

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de Recherche Scientifique

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID TELEMEN

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

Département des Sciences de la Terre et de l'Univers

LABORATOIRE DE RECHERCHE N 25 : « PROMOTION DES RESSOURCES HYDRIQUES ,

PEDOLOGIQUE ET MINIERES : LEGISLATION ET CHOIX TECHNOLOGIQUE »

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté par

BEN MOKHTAR MOHAMMED AKRAM EDDIN

En vue de l'obtention du

DIPLOME DE MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Option : Hydrogéologie

Thème

**Etude Hydrogéologique et Hydrochimique des aquifères de
la région d'Ain Témouchent (N-O algérien)**

Soutenu le 2024, devant le jury composé de :

Président : Mustapha Benchouk

MAA Université de Tlemcen

Examineur : Morad Chikh

MAA Université de Tlemcen

Encadreur : Somia Yousfi Kerzabi

MCB Université de Tlemcen

Co- Encadreur : Rachid Kerzabi

MAA Université de Tlemcen

2023/2024

Remerciements

A la fin de ce travail je m'adresse mes sincères remerciements au bon Dieu le grand créateur qui m'a guidé dans mes pas pour arriver à ce niveau. Il est temps pour moi d'exprimer mes remerciements à tous ceux qui m'ont apporté l'aide et les conseils durant la réalisation de ce travail en particulier : mes encadrants monsieur et madame Kerzabi, pour m'avoir suivi et encadré efficacement pendant deux ans, et qui n'ont pas hésité à me faire confiance, leur disponibilité et leurs nombreux et fructueux conseils ont fortement contribué à créer d'excellentes conditions de travail. Les membres de jury, Mr. Mustapha Benchouk et Mr. Morad Chikh, qui ont bien voulu accepter de juger ce travail. Je tiens également à rappeler ici, l'aide que m'a opportunément apportée, au commencement de cette étude, les subdivisions de l'ADE d'Aïn Témouchent, d'hydraulique et d'agriculture de Béni Saf, pour leur aide. Enfin, je tiens à saluer toute personne qui de près ou de loin ayant généreusement contribué à l'élaboration de ce travail.

Dédicace

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A mes chères sœurs pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,

A mes chers frères pour leur appui et leur encouragement,

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,

Merci d'être toujours là pour moi.

Résumé

Béni Saf est une ville côtière située dans la wilaya d'Aïn Témouchent, au Nord-Ouest de l'Algérie, une région connue par la rareté des eaux souterraines. Les études géologiques antérieures identifient les formations aquifères, principalement les calcaires messéniens et les basaltes. Une synthèse lithostratigraphique détaillée de la région a été réalisée en se basant sur ces études. L'aperçu hydrogéologique vise à repérer le principal aquifère grâce à l'analyse de données de forages. Notre objectif est d'évaluer la qualité des eaux provenant de trois forages (Sidi Djaloul, AT1 Bis, AEK) et d'une source (Aïn Tinekremnt) afin de déterminer leur aptitude à la consommation humaine. L'analyse repose sur les données de prélèvements réalisés par le laboratoire de l'Algérienne Des Eaux entre 2016 et 2023. Elle comprend une évaluation de la fiabilité des analyses chimiques, suivie d'une caractérisation des faciès chimiques à l'aide de diagrammes. L'étude se concentre sur l'examen détaillé des variations spatiales et temporelles des concentrations en ions majeurs (cations et anions). Ces concentrations sont comparées aux normes de potabilité algériennes. Des analyses physico-chimiques et bactériologiques eaux de source d'Aïn Tinekremnt seront également réalisées dans le laboratoire.

Les mots clés : Béni Saf, Lithostratigraphie, Hydrogéologie, Aquifère, Analyse hydrochimique, Analyses bactériologiques, Potabilité, Algérienne Des Eaux.

ملخص

بني صاف هي مدينة ساحلية تقع في ولاية عين تموشنت، شمال غرب الجزائر، وهي منطقة معروفة بندرة المياه الجوفية. حددت الدراسات الجيولوجية السابقة تكوينات المياه الجوفية، وخاصة صخور الحجر الجيري الميسينية والبازلت. تم إجراء تلخيص طبقي صخري مفصل للمنطقة بناءً على هذه الدراسات. يهدف الاستعراض الهيدروجيولوجي إلى تحديد الخزان الرئيسي من خلال تحليل بيانات الحفر. هدفنا هو تقييم جودة المياه من ثلاثة آبار (سيدي جلول، AT1 بيبس، AEK ونبع (عين تينكرمنت) لتحديد مدى صلاحيتها للاستهلاك البشري. تعتمد التحليلات على بيانات المعاينات التي أجراها مختبر شركة الجزائرية للمياه بين عامي 2016 و2023. تتضمن تقييم موثوقية التحاليل الكيميائية، تليها توصيف الرسوم الكيميائية باستخدام المخططات. تركز الدراسة على الفحص المفصل للتغيرات المكانية والزمنية في تركيزات الأيونات الرئيسية (الكاتيونات والأنيونات). يتم مقارنة هذه التركيزات بالمعايير الجزائرية للمياه الصالحة للشرب. سيتم أيضاً إجراء تحاليل فيزيائية وكيميائية وبكتيريولوجية لمياه نبع عين تينكرمنت في المختبر

الكلمات الرئيسية: بني صاف، الطبقات الصخرية، الهيدروجيولوجيا، الخزان المائي الجوفي، التحليل الهيدروكيميائي، التحاليل البكتيريولوجية، صلاحية الشرب، شركة الجزائرية للمياه.

ABSTRACT :

Béni Saf is a coastal city located in the wilaya of Aïn Témouchent, northwest of Algeria, a region known for the scarcity of groundwater. Previous geological studies identify aquifer formations, mainly Messinian limestones and basalts. A detailed lithostratigraphic synthesis of the region was performed based on these studies. The hydrogeological survey aims to identify the main aquifer through the analysis of drilling data. Our objective is to assess the quality of water from three boreholes (Sidi Djaloul, AT1 Bis, AEK) and one source (Aïn Tinekremnt) in order to determine their suitability for human consumption. The analysis is based on data collected by the laboratory of Algerian Des Eaux between 2016 and 2023. It includes an assessment of the reliability of chemical analyses, followed by a characterization of chemical facies using diagrams. The study focuses on the detailed examination of spatial and temporal variations in major ion concentrations (cations and anions). These concentrations are compared to Algerian drinking standards. Physicochemical and bacteriological analyses of Ain Tinekremnt Spring waters will also be carried out in the laboratory.

Keywords: Béni Saf, Lithostratigraphy, Hydrogeology, Aquifer, Hydrochemical analysis, Bacteriological analysis, Potability, Algerian Water.

Table des matières

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Abréviations et sigles	
Introduction générale	02

CHAPITRE I : Cadre général

I-1. Situation géographique de Béni Saf.....	05
I-2. Aspect climatique.....	06
I-2-1. Précipitation.....	06
a-Précipitation interannuelle	06
b-Précipitations Mensuelles	07
I-2-2. Températures	08
a-Températures annuelle	08
b-Températures mensuelles	09
I-3. Synthèse climatique	10
I-3-1. Méthode graphique de Bagnouls et Gaussen	10
I-3-2. Méthodes des indices	11
a- Indice d'aridité annuel de Martonne	11
b- Indice d'aridité mensuel de De Martonne	12
c-Indice de Moral	13

d-Indice mensuel de Moral	13
I-3-3 Bilan hydrique	14
I-4. Conclusion	16

CHAPITRE II : Contexte géologique et hydrogéologique

II-1. Introduction	18
II-2. Description lithostratigraphique.....	18
II-2-1. TERRAIN PARAUTOCHRONE DE TYPE RIFAN	18
II-2-1-1. Unité de l'Haouariya.....	18
II-2-2. TERRAINS ALLOCHTONES DE TYPE RIFAN	18
II-2-2-1. Unité de l'Haouariya.....	18
II-2-3. TERRAINS ALLOCHTONES DE TYPE TELLIEN	20
II-2-3-1. Complexe triasique (t)	20
II-2-3-2. Unité Chouala	21
II-2-3-3. Unité sénonienne	21
II-2-3-4. Unité oligo-miocène (m1-3)	22
II-2-3-5. Unité numidienne (g-m2Ng).....	23
II-2-4. TERRAINS AUTOCHTONES	23
II-2-4-1. Miocène Synchro-nappes	23
II-2-4-2. Miocène 1er Cycle poste – nappes	23
II-2-4-3. Miocène 2ème Cycle post-nappes.....	24

II-2-5. PLIOCENE	25
II-2-6 : QUATARNAIRE	25
II-2-7. Les terrains volcanique	25
II-3.Les principales phases tectoniques	28
II-3-1. PHASE EOCENE DE TECTOGENESE PAROXYSMALE.....	29
II-3-2. PERIODE DE L'EOCENE SUPERIEUR A L'OLIGOCENE	29
II-3-3. PHASE MIOCENE DE TECTOGENESE PAROXYSMALE	30
II-3-4 PERIODE DU PLIO-QUATERNAIRE	30
II-4. Hydrogéologique	30
II-4-1. Aquifère des basaltes Quaternaires	32
II-4-2. Aquifère des grès de Béni-Saf du Pliocène	32
II-4-3. Aquifère des calcaires du Miocène supérieur	32
II-4-4. Aquifère des grès du Miocène Synchro-nappes.....	33

