



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITÉ ABOU BEKR BELKAID TLEMCEN

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

LABORATOIRE DE RECHERCHE N°25 : « PROMOTION DES RESSOURCES

HYDRIQUES, PEDOLOGIQUES ET MINIERES : LEGISLATION ET CHOIX

TECHNOLOGIQUE »

MÉMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté par

DIB Ahlem et BENADDA Mohammed El Amine Khaled

En vue de l'obtention du

DIPLÔME DE MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Option : Hydrogéologie

Thème

**Contribution à l'étude hydrogéologique et hydrochimique des eaux de
quelques sources dans la région de Béni Saf**

Soutenu le 19-06-2023, devant le jury composé de :

Présidente : Djelad Bouanani Rahima

MAA, Université de Tlemcen

Encadrante : Kerzabi Yousfi Somia

MCB, Université de Tlemcen

Co-Encadrant : Kerzabi Rachid

MAA, Université de Tlemcen

Examineur : Boudjema Abderrezak

MCA, Université de Tlemcen

Dédicaces

Je dédie humblement ce travail à mon grand-père décédé (que Dieu ait sa miséricorde) DIB Zoubir pour ses conseils, son amour et son soutien tout au long de ma vie. Son souvenir est un rappel constant de la force et de la sagesse qu'il a transmise à notre famille.

À mon père, qui a constamment eu foi en mes capacités et m'a encouragé à avancer.

À ma mère, qui m'a encouragé à poursuivre ma voie.

À mon frère et ma sœur pour leur gentillesse et leur soutien inconditionnel.

À ma grand-mère pour leurs prières et leur tendresse et à ma famille élargie pour leur bienveillance.

À ma grand-mère maternelle et mon grand-père qui sont parties, mais dont l'amour inconditionnel et la tendresse infinie restent gravés dans mon cœur.

À ma meilleure amie Mina pour son valeureux soutien, sa présence constante et sa bienveillance dans ma vie. Merci d'être là pour moi.

À mon binôme pour son humour et sa patience tout au long de notre collaboration.

Enfin, je remercie tous mes amis pour les moments inoubliables que nous avons partagés ensemble pendant mes années universitaires.

Ahlem

Je dédie ce modeste travail avec l'expression de ma reconnaissance et ma gratitude à ces trois magnifiques personnes auxquelles je n'ai jamais su exprimer mon sincère amour.

À une âme pure qui m'a toujours donné sans attendre rien en retour, à la lumière qui a illuminé ma route avec sa prière et mon parcours, à la source de tendresse d'amour et d'affection, au soutien moral de mon docteur et mon héroïne qui m'a toujours aidé à me relever à chaque fois que je trébuche à ma chère mère.

À l'homme qui a contribué à faire de moi l'homme que je suis aujourd'hui, à cette école qui m'a inculqué mes principes et mes valeurs à ce modèle de sacrifice qui a toujours contribué à notre bonheur, à cette ange gardien qui a toujours veillé sur moi de près ou de loin, à mon cher père.

À ma petite sœur pour son soutien morale ses encouragements et sa confiance en moi pour sa présence sa gentillesse et sa bienveillance.

Ni ces humbles mots ni autre chose ne pourront suffire à leur remercier convenablement.

Une dédie à mes grands-parents maternels et paternelles décédés qui ont toujours voulu me voir finir mes études et diplômé, hommage à eux et paix à leurs âmes.

Sans oublier mon binôme, pour son soutien, sa patience et sa compréhension.

Mohammed El Amine

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à exprimer notre profonde gratitude envers le Tout-Puissant de nous avoir donné la force et l'endurance nécessaires pour surmonter toutes les difficultés rencontrées tout au long de nos études et de nous avoir aidé à achever avec succès ce travail de recherche.

Nous souhaitons également exprimer notre reconnaissance envers le chef du département des Sciences de la Terre et de l'Univers, Monsieur HEBIB Hakim, pour ses encouragements et sa confiance en nous dès le premier jour de nos études.

Nous tenons à remercier sincèrement nos encadrants, Monsieur et Madame KERZABI pour leur prise en charge, leur précieux conseils, leur soutien constant, leur disponibilité et leur bienveillance, ainsi que pour les valeurs professionnelles et humaines qu'ils nous ont inculquées.

Nous remercions la Directrice de l'ADE d'Ain Témouchent d'avoir mis à notre disposition les données nécessaires pour effectuer ce travail sans oublier Mr Amer Ben Saber M. l'ingénieur au niveau de l'ADE de Béni Saf pour ses explications et son aide précieuses.

Nous remercions également tous les enseignants qui ont contribué à notre formation universitaire et qui ont partagé leur savoir et leur temps avec nous.

Nos remerciements s'adressent également aux membres du jury pour leur participation à l'évaluation de ce travail de recherche.

Nous ne saurions oublier de remercier nos chers parents pour leur soutien indéfectible tout au long de nos études.

Nous sommes reconnaissants envers nos ennemis car ils nous ont aidés à devenir plus forts et à surmonter les obstacles grâce à leurs critiques et leur opposition.

Enfin, nous souhaitons remercier toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réussite de ce modeste travail.

Résumé

Notre étude a été menée dans la région d'Ain Témouchent, plus précisément sur le plateau de Sidi Safi près de Béni Saf, avec un focus sur deux sources locales : la source de El Anser et la source de Tinkremnt. La série stratigraphique observée va du Trias au Quaternaire, avec une grande partie de la zone d'étude couverte par des dépôts calcaires blancs du Messinien. Pour une bonne compréhension hydrogéologique, des sorties sur terrain et une campagne piézométrique ont été effectués. L'objectif de notre étude était de vérifier la qualité et la potabilité des eaux de ces deux sources, en caractérisant le faciès chimique puis en comparant les teneurs des éléments majeurs avec les normes algériennes. Les résultats de notre étude montrent que la qualité de l'eau des deux sources est relativement bonne et qu'elle est considérée comme potable. Cependant, il convient de noter que la présence de contaminants et des indicateurs de pollution doivent également être pris en compte pour une évaluation complète de la qualité de l'eau.

Mots clés : Sources, Beni Saf, piézométrie, faciès, potabilité.

Abstract:

Our study was conducted in the Ain Temouchent region, specifically on the Sidi Safi plateau near Béni Saf, with a focus on two local springs: El Anser and Tinkremnt spring. The observed stratigraphic series ranges from the Triassic to the Quaternary, with a significant portion of the study area covered by white limestone deposits from the Messinian period. Field trips and a piezometric campaign were carried out for a better hydrogeological understanding. The objective of our study was to assess the quality and potability of the water from these two sources by characterizing the chemical facies and comparing the concentrations of major elements with Algerian standards. The results of our study show that the water quality from both sources is relatively good and considered potable. However, it is important to note that the presence of contaminants and pollution indicators should also be considered for a comprehensive assessment of water quality.

Keywords: Springs, Beni Saf, piezometry, facies, potability.

ملخص:

تم إجراء دراستنا في منطقة عين تموشنت، تحديداً على هضبة سيدي صافي بالقرب من بني صاف، مع التركيز على نبعين محليين: منبع العنصر وينبع تينكرمونت. تتراوح السلسلة الجيولوجية الملاحظة من العصر الأول إلى الرباعي، مع تغطية جزء كبير من منطقة الدراسة بواسطة رواسب الحجر الجيري الأبيض من العصر الميسيني. تم إجراء جولات ميدانية وحملة قياس مستوى المياه الجوفية لضمان فهم هيدروجيولوجي جيد. كان هدف دراستنا هو التحقق من جودة وصلاحية مياه هاذين الينبوعين، من خلال توصيف الوجه الكيميائي ثم مقارنة تركيز العناصر الرئيسية مع المعايير الجزائرية. أظهرت نتائج دراستنا أن جودة المياه في الينبوعين جيدة نسبياً وتعتبر صالحة للشرب. ومع ذلك، يجب أيضاً ملاحظة أن وجود الملوثات ومؤشرات التلوث يجب أخذها في عين الاعتبار أيضاً لتقييم كامل لجودة المياه.

الكلمات المفتاحية : ينابيع، بني صاف، مستوى المياه جوفية، الطبيعة الكيميائية، صلاحية للشرب

Table des matières

RESUME.....	4
TABLE DES MATIERES	5
LISTE D'ABREVIATION	6
LISTE DES FIGURES	7
LISTE DES TABLEAUX	9
INTRODUCTION GENERALE	10
CHAPITRE 1. GÉNÉRALITÉS	14
1.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE	14
1.2. ASPECT CLIMATIQUE	15
1.2.1. PRECIPITATION	15
1.2.2. TEMPERATURE	17
1.2.3. SYNTHÈSE CLIMATIQUE.....	20
CHAPITRE 2. GÉOLOGIE	24
2.1. INTRODUCTION	24
2.2. DESCRIPTION LITHOSTRATIGRAPHIQUE	24
CHAPITRE 3 : HYDROGÉOLOGIE	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
3.1. INTRODUCTION	30
3.2. INVENTAIRE DES PUIITS ET LA CARTE HYDROGEOLOGIQUE.....	30
3.3. CONTEXTE D'ÉMERGENCE DES SOURCES	32
3.4. CONCLUSION	35
CHAPITRE 4. HYDROCHIMIE	37
4.1. INTRODUCTION	37
4.2. PRÉSENTATION DES DONNÉES	37
4.2.1 FIABILITE DES ANALYSES CHIMIQUES	37
4.3. FACIES CHIMIQUES.....	38
4.4. PARAMÈTRES CHIMIQUES DES EAUX DE SOURCES :.....	42
4.4.1. CATIONS :	42
4.4.2. ANIONS :	46
4.4.3. INDICATEURS DE POLLUTION :.....	48
4.5. CONCLUSION :	53
CONCLUSION GENERALE	54
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	56

Liste d'abréviation

ADE : Algérienne des eaux.

BI : Balance ionique.

Dj : Djbel.

I : Indice de DE Martonne.

OMS : l'organisation mondiale de la santé.

P : Précipitation.

pH : potentiel hydrogène.

T : Température.

Liste des figures

Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude (image de Google Earth).....	14
Figure 2 : Localisation de la commune dans la wilaya d'Aïn Témouchent.	15
Figure 3: Variations des moyennes annuelles des précipitations de la station de Béni Saf (2012-2021).	16
Figure 4: Variations des précipitations moyennes mensuelles interannuelles de Béni Saf (2012-2021).	17
Figure 5 : Variation de la température annuelle de la station de Béni Saf (2012-2021).	18
Figure 6 : Variations des Températures mensuelles (2012-2021).	18
Figure 7: Diagramme de Bagnouls et Gaussien de la station de Béni Saf (2012-2021).	20
Figure 8: Abaque de l'aridité annuelle de De Martonne.	21
Figure 9 : Photo des schistes du Carbonifère.	25
Figure 10 : Photo prise sur l'affleurement du Messinien basale au niveau de la source de Ain Tinekremnt.	27
Figure 11 : Extrait de carte géologique de Béni Saf digitalisé (Guardia1975).	28
Figure 12: Log stratigraphique de la région de Béni Saf,	29
Figure 13 : Carte piézométrique de la partie ouest du plateau de Sidi Safi (mars 2023).	31
Figure 14 : Coupe hydrogéologique de la source de El Anser.	33
Figure 15 : Vue panoramique près de la source de El Anser.	33
Figure 16: Coupe hydrogéologique de la source de Ain Tinekremnt.	34
Figure 17 : Vue panoramique près du captage de Ain Tinekremnt.	34
Figure 18 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux de la source de El Anser.	39
Figure 19 : Résultats diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux de la source de Tinekremnt.	39
Figure 20 : Diagramme de Stiff des eaux de la source de El Anser.	41
Figure 21 : Diagramme de Stiff des eaux de Ain Tinekremnt.	41
Figure 22 : Variation temporelle de la teneur de calcium de la source El Anser.	42
Figure 23 : Variation temporelle de la teneur de calcium de Ain Tinekremnt.	42
Figure 24 : Variation temporelle de la teneur de magnésium de la source El Anser.	43
Figure 25 : Variation temporelle de la teneur de magnésium de Ain Tinekremnt.	43
Figure 26 : Variation temporelle de la teneur de sodium de la source El Anser.	44
Figure 27 : Variation temporelle de la teneur de sodium de Ain Tinekremnt.	44
Figure 28: Variation temporelle de la teneur de Potassium de la source El Anser.	45
Figure 29 : Variation temporelle de la teneur de Potassium de Ain Tinekremnt.	45
Figure 30: Variation temporelle de la teneur de bicarbonate de la source El Anser.	46
Figure 31 : Variation temporelle de la teneur de bicarbonate de Ain Tinekremnt.	46

Figure 32 : Variation temporelle de la teneur de chlore de la source El Anser.....	47
Figure 33 : Variation temporelle de la teneur en chlorure de la source de Ain Tinekremnt.....	47
Figure 34 : Variation temporelle de la turbidité de la source de El Anser.	48
Figure 35 : Variation temporelle de la turbidité de la source de Ain Tinekremnt.	48
Figure 36 : Variation temporelle de la teneur de sulfate de la source El Anser.....	49
Figure 37: Variation temporelle de la teneur de sulfate de la source de Ain Tinekremnt.	49
Figure 38 : Variation temporelle de la teneur de nitrate de la source El Anser.....	50
Figure 39 : Variation temporelle de la teneur de nitrate de Ain Tinekremnt.....	50
Figure 40 : Variation temporelle de la teneur de dioxyde d'azote de la Source El Anser.....	51
Figure 41 : Variation temporelle de la teneur de nitrite de la source de Ain Tinekremnt.....	51
Figure 42 : Variation temporelle de la teneur de phosphate de la source de El Anser.....	52
Figure 43 : Variation temporelle de la teneur en phosphate de la source de Ain Tinekremnt..	52
Figure 44 : Variation temporelle de la teneur de fer de la source de El Anser.	53
Figure 45 : Variation temporelle de la teneur de fer de la source de Ain Tinekremnt.....	53

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques de la station de Béni Saf.....	15
Tableau 2 : Précipitations annuelles la station de Béni Saf (2012-2021).	15
Tableau 3 : Précipitations mensuelles la station de Béni Saf (2012-2021).....	16
Tableau 4 : Températures annuelles la station de Béni Saf (2012-2021)	17
Tableau 5 : Températures mensuelles la station de Béni Saf (2012-2021).....	18
Tableau 6 : Résultats des différents indices mensuels d'aridité.	21
Tableau 7 : Indices d'aridité mensuelles de De Martonne.....	22
Tableau 8 : Campagne piézométrique de la zone d'étude (mars 2023).	30
Tableau 9 : Résultats de la balance ionique de la source El Anser	38
Tableau 10 : Résultats de la balance ionique de Ain Tinekremnt	38

INTRODUCTION GENERALE

L'eau, souvent appelée "l'or bleu", est l'élément le plus présent à la surface de la Terre. Près de 97% de l'eau se trouve dans les océans (y compris les glaces et les eaux emprisonnées dans la calotte polaire), tandis que les 3% restants, sous forme de rivières, lacs et eaux souterraines, représentent des sources d'eau douce cruciales pour toute forme de vie. Cette ressource est donc indispensable à la vie sur Terre.

En Algérie, l'eau est une ressource stratégique qui est utilisée principalement pour l'irrigation, l'industrie et l'alimentation en eau potable. La ressource en eau souterraine est la principale source d'approvisionnement en eau pour la population algérienne, car les précipitations sont rares et inégales dans le pays. Cependant, la surexploitation de la ressource en eau souterraine a conduit à une diminution des niveaux de la nappe phréatique dans de nombreuses régions, ainsi qu'à une contamination de l'eau par des nitrates, des pesticides et des produits chimiques industriels.

En tant qu'hydrogéologues, notre travail consiste à étudier la ressource en eau souterraine pour mieux comprendre sa dynamique, son potentiel et ses limites

Notre étude représente une démarche inédite et novatrice, ouvrant de nouvelles opportunités aux étudiants qui nous succéderont. Nous nous concentrons sur deux sources locales, la source de El Anser et la source de Tinkremnt, dans la région semi-aride de Béni Saf. La problématique qui guide notre étude est liée à la régénération lente de la nappe souterraine de cette région, ce qui limite les ressources en eau souterraine.

En 2008, la source de El Anser a été déclarée non potable suite à des analyses révélant une contamination potentielle due à des déchets illégalement déversés. En revanche, la source de Tinkremnt est une source captée qui fournit en eau potable la ville de Béni Saf, avec un débit important de neuf litres par seconde.

Afin de répondre à cette problématique, notre étude comprendra une synthèse climatique basée sur les données de la station météorologique de Béni Saf, couvrant la période de 2012 à 2021. Nous analyserons les précipitations ainsi que les températures mensuelles et annuelles de la région.

Ensuite, nous entreprendrons une synthèse géologique en numérisant la carte géologique de la région étudiée. Nous effectuerons également des sorties sur le terrain pour vérifier la fiabilité des données recueillies et approfondir notre compréhension de la géologie locale.

