourcentage en sodium (% Na).
- Diagramme de Wilcox.

II-3-1 L'indice de Kelly's Ratio (KR) :

L'indice de Kelly's Ratio (KR) est représenté par le rapport des concentrations de Na⁺ (meq/L), et la somme de Ca²⁺ (meq/L) et de Mg²⁺ (meq/L). Il constitue une base pour la détermination de l'aptitude des eaux à l'irrigation (Paliwal K.V, 1967).

Une concentration élevée en Na^+ dans l'eau d'irrigation est considérée comme inappropriée pour son utilisation. Cet indice est donné par la relation suivante :

$$\text{KR} = \frac{\text{Na}^+}{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}$$

Si le $\text{KR} < 1 \Rightarrow$ L'eau est bonne pour l'irrigation ;

Si le $\text{KR} > 1 \Rightarrow$ L'eau est mauvaise pour l'irrigation ;

Tableau.26 : Classification des eaux selon l'indice de KR.

Nom des échantillons	KR	Observation
1	0,44	Bonne
2	0,65	Bonne
3	0,62	Bonne
4	0,24	Bonne
5	0,28	Bonne
6	0,45	Bonne
7	0,37	Bonne
8	0,27	Bonne
9	0,27	Bonne
10	0,25	Bonne
11	0,28	Bonne
12	0,48	Bonne
13	0,19	Bonne

D'après le tableau ci-dessus, nous remarquons que toutes les valeurs de **KR** sont inférieures à 1, ce qui indique la bonne qualité de l'eau pour l'irrigation.

II-3-2 Sodium Adsorption Ratio (SAR) :

Le taux d'adsorption du sodium est une mesure de la quantité de sodium (Na) par rapport au calcium (Ca) et au magnésium (Mg) dans l'extrait aqueux de pâte de sol saturé. C'est le rapport de la concentration de Na divisé par la racine carrée de la moitié de la concentration de (Ca^{2+} , Mg^{2+}).

Le SAR peut être déterminé par la formule suivante :

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

- S.A.R < 10 : Eau excellente : eau à faible danger d'alcalinisation des sols.
- 10 < S.A.R < 18 : Eau bonne : danger d'alcalinisation assez appréciable.
- 18 < S.A.R < 26 : Eau convenable : danger d'alcalinisation important.
- S.A.R > 26 : Eau médiocre, danger de forte alcalinisation.

II-3-3 Diagramme de Riverside :

Riverside a créé une classification qui considère le rapport entre le sodium absorbé par le sol (SAR) et la minéralisation totale.