CHAPITRE III :Étude hydrochimique des eaux souterraine

III-1 Introduction	38
III-2. PRÉSENTATION DES DONNÉES.....	38
III -2-1. Fiabilité des analyses chimiques.....	40
III-2-2. Faciès chimiques	40
a- Diagramme de Schoeller-Berkaloff	40
b- Diagramme de Stiff	41

c- Diagramme de Piper.....	43
III-2-3. Variation spatiale et temporelle des caractéristiques physico-chimiques des eaux	44
III-2-3-1. Cations	44
a-Calcium	44
b-Magnésium	45
c- Sodium	46
d- Potassium	47
III-2-3-2. Anions	48
a- Bicarbonate	48
b- Chlorure	49
c- Sulfate.....	50
d-Nitrate	51
III-3. Conclusion	52
III-4. Partie pratique	53
III-4-1. INTRODUCTION	53
III-4-2. PRÉSENTATION DE L'ADE UNITE DE Ain Témochent	53
III-4-3. ÉCHANTILLONNAGE.....	53
III-4-3-1. Echantillons destinés au laboratoire des analyses physico-chimiques	54

III-4-3-2. Echantillons destinés au laboratoire des analyses bactériologiques ...	54
III-4-4.LES ANALYSES ORGANOLEPTIQUES.....	55
III-4-4-1. Teste de la couleur	55
III-4-4-2. Test de l'odeur	56
III-4-4-3. La turbidité	56
III-4-5. ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES	56
III-4-5-1. La conductivité	56
III-4-5-2. Le pH	57
III-4-5-3. Détermination de l'alcalinité	57
III-4-5-4. Détermination de bicarbonates	59
III-4-5-5. Détermination de la dureté totale (TH)	59
III-4-5-6. Détermination de la dureté calcique	60
III-4-5-7. Détermination de la dureté magnésienne	61
III-4-5-8. Détermination des chlorures.....	61
III-4-5-9. Détermination des sulfates (SO ₄ -2)	62
a-Mesures et calcul du résultat	62
III-4-5-10. Détermination de phosphate et phosphore	63
III-4-5-11. Détermination de Nitrates	64
III-4-5-12. Détermination d'ammonium.....	65
III-4-5-13. Détermination de nitrite	66

III-4-6. ANALYSES BACTERIOLOGIQUE	67
III-4-6-1. Recherche et dénombrement des Escherichia coli et bactéries coliformes	67
III-4-6-2. Recherche et dénombrement des Entérocoques Intestinaux.....	71
III-5. RESULTATS ET DISCUSSION	73
III-5-1. Paramètres organoleptiques	73
III-5-2. Paramètres physico-chimiques	74
III-5-3. Paramètres bactériologiques	74
III-5-4. CONCLUSION	75
CONCLUSION GENERALE.....	77
Références bibliographiques.....	79

Liste des figures

Figure 01 : Situation géographique de la zone d'étude	05
Figure 02 : Variations des moyennes annuelles des précipitations de la station de Béni Saf (1993/2012)	07
Figure 03 : Variations des précipitations moyennes mensuelles interannuelles de Béni Saf (1993/2012)	08
Figure 04 : Variation de la température annuelle de la station de Béni Saf	08
Figure 05 : Variations des Températures mensuelles minimales, maximales et moyennes (1993/2012)	09
Figure 06 : Diagramme de Bagnouls et Gaussien de la station de Béni Saf (1993/2012)	11
Figure 07 : La station de Béni Saf sur l'Abaque de l'indice d'aridité annuelle de Martonne	12
Figure 08 : photo des schistes du carbonifère.....	20
Figure 09 : Poudingues très hétérogène de couleur rouge lié de vin se présente dans les marnes gypseuses du Miocène 1 er cycle poste-nappe	23
Figure 10 : Photo prise sur l'affleurement du Messinien basale au niveau de la source de Ain Tinekremnt	25
Figure 11 : Extrait de carte géologique de Béni Saf 1/100 000 digitalisé (Guardia1975)	27
Figure 12 : Log stratigraphique de la région de Béni Saf	28
Figure 13 : Carte des aquifères	31
Figure 14 : Essai de corrélation entre les différents forages de la région d'étude (forages sidi Mohammed et barette).....	33
Figure 15 : Essai de corrélation entre les différents forages de la région d'étude (forages Ouled el kihel 3 , sidi Ben adda et Ain talba)	34
Figure 16 : Colonne hydrogéologique de la région de Béni Saf.....	35
Figure 17 : Carte de position des points d'eau utilisés dans notre étude	39
Figure 18 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux de la source Ain	

Tinekremnt.....	42
Figure 19 : Diagramme de Stiff des eaux de la source de Ain Tinekremnt.....	43
Figure 20 : Diagramme de Piper des eaux des forages étudiées	44
Figure 21 : Variation spatio-temporelle de l'ion calcium des points d'eau Utilisés	45
Figure 22 : Variation spatio-temporelle de l'ion magnésium des points d'eau utilisés.....	46
Figure 23 : Variation spatio-temporelle de l'ion Sodium des points d'eau Utilisés	47
Figure 24 : Variation spatio-temporelle de l'ion Potassium des points d'eau Utilisés	48
Figure 25 : Variation spatio-temporelle de l'ion Bicarbonate des points d'eau Utilisés	49
Figure 26 : Variation spatio-temporelle de l'ion Chlorure des points d'eau Utilisés	50
Figure 27 : Variation spatio-temporelle de l'ion sulfate des points d'eau utilisés.....	51
Figure 28 : Variation spatio-temporelle de l'ion nitrate des points d'eau Utilisés.....	52
Figure 29 : Chambre de captage de la source d'Ain Tinkremnt supérieur	54
Figure 30 : Spectrophotomètre	55
Figure 31 : Turbidimètre	56
Figure 32 : Conductivitémètre.....	57
Figure 33 : Spectrophotomètre	62
Figure 34: Appareil de la filtration sur membrane.....	66
Figure 35 :Membrane de porosité 0,22 µm.....	67
Figure 36 : Membrane de porosité 0,45µm.....	67
Figure 37 : Déposer l'eau de prélèvement dans l'appareil de filtration.....	68

Figure 38 : Incubateur.....	69
Figure 39 : b. milieu Tryptophane.....	70
Figure 40: gélose SLANETZ et BARTLEY	72
Figure 41 : Gélose de BEA.....	73
Figure 42 : milieu de BEA.....	73

Liste des tableaux

Tableau 01 : Caractéristiques de la station de Béni Saf	06
Tableau 02 : Précipitations moyennes mensuelles de la période 1993/2012	07
Tableau 03 : Variations des températures mensuelles minimales maximales, de la période 1993/2012	09
Tableau 04 : Valeurs des I et le type de climat Interprétation	12
Tableau 05 : Valeurs des indices d'aridité de De Martonne « i »	13
Tableau 06 : Différentes valeurs de l'Indice mensuel de Moral et le type de climat	14
Tableau 07 : Valeur d'ETP mensuelle	16
Tableau 08 : Les principaux événements géodynamiques dans la région étudiée.....	29
Tableau 09 : Résultats de la balance ionique de la source et des forages étudiés.....	41
Tableau 10 : Résultats des analyses organoleptiques.....	73
Tableau 11 : Résultats des analyses physico-chimiques.....	74
Tableau 12 : Résultats des analyses bactériologiques.....	75

Abréviations et sigles

°C : degrés Celsius.

°F: degré français.

A.D.E. : Algérienne Des Eaux.

BI : Balance Ionique.

Cond : conductivité.

ED : eau distillée.

EDTA : Acide Ethylène Diamine Tétracétique.

HCl: acide chlorhydrique.

Meq/l : Milliéquivalent par litre.

ms: milli siemens.

N : Normalité

N.A : Norme Algérienne.

NTU : (Nephelométrie Turbidity Unit.) unité de turbidité néphélogométrique.

P : Précipitations.

pH : potentiel Hydrogène.

r : quantité en réaction.

RS : Résidu Sec.

SO₄⁻⁻ : Ion sulfate.

T : Température.

TA : Titre Alcalimétrique.

TAC : Titre Alcalimétrique Complet. Mg.L⁻¹

TH : Titre Hydrotimétrique. Mg.L⁻¹

TH: dureté totale.

V : Volume. L

μS/cm : micro siemens par centimètre.

INTRODUCTION

Générale

La région de Béni Saf, située dans le nord-ouest de l'Algérie, est confrontée à des défis importants en matière de la ressource en eau. La pression croissante sur ces ressources, due à l'augmentation de la population et des activités agricoles et industrielles, rend nécessaire une meilleure compréhension des caractéristiques hydrogéologiques et hydrochimiques des aquifères de la région.

Cette étude vise à :

- Caractériser les aquifères de la région : identifier les différentes formations géologiques qui constituent les aquifères, leurs limites et leurs interconnexions.
- Evaluer la qualité des eaux souterraines : déterminer la composition chimique des eaux souterraines, évaluer leur potabilité et identifier les éventuelles sources de contamination.

L'étude s'appuie sur une méthodologie en combinant :

- Les informations géologiques et les données de forages ;
- Les analyses hydrochimiques : prélèvements et analyses des eaux souterraines pour déterminer leur composition chimique et identifier les indicateurs de contamination ;
- Traitement et analyse des données : utilisation d'un SIG pour analyser les données collectées et produire des cartes et des graphiques.

Les résultats de cette étude sont importants pour plusieurs raisons :

- Amélioration de la connaissance des ressources en eau : ils permettront de mieux comprendre les caractéristiques des aquifères de la région et de mieux gérer ces ressources.
- Protection de la qualité des eaux : ils permettront d'identifier les sources de contamination et de mettre en place des mesures pour protéger les eaux souterraines de la pollution.
- Gestion durable des ressources : ils fourniront aux décideurs des informations essentielles pour la planification et la gestion durables des ressources en eau de la région

Pour arriver à nos objectifs nous avons sectionné ce mémoire en quatre chapitres :

Le premier chapitre présente la situation géographique et aspect climatique.

Le deuxième chapitre est consacré à la description lithostratigraphique et une présentation du contexte hydrogéologique.

Dans le troisième chapitre, les objectifs de l'étude hydrochimique sont présentés et analysés ; sa dernière partie présente la partie expérimentation dont nous avons eu l'occasion d'effectuer des analyses organoleptiques, physico-chimiques, bactériologiques de quelques échantillons au niveau du laboratoire de l'ADE d'Ain Témouchent.