Enfin, nous réaliserons une synthèse hydrogéologique pour comparer les caractéristiques géologiques des deux sources. Des coupes à main levée seront effectuées sur le terrain, et une

campagne piézométrique nous permettra de dresser une carte piézométrique. De plus, nous mènerons une étude hydrochimique en utilisant les données du laboratoire de l'ADE de Chabat Ain Témouchent. Nous comparerons les résultats aux normes algériennes en utilisant la balance ionique. Les analyses de la source de El Anser couvriront les années 2018, 2019 et 2022, tandis que celles de la source de Ain Tinkremnt couvriront la période de 2017 à 2022.

CHAPITRE 1 : GÉNÉRALITÉS

CHAPITRE 1. GÉNÉRALITÉS

1.1. Situation géographique

La région de Béni Saf, est située à l'Ouest du littoral algérien. Béni Saf se trouve à 30 km au Nord-Ouest de Ain Témouchent, chef-lieu de wilaya.

Elle est limitée :

- Au Nord par la mer méditerranée,
- Au Sud par la commune d'Emir Abdelkader,
- A l'Est par la commune de Sidi Safi et
- A l'Ouest la commune de Olhaça.

Notre étude s'est focalisée sur les deux sources de El Anser et Tinekremnt qui se trouvent à proximité de la ville de Béni Saf. La zone d'étude est située dans l'interfluve Tafna à l'Ouest et Sidi Djelloul à l'Est. La limite sud du territoire passe par Djbel Skouna et sa limite nord coïncide avec le rivage de la mer (Figure 1).



Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude (image de Google Earth).



Figure 2 : Localisation de la commune dans la wilaya d'Aïn Témouchent.

1.2. Aspect climatique

Le climat se réfère aux conditions météorologiques (température, précipitations, humidité, vent et ensoleillement) qui caractérisent une zone géographique pendant une période donnée. Étudier le climat permet d'identifier le type de climat présent dans la région et de comprendre le comportement hydrologique et éventuellement, hydrogéologique pendant cette période.

Afin de déterminer le type du climat dans notre zone d'étude, nous avons utilisé des données météorologiques de la période 2012 à 2021. Ces données comprenaient des informations sur la précipitation et la température enregistrées au niveau de la station météorologique de Béni Saf (tableau 1) et obtenues à partir d'une source en ligne (www.tutiempo.net).

Tableau 1: Caractéristiques de la station de Béni Saf.

Station	Coordonnées UTM (m)		Altitude (m)	Période D'observation
	X	Y		
Béni Saf	648106.54	390752.17	68	2012-2021

1.2.1. Précipitation

Les précipitations, qui tombent sous forme de pluie ou rarement de grêle sont l'un des paramètres hydrologiques les plus importants pour étudier un bassin versant. Elles influencent également les types de climat. A partir des données pluviométriques de 10 années, nous avons pu analyser les variations des précipitations à l'échelle annuelle et mensuelle.

1.2.1.1 Précipitation interannuelle

La variation des précipitations moyennes interannuelles sur la chronique de 10 ans sont représentées dans la figure 3 et le tableau 2.

Tableau 2 : Précipitations annuelles la station de Béni Saf (2012-2021).

Années	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
P (mm)	435,89	504,32	735,51	412	276,53	255	299,8	275,03	220,14	209,27

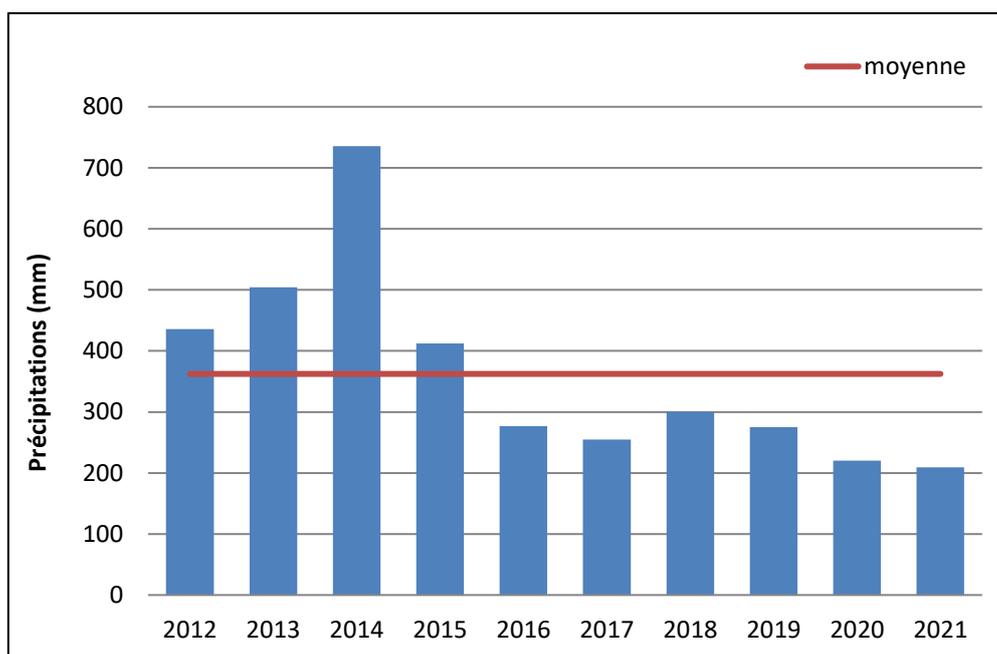


Figure 3: Variations des moyennes annuelles des précipitations de la station de Béni Saf (2012-2021).

L'analyse de l'histogramme montre que :

- Sur une période de 10 ans, les années 2016-2021 ont connu des précipitations stables, ne dépassant pas les 300 mm dont 2021 a été la plus sèche avec seulement 209.27 mm.
- La moyenne des précipitations annuelles est basse, elle est de 362.349 mm.
- L'année la plus pluvieuse était 2014, avec une lame d'eau tombée de 735.51 mm.

1.3.1.2. Précipitation mensuelle

Le tableau 3 et la figure 4 présentent les variations des précipitations moyennes mensuelles sur la période 2012-2021).

Tableau 3 : Précipitations mensuelles la station de Béni Saf (2012-2021).

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
P (mm)	76,8	31,7	43,52	76,11	16,95	3,11	0,5	1,45	15,28	18,45	39,84	38,57

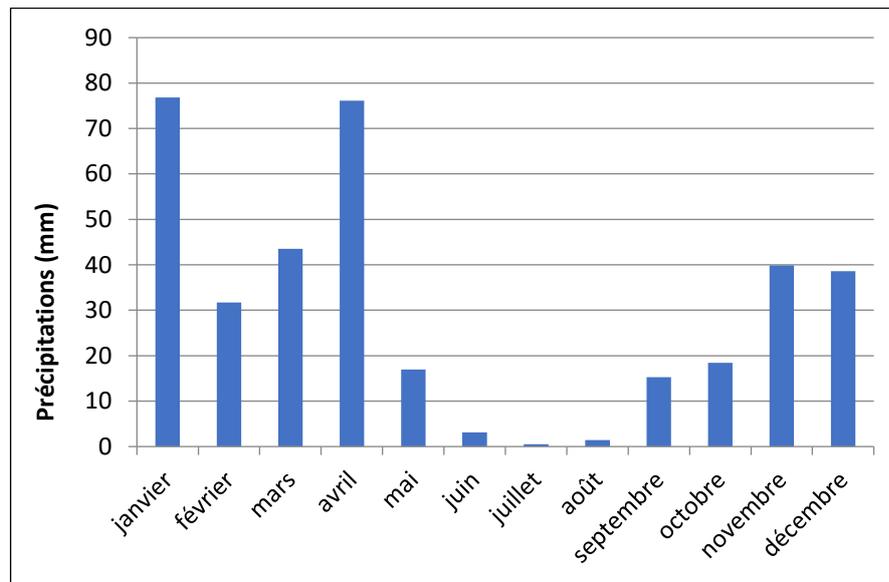


Figure 4: Variations des précipitations moyennes mensuelles interannuelles de Béni Saf (2012-2021).

En examinant les données sur la figure 4, nous pouvons constater que la plus forte pluviométrie est enregistrée en janvier (76,8 mm), tandis que la plus faible est enregistrée en juillet (0,5 mm). La période la plus sèche se situe entre juin, juillet et août, ne dépasse pas 5,06 mm de pluviométrie.

1.2.2. Température

C'est l'un des facteurs les plus importants en hydrologie, la température joue un rôle dans le cycle de l'eau et détermine le climat d'une région, affectant l'évapotranspiration et le bilan hydrique.

1.2.2.1 Températures annuelles

La variation annuelle moyenne de la température est illustrée dans la figure 5 et tableau 4.

Tableau 4 : Températures annuelles la station de Béni Saf (2012-2021)

Années	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
T (°C)	19,66	19,24	18,29	17,03	20,23	20,14	20,69	20,21	20,32	19,95

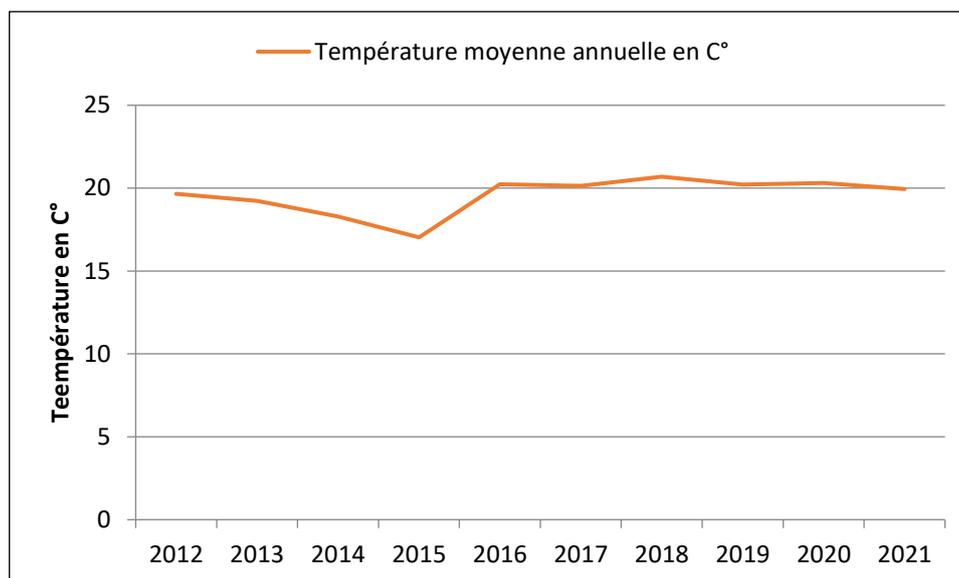


Figure 5 : Variation de la température annuelle de la station de Béni Saf (2012-2021).

Au cours des 10 dernières années, les températures moyennes annuelles sont assez constantes : la plus basse était de 17.03°C en 2015, la plus élevée était de 20.69 °C en 2018 et la température moyenne annuelle était de 19.55°C (Tableau 4).

1.3.2.2. Températures mensuelles

La figure 6 et le tableau 5 représentent les températures mensuelles moyennes.

Tableau 5 : Températures mensuelles la station de Béni Saf (2012-2021).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
T°C	13,2	13,7	15,2	18,8	20,02	23,6	26,1	26,8	24,4	20,5	17,8	14,5

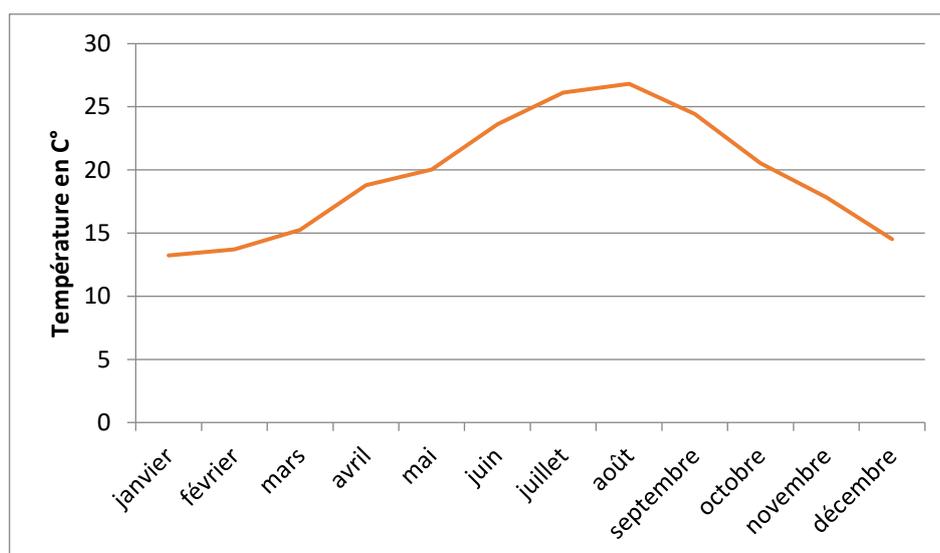


Figure 6 : Variations des Températures mensuelles (2012-2021).

L'analyse des données mensuelles de température montre que :

- Les températures moyennes varient entre 13.23°C en janvier, et 26.82 °C en août.
- La température change chaque mois ($\pm 3^\circ\text{C}$).
- Elle est élevée en juillet et août et basse en janvier.

1.2.3. Synthèse climatique

La synthèse climatique a pour but de déduire le type de climat qui règne dans notre zone d'étude et ainsi pour connaître les périodes sèches et humides, en utilisant plusieurs méthodes graphiques (Ombrothermique) et empirique (indice de De Martonne, de Moral).

1.2.3.1. Méthodes graphiques

Le diagramme Ombrothermique nous permet de représenter les variations mensuelles interannuelles des précipitations et des températures, il met en relation les précipitations et les températures : avec $P=2T$.

D'après la courbe Ombrothermique établit à partir des données pluviométriques et thermiques sur une période de 10 ans (2012 à 2021), la station de Béni Saf est caractérisée par une période sèche qui s'étend sur sept mois (figure 7).

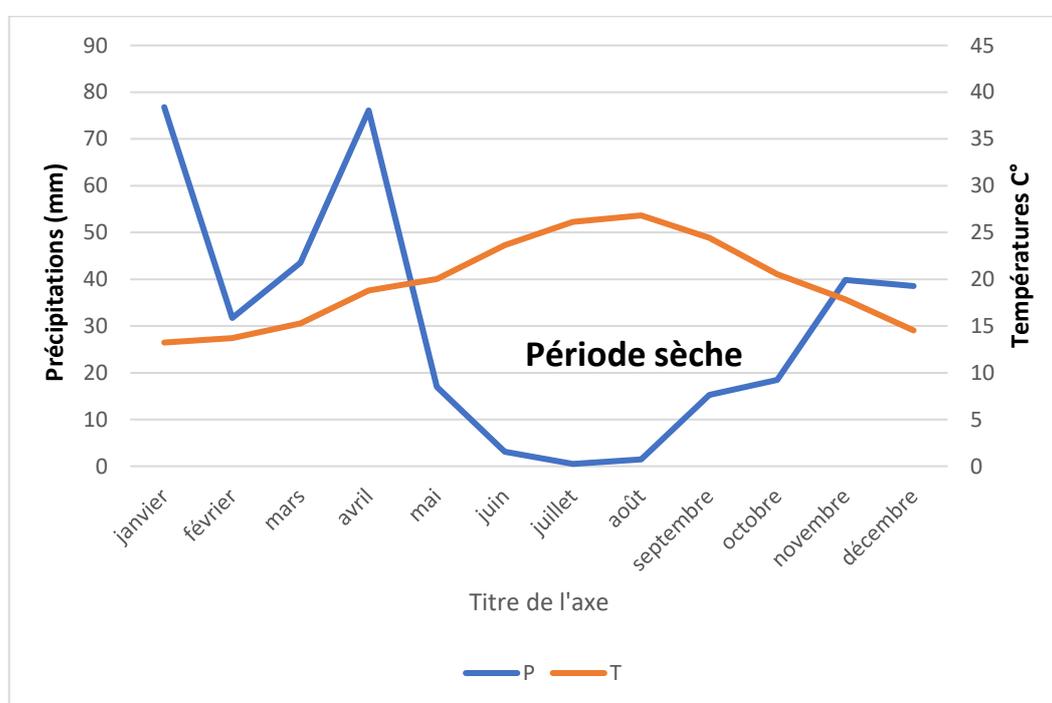


Figure 7: Diagramme de Bagnouls et Gausson de la station de Béni Saf (2012-2021).

La période sèche débute en mi-mai jusqu'en mi-novembre, durant cette saison les précipitations sont inférieures à 40 mm et la température moyenne varie de 17.8°C à 26.8°C pour un maximal au mois d'août. La période humide correspond aux mois restants, durant cette période la température maximale observé est de 18.8 °C au mois d'avril et une précipitation de 76.8 mm au même mois de janvier. La température minimale de 13.2°C est enregistrée en janvier.

1.2.3.2. Méthodes des indices

Les indices d'aridité représentent des indicateurs quantitatifs du degré du manque d'eau à un endroit donné. Elles servent principalement à caractériser le climat.