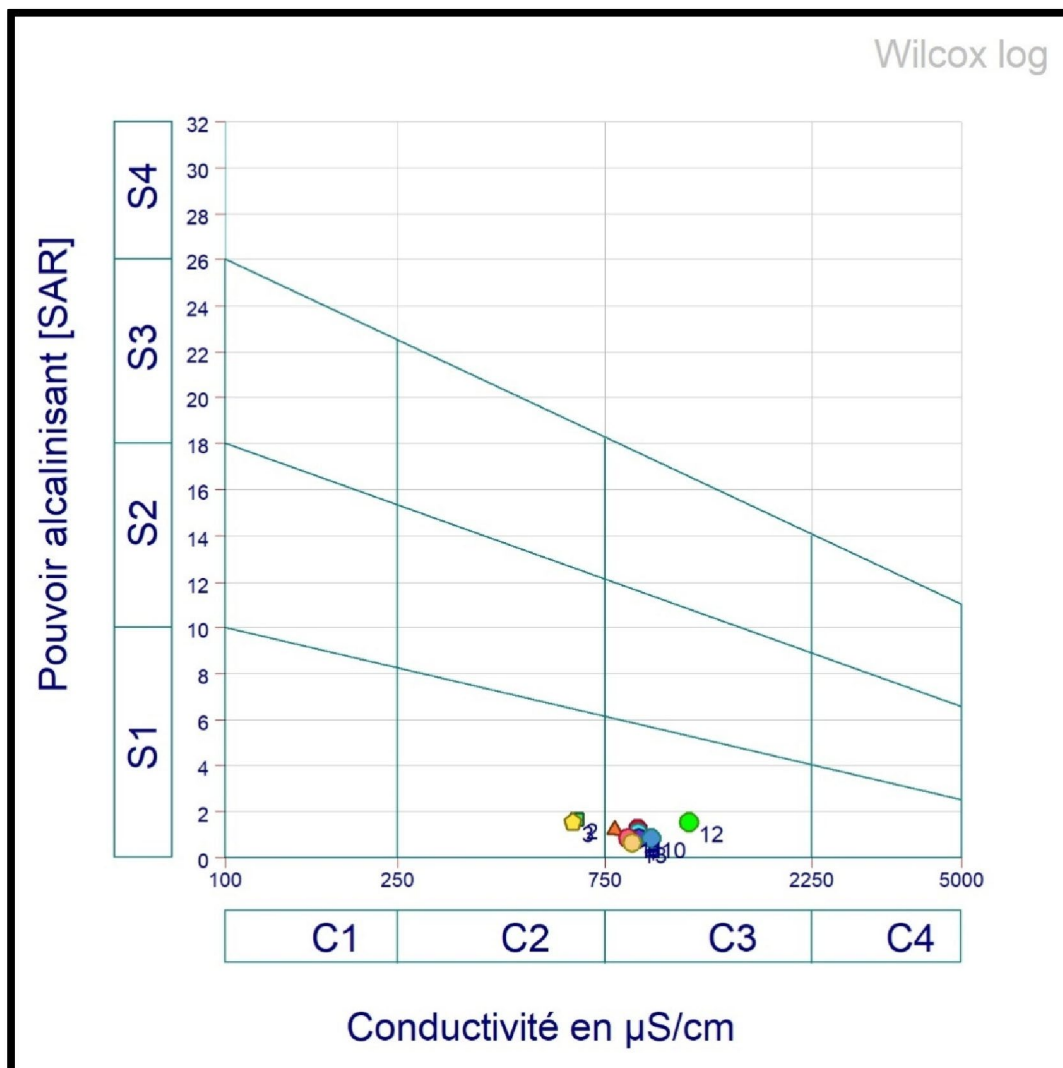


Figure35: Diagramme de Riverside.

Tableau.27 : Classification des eaux d'irrigation d'après Servant,1975 (U.S laboratoire de salinité).

Degré	Qualité	Classe	Description
1	Excellente	C1-S1	Eau utilisable sans danger dans l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart des sols
2	Bonne	C2-S1 C2-S2	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes aux sels sur sol ayant une bonne perméabilité. Principaux problèmes dus aux plantes trop sensibles, au sodium et aux sols à forte capacité d'échanges d'ions (sols argileux).
3	Admissible	C3-S1	En général, eau convenant à l'irrigation cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée. Principaux problèmes dus aux plantes trop sensibles au sodium et aux sols à faible perméabilité.
4	Médiocre	C4-S1 C4-S2 C3-S3	En général eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés
5	Mauvaise	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation, mais pouvant être utilisées sous certaines conditions sols très perméable, bon lessivage, plantes tolérant très bien le sel

Les résultats obtenus montrent que les eaux des points d'eau 2 et 3 sont dans la classe C2-S1 (**bonne** pour l'irrigation), Le reste des sources sont dans la classe C3-S1, ils sont de qualité **admissible** pour l'irrigation.

II-3-4 Pourcentage en sodium et classification des eaux par la méthode de Wilcox :

Généralement, les plantes supportent mal les sols saturés en sodium. Le pourcentage du sodium (% Na) de l'eau est un paramètre utilisé dans l'évolution de l'aptitude des eaux à l'irrigation (wilox L.V., 1948 ; Tiwari T.N. et Manzoor A., 1988).

Le pourcentage de sodium (% Na) peut être calculé par l'équation suivante :

$$\text{Na \%} = \frac{\text{Na}^{++} + \text{K}^{+}}{\text{Na}^{++} + \text{K}^{+} + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}} * 100$$

Tableau.28 : Classification des eaux d'irrigation selon le % en Na.

Paramètre	Classe 1 Très bonne	Classe 2 Bonne	Classe 3 Admissible	Classe 4 Médiocre	Classe 5 Mauvaise
% Na	<20	20-40	40-60	60-80	>80
% Na de la zone d'étude	13	1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12	/	/	/

En prenant en considération le % en Na⁺, nous pouvons déduire que les eaux du point d'eau n°13 est de très bonne qualité pour l'irrigation, tandis que le reste des points d'eau ont une bonne qualité.