CHAPITRE I :

Situation
géographique et
aspect
climatique

Chapitre I : Situation géographique et aspect climatique

I-1. Situation géographique de Béni Saf

Béni Saf est une commune algérienne et une ville côtière située dans la wilaya d'Aïn Témouchent, au Nord-Ouest de l'Algérie. La ville se trouve à environ : 30 km à l'ouest d'Aïn Témouchent, la capitale de la wilaya ; 90 km au sud-ouest d'Oran, la deuxième plus grande ville d'Algérie ; 80 km au nord-est de Tlemcen et à 400 km à l'ouest d'Alger, la capitale du pays.

La zone d'étude se situe dans l'interfluve de la Tafna, et elle est limitée à l'Ouest par l'oued Sidi Djalloul, à l'Est par Djebel Skouna, au Sud par l'oued Faid El Atech et au Nord par la mer Méditerranéenne (figure 1).



Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude (mapcarta.com).

I-2. Aspect climatique

Le climat fait référence à tous les éléments météorologiques (précipitation, température, humidité de l'air, vitesses des vents, ensoleillement) qui gouvernent une région géographique spécifique pendant une période spécifique.

Notre objectif est d'analyser le climat pour déterminer le type de climat qui règne dans la région. Nous pourrions également estimer le bilan hydrologique pendant la période d'étude en utilisant les données climatiques.

Nous avons utilisé des données météorologiques (Précipitation et Température) sur une période de 19 ans allant de 1993 à 2012 de la station de Béni-Saf (www.tutiempo.net), par manque de quelques données durant la dernière décennie, afin de définir le type de climat qui règne dans notre zone d'étude.

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	1993 /2012

I-2-1. Précipitation.

Les précipitations (pluie ou rarement grêle) sont l'un des paramètres hydrologiques les plus cruciaux pour l'étude d'un bassin versant. Elles ont aussi un impact sur les différents types de climat. En analysant les précipitations à l'échelle annuelle et mensuelle, nous avons étudié les données pluviométriques interannuelles.

a-Précipitation interannuelle

La figure 2 illustre la fluctuation des précipitations moyennes annuelles sur une période d'étude.

L'analyse de l'histogramme montre que :

- La pluviosité moyenne annuelle est faible avec une moyenne interannuelle égale à 296,75 mm.

- La pluviométrie annuelle de 1994 est inférieure à 100 mm, ce qui en fait l'année la plus sèche avec une pluviométrie annuelle de 80.46 mm.
- La pluviométrie la plus importante est celle de 2012 avec 435,89 mm.

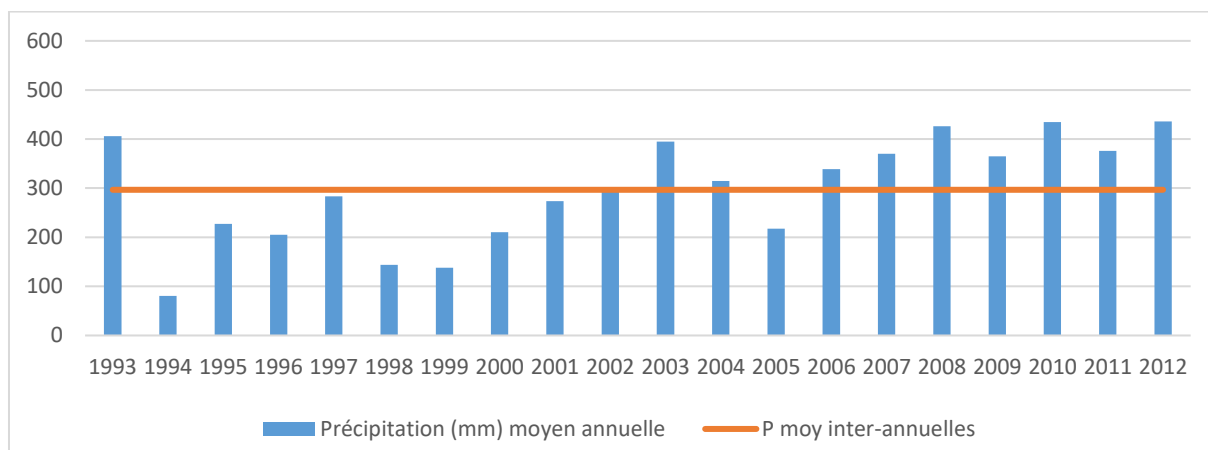


Figure 2 : Variations des moyennes annuelles des précipitations de la station de Béni Saf (1993/2012)

b-Précipitations Mensuelles

Le tableau 2 et la figure 3 ci-dessous présentent les variations moyennes mensuelles des précipitations au cours de la période d'étude ; avec une pluviométrie maximale de 53,56 mm enregistrée au mois de novembre et une pluviométrie minimale de 1,206 mm enregistrée au mois de juillet. Les mois avec une pluie la plus faible (Juin, Juillet, Août) ne dépassent pas 10 mm.

Tableau 2 : Précipitations moyennes mensuelles de la période 1993/2012

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
P (mm)	40,5	40,11	30,78	24,42	13,243	5,2165	1,206	3,28	15,03	33,59	53,56	37,69

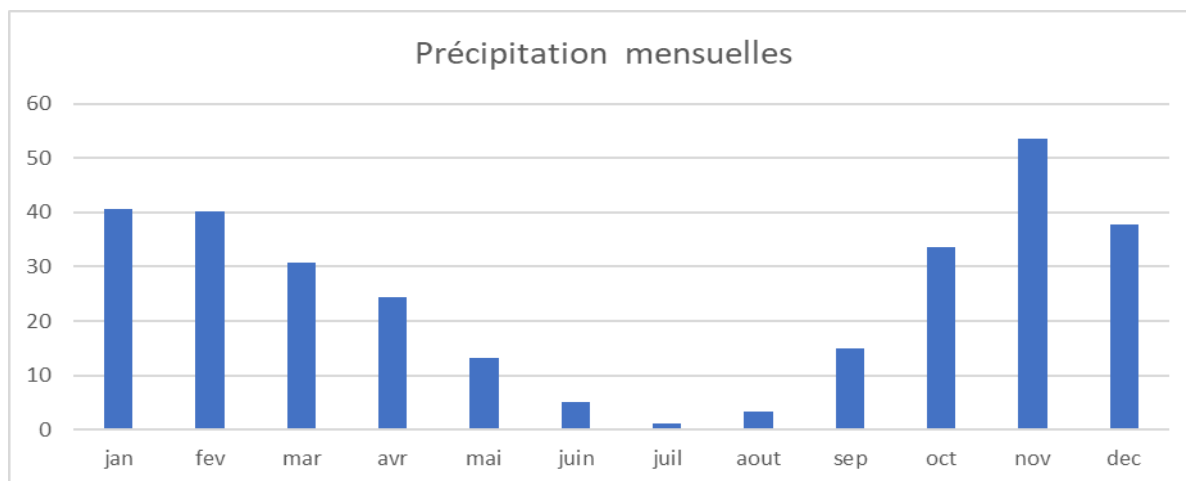


Figure 3 : Variations des précipitations moyennes mensuelles interannuelles de Béni Saf (1993/2012)

I-2-2. Températures

La température est l'un des éléments les plus cruciaux en hydrologie, car elle joue un rôle crucial dans le cycle de l'eau et la détermination du climat d'une région. Elle a également un impact sur l'évapotranspiration et le bilan hydrique.

a-Températures annuelles

La figure 4 illustre les fluctuations annuelles moyennes de la température. La température moyenne annuelle n'est pas très variable, avec un minimum de 18,03°C en 1993, un maximum de 20,3 °C en 2010 et une température moyenne interannuelle de 19,42 °C.

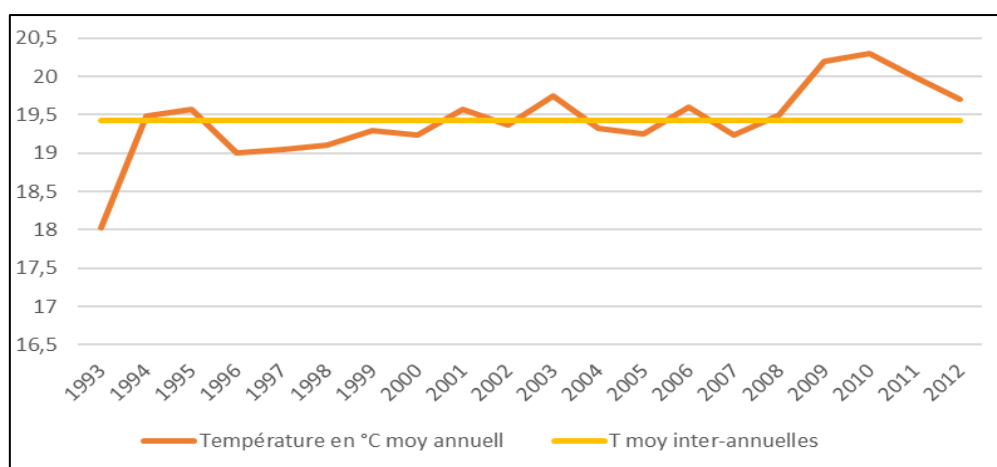


Figure 4 : Variation de la température annuelle de la station de Béni Saf (1993/2012)

b-Températures mensuelles

Les températures mensuelles sont illustrées par la figure 5 et le tableau 3 (valeurs moyennes, valeurs minimales et maximales).

L’analyse des données des températures mensuelles indique :

- Un minimum situé entre 11,2°C en janvier et 25°C en août.
- Une température maximale allant de 15,9 °C en février à 28,6 °C en août.
- Les températures moyennes fluctuent entre 13,5°C en janvier et atteignent un sommet en août avec 26,6°C.