• **Indice d'aridité annuel de DE Martonne :**

Ce dernier est en fonction des précipitations et des températures moyennes annuelles. L'indice d'aridité de Martonne, permet de déduire le degré d'aridité d'une région qui est noté I, il se calcule par la relation suivante :

$$I = P / T + 10$$

P : Précipitation moyenne annuelle (mm) = 362,349

T : Température moyenne annuelle (C°) = 19,55

I : Indice d'aridité de Martonne de la station de Béni Saf = 28.60

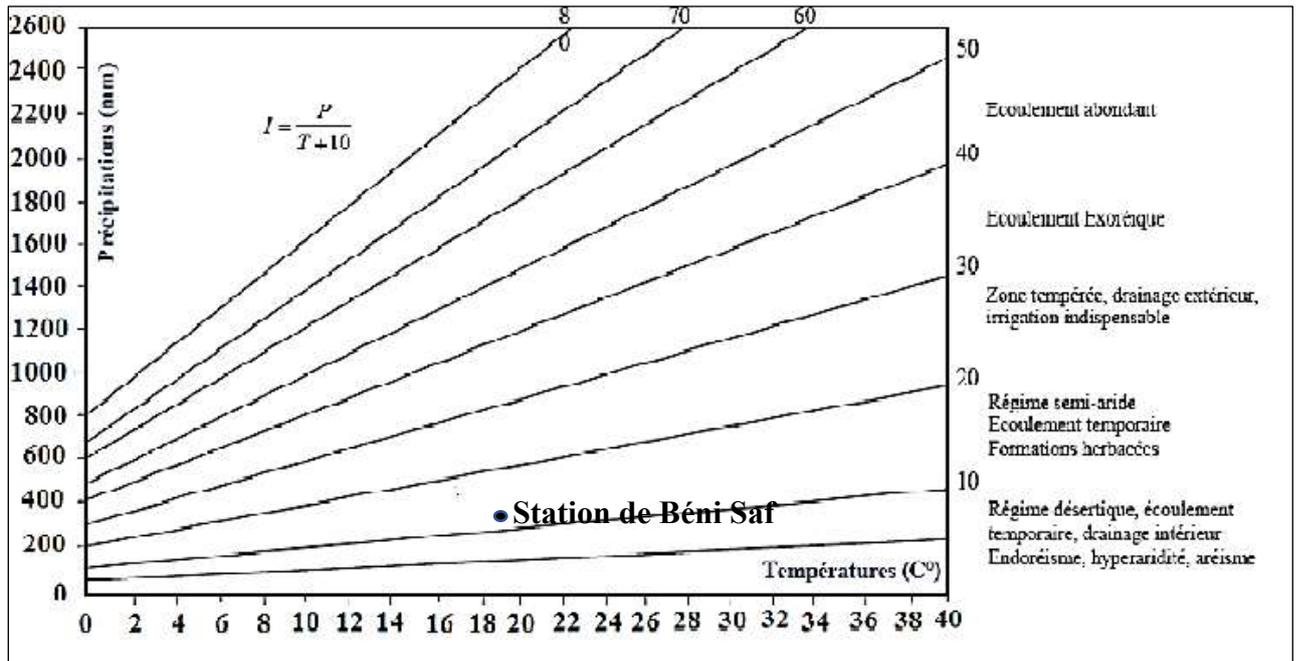


Figure 8: Abaque de l'aridité annuelle de De Martonne.

Une fois reportées sur l'abaque de De Martonne (Figure 8), il indique un climat semi-aride à écoulement temporaire.

• **Indice d'aridité mensuel de De Martonne (i) :**

Cet indice est déterminé par la relation entre les précipitations totales mensuelles et les températures mensuelles, la formule est la suivante et l'interprétation dépend de la valeur de i (tableau 6) :

$$i = 12p/t + 10$$

Les résultats des différents indices d'aridité mensuelle « i » de De Martonne sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 6 : Résultats des différents indices mensuels d'aridité.

Valeur de i	Type de climat
0 à 5	Hyperarides (HA)
5 à 10	Aride, Désertique (D)
10 à 20	Semi- aride (SA)
20 à 30	Semi-humide ou Tempéré (T)
30 à 40	Humide (H)

Tableau 7 : Indices d'aridité mensuelles de De Martonne.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
P(mm)	76,8	31,7	43,5	76,1	16,9	3,1	0,5	1,4	15,2	18,4	39,8	38,5
T(°C)	13,23	13,72	15,26	18,8	20	23,6	26,1	26,8	24,4	20,5	17,8	14,5
i	39,67	16,03	20,67	31,71	6,77	1,10	0,168	0,47	5,32	7,244	17,17	18,88
Type de Climat	H	SA	T	H	D	HA	HA	HA	D	D	SA	SA

D'après les résultats (tableau 7) :

- Les mois de mai, septembre et octobre ont un indice d'aridité compris entre 5 et 10, correspondant à une zone de climat désertique.
- Les mois de juin, juillet et août sont classés comme hyperarides, avec un indice supérieur à 20.
- Les autres mois de l'année présentent des conditions semi-arides, avec un indice d'aridité compris entre 10 et 20.
- Les mois de janvier et avril ont des taux d'humidité plus élevés, dépassant les 30.

1.3. Conclusion

En se basant sur les données de précipitation, température et l'indice d'aridité de Martonne, nous pouvons conclure que notre région étudiée a un climat semi-aride, caractérisé par de faibles précipitations (moyenne annuelle de 362,35 mm) et un écoulement temporaire. Le graphe de Bagnouls et Gaussen et les indices mensuelles d'aridité de De Martonne indiquent une sécheresse prolongée presque durant toute l'année, ce qui peut avoir des conséquences sur l'agriculture et la disponibilité en eau.

CHAPITRE 2 : GÉOLOGIE et HYDROGÉOLOGIE

CHAPITRE 2. GÉOLOGIE et HYDROGÉOLOGIE

2.1. Introduction

La zone d'étude fait partie du domaine externe de l'Atlas Tellien. Ce domaine est connu par de grandes nappes de charriage pelliculaires surmontent de matériaux marneux datant du Crétacé-Paléogène. Localement, près de l'agglomération de Sidi Safi, de nombreuses mines de fer dont on sait aujourd'hui que la zone de Béni Saf s'est appauvrie et la zone a longtemps été célèbre.

La synthèse géologique a été faite en se basant sur des études antérieures de Gentil (1902), Claire (1957), Guardia (1975), Saint-Martin (1987), elle présente la lithostratigraphie de l'extrait de carte géologique de Béni Saf (1/50 000) (Figures 11 et 12).

D'un point de vue stratigraphique, deux unités géologiques peuvent être distinguées schématiquement dans la région de Béni Saf. A l'Est, un secteur prédominé par les formations marines tertiaires, le plus souvent carbonatées, qui laissent apparaître localement des formations plus anciennes. A l'Ouest, un secteur rehaussé au cours du tertiaire et comportant des formations sédimentaires paléozoïques et mésozoïques, marquées surtout à l'Ouest, par d'un phénomène volcanique tertiaires et quaternaire.

2.2. Description lithostratigraphique

a. Carbonifère : affleure principalement sur la côte formant un soubassement le long de la falaise. On distingue les Flyches gréseux (h) et les quartzites et poudingues quartzeux (hrp) ;

Flyches gréseux (h) Quelques plis d'échelle décamétriques sont visibles au long de la cote, à Béni Saf ou aux environs de l'Ain Tinekremnt. Ce sont des plis très nettement anisopaques montrant la réfraction de la schistosité dans les niveaux à granulométries grossières.

Quartzites et poudingues quartzeux (hrp) : L'aplatissement est très net au niveau des poudingues et il est matérialisé par l'allongement des galets parallèlement à l'axe des plis. Puissant d'une dizaine de mètres, les bancs quartzites et poudingues quartzeux sont découpés en grands boudins de taille décamétrique et séparé par de fins niveaux schisteux. Autour de ces boudins, linéation et schistosité sont fortement réfractées.

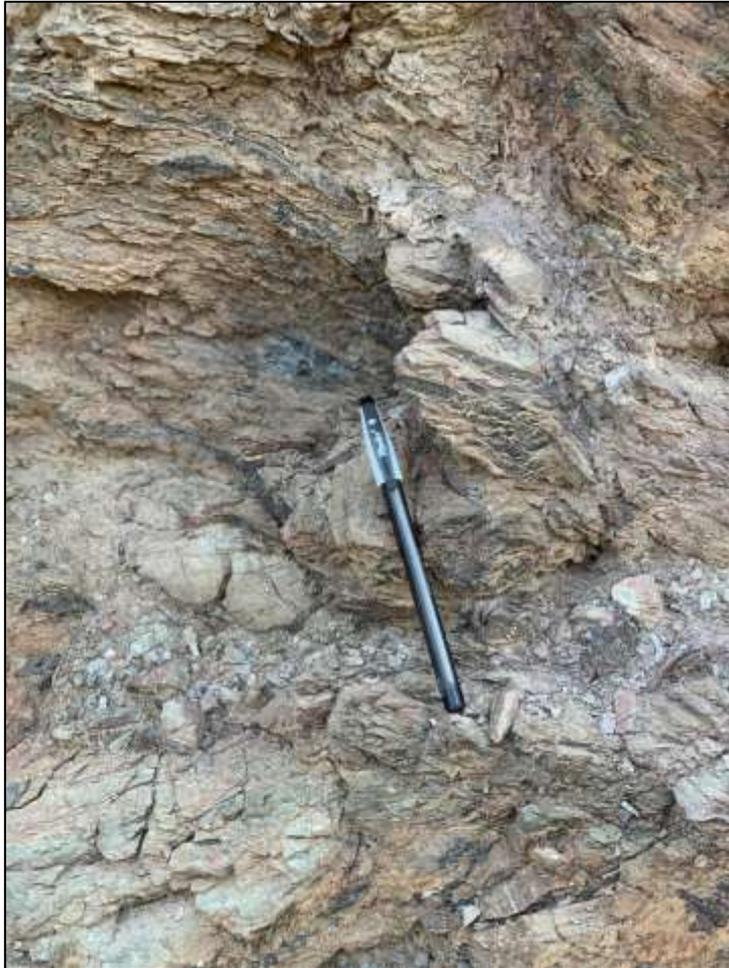


Figure 9 : Photo des schistes du Carbonifère.

b. Trias : Le matériel triasique associé aux nappes telliennes et très riche en évaporites et par la même très plastique, il a donc pu se déplacer par diapirisme très facilement au cours de l'histoire du « sillon tellien ». Or ce matériel triasique existe en grande quantité dans les unités sénoniennes, Chouala et du Tadjra où il constitue non seulement la semelle mais des amas parfois considérables, le Trias de la plâtrière de la Tafna en amas dans l'unité sénonienne a été interprété par de nombreux auteurs comme un diapir autochtone. Des filons minces films de matériel triasique, séparent souvent des lames tectoniques dans ces unités, dans l'unité oligo- miocène au contraire le Trias ne forme, et encore rarement, qu'une mince semelle.

c. Jurassique :

Lias (L) : Les terrains reportés au Lias (Guardia et Chabi 1995) sont des formations carbonatées, représentées par les calcaires marmorisés et les calcaires laminés. Ces formations sont plissées et faiblement métamorphisées.

Jurassique supérieur-crétacé inférieur (Js-n) : Les schistes sont d'âge Jurassique supérieur-Crétacé inférieur. Ils sont représentés par une série qui comprend : des séricitoschistes quartzeux intercalés de roches carbonatées, des chloritoschistes de teinte verdâtre et des schistes sombres graphiteux

de teinte grise. Ces schistes affleurent à la périphérie de l'agglomération de Sidi Safi, d'épaisseur environ (20 à 30 m), présentent un aspect schistosé et plissé.

d. Miocène :

Serravalien (m4-5aC) : définit par Jenny et al. (1986) par le complexe chaotique de Béni Saf. Il affleure principalement au niveau de l'ancienne Tuilerie de Béni Saf, le long du Chabet el Bel, au bord de la piste de Dj. Skouna. En particulier, des colonies de *Tarbellastraea* ont occupé un substrat composé de blocs de roches vertes englobé dans des marnes versicolores. Il s'agit d'un pointement localisé mais qui assure la transition avec les formations messiniennes du plateau de Sidi Safi.

Tortonien supérieur-Messinien basal (m5b-6a) : il s'agit d'un Miocène transgressif qui a déposé des niveaux gréseux ou argilo-sableux à faune abondante. Ces grès tortoniens, nommés par Gentil (1903) les Grès de Béni Saf, affleurent à l'Ouest de Béni Saf, et au niveau d'oued El Anser vers le Sud et présentent toujours à leur base une ligne de galets.

Messinien (m6b) : formé par des calcaires à Algues et Polypiers connues par les calcaires récifaux. L'essentiel du plateau de Sidi Safi est constitué par ces formations calcaires du Miocène terminal qui disparaissent cependant sous les épanchements de laves volcaniques quaternaires dans le secteur oriental, les constructions coralliennes se développent assez largement, généralement vers le sommet de la série, quelques grandes carrières exploitées pour alimenter la cimenterie (Bled Ouled Boujema), offrent des fronts de taille intéressants et friable.

Ces calcaires reposent sur une série marneuse, continentale et saumâtre à la base, puis franchement marine vers le sommet, l'activité corallienne se manifeste plus tardivement. Aux alentours de Sidi Safi, apparaissent en fenêtre, directement sous les calcaires, des affleurements du substrat anté-miocène. Vers le Nord, le plateau se termine sur les falaises qui surplombent la Méditerranée. Celles-ci montrent aux environs d'Ain Tenikrent des calcaires gréseux à macrofaune abondante, dont la position stratigraphique est discutée. Le ravin d'Ain Tinekremnt entaille une série de calcaire gréseux très fossilifère à *Pectindae*, *Clypeaster Térébralus* et Bryozoaires. Gentil (1902), puis Sadran (1952, 1958) situent cette formation à la base du Miocène supérieur. Bellon et Guardia (1980) attribuent l'âge Pliocène inférieur à cette formation.



Figure 10 : Photo prise sur l’affleurement du Messinien basale au niveau de la source de Ain Tinekremnt.

e. Pliocène (P1g) (Pliocène inférieur gréseux) :

Il est formé par de grès calcarifères surmonté de sables quartzeux et calcaires, quelquefois faiblement agrégés, ayant une puissance de 50 à 80m. Cette formation se développe sur le littoral où ils forment une bande étroite appelée "Grès de Béni Saf".

f. Quaternaire

Les terrains quaternaires de la région présentent plusieurs natures : sables éoliens, alluvions, éboulis de pente, sables de plages, et enfin des dépôts volcaniques représentés par des produits pyroclastiques (d’origine basaltique), et des tufs volcano-sédimentaires, ainsi que des coulées basaltiques.

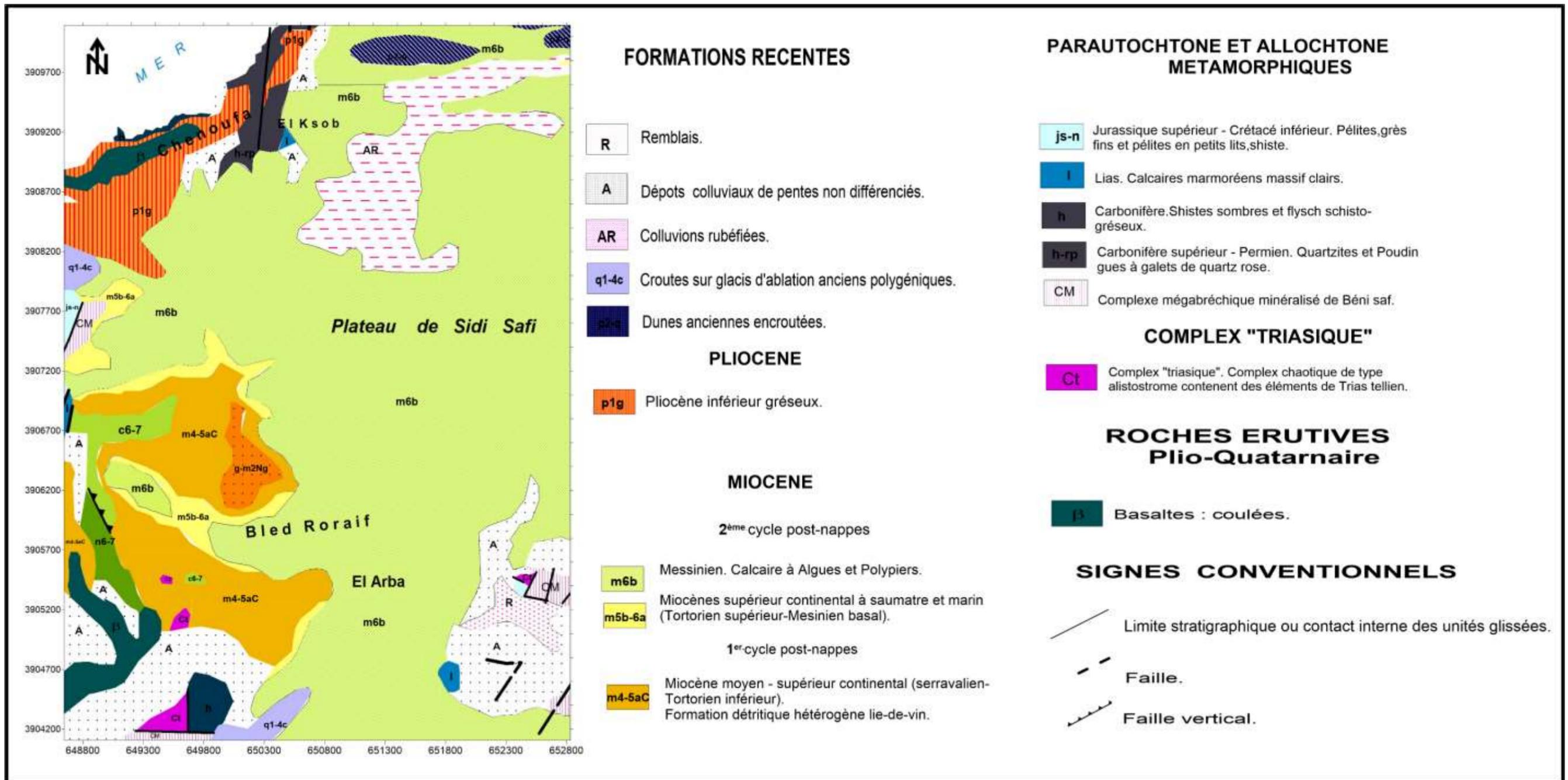


Figure 11 : Extrait de carte géologique de Béni Saf digitalisé (Guardia 1975).