La classification de Wilcox est basée sur la conductivité électrique et la teneur en sodium dans l'eau, exprimée en pourcentage. Le report des valeurs du pourcentage en sodium en fonction de celles de la conductivité sur le diagramme de Wilcox (Fig.36) permet d'avoir une autre classification des eaux souterraines, concernant leur aptitude à l'irrigation.

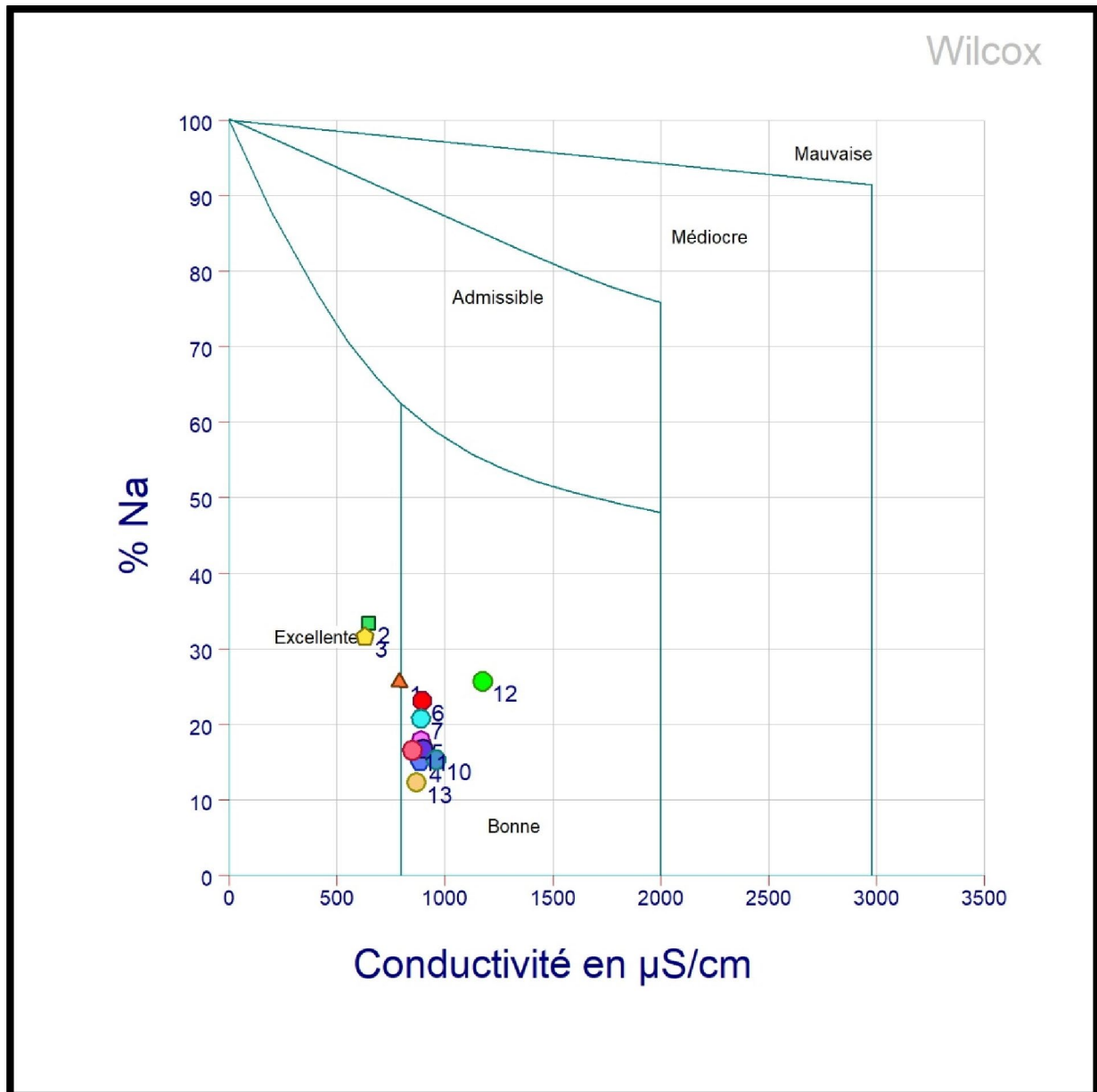


Figure36. : Diagramme de Wilcox.