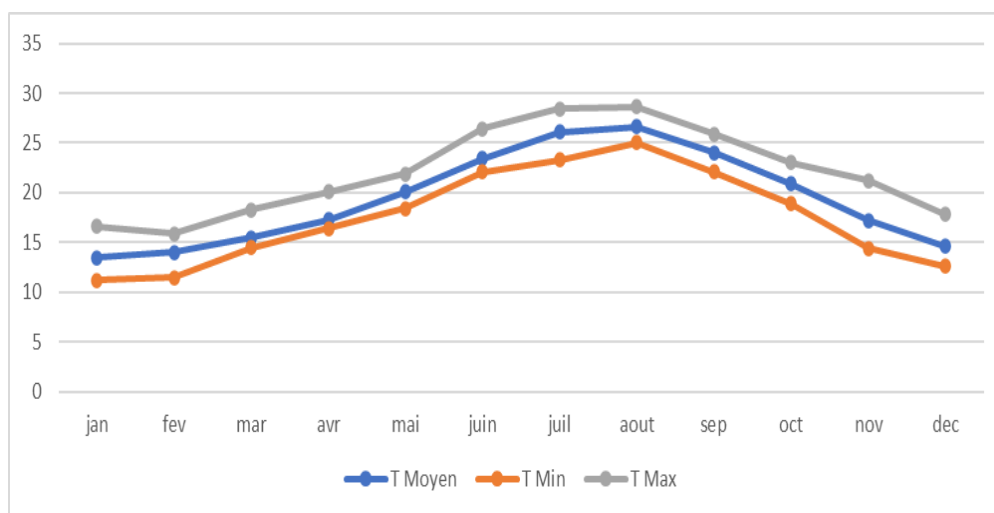


Figure 5 : Variations des Températures mensuelles minimales, maximales et moyennes (1993/2012)

Tableau 3 : Variations des températures mensuelles minimales maximales, de la période 1993/2012

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
T Moyen (°C)	13,5	14,05	15,52	17,3	20,1	23,4	26,07	26,6	24,02	20,9	17,2	14,6
T Min (°C)	11,2	11,5	14,5	16,4	18,4	22,1	23,3	25	22,1	18,9	14,4	12,6
T Max (°C)	16,6	15,9	18,3	20,1	21,9	26,4	28,4	28,6	25,9	23	21,2	17,8

I-3. Synthèse climatique

En utilisant différentes méthodes graphiques (Ombrothermique) et empiriques (indice de Martonne, de Moral), la synthèse climatique permet de déterminer le type de climat qui règne dans notre zone, ainsi que les périodes sèches et humides.

I-3-1. Méthode graphique de Bagnouls et Gausсен

Le diagramme Ombrothermique permet de représenter les variations mensuelles des précipitations et des températures, il met en relation les précipitations et les températures, avec $P=2T$. Ce diagramme a été mis au point par H. Gausсен et F. Bagnouls afin de déterminer les périodes sèches et humides, son interprétation est la suivante :

- La période correspondante est humide lorsque la courbe des précipitations est supérieure à celle des températures.
- La sécheresse se produit lorsque la courbe des températures dépasse celle des précipitations.

Selon la courbe Ombrothermique, la station de Béni Saf présente une période sèche de mois de septembre (figure 6). La saison des sécheresses commence à la mi-mars et se poursuit jusqu'à la mi-octobre. Pendant cette période, les précipitations sont inférieures à 40 mm et la température moyenne oscille entre 13,5°C et 26,6°C, avec un maximum de 26,6 °C en août. Les mois restants sont considérés comme humides, avec une température maximale de 20,9°C et une précipitation de 33,59mm au mois d'octobre, avec une température minimale de 13,5°C enregistrée en janvier. Selon l'étude du diagramme, il est également observé que la saison sèche correspond à la saison chaude et que la saison froide correspond à la saison humide ; La saison humide se déroule sur une courte période de l'année.

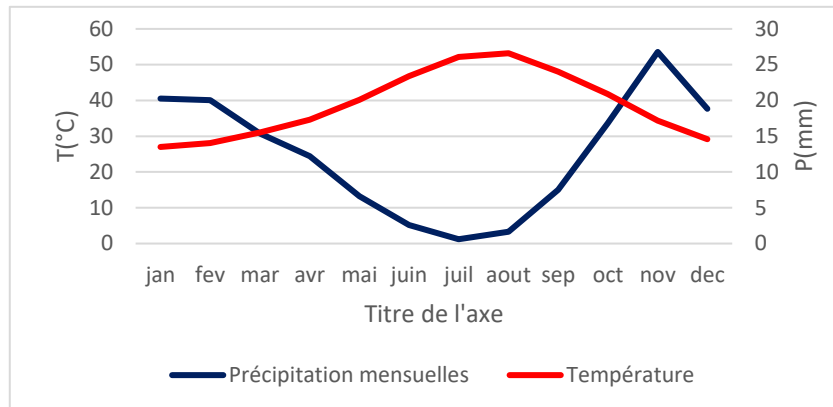


Figure 6 : Diagramme de Bagnouls et Gaussen de la station de Béni Saf (1993/2012)

I-3-2. Méthodes des indices

Les indices d'aridité sont des mesures quantitatives du niveau de pénurie d'eau dans un lieu spécifique. Parmi les indices utilisés pour caractériser le climat, nous allons citer :

a- Indice d'aridité annuel de De Martonne :

Celui-ci varie en fonction des précipitations et des conditions climatiques. Le degré d'aridité d'une région est déduit par l'indice d'aridité de De Martonne, qui est noté I. Il est calculé en utilisant la relation suivante :

$$I = P / T + 10$$

Avec :

P : précipitation moyennes annuelle (mm) = 296,75

T : température annuelle (°C) = 19,42

I : indice d'aridité annuel de Martonne = 10,08

Les précipitations et la température annuelle calculées et utilisées à la station de Béni Saf pour évaluer l'indice d'aridité de De Martonne sont appliquées à l'abaque de Martonne (figure 7). Cette représentation montre un climat semi-aride avec un écoulement temporaire.

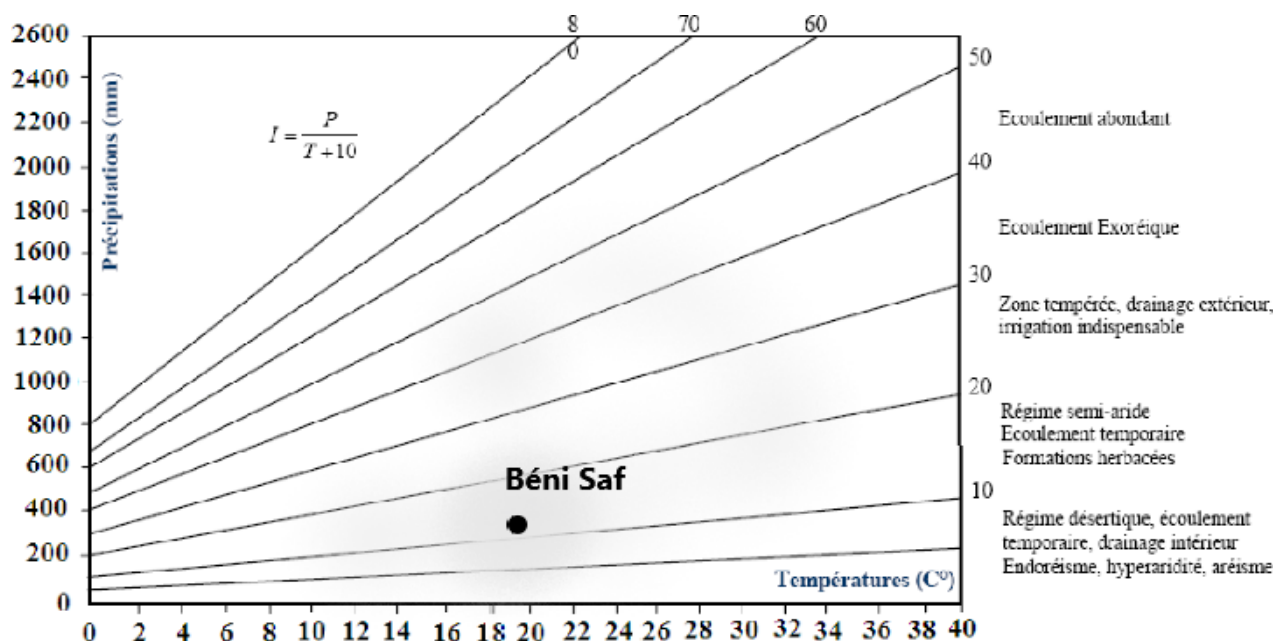


Figure 7 : La station de Béni Saf sur l’abaque de l’indice d’aridité annuelle de De Martonne

b- Indice d’aridité mensuel de De Martonne :

La formule utilisée pour déterminer cet indice est la suivante : la relation entre les précipitations totales mensuelles et les températures mensuelles, et l’interprétation dépend de la valeur de *i* (tableau 4) :

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

Tableau 4 : Valeurs des I et le type de climat Interprétation

Valeur de I	Type de climat
0 à 5	Hyper-arides (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)

Le tableau ci-dessous présente les résultats des différents indices d’aridité mensuelles « *i* » de De Martonne :

Tableau 5 : Valeurs des indices d'aridité de De Martonne « i »

Mois	jan	fev	mar	avr	mai	juin	juil	aout	sep	oct	nov	dec
T (°C)	13,5	14,05	15,5	17,3	20,1	23,4	26,07	26,6	24,02	20,9	17,2	14,6
P (mm)	40,5	40,1	30,7	24,4	13,2	5,21	1,206	3,28	15,03	33,5	53,5	37,6
i	20,7	20,0	14,4	10,7	5,27	1,87	0,39	1,07	5,3	13,04	23,6	18,3
Type de Climat	T	T	SA	SA	D	HA	HA	HA	D	SA	T	SA

D'après les résultats :

- La période de mai et septembre est désertique, avec un indice de 5.3.
- Les mois de juin, juillet et août présentent une hyper aridité.
- Le janvier, février et novembre sont considérés comme semi-humides ou tempérés (T)
- Le reste des mois présentent un indice compris entre 10 et 20 : ce sont des mois semi-arides.

c- Indice de Moral :

Il est obtenu par la relation suivante :

$$IM = P / T^2 - 10T + 200$$

Avec :

P : précipitations moyennes annuelles (mm) = 296,75

T : températures moyennes annuelles (°C) = 19,42

IM : indice de Moral indique le type de climat d'une région, ainsi : si IM est < 1 nous avons un climat sec ; lorsque IM est > 1 nous avons un climat humide.