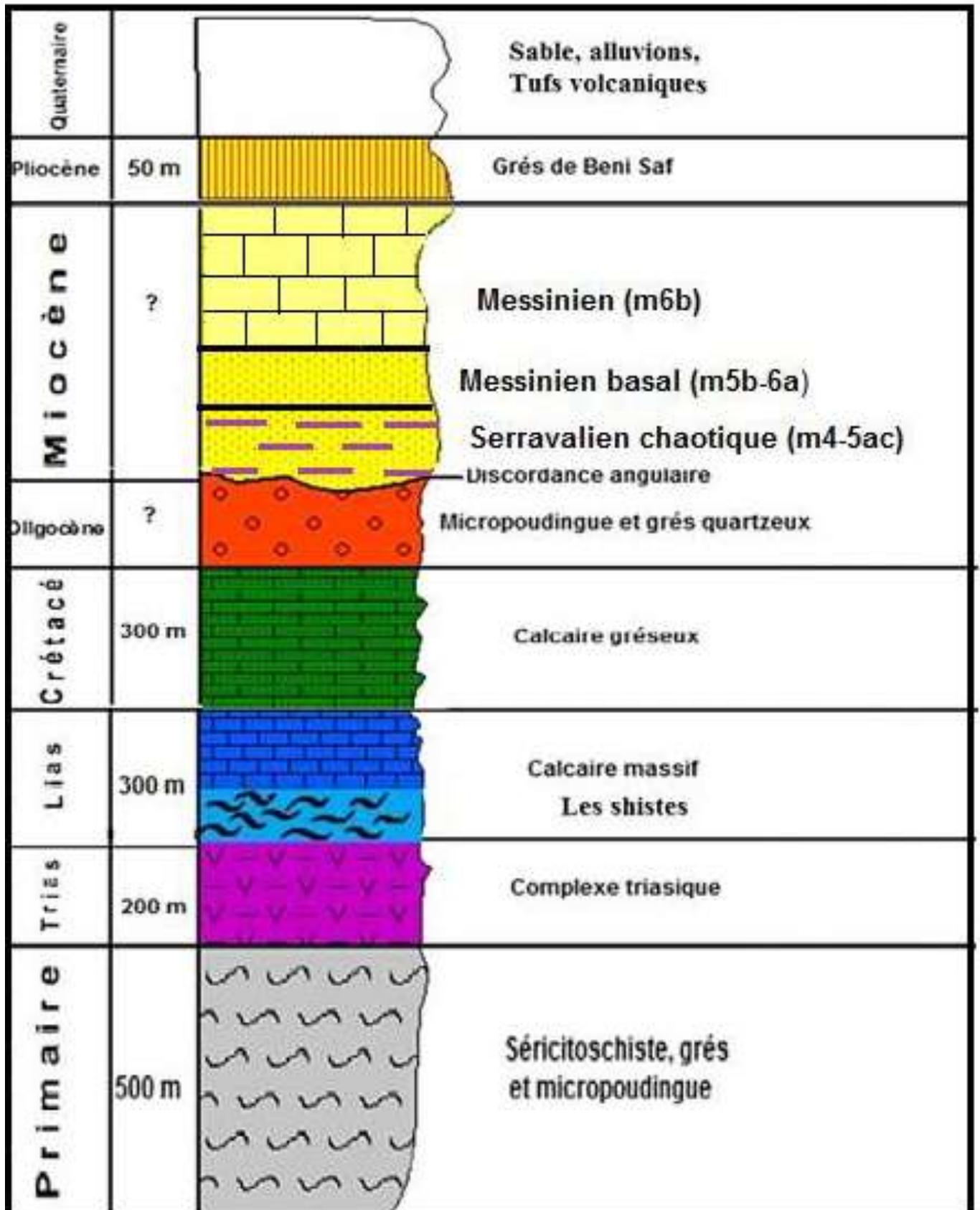


Figure 12: Log stratigraphique de la région de Béni Saf,
(Guardia et Chabi, 1995 in Mahroug, 2014).

2.3. Introduction

En se Basant sur le chapitre précédent, il est évident que la formation du Messinien constitue l'aquifère principale de la région, très étendu surmontant un substratum schisteux du Carbonifère et du Jurassico-Crétacé.

L'objectif de l'aperçu hydrogéologique est d'identifier l'aquifère principale de la région, et de déterminer le comportement hydrodynamique et le sens d'écoulement de la nappe à travers notre campagne piézométrique faite au mois de mars 2023. Des sorties sur terrain ont été effectuées aux niveaux des sources de Ain El Anser, de Ain Tinekremnt et pour comprendre leurs contextes d'émergence.

2.4. Inventaire des puits et carte hydrogéologique

Afin de comprendre les écoulements de la nappe du Messinien et leur relation avec les deux sources étudiées, nous avons réalisé une carte hydrogéologique de la partie ouest du plateau de Sidi Safi. Il y a un total de 15 puits dans la zone d'étude (Tableau 8 et figure 13), répartis entre les particuliers, la commune et les domaines agricoles, qui sont utilisés exclusivement pour répondre aux besoins en eau potable des propriétés individuelles et pour l'irrigation des terres cultivées. Il est à noter que la campagne piézométrique n'était pas une mince affaire à cause, d'une part, du manque de puits dans la zone d'étude, et d'autre part de l'incompréhension de certains agriculteurs.

Tableau 8 : Campagne piézométrique de la zone d'étude (mars 2023).

N°	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
NP (m)	122	53	147,5	101	195,5	192	180	158	185	220	115	154	193,5	195	106

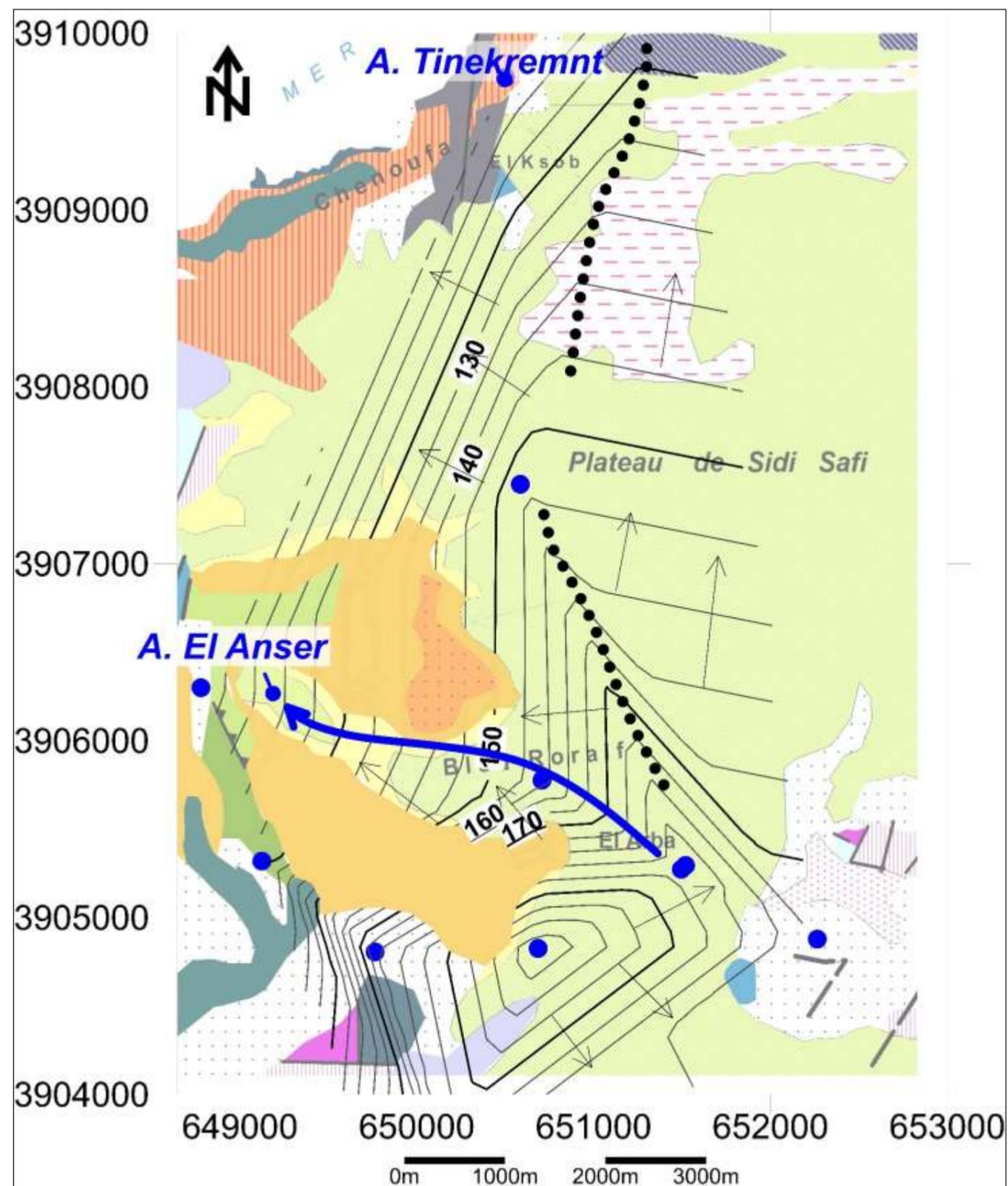


Figure 13 : Carte piézométrique de la partie ouest du plateau de Sidi Safi (mars 2023).

Nous avons élaboré la carte hydrogéologique de la partie ouest du plateau de Sidi Safi (figure 13). En examinant la carte hydrogéologique, il est possible de remarquer qu'il y a deux unités hydrogéologiques séparées par une ligne de partage des eaux d'orientation NS, séparant la nappe en deux unités hydrogéologiques :

Unité hydrogéologique ouest : La partie sud de l'unité ouest est drainée selon une direction SE-NO alimentant la source d'El Anser ; au nord nous remarquons un écoulement de direction ESE-ONO, mais le nombre réduit des données dans cette partie (absence de puits) ne permet pas d'affirmer la morphologie de la surface de la nappe.

En revanche, cette carte nous permet de confirmer la relation hydrodynamique entre les deux sources qui représentent les principaux exutoires de cet aquifère.

Unité hydrogéologique est : l'écoulement de cette unité est vers l'Est, ce qui confirme l'étude de Claire (1957), quand il a décrit la partie est du Miocène transgressif de la région comme formation légèrement inclinée vers l'Est participant à l'alimentation de Chaàbet Oued Hallouf.

2.5. Contexte d'émergence des sources

Afin de comprendre le contexte d'émergence des sources de El Anser et Ain Tinekremnt, nous avons réalisé des coupes à main levée sur le terrain puis nous l'avons confirmé sur la carte géologique. Ces coupes hydrogéologiques permettent de visualiser les formations aquifères alimentant les sources (Figure 14 et 15).

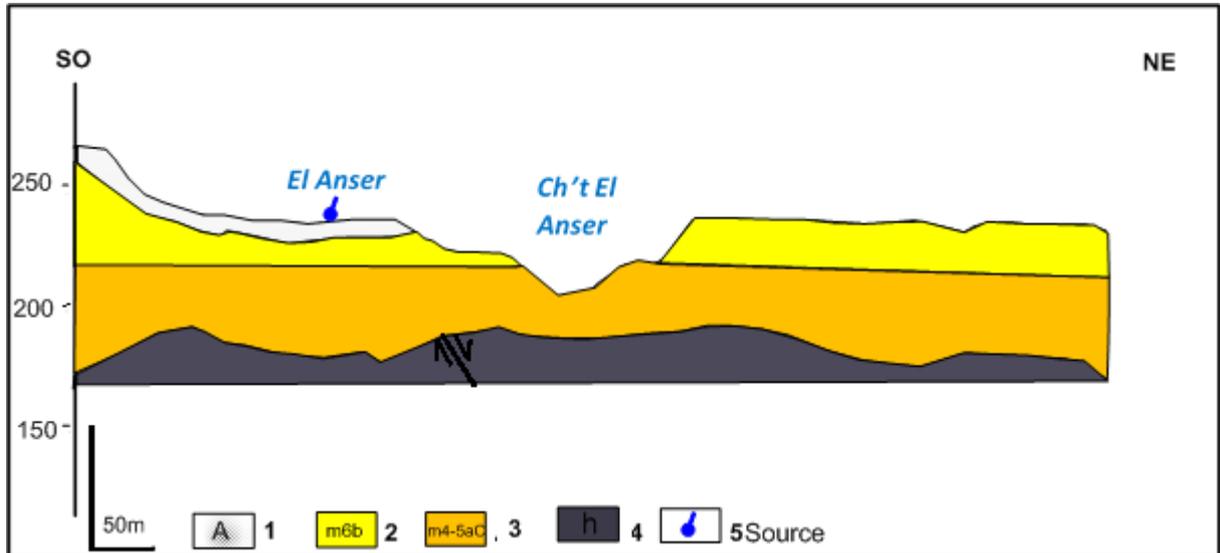


Figure 14 : Coupe hydrogéologique de la source de El Anser.

1: Alluvions, 2 : Messinien. Calcaire à Algues et Polypiers ; 3 : Miocène moyen - supérieur continental (Serravalien-Tortonien inférieur) ; 4 : Carbonifère. Schistes sombres et flysch schisto-gréseux ;

De direction SO-NE, la coupe à travers la source de El Anser montre que les alluvions récentes couvrent le contact responsable à l'émergence de la source. On observe que l'aquifère du calcaire blanc du Messinien repose sur le substratum schisteux (Figure 13). Vu que cette dernière se trouve au milieu de terrains agricoles privés, l'accès était impossible rendant la confirmation difficile.



Figure 15 : Vue panoramique près de la source de El Anser.

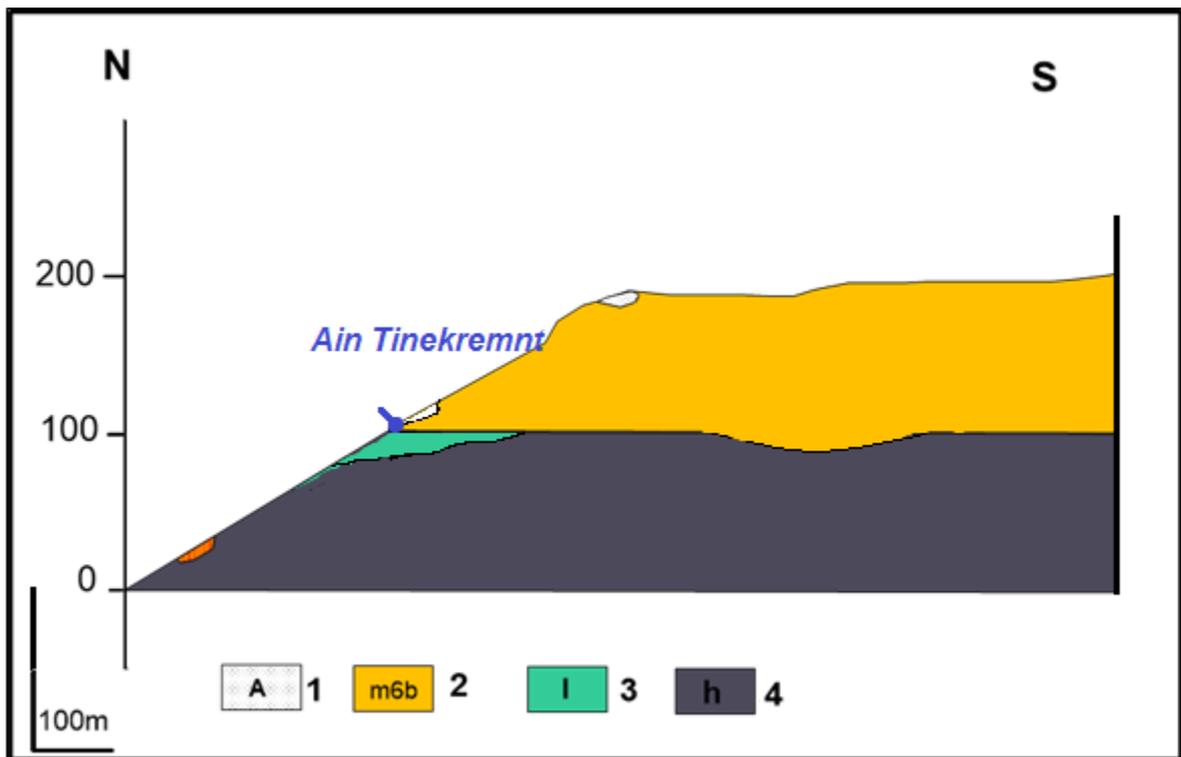


Figure 16: Coupe hydrogéologique de la source de Ain Tinekremnt.