Le diagramme ci- dessus, montre que les sources appartiennent à deux classes de qualité :

- ✓ **Excellente** : pour les points d'eau n° 1, 2 et 3.
- ✓ **Bonne**: toutes les sources restantes.

CONCLUSION :

L'étude qualitative des eaux des sources étudiées a fait ressortir les résultats suivants :

- Selon les différents diagrammes de Scholler- Berkaloff, Stiff et Stabler, nous avons 3 types de faciès chimiques :
- ❖ Sulfaté calcique (sources n° 4, 5, 8, 9, 10, 12 et 13).
- ❖ Bicarbonaté calcique (sources n° 1, 2 et 3).
- ❖ Sulfaté magnésien (sources n° 7, 6 et 11).

Le diagramme de Piper a classé les eaux des sources selon deux grandes familles de faciès chimiques:

- ❖ Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne,
- ❖ Bicarbonatée calcique et magnésienne.

- Du point de vue potabilité, toutes les sources sont conformes aux normes de potabilité algériennes.

- Concernant l'irrigation, en utilisant des indices comme le pourcentage en Na^+ , et le Kr et des diagrammes :

-D'après les résultats du Kr, toutes les sources sont de bonne qualité pour l'irrigation,

- Le % en Na^+ calculé a montré que la source n°13 est de très bonne qualité pour l'irrigation, tandis que les autres sources sont de bonne qualité.

-Selon le diagramme de Riverside, les points d'eau 2 et 3 sont dans la classe C2-S1 (classe bonne pour l'irrigation), Le reste des sources sont dans la classe C3-S1, ils sont de qualité admissible pour l'irrigation.

-Le diagramme de Wilcox a fait ressortir deux classifications :

- ✓ **Excellente** : pour les points d'eau 1,2 et 3
- ✓ **Bonne** : toutes les sources d'eau restantes.

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GENERALE :

Ce travail a pour but d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux de quelques sources dans la région de Nédroma et de Ghazaouet.

➤ La synthèse géologique et structurale a montré que les Traras se subdivisent en une série de massifs montagneux, séparés par de profondes vallées. La zone d'étude est composée d'une part, par des formations paléozoïques et mésozoïques qui constituent les reliefs et d'autre part, par des terrains néogènes et quaternaires.

-La tectonique joue un rôle important dans l'hydrogéologie de la région. Les formations géologiques sont affectées par de nombreux accidents qui favorisent la circulation des eaux souterraines et probablement l'apparition des sources.

- L'analyse litho-stratigraphique a montré les différentes formations qui peuvent présenter un intérêt hydrogéologique dans la région d'étude.

➤ Du point de vue climatologique, le périmètre étudié est caractérisé par un climat semi-aride, l'Hiver étant la saison la plus humide et l'été est la saison la plus sèche. La moyenne annuelle des précipitations est de 440.91 mm, la température moyenne annuelle est de 18,95°C. Le mois d'Août est le plus chaud (26.6°C), tandis que le mois de Novembre est le plus pluvieux (74.9mm).

-Le Diagramme pluvio-thermique de Bagnouls et Gaussen a fait ressortir une période humide qui s'étend de la fin Septembre à la mi-Avril, et une période sèche qui caractérise le reste des mois de l'année.

-Les calculs du bilan hydrologique ont donné les résultats suivants :

L'évapotranspiration potentielle a été évaluée à 876,36mm.

L'évapotranspiration réelle annuelle est de 447,34mm.

Le déficit agricole est de 429,02mm.

➤ L'étude qualitative des eaux des sources étudiées a fait ressortir les résultats suivants :
Selon les différents diagrammes de Scholler- Berkaloff,Stiff etStabler, nous avons 3 types de faciès chimiques :

- ❖ Sulfaté calcique (sources n° 4, 5, 8, 9, 10, 12 et 13).
- ❖ Bicarbonaté calcique (sources n° 1, 2 et 3).
- ❖ Sulfaté magnésien (sources n° 7, 6 et 11).

Le diagramme de Piper a classé les eaux des sources selon deux grandes familles de faciès chimiques:

- ❖ Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne,
- ❖ Bicarbonatée calcique et magnésienne.

- Du point de vue potabilité, toutes les sources sont conformées aux normes de potabilité algériennes.

- Concernant l'irrigation, en utilisant des indices comme le pourcentage en Na^+ , et le Kr et des diagrammes :

-D'après les résultats du Kr, tous les sources sont de bonne qualité pour l'irrigation,

- Le % en Na^+ calculé a montré que la source n°13 est de très bonne qualité pour l'irrigation, tandis que les autres sources sont de bonne qualité.