Pour notre station IM = 0,77, il est inférieur à 1 donc la région est caractérisée par un climat Sec.

d-Indice mensuel de Moral :

Cet indice est obtenu par la relation entre les précipitations et les températures mensuelles :

$$Im = p / 0,1t^2 - t + 20$$

Où p : précipitation moyenne mensuelle (mm)

t : température moyenne mensuelle (°C)

Les différentes valeurs de l'indice de Moral sont représentées dans le tableau 6. L'interprétation de l'indice se fait selon les conditions suivantes :

- Mois Aride (A) : lorsque $0,05 t^2 - t + 10 > P$
- Mois Sec (S) : lorsque $0,1 t^2 - t + 20 > P > 0,05 t^2 - t + 10$
- Mois Humide (H) : lorsque $0,1 t^2 - t + 30 > P > 0,1 t^2 - t + 20$
- Mois Pluvieuse (P) : lorsque $P > 0,1 t^2 - t + 30$

Les résultats des différents indices mensuels de Moral dans le tableau 6 montre que :

- Les périodes les plus arides sont les mois de juin, juillet et août.
- Le mois de mars est humide.
- Le climat est pluvieux pendant les mois de janvier, février, novembre et décembre.
- Et les mois d'avril, mai, septembre et octobre sont secs.

Tableau 6 : Indice mensuel de Moral et le type de climat :

Mois	jan	fev	mar	avr	mai	juin	juil	aout	sep	oct	nov	dec
T (°C)	13,5	14,05	15,52	17,3	20,1	23,4	26,07	26,6	24,02	20,9	17,2	14,6
P (mm)	40,5	40,1	30,7	24,4	13,2	5,2165	1,206	3,2	15,039	33,5	53,5	37,6
im	1,6	1,5	1,07	0,7	0,32	0,10	0,01	0,05	0,28	0,7	1,6	1,4
$(0,1 t^2 - t + 30)$	34,7	35,6	38,5	42,62	50,3	61,35	71,8	74,15	63,67	52,78	42,5	36,7
$(0,1 t^2 - t + 20)$	24,7	25,6	28,5	32,6	40,3	51,35	61,8	64,1	53,67	42,7	32,3	26,7
$(0,05 t^2 - t + 10)$	5,56	5,82	6,52	7,66	10,1	13,97	17,2	18,7	14,82	10,9	7,59	6,05
Type	P	P	H	S	S	A	A	A	S	S	P	P

I-3-3 Bilan hydrologique :

Le bilan hydrologique, permet une description précise de l'année hydrologique en suivant toutes les sorties et entrées d'un bassin versant spécifique.

Le bilan hydrologique d'un système est essentiel afin d'obtenir des données sur le lien entre la quantité d'eau précipitée, l'évapotranspiration, le déficit dans le sol et le débit observé au niveau de l'exutoire. Grâce à la méthode de Thornthwaite, il est possible de calculer un bilan hydrologique mensuel qui inclut : l'évapotranspiration réelle (ETR), la variation de la réserve,

la réserve utilisable (RFU), le déficit agricole (Da), ainsi que l'excédent (le ruissellement à l'échelle du bassin versant) (EX). Par manque d'information sur les RFU dans notre zone d'étude, nous allons estimer que l'Evapotranspiration potentielle. Selon Thornthwaite (1954) sa formule ne permet qu'une approche mensuelle de l'ETP, en fonction des températures mensuelles. La procédure consiste à calculer les indices thermiques mensuels en se basant sur les températures moyennes mensuelles. La somme des 12 indices thermiques permet de déterminer I (indice thermique annuel).

Ainsi

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

$$a = (1.6I/100) + 0.5$$

$$I = \sum i$$

$$i = (t/5) 1.514$$

Avec :

ETP : évapotranspiration potentielle non corrigé en mm ;

T : température moyenne mensuelle ;

I : indice thermique annuel, somme des 12 indices mensuels ;

K : coefficient d'ajustement mensuel est donné par une table dépend de la latitude

Les résultats de l'évapotranspiration potentielle ETP établit sur les 12 mois de l'année sont reportés dans le tableau 7. On peut remarquer que la valeur de l'ETP (914,96 mm) dépasse largement les précipitations annuelles.

Tableau 7 : Valeur d'ETP mensuelle

Mois	jan	fev	mar	avr	mai	juin	juil	aout	sep	oct	nov	dec
T (°C)	13,5	14,05	15,52	17,3	20,1	23,4	26,07	26,6	24,02	20,9	17,2	14,6
i	4,45	4,77	5,55	6,54	8,21	10,34	12,18	12,56	10,76	8,71	6,49	5,06
ETP non corrigé (mm)	32,1	34,8	42,5	52,9	71,7	97,5	121,3	126,3	102,8	77,6	52,3	37,6
K	0,88	0,86	1,03	1,09	1,19	1,2	1,22	1,15	1,03	0,97	0,88	0,86
ETP Corrigé (mm)	28,2	29,9	43,8	57,7	85,3	117,06	148,03	145,32	105,92	75,31	46,09	32,33

I-4. Conclusion :

En se référant aux données de précipitation, de température et de l'indice d'aridité de De Martonne, il est possible de conclure que notre région présente un climat semi-aride, marqué par des précipitations faibles (moyenne annuelle de 296,75 mm) et un écoulement temporaire. Selon le graphique de Bagnouls et Gausson, ainsi que les indices mensuels d'aridité de De Martonne, il est possible d'observer une sécheresse prolongée pendant presque toute l'année, ce qui peut avoir des répercussions sur l'agriculture et la disponibilité en eau.

CHAPITRE II :

Contexte
géologique et
hydrogéologique

II-1. Introduction :

Les études géologiques sont primordiales pour la compréhension des caractéristiques des roches et de la stratigraphie d'une zone d'étude donnée. Une connaissance approfondie de la lithologie et de la géologie structurale permet d'identifier les formations potentiellement aquifères et d'étudier les eaux souterraines qui s'y trouvent. De plus, ces informations géologiques aident à expliquer certains paramètres géochimiques observés dans les eaux.

Dans cette optique, une synthèse lithostratigraphique détaillée de la région a été réalisée en se basant sur des études antérieures menées par divers auteurs tels que Guardia (1975), Saint-Martin (1987), elle présente la lithostratigraphie de l'extrait de carte géologique de Béni Saf (1/100 000).

II-2. Description lithostratigraphique.

II-2-1. TERRAIN PARAUTOCHRONE METAMORPHIQUE :

II-2-1-1. Unité Jurassique supérieur-Crétacé inférieur (J⁶⁻ⁿ) : Les schistes, datant du Jurassique supérieur au Crétacé inférieur, se présentent sous la forme d'une série comprenant plusieurs types de roches distincts. On y trouve des séricitoschistes quartzeux, qui sont intercalés avec des roches carbonatées, des chloritoschistes de teinte verdâtre, ainsi que des schistes sombres graphiteux de teinte grise. Ces formations schisteuses affleurent à la périphérie de l'agglomération de Sidi Safi, où elles forment des affleurements d'une épaisseur d'environ 20 à 30 mètres. Les schistes de cette région sont particulièrement remarquables pour leur aspect schistosé et plissé, témoignant d'une histoire géologique marquée par des forces tectoniques significatives.

II-2-2. TERRAINS ALLOCHTONES DE TYPE RIFAN :

II-2-2-1. Unité de l'Haouariya : cette unité régionalement la plus basse avec celle du Skouna et très métamorphique affleure le long du littoral entre Béni Saf et la mine de fer de Camerata, ainsi que long des routes reliant Béni Saf à Ain Temouchent.

- Carbonifère (h) :
 - Des micaschistes sombres affleurent au pied des falaises du Djebel Haouariya. Leur métamorphisme est très intense. Ce sont d'anciennes pélites finement litées. Certains

lits centimétriques plus quartzeux sont actuellement chargés en oxydes ferriques et en calcite.

- Flysch schisto-gréseux : Le flysch schisto-gréseux est bien représenté aux environs d'Ain Tinekremet et de Beni Saf. Il est formé par des grès, légèrement feldspathiques, à grain généralement fin et en bancs épais de plusieurs décimètres qui alternent avec des schistes semblables aux précédents. Cette formation correspond à un type de sédimentation assez grossière et rythmique.
- Lias (l) : Les terrains assignés au Lias, selon les études de Guardia (1975), se caractérisent par des formations carbonatées distinctives, comprenant à la fois des calcaires marmorisés et des calcaires laminés. Ces formations géologiques sont notablement plissées, indiquant une histoire tectonique complexe, et ont subi un faible métamorphisme. Les calcaires marmorisés, avec leur apparence polie et veinée, contrastent avec les calcaires laminés, qui présentent une structure en couches plus fines et régulières. Ensemble, ces caractéristiques témoignent des conditions environnementales et des processus géologiques qui ont prévalu durant la période du Lias. Le plissement des formations suggère des forces tectoniques en jeu, tandis que le métamorphisme léger indique des changements minéralogiques et structuraux sans altération profonde, préservant ainsi des informations cruciales sur les environnements passés et les processus de formation de la croûte terrestre durant cette époque géologique.



Figure (08) :photo des schistes du carbonifère (06_03_2024).