1 : Alluvions ; 2 : Messinien. Calcaire à Algues et Polypiers ; 3 : Lias. Calcaires marmoréens massif clairs ; 4 : Carbonifère. Schistes sombres et flysch schisto-gréseux

Au contraire de la source d'El Ancer, Ain Tinekremnt, vu son débit plus important (9l/s), alimente une partie de la ville de Béni Saf.

La coupe hydrogéologique élaborée passant par la source de Ain Tinekremnt (SO-NE) montre que la source émerge à la base du Messinien au contact avec les calcaires liasiques, le tous surmonte substratum schisteux ce nous explique l'existence d'un autre griffon à faible débit, vers le Nord (Figure 16 et 17).

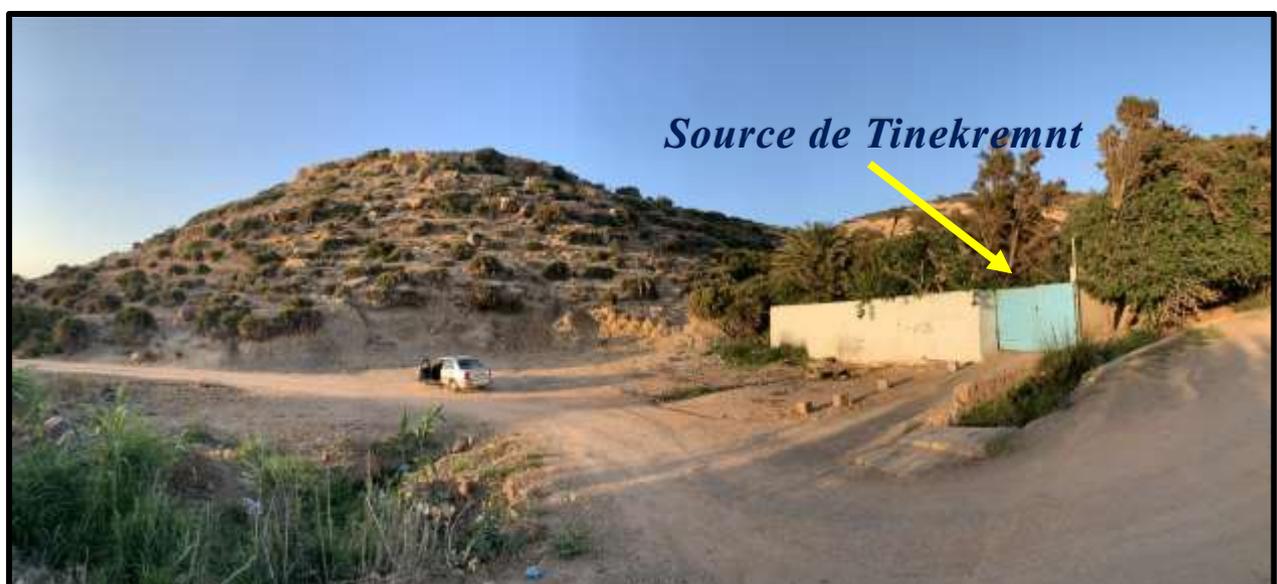


Figure 17 : Vue panoramique près du captage de Ain Tinekremnt.

2.6. Conclusion

D'après les interprétations de la carte piézométrique et les coupes hydrogéologiques les sources d'El Anser et de Tinekremnt sont des exutoires du même aquifère. Bien que les mesures piézométriques ne couvrent pas la totalité de l'impluvium de Ain Tinekremnt mais son débit justifie clairement l'étendu de cet aquifère.

Les coupes hydrogéologiques montrent que la formation aquifère subhorizontale représente un plateau surélevé coiffé par des falaises, ce qui donne naissance aux sources de la région. Le substratum de notre aquifère est principalement schisteux.

CHAPITRE 3 : HYDROCHIMIE

CHAPITRE 3. HYDROCHIMIE

3.1. Introduction

Les deux sources étudiées sont destinées principalement à l'alimentation en eau potable, bien que celle de El Anser a connue, en 2008, une dégradation qualitative de ses eaux, elle sert toujours à approvisionner la population locale. Lorsqu'il s'agit d'eau destinée à la consommation humaine, des normes très strictes doivent être respectées pour les paramètres microbiologiques, physiques et chimiques principalement les indicateurs de pollution. Dans ce cadre, la qualité des eaux de ces deux sources est bien suivie par la direction de ADE de Ain Témouchent.

Cette section de l'étude est consacrée à l'évaluation des eaux souterraines en fonction de leur aptitude à la consommation, ainsi qu'à l'évolution temporelle de leur qualité. Nous allons présenter les données utilisées, analyser les paramètres physico-chimiques et finalement comparer les résultats avec les normes de consommation en vigueur en Algérie (2011).

3.2. Présentation des données

Les analyses hydrochimiques des échantillons des deux sources, prélevés par le laboratoire de l'ADE de la wilaya de Ain Temouchent. Ces prélèvements ont été réalisés au niveau des sources El Anser et Ain Tinekremnt dans le but d'évaluer leur qualité pour la consommation humaine.

Afin d'atteindre notre objectif de suivi qualitatif, nous avons choisi deux séries temporelles, faute de disponibilité de données relatives à toute la période 2012-2021 :

- La première s'étale de 2017 à 2021 pour la source Tinekremnt,
- Tandis que la seconde couvre les années 2018, 2019 et 2022 pour la source El Anser.

3.2.1 Fiabilité des analyses chimiques

La fiabilité des analyses a été vérifiée en calculant la balance ionique. Cette méthode consiste à calculer :

$$BI = \sum \frac{\text{cation} + \text{anion}}{\text{cation} - \text{anion}} \times 100$$

- Si $BI \leq 2\%$ on a une bonne analyse,
- Si $BI \leq 5\%$ analyse acceptable,
- Si $BI > 5\%$ mauvaise analyse.

En appliquant cette formule sur les analyses de la source El Anser, nous avons obtenus les résultats mentionnés dans le tableau 9 ; les analyses des échantillons des années 2018 et 2019 sont acceptables, et celle de l'année 2022 est une bonne analyse.

Tableau 9 : Résultats de la balance ionique de la source El Anser

Années	BI
2018	2.61
2019	3.97
2022	0.35

Quant aux analyses de Ain Tinekremnt (tableau 10), les analyses du 2017 et 2018 sont de mauvaises analyses. Les échantillons du 2019 et 2021 présentent une bonne analyse, le reste est acceptable.

Tableau 10 : Résultats de la balance ionique de Ain Tinekremnt

Années	BI
2017	6.25
2018	7.02
2019	1.58
2020	3.76
2021	1.42
2022	2.15

3.3. Faciès chimiques

L'analyse du faciès chimique nous aide à comprendre et confirmer la relation entre les deux sources. Pour cela nous avons utilisé le diagramme de Schoeller Berkalov et de Stiff :

- Diagramme de Schoeller-Berkaloff :

C'est un schéma graphique qui permet de représenter les caractéristiques chimiques de plusieurs points d'eau. Chaque échantillon est symbolisé par une ligne brisée qui relie des points correspondant aux concentrations de différents éléments chimiques. Ces concentrations sont représentées sur une échelle logarithmique par des lignes verticales. Lorsque les lignes brisées se croisent, cela indique un changement de faciès chimique.

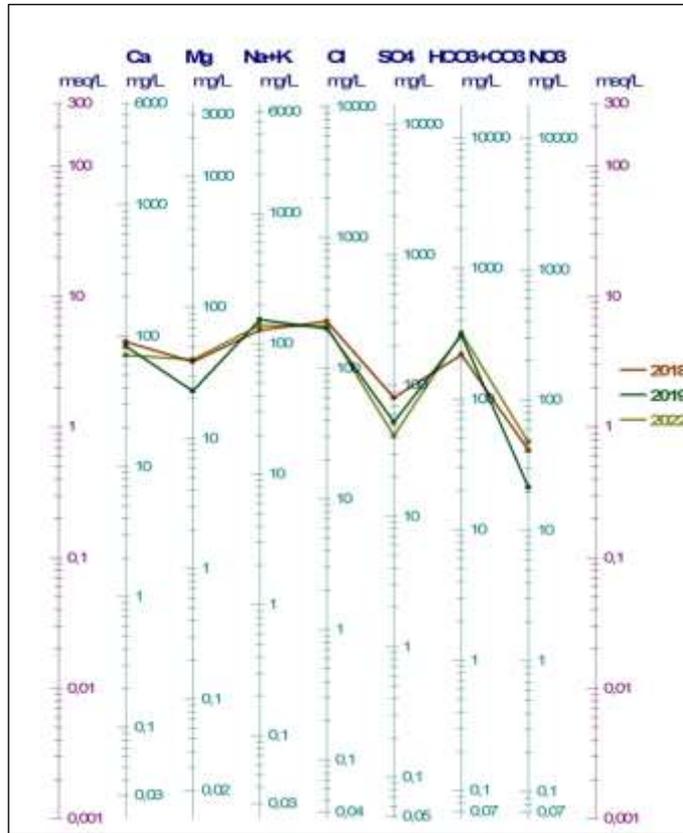


Figure 18 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux de la source de El Anser.

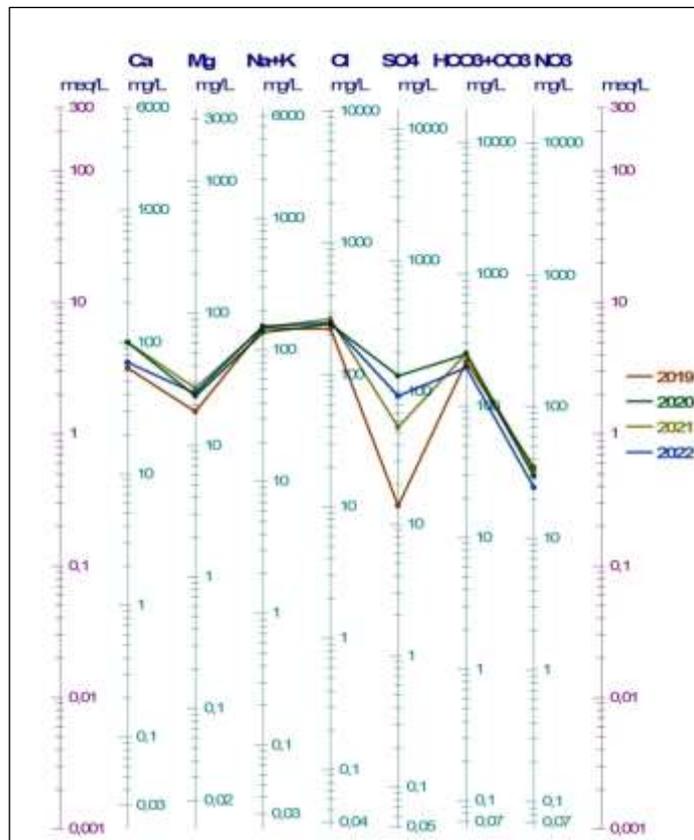


Figure 19 : Résultats diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux de la source de Tinekremnt.

D'après les diagrammes de Schoeller-Berkaloff de la source El Anser (figure 18), nous remarquons que le faciès est bicarbonaté-chloruré-sodique pour toutes les années.

La figure 19, montre que la source de Ain Tinekremnt présente aussi le même faciès chimique, avec une faible concentration de SO_4^{2-} durant l'année 2019.

- **Diagramme de Stiff :**

Le diagramme de Stiff est un outil couramment utilisé en hydrogéologie pour représenter la répartition des concentrations d'ions dans une eau souterraine. Ce diagramme permet de visualiser la distribution des cations et des anions d'un échantillon d'eau, ainsi que d'évaluer l'évolution temporelle de la qualité de l'eau en comparant les diagrammes de différents échantillons prélevés à différents moments.

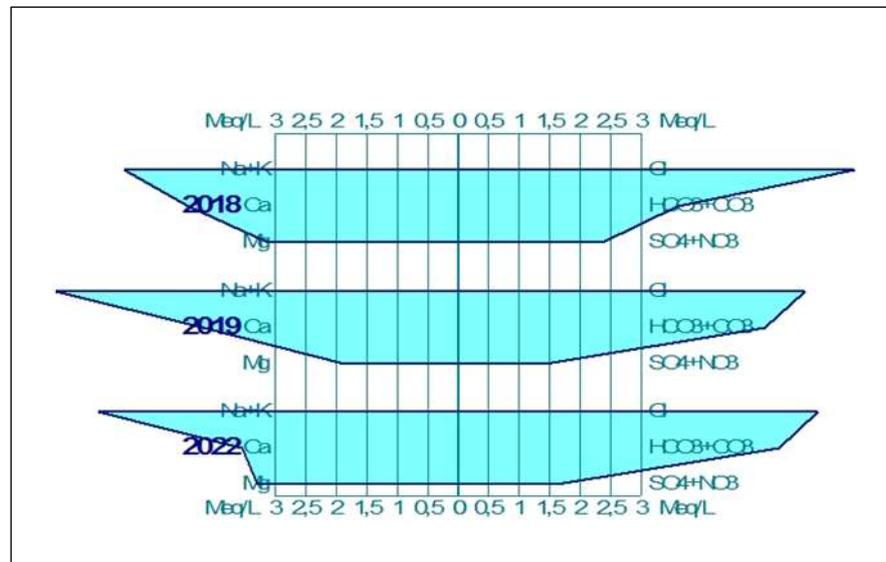


Figure 20 : Diagramme de Stiff des eaux de la source de El Anser.

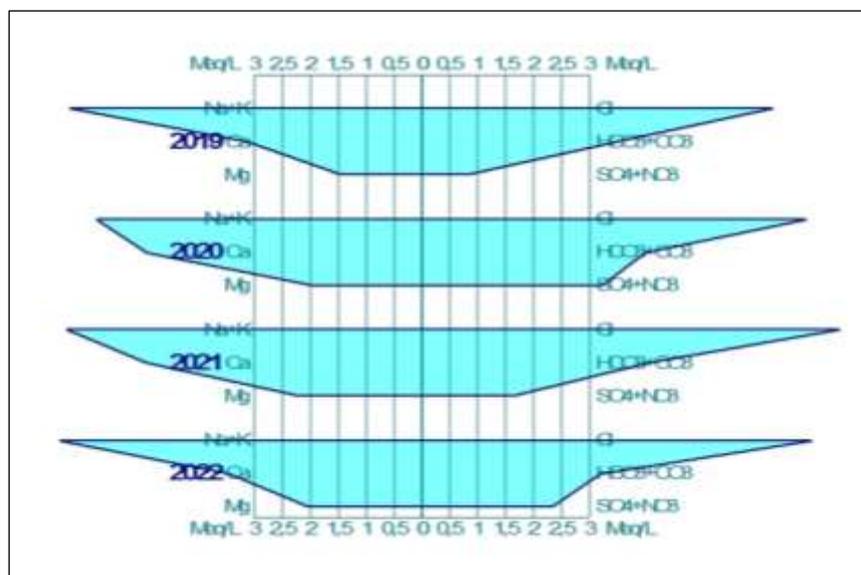


Figure 21 : Diagramme de Stiff des eaux de Ain Tinekremnt.

D'après le diagramme de Stiff de la source de El Anser (figure 20) nous remarquons que le faciès reste Bicarbonaté-Chloruré-Sodique pour tous les échantillons. Le même cas pour celui de Ain Tinekremnt, ce qui nous permet de dire que les eaux circulent dans le même aquifère.

3.4. Paramètres chimiques des eaux de sources :

Nous ne disposons que les teneurs des éléments majeurs : les cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), les anions (Cl^- , HCO_3^-) et les indicateurs de pollution (SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_2^-). Nous allons les représenter en les comparant avec les normes algériennes de potabilité établis sur les graphes qui suivent (Journal officiel 2014).