-Selon le diagramme de Riverside, les points d'eau 2 et 3 sont dans la classe C2-S1 (classe bonne pour l'irrigation), Le reste des sources sont dans la classe C3-S1, ils sont de qualité admissible pour l'irrigation.

-Le diagramme de Wilcox a fait ressortir deux classifications :

- ✓ **Excellente** : pour les points d'eau 1,2 et 3
- ✓ **Bonne** : toutes les sources d'eau restantes.

Références Bibliographiques.

-**ABDELHALIM.R (1973)** -Etude pétrographique et structurale du granite de Nédroma et son auréole de métamorphisme. Thèse de 3ème cycle. Univ.Alger.96 p.

-**AHMED AMMAR.Y(2014)** -Gestion des ressources en eau dans la commune de Ghazaouet. Mém.Master. Univ Tlemcen.62p.

-**AMEUR. M (1988)** - Histoire d'une plate-forme carbonatée de la marge sud téthysienne : l'autochtone des Traras. (Algérie occidentale) du Trias supérieur jusqu'au Bathonien moyen. Thèse Doc d'Etat, Univ de Lyon, Lyon, France, 548p. 188 fig., 24 pl. (Inédite).

-**BEMMOUSSAT.A (2012)** - Impact de l'activité agricole sur la qualité des eaux souterraines à travers le bassin de la Tafna. Mém. Magister, Univ. Tlemcen, 155 p.

-**BENHAMOU. M (1983)** - Stratigraphie et milieux de dépôt du Jurassique inférieur et moyen des Beni Ouarsous et des Beni Khallad (massif des Traras oranais W). Thèse. Doct, de 3ème cycle, Université, Oran, pp. 1-158, 56.

-**GENTIL. L (1903)** - Etude géologique du bassin de la Tafna. Bull. serv. Carte géol. Algérie, Alger, 2° série, n° 4, 428 p.

-**GUARDIA. P. (1970)** - Etude structurale de Djebel Fellaoucène et aperçu sur la tectogenèse atlasique dans l'autochtone oranais (Algérie occidentale). Bull. Soc. Géol. Fr., Paris, sér.7, t. XII, pp. 220-226.

-**GUARDIA. P (1975)** - Géodynamique de la marge alpine du continent africain d'après l'étude de l'oranais nord-occidentale. Relations structurales ou paléogéographiques entre le Rif externe, le tell et l'avant pays atlantique. Thèse. Doct Etat, Nice, n° AO 11417, pp. 1-289,141.

-**NOUAD. A et MERZOUG.A (2017)** - Cartographie et pétrographie du massif gabbro-dioritique de la région de Sidi Sofiane et litho- stratigraphie des formations sédimentaires associées (Monts des Traras ; Oranie - Algérie). Mém.Master. Univ.Tlemcen.69p.

Site web:

<https://www.wikipedia.org/>

<https://www.Google.com>

Google Earth Pro.

ANNEXES

ANNEXE I.

Tableau n°01 : Précipitations moyennes mensuelles (C°) de la station de Ghazaouet

Mois Années	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août
2001/2002	27,6	22,4	165	39,7	20	14	0	0	12	27	0	0,8
2002/2003	0,3	28,8	80,1	16,5	6	6	32,8	87,1	97,8	5,3	2	76,1
2003/2004	0	63,5	186,3	76,5	85,1	127,1	19	40,3	18,1	0,8	0	0
2004/2005	0	63,9	58	57,1	66	64,4	64	73,5	75	10	0	0,3
2005/2006	3,6	87	125,2	21,1	28,9	90,9	98,2	27,2	2	1	0	0
2006/2007	10,1	20,4	8	92,2	83,5	66,7	41,5	57	84,9	1	0	0
2007/2008	14,1	65,2	140,2	52,5	63,9	77	43,1	112,8	10	0	0	10,1
2008/2009	46,2	164,9	216,4	140,1	33,9	48,8	28,8	31,2	33,1	3,8	15,9	0
2009/2010	100,1	4	24	73,8	170,2	53	16,6	59,1	8,1	0	0	3
2010/2011	26,1	113,8	69,5	37,3	181,7	55	108,1	65,1	21,7	27,6	0,3	47,9
2011/2012	0	87	133	42	45	41	29	54	36	9	0	14
2012/2013	43	85	5	0	69	45	24	22	7	2	0	0
2013/2014	50	0	61	98	0	0	0	0	0	0	2	4
2014/2015	55	6	37	81	90	42	85	11	40	4	0	0
2015/2016	6	51	48	0	101	59	22	18	24	10	0	3
2016/2017	14	7	45	50	14	56	27	19	28	3	0	2
2017/2018	0	17	30	39	91	6	9	6	9	0	1	7
2018/2019	8	66	30	1	57	29	74	101	9	8	0	1
2019/2020	9,7	48,3	37,1	41	45	11	15,6	10,8	22	1	1,8	5,5