II-2-3. TERRAINS ALLOCHTONES DE TYPE TELLIIEN :

II-2-3-1.Complexe triasique (t) : Les géologues algériens nomment communément "complexe triasique" un ensemble chaotique de terrains sédimentaires et éruptifs.

- Le Trias des unités telliennes : Le Trias est abondant, en semelle des trois grands groupes d'unités et au sein des unités Chouala et sénonienne. Les divers éléments du complexe sédimentaire et volcanique sont emballés dans une matrice gypseuse, plus rarement de sel gemme (Pierres de sel). Les roches d'origine volcanique sont, le plus souvent, des dolérites à grain assez fin. Elles sont accompagnées par des roches à texture microlitique, des ponces, des tufs ponceux, des tufs volcano-détritiques. Elles peuvent n'être pratiquement pas transformées comme la dolérite et les tufs de l'Oued Lemba ou bien avoir subi un léger métamorphisme (versant S du Feid el Ateuch, x = 130, 1 et y =

221, 6), responsable de l'albitisation des feldspaths, de la formation d'ouralite, d'épidote, de leucoxène, de chlorite et de l'existence de ces minéraux en cristaux très limpides, dans des nids de recristallisation ou des filonnets de la roche. Il faut remarquer que dans ce gisement, elles sont associées à des poudingues siliceux pourpres, eux aussi légèrement métamorphiques.

Dans la plupart des affleurements du Trias lié aux nappes de type tellien, les roches d'origine volcanique sont peu métamorphiques mais leur altération est généralement très poussée.

II-2-3-2. Unité Chouala : La dénomination de cette unité est empruntée à l'unité des Chouala décrite par J. Polvêche en 1960. Elle est principalement constituée de marnes et de calcaires argileux datant du Crétacé inférieur et de la base du Crétacé supérieur. Dans certaines régions de l'Oranie occidentale, elle peut également contenir des dépôts oligocènes. Cette unité affleure en deux grandes masses, l'une autour d'Ain Alem. De plus, quelques lambeaux de nappe, parfois minuscules, peuvent également lui être associés, notamment près de Beni Saf et au nord d'Ain Temouchent.

- Hauterivien à Cénomaniens : (n² c²) Il est constitué de marnes argileuses verdâtres, plus rarement

violacées, avec des lits de calcaires argileux gris ou de pélites noirâtres. Il est très rare de trouver du matériel détritique, toujours de grain fin ou très fin. Dans la région d'Ain Alem, il y a très peu d'affleurements.

- Aptien supérieur-Albien (n⁶⁻⁷) : Des calcaires argileux en bancs mal individualisés, alternant avec des marnes indurées, contiennent fréquemment des rostrés de Bélemnites et des empreintes d'Ammonites ferrugineuses (L. Gentil, 1903).

Ces calcaires et ces marnes, de teinte grise, prennent en surface une patine blanchâtre caractéristique. Leur âge est Albien supérieur à Vraconien

- Oligocène (g) : l'Oligocène Chouala Dans les marnes oligocènes à Ammonites pyriteuses crétacées du Feid el Ateuch se trouvent de rares blocs de calcaires sublithographiques, micrites ou pelmicrites à filonnets de calcite, appartenant probablement au Jurassique supérieur.

II-2-3-3. Unité sénonienne : Des critiques peuvent être faites à la façon de nommer cette unité et l'unité oligo-miocène. Le Sénonien ne constitue en effet qu'une partie de l'unité. Mais ses

faciès particuliers permettent de la reconnaître facilement sur le terrain, est couramment utilisée par les géologues travaillant dans le Tell oranais et avec les réserves faites ci-dessus.

- Sénonien supérieur-Paléocène ($e^6 e^2$) : La microfaune des foraminifères agglutinants est présente dans des marnes grises, qui renferment de rares niveaux de calcaires argileux. On peut attribuer ces marnes au Sénonien supérieur ou au Paléocène. Deux gisements sont probablement d'âge paléocène. Un d'entre eux (1446), situé au nord du Feid el Ateuch, est constitué de marnes calcaires gris clair avec de rares horizons sableux et une microfaune arénacée dominante, ce qui suggère un âge paléocène plus bas.
- Sénonien supérieur (e^{6-7}) (Marnes pélitiques grises et calcaires marneux) : près de Beni Saf, des marnes pélitiques gris violacé à petits bancs de calcaires sublithographiques appartiennent au Maestrichtien supérieur. Les faciès du Sénonien des divers ensembles structuraux n'étant pas très différenciés, il est difficile, à partir d'un tout petit affleurement, dont la couleur violacée est probablement liée au premier cycle miocène post-nappes, de se prononcer sur son appartenance soit à l'unité sénonienne.
- Yprésienne (e^{3-4}) (Marnes grises et calcaires à patine blanche à silex) : L'Eocène inférieur, connu également dans tout le Tell algérien sous le nom d'Yprésien, se présente ici sous son faciès habituel de marnes grises et de calcaires argileux en plaquettes à cassure sombre et patine blanchâtre.
- Lutétien supérieur-Bartonien-Priabonien inférieur (e^{5-7}) (Marnes brun-jeune) : Au Sud de l'Ain Alem, on observe une importante présence de marnes brunes à niveaux de grès roux. Ces marnes brunes sont parfaitement illustrées. Les calcaires blanchâtres du Cuisien sont généralement surmontés par elles, mais les écarts lors des mouvements miocènes ne permettent pas de conclure que le contact est stratigraphique. Il s'agit de marnes d'un brun jaunâtre avec des lits de grès ferrugineux roux.

II-2-3-4. Unité oligo-miocène (m^{1-3}) : Comme pour l'unité précédemment décrite, les terrains qui donnent leur nom à l'unité en constituent l'essentiel (mais non la totalité). Il s'y ajoute dans la partie orientale des Sebaa Chioukh, à la jointure avec la chaîne des Tessala, quelques lambeaux de calcaires de l'Eocène moyen et supérieur qui, associés à un Oligo-Aquitainien particulier, constituent une sous-unité originale.

- Miocène inférieur-Langhien : au sud d'Ain Alem, on peut observer des calcaires biodétritiques légèrement sableux, avec quelques galets, et enveloppés dans des marnes à petits lits de grès roux, qui semblent être du Miocène inférieur (Aquitaniens?). En effet, à côté des Lithothamniées, ils renferment des Hétérostégines et des Myogypsines (dét. A. Blondeau). Encore une fois, les marnes sont beaucoup plus récentes, venant du Miocène inférieur.

II-2-3-5. Unité numidienne (g-m2Ng) : De part et d'autre de la basse Tafna existent quelques lambeaux de numidien typique, toujours en positions structurales supérieures. Cette unité est formée par des grès massifs, très disloqués en raison de dimensions réduites de tous les lambeaux. Ces grès quartzeux, de teinte beige lorsqu'ils ne sont pas altérés, mais prenant souvent une patine brune ou noir d'oxyde de fer, ont un grain très hétérogène. Les quartz sont souvent éolisés. Les passages à dragées de plusieurs mm sont fréquents.

Les grès reposent sur une semelle d'argiles ou de pélites argileuses, généralement jaunes, contenant de petits lits de grès fin, à ciment parfois calcaires. Les argiles prennent rarement une teinte légèrement violacée.

L'âge oligo-aquitaniens de la série numidienne, démontré en de nombreux secteurs de l'Algérie ou de l'Espagne n'est pas remis en question par les microfaunes récoltées.

II-2-4. TERRAINS AUTOCHTONES :

II-2-4-1. Miocène Synchrones-nappes :

- Marnes à lits gréseux du Serravallien (**m⁴**) : Au sud de l'Ain Alem, le Miocène est composé d'une épaisse série marno-gréseuse de plus de 2 000 mètres. Elle est constituée de marnes gris verdâtre et de grès gris à roux, de grain le plus souvent fin, mais parfois grossier ou même poudingue. Il est évident que cette formation se trouve sur la route de Beni Saf à Tlemcen dans les gorges de la Tafna.

II-2-4-2. Miocène 1^{er} Cycle poste – nappes :

- Serravallien-Tortonien inférieur (**m⁴-5aC**) : Par endroits, une série détritico continentale sépare les nappes de la série marine du Miocène terminal sur le revers N des Sebaa Chioukh, de part et d'autre de la vallée de la Tafna et dans la région de Beni Saf. Cette série continentale est extrêmement épaisse, composée de marnes ou d'argiles gypseuses vertes, puis lie-de-vin, de grès et de poudingues très hétérogènes de couleur rouge lie-de-vin. Seules les microfaunes remaniées des nappes sont présentes dans les marnes gypseuses. Les substances détritico sont également issues des nappes.



Figure (09) : Poudingues très hétérogène de couleur rouge lié de vin se présente dans les marnes gypseuses du Miocène 1^{er} cycle poste-nappe (06_03_2024).

II-2-4-3. Miocène 2^{ème} Cycle post-nappes : SAINT-MARTIN J. P. (1987)

- Tortonien supérieur - Messinien basal (**m5b-6a**) : Ce Miocène transgressif a donné naissance à des niveaux gréseux ou argilo-sableux avec une faune abondante. Les grès tortoniens, appelés par Gentil (1903), se trouvent à l'Ouest de Béni Saf et au sud de l'oued El Anser, et sont toujours couverts d'une ligne de galets à leur base.
- Messinien (**m 6b**) : Il est constitué de calcaires à algues et de polypiers, également appelés calcaires récifaux. Les formations calcaires du Miocène terminal constituent l'essentiel du plateau de Sidi Safi, mais elles disparaissent progressivement sous les précipitations de laves volcaniques quaternaires dans le secteur oriental. Les constructions coralliennes se développent de manière assez étendue, 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 flexibles.