3.4.1. Cations :

➤ Calcium :

Le calcium est un métal alcalino-terreux qui est extrêmement commun dans la nature et en particulier dans le calcaire riche en forme de carbonate.

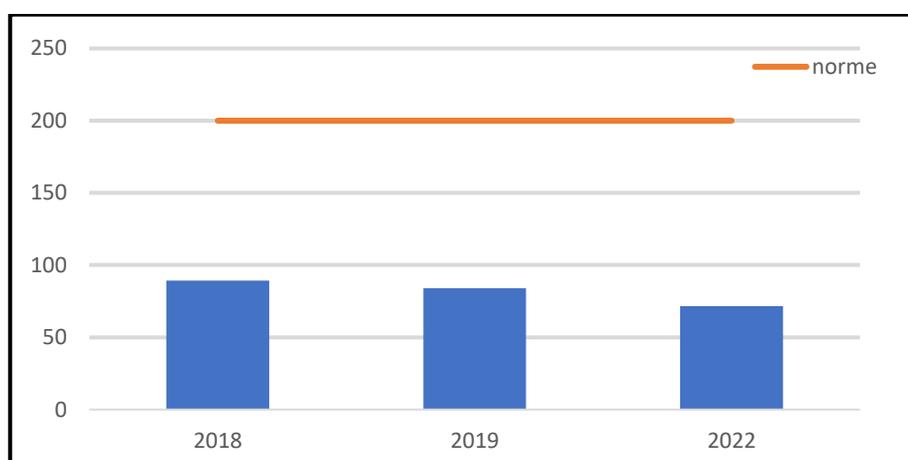


Figure 22 : Variation temporelle de la teneur de calcium de la source El Anser.

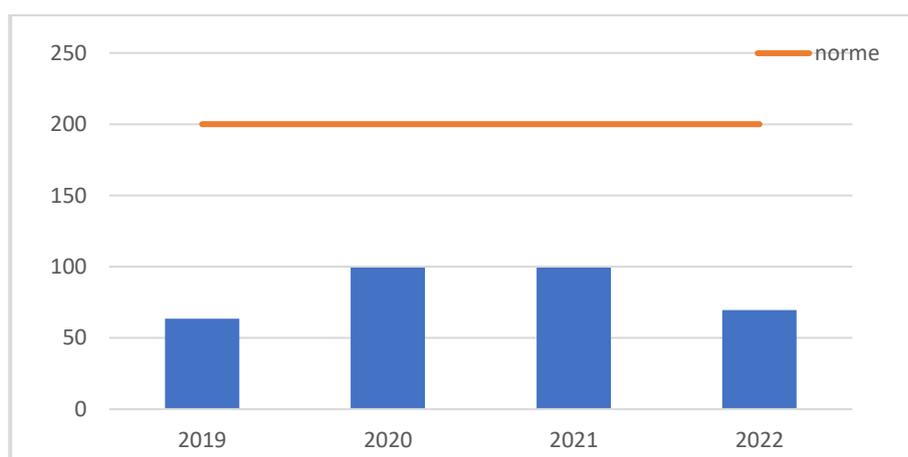


Figure 23 : Variation temporelle de la teneur de calcium de Ain Tinekremnt.

Le graphe ci-dessus montre que les concentrations en ions de calcium de la source de El Anser sont assez constantes, les valeurs enregistrées indiquent que la valeur maximale est de 89.3mg/l

en 2018, et la minimale est de 71.53 mg/l en 2022. On constate aussi que la teneur est inférieure à la norme (Figure 22).

Le graphe de la figure 22 montre que les concentrations en ions de calcium varient entre 99.35mg/l en 2020, et 63.48 mg/l en 2022. On constate que la teneur est inférieure à la norme (Figure 23).

On distingue donc que la source de Tinekremnt a une teneur en ions de calcium supérieure que la source de El Anser.

➤ Magnésium :

Le magnésium est l'élément le plus abondant dans la nature, il compose environ 2,1% parties de la croûte terrestre, sa teneur en eau dépend du terrain traversé.

On distingue donc que la source de AinTinekremnt a une teneur en ions de magnésium inférieure que la source de El Anser.

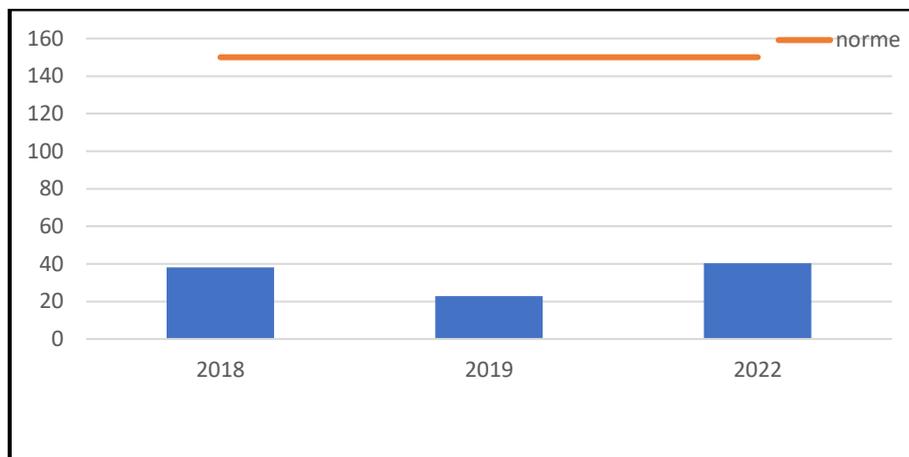


Figure 24 : Variation temporelle de la teneur de magnésium de la source El Anser.

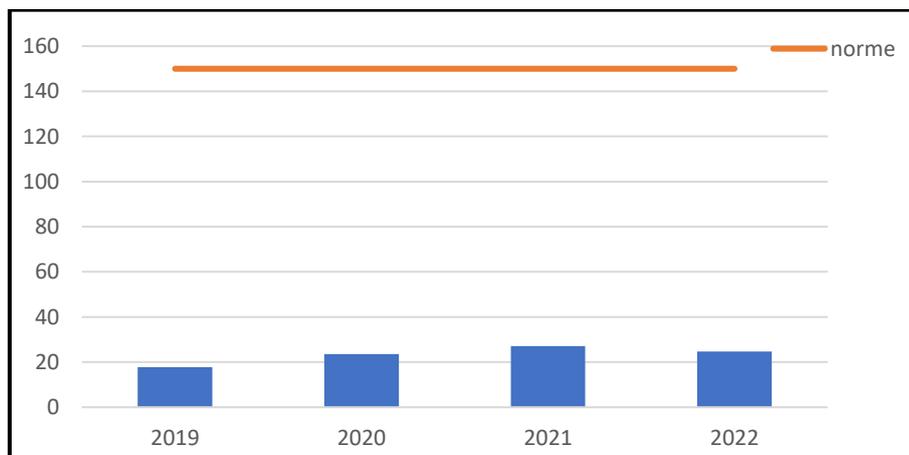


Figure 25 : Variation temporelle de la teneur de magnésium de Ain Tinekremnt.

Le graphe ci-dessus montre que les concentrations en ions de calcium de la source de El Anser sont assez constantes. Les valeurs enregistrées indiquent que la valeur maximale est de 40.3mg/l

en 2022, et la minimale est de 22.8 mg/l. On constate aussi que la teneur est inférieure à la norme (Figure 24).

Le graphe de la figure 25 montre que les concentrations en ions de magnésium varient entre 17.83mg/l en 2019, et 27.1 mg/l en 2021. On constate que la teneur est inférieure à la norme (Figure 25).

➤ Sodium :

Le sodium est toujours présent dans l'eau naturelle, avec des proportions très différentes.

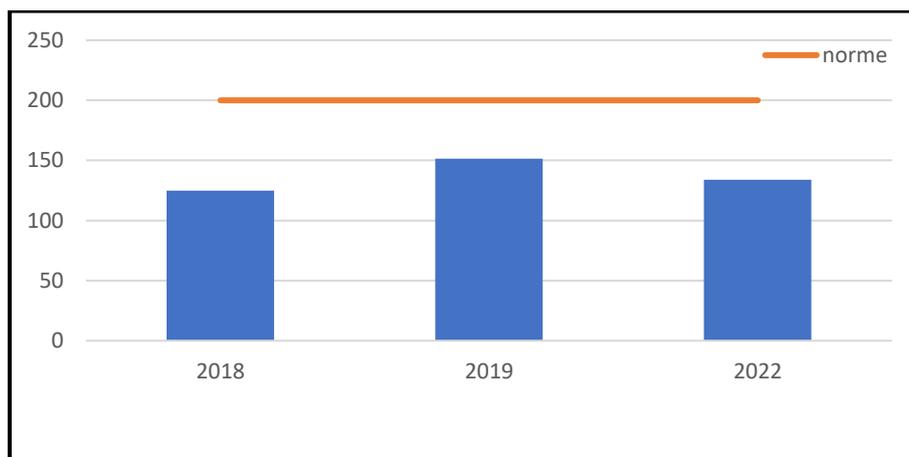


Figure 26 : Variation temporelle de la teneur de sodium de la source El Anser.

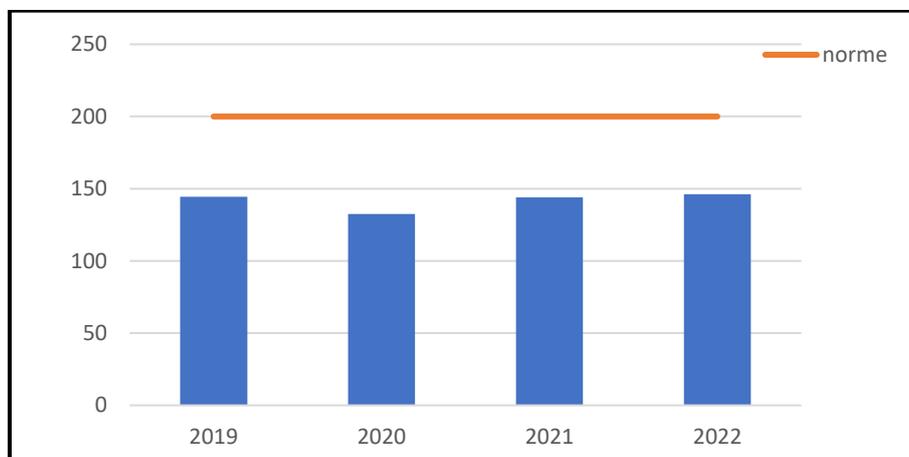


Figure 27 : Variation temporelle de la teneur de sodium de Ain Tinekremnt.

Le graphe ci-dessous montre que les concentrations en ions de sodium de la source de El Anser sont assez constantes, les valeurs enregistrées indiquent que les teneurs varient entre 125 mg/l en 2018 et 151.34mg/l en 2019. On constate aussi que la teneur est inférieure à la norme (Figure 26).

Le graphique de la figure 27 met en évidence la variation temporelle des concentrations en ions de sodium, avec des valeurs allant de 132.5 mg/l en 2020 à 146.1 mg/l en 2022. On remarque que les niveaux de sodium sont inférieurs à la norme (Figure 27). De plus, il est possible de constater que

la source de Tinekremnt présente une teneur en ions de sodium un peu plus élevée que celle de la source de El Anser.

➤ Potassium :

Bien que dans la roche ignée, la teneur en potassium est presque égale à la teneur en sodium, mais la valeur de potassium obtenue est inférieure à la norme de potabilité de 12 mg/l.

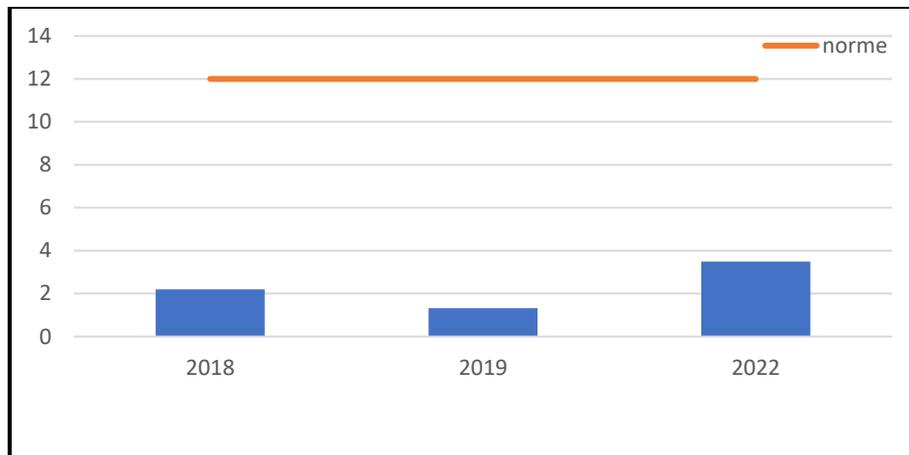


Figure 28: Variation temporelle de la teneur de Potassium de la source El Anser.

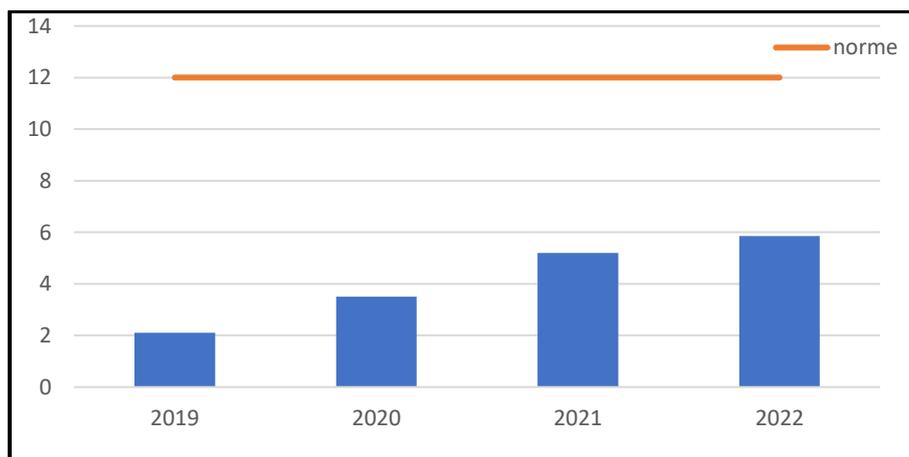


Figure 29 : Variation temporelle de la teneur de Potassium de Ain Tinekremnt.

Le graphique présenté dans la figure 27 révèle que les concentrations en ions de potassium de la source de El Anser demeurent relativement stables, avec une valeur maximale de 3.5 mg/l en 2022 et une valeur minimale de 1.32 mg/l en 2019. On constate également que ces teneurs sont inférieures à la norme (Figure 28).

Quant au graphique de la figure 29, il démontre que les concentrations en ions de potassium varient entre 5.85 mg/l en 2022 et 2.1 mg/l en 2019. Une fois de plus, on observe que ces valeurs sont inférieures à la norme (Figure 29).

La source de Ain Tinekremnt présente une teneur en ions de potassium supérieure à celle de la source de El Anser.

3.4.2. Anions :

➤ Bicarbonate :

Les ions bicarbonates se forment à partir de la dissolution des minéraux carbonatés.

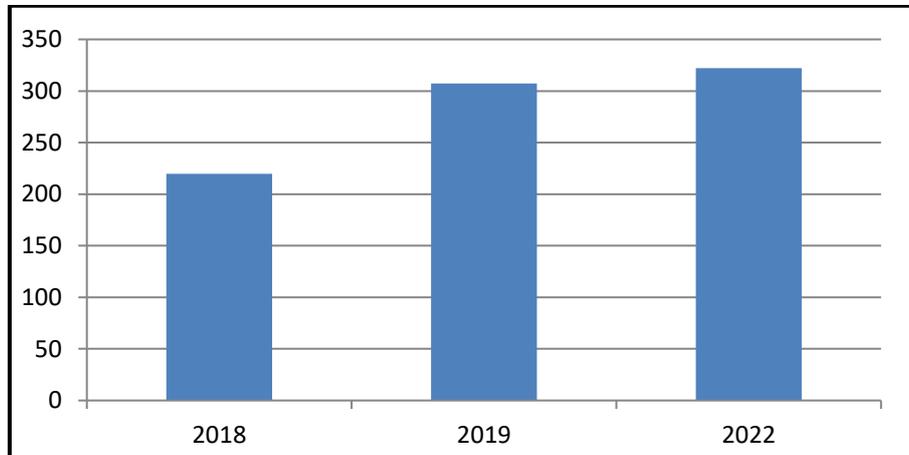


Figure 30: Variation temporelle de la teneur de bicarbonate de la source El Anser.