ANNEXE II.

Tableau n°02 : Températures moyennes mensuelles (C°) de la station de Ghazaouet.

Années	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août
2001/2002	24,2	21,7	15,9	13,5	12,2	14,2	17,5	16,8	19,2	24	25	26,2
2002/2003	23,5	24,4	18,2	15,7	13,3	14	16	16,6	19,2	22,7	25,1	25,6
2003/2004	23,9	21,6	16,7	14,3	13,2	13	15,9	16,8	19,5	24,04	26,6	27,9
2004/2005	24,5	21,8	15,5	14,2	14,1	14,5	14,6	15,6	17,6	22,9	25,4	26,4
2005/2006	23,6	20,6	16	13,3	10,7	11	14,5	16,3	20,4	22,9	26,1	25,8
2006/2007	24,1	21,8	18,5	14,4	12,6	12,8	14,8	17,8	20,2	22,4	26,2	26,5
2007/2008	23,8	20,7	16,4	14	13,4	15,4	14,7	16,2	19,7	22,2	25,6	25,5
2008/2009	22,9	20,7	15,4	13	13,9	14,4	15,4	17,4	19	22,5	26	26,9
2009/2010	23,4	21,4	18,8	16,9	13,4	13,2	14,9	16,2	19,3	23,2	26,7	26,6
2010/2011	23,8	19,6	16,7	15,5	14,8	16,2	15,4	17	19,1	22	25,4	26,5
2011/2012	23,7	19,8	17,1	13,4	13,9	13,2	15	17,4	20,1	22,5	25,3	26
2012/2013	23	20,6	17,5	13,6	11,6	11	13,5	15,9	19,1	23,7	25,5	27
2013/2014	23,1	21,1	15,6	13,3	14,1	12,8	16,2	16,2	18,2	19,3	24	25,7
2014/2015	24,1	21,7	17,9	13,8	14,4	14,3	14,3	17,4	18,8	22,2	24	25,3
2015/2016	23,2	21,1	15,8	14,2	12,5	13,3	14,3	16,6	19,7	22,1	26,8	26,6
2016/2017	23,7	21,4	16,9	14,4	14,6	14,3	13,9	16,6	19	22,7	24,4	25,1
2017/2018	23,3	20,4	16	13,8	12,1	14,9	15,2	16,3	19,4	23,7	25	25,9
2018/2019	24,4	20	16,3	14,1	13,2	12,6	16,2	15,7	17,7	21	24,4	25,4
2019/2020	23,5	20	16,9	15,4	12,7	12,6	14,2	16	18,8	21,3	25,2	25,9

ANNEXE III.

Tableau n°03 : Noms et coordonnées des sources.

Noms des sources		Coordonnées Géographique		
	Numéros des sources			
Noms	Numéros	X	Y	Z
Ain El Kebira	1	35,0363	1,668003	544,99
Dar Ben Tata	2	35,078804	1,779075	255,02
Ain Djemal	3	35,036343	1,675572	551,56
Ain Bensmara	4	35,004681	1,742586	496,86
Ain Haounat	5	34,975445	1,793735	659,68
Ain Beni Mbar	6	34,972858	1,791415	664,89
Ain Znanou	7	34,966939	1,797332	657,18
Ain Nachema	8	34,963992	1,788108	690,53
Ain Madouna	9	34,964429	1,784572	761,68
AinTine	10	34,940646	1,820675	713,84
Ain Laounne	11	34,939993	1,380265	642,85
Ain Aghraïma	12	34,967032	1,844459	415,98
Ain Taima	13	35,029163	1,828591	211,01

Source : ANRH/ADE

RESUME :

Ce travail a pour objectif l'évaluation de la qualité physico-chimique de quelques sources dans la région de Nédroma et de Ghazaouet.