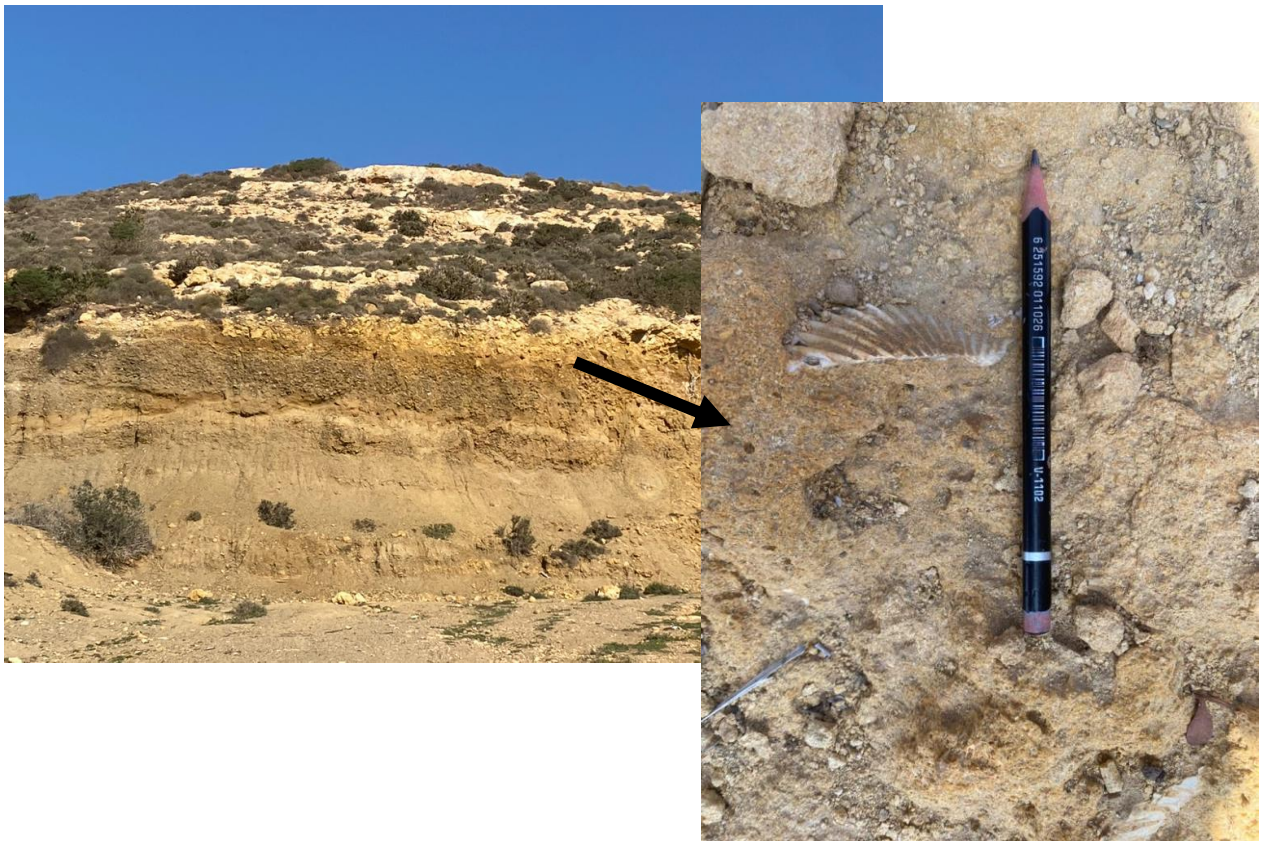


Figure 10 : Photo prise sur l’affleurement du Messinien basale au niveau de la source de Ain Tinekremnt (06_03_2024).

II-2-5. PLIOCENE :

Pliocène inférieur gréseux (**p1g**) : Il est constitué de roches calcaires surmontées de sables quartzueux et calcaires, parfois légèrement agrégés, avec une épaisseur de 50 à 80 mètres. Ils se développent sur le littoral, formant une étroite bande appelée "Grés de Béni Saf".

II-2-6. FORMATIONS RECENTES (QUATERNAIRE) :

Plusieurs types de terrains quaternaires se trouvent dans la région : des alluvions, des croutes sur des glaciers d'ablation anciens et des terrains polygéniques.

II-2-7. LES TERRAINS VOLCANIQUES (β) :

Les produits émis ont été distribués vers Chaâbet Elaham, à l'Est vers le Douar Chentouf, au Sud vers Ain Tolba et Ain Kihal, et à l'Ouest vers les environs de Sidi Safi.

Le volcanisme de la zone se distingue par son âge jeune, puisqu'il s'est produit durant le Quaternaire entre $-1,28$ et $-0,8$ Ma (Louni-Hacini et al. 1995 et Coulon et al, 2002).

- **Coulées volcaniques.**

Des coulées de lave basaltique ont été produites par les cratères de Dzioua et d'Aïn Tolba, qui se trouvent sur les formations calcaires ou parfois directement sur les marnes bleues.

- **Produits de projection.**

Les alluvions sont présentes au Sud-Ouest de la plage d'oued El Hallouf, au cimetière d'oued El Kihel, en bordure de la route nationale n°35 et au Sud-Ouest de Sidi de l'eau.

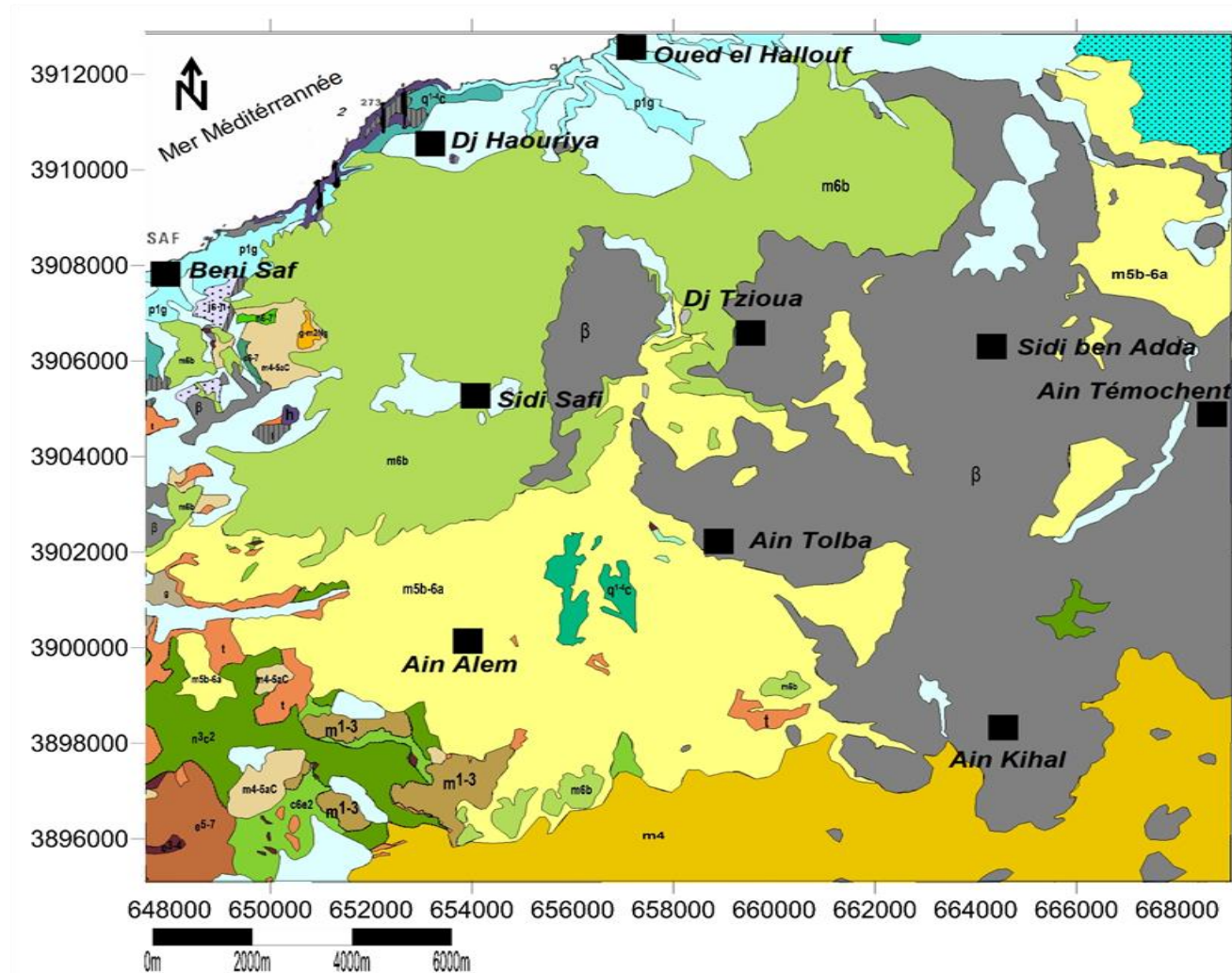


Figure (11) : Extrait de carte géologique de Béni Saf 1/100 000 digitalisé (Guardia1975) (réalisée par moi).

Age		LOG	EP (m)	Unité lithologique
Q U T E R N A I R E	Quaternaire		?	Basalte
			?	Alluvion
C E N O Z O I Q U E	Pliocène	Pliocène inférieur	?	Grés
	M I O C E N E	Messinien	?	calcaires à Algues et polypier
		Tortonien sup Messinien basal	?	continental à saumatre et marin
		Serravalien- Tortonien inf	?	Formation détritique hétéogène lie-de-vin
				Marnes à lits gréseux du Serravallien

Figure (12) : Log litho-stratigraphique des terrains autochtones la région de Béni Saf.

(Mahroug, 2014, modifiée)

II-3. Les principales phases tectoniques :

L'histoire tectogénétique mésozoïque et cénozoïque du domaine tello-rifain peut être divisée en trois périodes :

- la période pré-tectonique, pendant laquelle s'effectue l'essentiel de la sédimentation ;
- la période tectonique, pendant laquelle les matériaux des unités tello-rifaines acquièrent

l'essentiel de leurs structures et qui se termine avec la mise en place des nappes au Miocène .