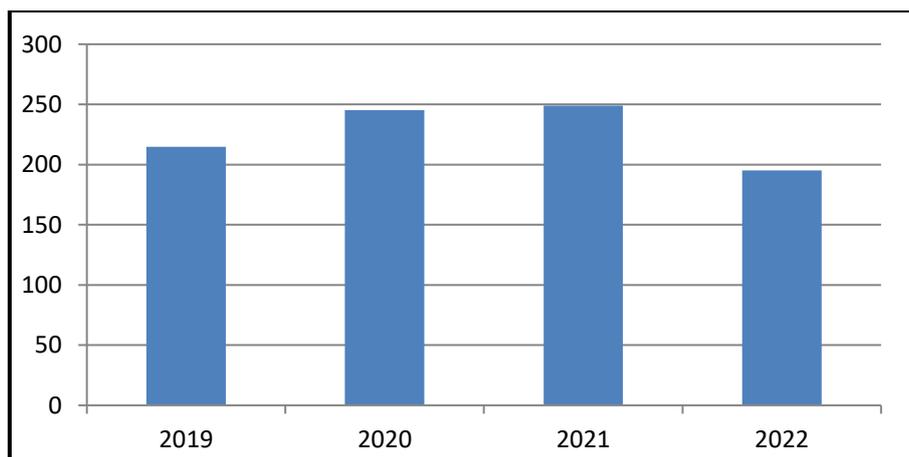


Figure 31 : Variation temporelle de la teneur de bicarbonate de Ain Tinekremnt.

Le graphe ci-dessus montre que les concentrations en ions de bicarbonate de la source de El Anser sont assez constantes, les valeurs enregistrées indiquent que la valeur maximale est de 322.1mg/l en 2022, et la minimale est de 219.6 mg/l en 2019.

Le graphe de la figure 31 montre que les concentrations en ions de bicarbonates varient entre 248.9mg/l en 2021, et 195.2 mg/l en 2022.

On distingue donc que la source de Ain Tinekremnt a une teneur en ions de bicarbonates inférieure que la source de El Anser.

➤ Chlorure :

Les chlorures sont un indicateur de la salinité de l'eau souterraine, qui peut être due à une variété de facteurs. Une concentration élevée de chlorures dans l'eau souterraine peut rendre l'eau impropre à la consommation humaine ou à l'irrigation des cultures.

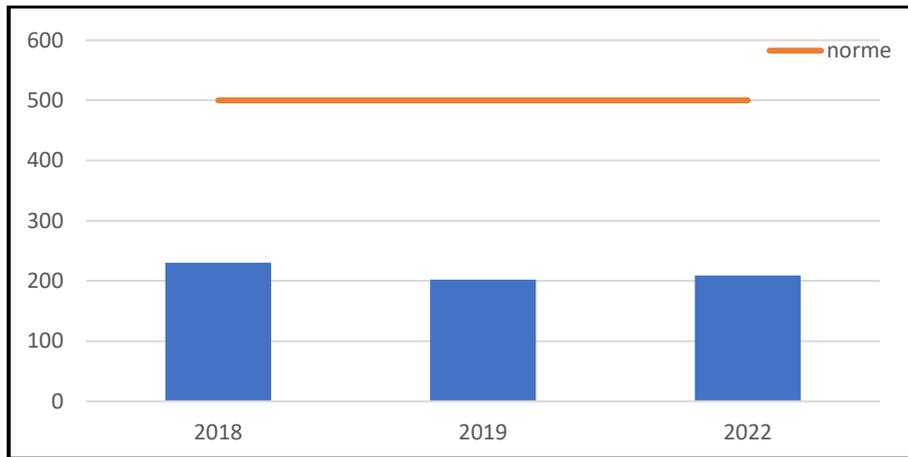


Figure 32 : Variation temporelle de la teneur de chlore de la source El Anser.

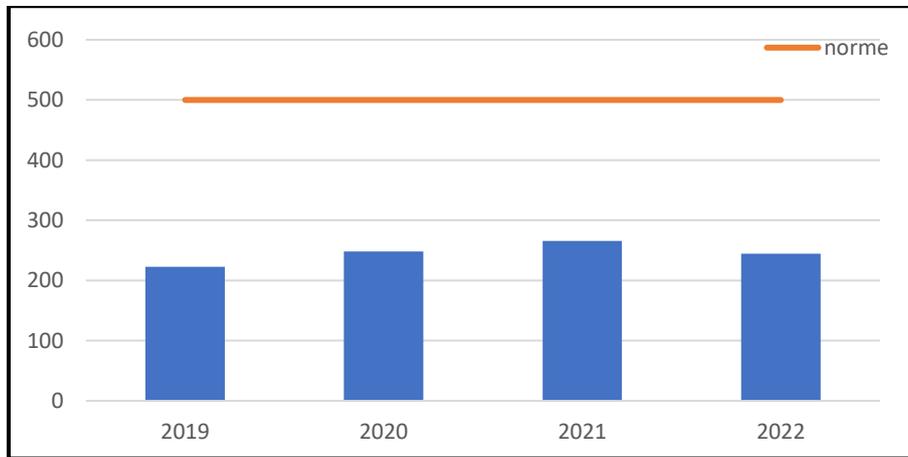


Figure 33 : Variation temporelle de la teneur en chlorure de la source de Ain Tinekremnt.

Les données représentées dans le graphe de la figure 32 révèlent que les concentrations en chlorure de la source de El Anser demeurent relativement stables. Les valeurs enregistrées montrent une concentration maximale de 230.4 mg/l en 2018 et une concentration minimale de 202.1 mg/l en 2019. Il est à noter que la teneur en chlore reste inférieure à la norme établie (Figure 32).

De même, le graphe de la figure 32 met en évidence les variations des concentrations en chlorure, s'échelonnant de 265.9 mg/l en 2021 à 223 mg/l en 2019. On constate également que la teneur en chlore demeure en dessous de la norme (Figure 33).

Il est observé que la source de Ain Tinekremnt présente une concentration en ions de chlore supérieure à celle de la source de El Anser.

3.4.3. Indicateurs de pollution :

La pollution de l'eau est une réalité. Pour protéger les littoraux, mais aussi les lacs, les rivières et les autres cours d'eau, il est devenu indispensable de rendre cette pollution mesurable par le biais de critères précis. Il existe plusieurs façons de mesurer la pollution de l'eau. Mais dans la pratique, on retient plusieurs indicateurs de pollution telle que la teneur en fer, nitrate, turbidité, phosphate (turbidité, SO_4 , NO_3^- , NO_2^+ , Fe).

➤ Turbidité :

L'élément de turbidité est un indicateur important de la qualité de l'eau. Les mesures de turbidité peuvent varier au fil du temps en fonction de facteurs tels que les conditions météorologiques et les activités humaines.

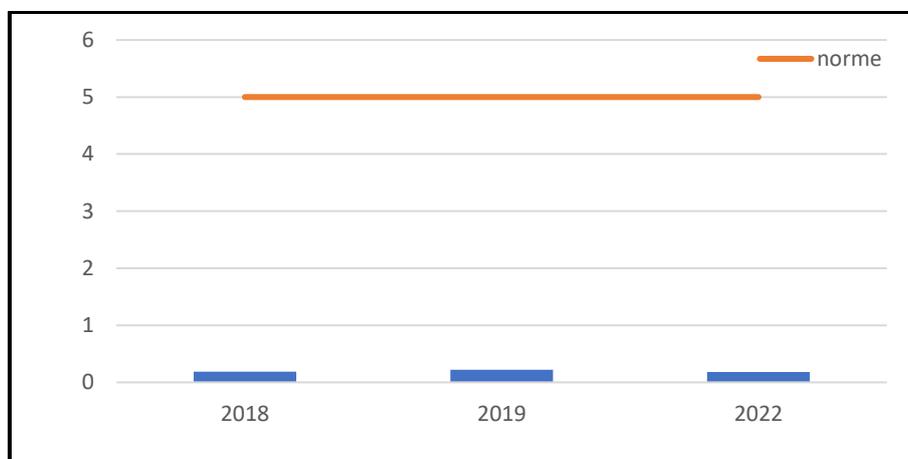


Figure 34 : Variation temporelle de la turbidité de la source de El Anser.

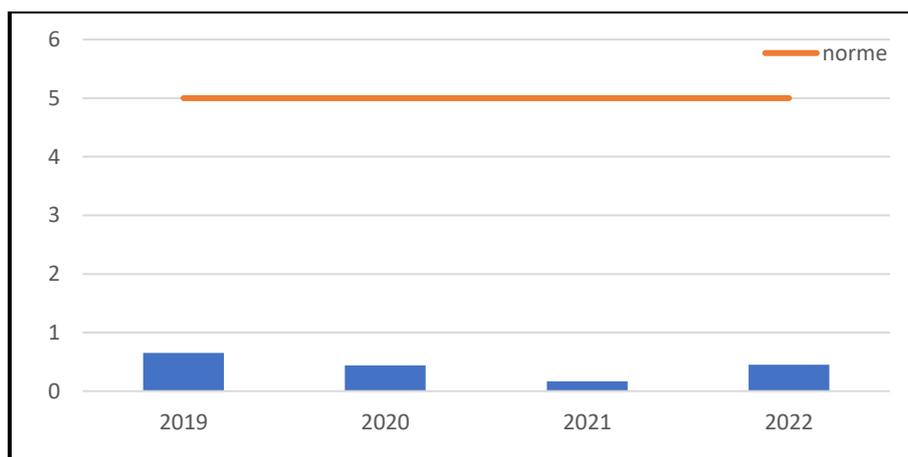


Figure 35 : Variation temporelle de la turbidité de la source de Ain Tinekremnt.

Le graphique ci-dessus illustre les variations des concentrations en ions de turbidité de la source de El Anser. Les mesures enregistrées révèlent une valeur maximale de 0.22 en 2019 et une valeur minimale de 0.18 en 2022. Il est important de noter que ces concentrations se situent en dessous de la norme (Figure 34). De même, le graphique de la figure 35 démontre une plage de

concentrations de turbidité allant de 0.65 en 2019 à 0.17 en 2021, toutes les deux sont au-dessous de la norme. Ainsi, il est évident que la source de Ain Tinekremnt présente une teneur en turbidité inférieure à celle de la source de El Anser.

➤ Sulfate :

Les eaux naturelles contiennent généralement du sulfate à des proportions variables. Cette présence est due à la faible solubilité du sulfate de calcium présent dans les roches gypseuses, ainsi qu'à l'oxydation des sulfures présents dans les roches.

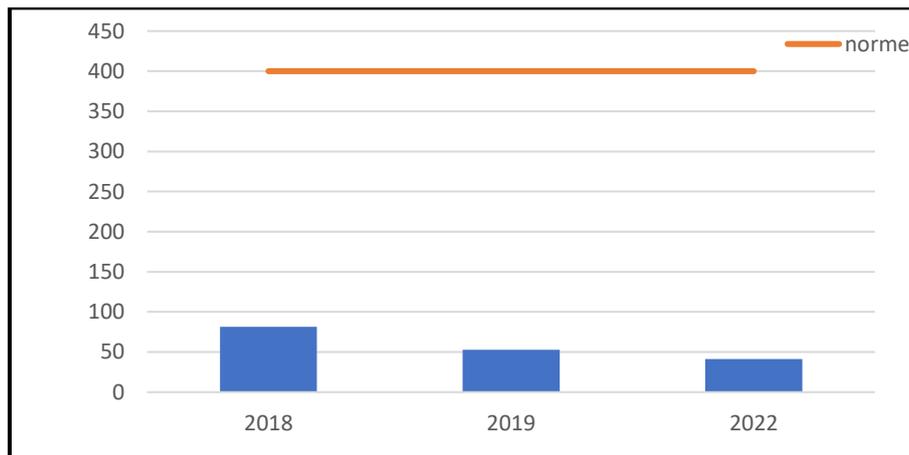


Figure 36 : Variation temporelle de la teneur de sulfate de la source El Anser.

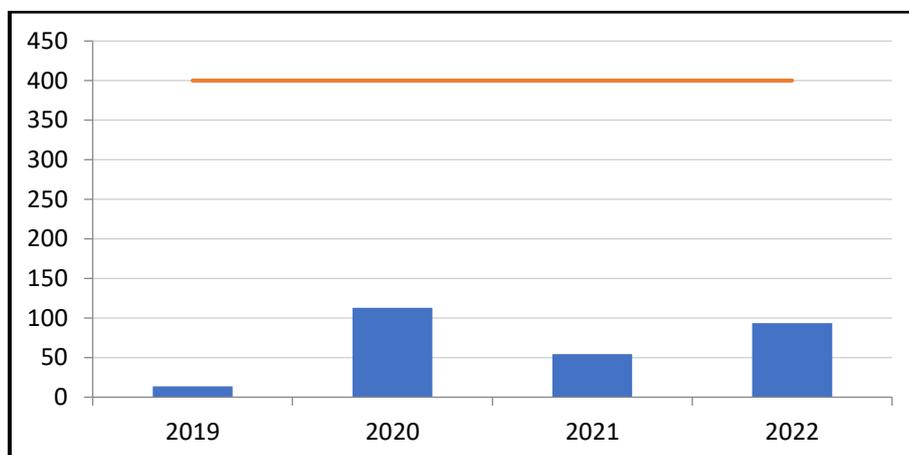


Figure 37: Variation temporelle de la teneur de sulfate de la source de Ain Tinekremnt.

Les données présentées dans le graphe de la figure 36 mettent en évidence des variations légèrement instables des concentrations en ions de sulfate de la source de El Anser. Les valeurs enregistrées révèlent une concentration maximale de 81.26 mg/l en 2018 et une concentration minimale de 41.36 mg/l en 2022, mais reste en dessous de la norme.

De même, le graphe de la figure 37 illustre les variations des concentrations en ions de sulfate, s'étalant de 113 mg/l en 2020 à 13.63 mg/l en 2019. On constate également que la teneur en sulfate est inférieure à la norme.

En conclusion, il est observé que la source de Ain Tinekremnt présente une concentration en ions de sulfate supérieure à celle de la source de El Anser.

➤ Nitrates :

Les nitrates sont des substances chimiques présentes de façon naturelle dans la nature, notamment dans les sols et les eaux. Cependant, une augmentation significative de leur concentration a été observée ces dernières années, en raison de la pollution d'origine humaine, principalement due aux activités agricoles.

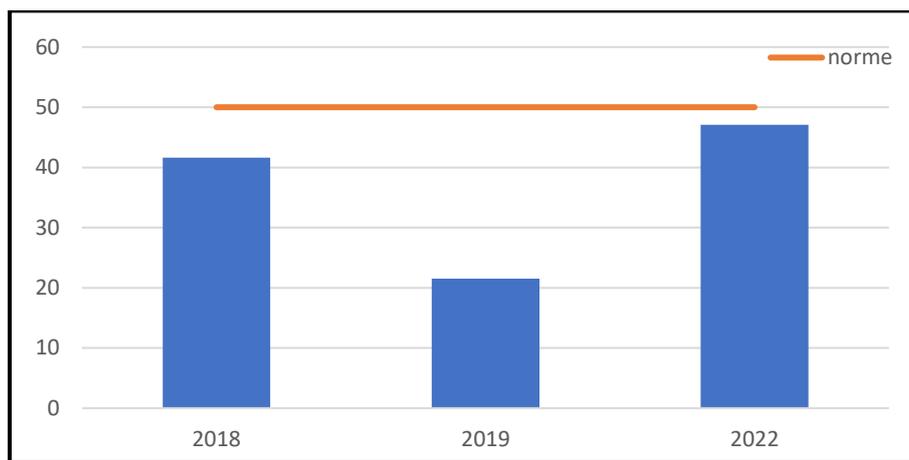


Figure 38 : Variation temporelle de la teneur de nitrate de la source El Anser.

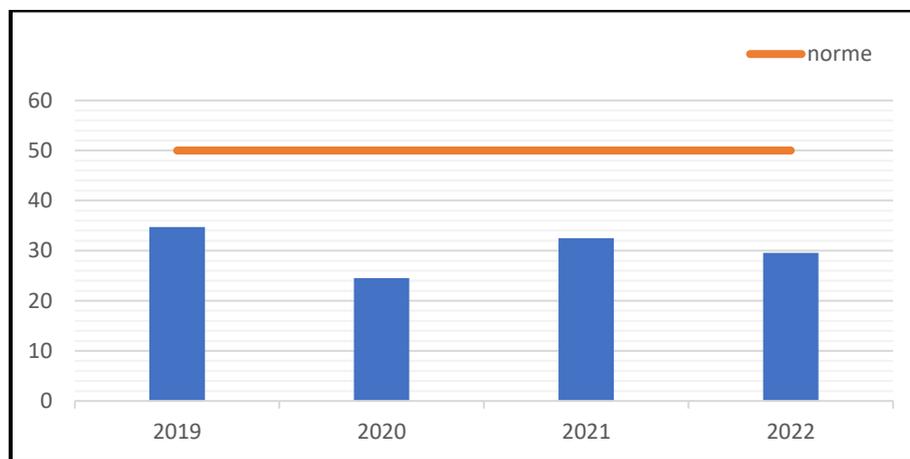


Figure 39 : Variation temporelle de la teneur de nitrate de Ain Tinekremnt.