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff montre que les faciès hydro- chimiques des eaux de source sont 3 : Sulfaté calcique, Sulfaté magnésien et Bicarbonaté calcique.

Le diagramme de Piper a classé les eaux de la région de Nedroma et de Ghazaouet selon deux grandes familles : Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne et Bicarbonatée calcique et magnésienne.

Du point de vue de la potabilité, toutes les sources sont conformes aux normes algériennes de potabilité.

Concernant l'irrigation, en utilisant des indices comme le pourcentage en Na^+ , et le Kr et des diagrammes :

-D'après les résultats du Kr, toutes les sources sont de bonne qualité pour l'irrigation,

-Le % en Na^+ calculé a montré que la source n°13 est de très bonne qualité pour l'irrigation, , tandis que les autres sources sont de bonne qualité.

-Selon le diagramme de Riverside, les sources n° 2 et 3 sont dans la classe C2-S1 (classe bonne pour l'irrigation), Le reste des sources sont dans la classe C3-S1, ils sont de qualité admissible pour l'irrigation.

-Le diagramme de Wilcox a fait ressortir deux classifications:

✓ Excellente : 1, 2, 3

✓ Bonne : toutes les sources d'eau restantes.

Mots clés : Ghazaouet- Nédroma-Sources- Paramètres physico-chimiques-Diagrammes.

ABSTRACT:

The aim of this work is to evaluate the physico-chemical quality of some sources in the Nedroma and Ghazaouet region.

The Schoeller-Berkaloff diagram shows that the hydro-chemical facies of the sources are 3: calcium sulphate, magnesium sulphate and calcium bicarbonate.

The Piper diagram classified the waters of the Nedroma and Ghazaouet region into two main families: Calcium and magnesium chloride and sulphate and calcium and magnesium bicarbonate.

From the point of view of potability, all the sources comply with Algerian standards of potability.

Concerning irrigation, using indices such as the percentage in Na^+ , and Kr and diagrams:

-According to the results of the Kr, all sources are of good quality for irrigation,

-The calculated % Na^+ showed that the source n°13 is of very good quality for irrigation, while the other sources are of good quality.

-According to the Riverside diagram, sources n° 2 and 3 are in class C2-S1 (good for irrigation), the rest of the sources are in class C3-S1, they are of acceptable quality for irrigation.

-The Wilcox diagram showed two classifications:

✓ Excellent: n° 1, 2 and 3.

✓ Good: all remaining water sources.

Key words: Ghazaouet- Nedroma-Sources- Physico-chemical parameters-Diagrams.

ملخص

الهدف من هذا العمل هو تقييم الجودة الفيزيائية والكيميائية لبعض المصادر في منطقة ندرومة وغزوات.

ويبين الرسم البياني Schoeller-Berkaloff ان السمات المائية الكيميائية للمياه الينابيع هو 3: كبريتات الكالسيوم، والكبريتات المغنيزية،

وبيكاربونات الكالسيوم.

وصنف مخطط Piper مياه منطقة ندرومة وغزوات وفقا لأسرتين كبيرتين: الكلوريدية والكالسيوم والكبريتات المغنيسوم وبيكاربونات

المغنيزية.

- من وجهة نظر صلاحية الشرب :

جميع المصادر تتوافق مع المعايير الجزائرية للشرب .

- فيما يتعلق بالري: باستخدام مؤشرات مثل النسبة المئوية في Na^+ و Kr والرسم البيانية :

وفقا لنتائج Kr، جميع المصادر ذات نوعية جيدة للري،

النسبة المئوية المحسوبة في Na^+ أظهرت أن المنبع 13 هو من نوعية جيدة جدا للري، في حين أن الينابيع أخرى هي ذات نوعية جيدة.

وفقا للرسم البياني Riverside، المنبع 2 و 3 في الفئة C2-S1 (فئة جيدة للري)، وبقية الينابيع هي في فئة C3-S1، فهي من نوعية مؤهلة للري.

- رسم Wilcox الرسم البياني أبرز تصنيفين:

✓ ممتاز: 1, 2, 3

✓ جيد: جميع الينابيع المياه المتبقية.

الكلمات الرئيسية: ندرومة - غزوات-الينابيع - عوامل فيزيو كيميائية - Diagrammes .