Les concentrations en ions de nitrate de la source de El Anser varient entre 21.5 mg/l en 2019 et 47.1 mg/l en 2022, comme le montre le graphe de la figure 38. On constate également que la teneur en nitrate est proche à la norme. Le graphe de la figure 39 montre que les concentrations en ions de nitrate variant entre 24.5 mg/l en 2020 et 34.72 mg/l en 2019, toutes les deux sont inférieures à la norme. Ainsi, la source de Ain Tinekremnt présente une teneur légèrement inférieure par rapport à la source de El Anser.

➤ Nitrites :

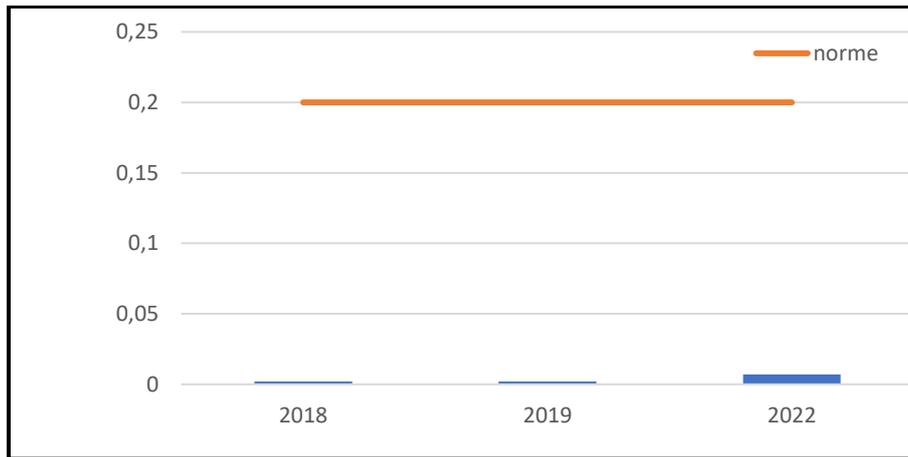


Figure 40 : Variation temporelle de la teneur de dioxyde d'azote de la Source El Anser.

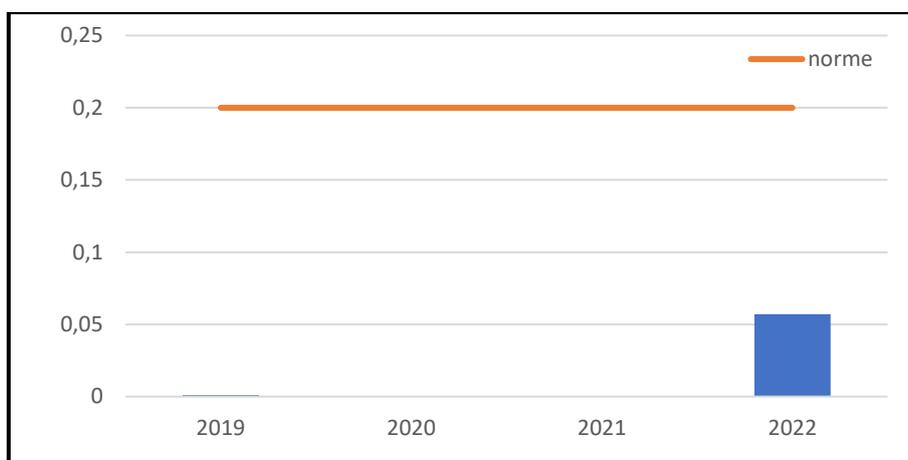


Figure 41 : Variation temporelle de la teneur de nitrite de la source de Ain Tinekremnt.

Le graphe présenté ci-dessus (Figure 40) illustre les concentrations en ions des nitrites des eaux de la source de El Anser. Les mesures enregistrées indiquent une stabilité générale des concentrations, avec un maximum de 0.007 mg/l en 2022 et un minimum de 0.002 mg/l en 2018 et 2019. Le graphique de la figure 41 montre qu'en 2022 la concentration en nitrite est de 0.057 mg/l, en revanche elle est nulle les deux autres années. Dans les deux cas, les concentrations sont inférieures à la norme mais il est évident que la source de Ain Tinekremnt présente des niveaux de dioxyde d'azote supérieurs à ceux de la source de El Anser.

➤ **Phosphore :**

Les eaux de source peuvent contenir des niveaux variables de phosphores, qui peuvent provenir de sources naturelles ou de la pollution environnementale. Les niveaux de phosphores sont réglementés pour garantir la qualité de l'eau potable.

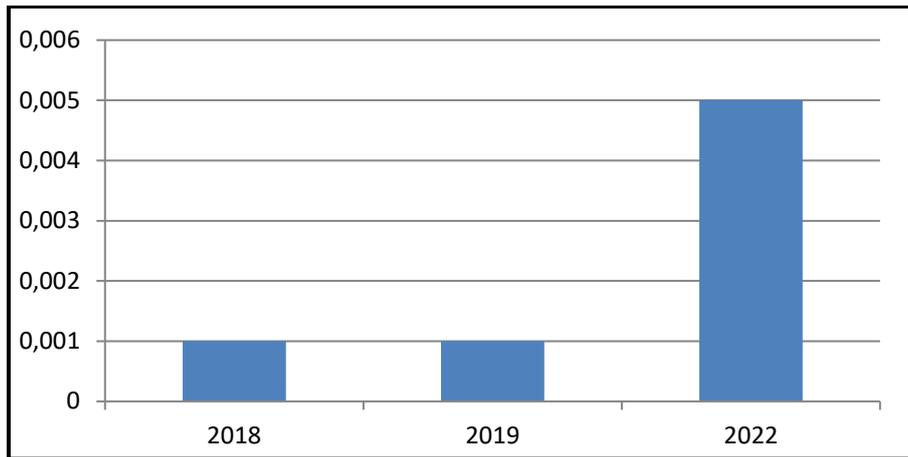


Figure 42 : Variation temporelle de la teneur de phosphate de la source de El Anser.

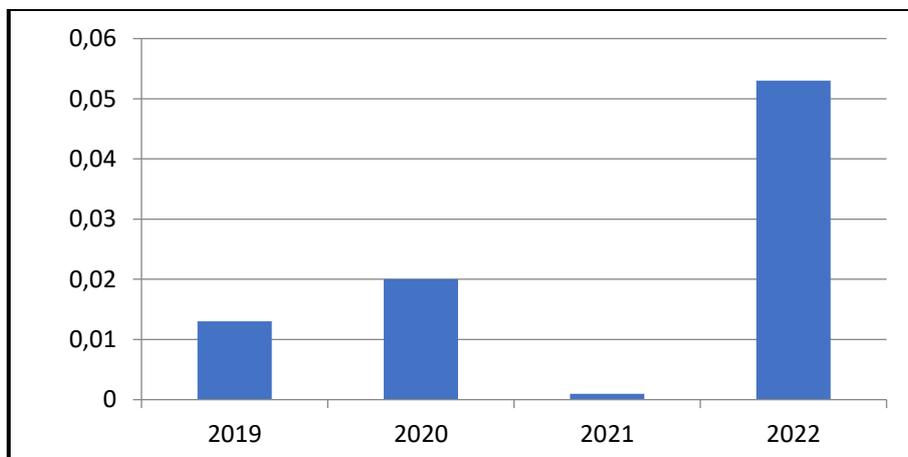


Figure 43 : Variation temporelle de la teneur en phosphate de la source de Ain Tinekremnt.

Le graphique ci-dessus met en évidence les variations des concentrations en ions de phosphore dans la source de El Anser. Les données montrent une valeur maximale de 0.005 mg/l en 2022 et une valeur minimale de 0.001 mg/l en 2019 et 2018, comme illustré dans la figure 42. De même, la figure 43 présente un éventail de concentrations en ions de phosphore allant de 0.053 mg/l en 2022 à 0.01 mg/l en 2021. Ainsi, il est clair que la source de Tinekremnt présente une teneur en ions de phosphore supérieure à celle de la source de El Anser.

➤ Fer :

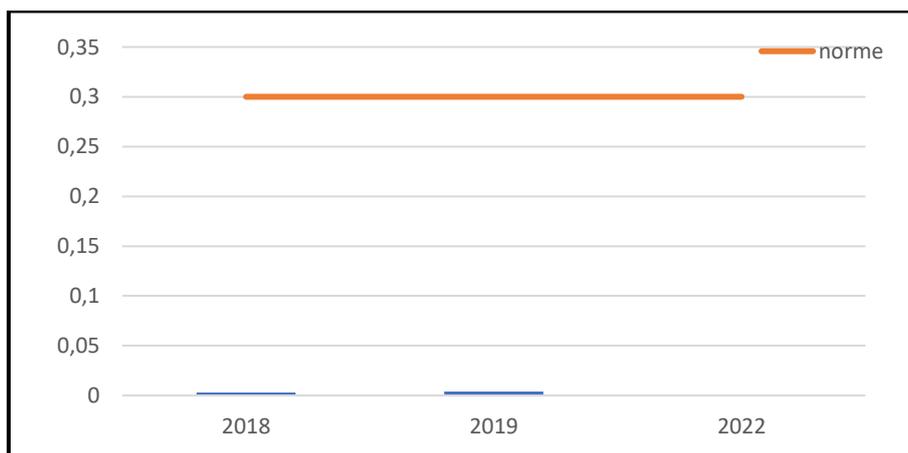
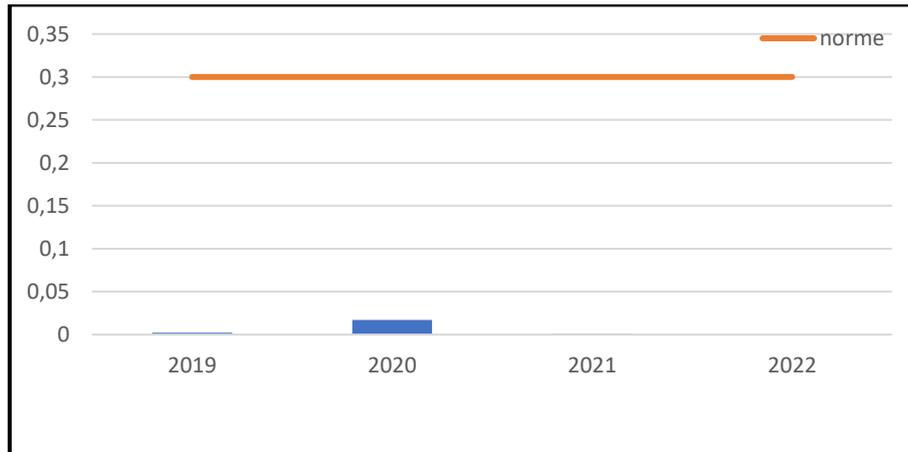


Figure 44 : Variation temporelle de la teneur de fer de la source de El Anser.**Figure 45 : Variation temporelle de la teneur de fer de la source de Ain Tinekremnt.**

Le graphe présenté ci-dessus illustre les niveaux de concentration en ions de fer dans la source d'El Anser. Les mesures enregistrées attestent une stabilité générale des concentrations, avec un pic maximum de 0.005 mg/l en 2022 et un creux minimum de 0.003 mg/l en 2018 et 2019, comme le montre la figure 44. Le graphique de la figure 45 montre la variation des concentrations en ions de fer allant de 0 en 2022 à 0.017 mg/l en 2020. Dans les deux cas, les concentrations sont en dessous de la norme. En conclusion, il est évident que la source de Tinekremnt présente des niveaux de fer inférieurs à ceux de la source de El Anser.

3.5. Conclusion :

L'étude des paramètres hydrochimiques des deux sources nous a permis de conclure que les deux émergences El Anser et Ain Tinkremnt, ont un faciès bicarbonaté chloruré-sodique selon les diagrammes de Schoeller-Berkaloff et de Stiff. Les analyses ont révélé une composition chimique similaire pour les deux sources, caractérisée par une faible concentration et faible variation temporelle de teneur en calcium, en magnésium et en potassium, ainsi qu'une teneur en nitrates et en chlorures inférieure aux limites maximales autorisées par les normes algériennes, donc ces eaux sont aptes à la consommation humaine. Cependant, il est important de surveiller régulièrement la qualité de l'eau de ces sources pour prévenir toute éventuelle contamination dans le futur.

CONCLUSION GENERALE

Malgré les difficultés rencontrées tout au long de notre étude, notamment le manque de données et de documentation sur la région étudiée, ainsi que les obstacles liés à l'accès aux analyses du laboratoire de l'ADE de Ain Témouchent, nous avons fait preuve de persévérance pour mener à bien notre travail.

Nous avons également été confrontés à des défis lors de la campagne piézométrique, où certains agriculteurs ont refusé de coopérer, et le nombre limité de puits dans la zone d'étude a restreint nos possibilités d'utilisation de la sonde.

Malgré ces contraintes, nous avons pu obtenir des résultats satisfaisants en utilisant les ressources et les données disponibles. Bien que certaines analyses et études, telles que la géophysique et la géochimie, n'aient pas pu être réalisées en raison de contraintes de temps et de moyens, cela n'a pas empêché la qualité de notre travail.

Nous tenons à souligner que malgré ces limitations, notre étude constitue une contribution précieuse à la compréhension des ressources en eau souterraine de la région de Béni Saf. Nous espérons que nos résultats pourront servir de base solide pour des études futures plus approfondies dans ce domaine.

La présentation et l'analyse des données climatiques montrent que la région de Béni Saf se trouve sous un climat semi-aride avec de précipitation de 362.35 mm.

Le contexte géologique synthétisé à partir des études antérieures montre que la série stratigraphique s'étale du Primaire au Quaternaire, avec un dépôt assez important des calcaires messiniens qui forme l'aquifère le plus important de la région exploité par une trentaine de puits et de forages.

Afin de comprendre le comportement hydrodynamique de la nappe du Messinien, nous avons élaboré une carte hydrogéologique de la partie ouest du plateau de Sidi Safi. L'écoulement a deux directions préférentielles : l'une SE-NO, drainant la partie sud de la nappe et donnant naissance à la source El Anser, et l'autre ESE-ONO. Avec une ligne de partage des eaux NS dont l'écoulement est vers l'Est en alimentant Chaàbet Oued Hallouf.

L'analyse des paramètres hydrochimiques des quatre dernières années, montre que le faciès est bicarbonaté chloruré-sodique et que les eaux des deux sources sont de bonne qualité et aptes à la consommation humaine.

Nous recommandons un suivi qualitatif rigoureux des eaux de sources d'El Anser et de Ain Tinkremnt afin de prendre la bonne décision en cas de pollution.

Notre travail ouvre l'horizon à d'autres études plus approfondis sur l'origine de la minéralisation des eaux.

Références bibliographiques

- Bellon et Guardia P. (1980).** Le volcanisme alcalin d'Algérie occidentale : Etude radiométrique paléomagnétique, *Rev. Géol. Dyn. Géogr. Phys.*, 22,3, pp. 213-222.
- Claire M. A. (1957).** Adduction des eaux de l'Ain Tinekremnt : *Étude scientifique. Rapport.*
- Gentil L. (1902).** Esquisse stratigraphique et pétrographique du bassin de la Tafna (Algérie). *Adolphe Jordan, Editeur.*
- Guardia P. (1975).** Géodynamique de la Marge Alpine du continent Africain d'après l'étude de l'Oranie nord Occidentale Relations structurales et paleogeographiques entre le rif externe le tell et l'avant pays atlasique. *Thèse de l'université de Nice 1975, 257 pages 5 planches 141 figures..*
- Jenny J., Ferrari J. M., Wernli R., Yadi A. (1986).** Le Complexe chaotique de Beni Saf est d'âge miocène ; doute sur la phase synmetamorphe "anté-senonienne" en Oranie (Algérie). *Bulletin de la Société Géologique de France* ; II (2): 279–284. doi: <https://doi.org/10.2113/gssgfbull.II.2.279>
- JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N°13, (2014).** Décret exécutif n°14-96 du 2 Jomada El Oula 1435 correspondant au 4 mars 2014 modifiant et complétant le décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine.
- Laboratoire de l'Agence de l'Eau Départementale d'Ain Témouchent. (2023).** Archives. Ain Témouchent, Algérie.
- Mahroug D. (2014).** Etude géologique et gîtologique de la minéralisation de fer de Sidi Safi (Béni Saf, Algérie). *Mémoire de magister à l'université de Tizi Ouzou, Algérie.*
- Sadran G. (1952) :** Les roches cristallines du littoral oranais, *XIXe Congr. Géol. Int. Alger. Mon. Rég. Algérie, (1), n°18, 84 p.*
- Sadran G. (1958) :** Les formations volcaniques tertiaires et quaternaires du Tell Oranais, *Publ. Serv. Carte Géol. Algérie, n.s., n° 18, 533p.*
- Saint-Martin, J. P. (1987).** Les formations récifales coralliennes du Miocène supérieur d'Algérie et du Maroc : Aspects paléontologiques et paléogéographiques. *Volume n°1 de la thèse de doctorat d'état Es-Sciences de l'université de Marseille.*

Références webographiques

www.tutempo.net

<https://doi.org/10.2113/gssgfbull.II.2.279>