La période tardi-tectonique post-nappes.

La seconde période, la période tectonique, est la plus riche en événements tectoniques. La tectogenèse profonde et la tectogenèse superficielle réalisées au cours de cette période seront analysées successivement.

Les traces provoquées par des mouvements qui se seraient produits dans le domaine tellien pendant la période qui va du Jurassique au Lutétien inférieur sont peu nombreuses. De plus, si de telles traces existent, les preuves directes de cette tectonique n'ont pu être observées dans la région étudiée ici.

Tableau (08) : Les principaux événements géodynamiques à partir du Lutétien dans la région étudiée. BARACENE R. (2002).

Age	Événements géodynamiques
Quaternaire	Compression
Pliocène	Distension
Tortonien	Compression
Début de Miocène	Distension
Oligo-Miocène	
Lutétien	Compression

II-3-1. PHASE EOCENE DE TECTOGENESE PAROXYSMALE :

À l'Éocène moyen (Lutétien), une phase paroxysmale de tectogenèse en compression se produit, entraînant des effets significatifs.

II-3-2. PERIODE DE L'EOCENE SUPERIEUR A L'OLIGOCENE :

Pendant la période allant de l'Éocène supérieur à l'Oligocène, une certaine instabilité caractérise l'ensemble des zones. Cependant, aucune preuve de tectogenèse en compression n'a encore été fournie, et cette instabilité correspond probablement à de légères distensions locales.

II-3-3. PHASE MIOCENE DE TECTOGENESE PAROXYSMALE :

Une étape cruciale de compression qui se produit, aucune preuve n'est donnée de son âge miocène, mais des arguments morpho-tectoniques montrent une érosion longue (Tortonien).

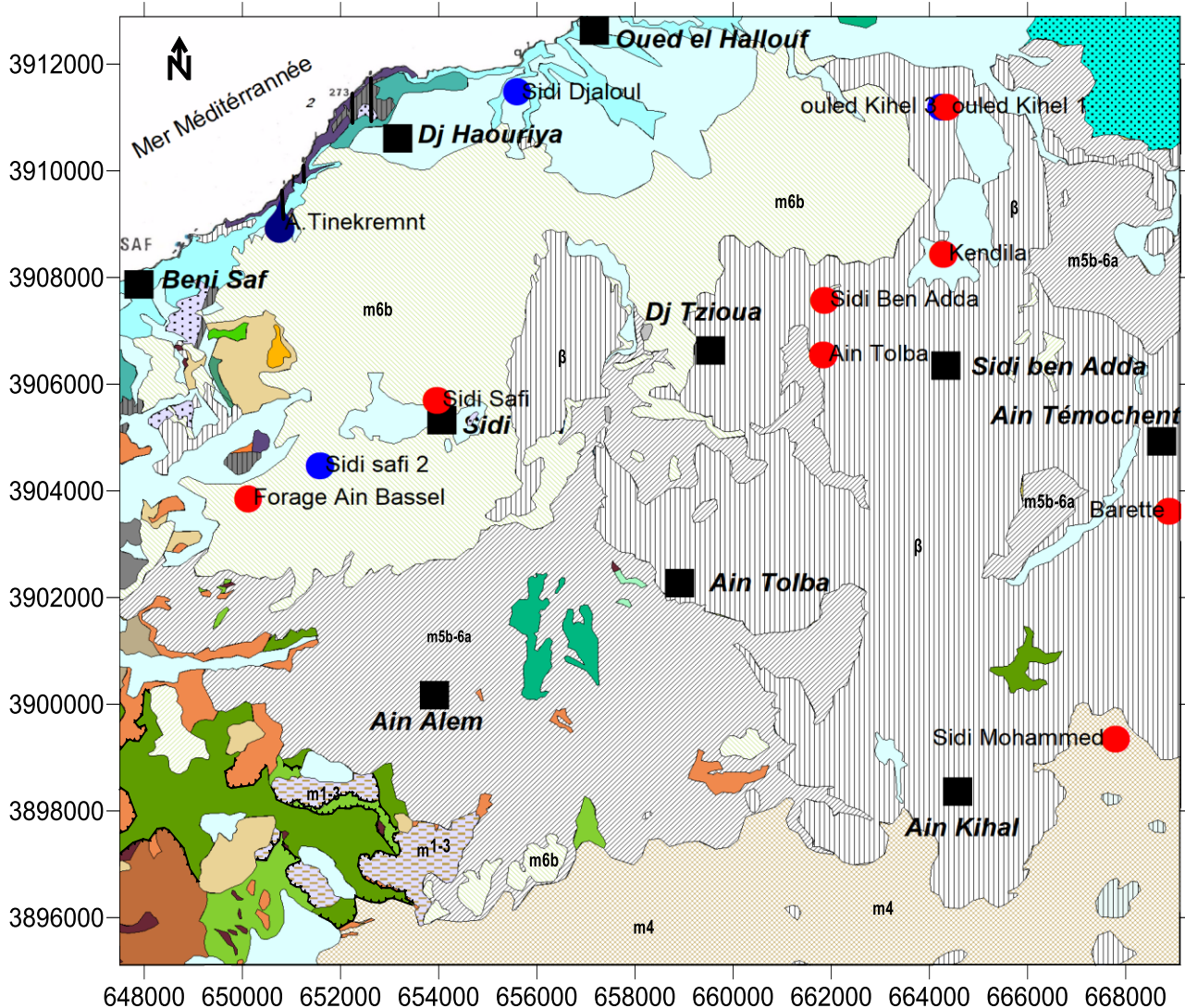
II-3-4. PERIODE DU PLIO-QUATERNAIRE :

Pendant le Plio-quaternaire, des compressions et des distensions coexistent, soit à différents niveaux, soit dans des directions distinctes.

II-4. Hydrogéologique des terrains autochtones de la zone d'étude :

L'aperçu hydrogéologique vise à repérer les principaux aquifères de la région. Grâce à l'étude géologique approfondie et aux observations effectuées sur les forages, il a été possible d'identifier les formations perméables des terrains autochtones suivantes :

- **Aquifère des basaltes Quaternaires.**
- **Aquifère des grès de Béni-Saf du Pliocène**
- **Aquifère des calcaires à algues et polypiers (calcaires récifaux) du Miocène supérieur (Messinien).**
- **Aquifère des grès du Miocène Synchro-nappes ;**



LEGENDE.





-  Aquifère des basaltes Plio-Quaternaires.
-  Aquifère des grès de Béni-Saf du Pliocène
-  Aquifère des calcaires du Miocène supérieur
-  Aquifère des grès du Miocène Synchro-nappes.

figure (13) : carte des aquifères (réalisée par moi).

II-4-1. Aquifère des basaltes Quaternaires :

Les basaltes sont très importants en termes de ressources en eau, notamment en raison de leur étendue dans la zone. Cette formation a un substratum qui varie selon sa localisation : il s'agirait parfois de formations sableuses du Pliocène et parfois de calcaires et de marnes du Miocène.

Leurs perméabilité est beaucoup moins forte que celle des calcaires récifaux décrite ci-dessous ; le forage Barette donne 3,5l/s captant des basaltes avec une profondeur de 134 m. Le forage d'Ain Tolba donne un débit de 2 l/s capte les basaltes avec une profondeur 100m leur porosité lorsqu'ils ne sont pas altérés est de fissures et reposent tous les deux sur les marnes bleu serravaliennes.

II-4-2. Aquifère des grès de Béni-Saf du Pliocène :

Constitué de roches calcarifères surmontées de sables quartzeux et calcaires, parfois légèrement agrégés. Le forage Ouled Kihel 3 capte probablement la formation gréseuse pliocène.

Aucune étude ni donnée de forage nous permet de faire une description hydrogéologique, en se basant sur une description purement lithologique ainsi que la description de l'affleurement de ces grès sur terrain nous donne l'initiative de dire qu'ils sont durs à gros grains de couleur jaunâtre donc à double porosité (d'interstice et de fissures).

II-4-3. Aquifère des calcaires du Miocène supérieur :

La région d'Aïn Témouchent entre Sidi Safi et Terga, présente un ensemble sommital carbonaté du Miocène supérieur, composé de calcaires friables, crayeux, d'une couleur blanchâtre. La perméabilité de ces calcaires est élevée. Le forage de Ouled El Kihel 3, captant ces calcaires donne un débit de 10 l/s avec une profondeur de 118 m et une première perte totale à 41-49 m et une deuxième perte à 106-114 m.

Il est connu que ces calcaires ont une porosité double, et que leurs friabilité avantage la porosité d'interstice en général par rapport à la porosité de fissure, mais le fait que Le forage Ouled Kihel 3, au cours de sa réalisation a eu des pertes totales pourrait nous faire penser à une karstification développée ; notre interprétation n'est pas définitive vu le manque de données, plusieurs forages dans cette région consolideraient ce que nous avançons.

Les calcaires blancs du Messénien sont recouverts vers le Sud d'Aïn Témouchent et Sidi Ben Adda par les épanchements volcaniques du massif d'Aïn Témouchent qui les alimentent verticalement et qui en font ensemble un seul aquifère bi-couche comme le cas du forage de Sidi Ben Adda donne 1 l/s.

II-4-4. Aquifère des grès du Miocène Synchro-nappes :

Composé d'une épaisse série marno-gréseuse de plus de 2 000 mètres. Elle est constituée de marnes gris verdâtre et de grès gris à roux, de grain le plus souvent fin, mais parfois grossier ou même poudingue. Bien que la série du Serravallien est connu comme imperméable mais sa particularité très alternée avec les grès sur les Sebaa Chioukh lui confère la caractéristique d'être aquifère et en témoignent les forages Fehoul 1, 2 et 3 réalisées dans le sud de notre région entre 1999 et 2002 avec des débits de la dizaine de litre par seconde et une température de 32 °C en moyenne (Kerzabi 2008).

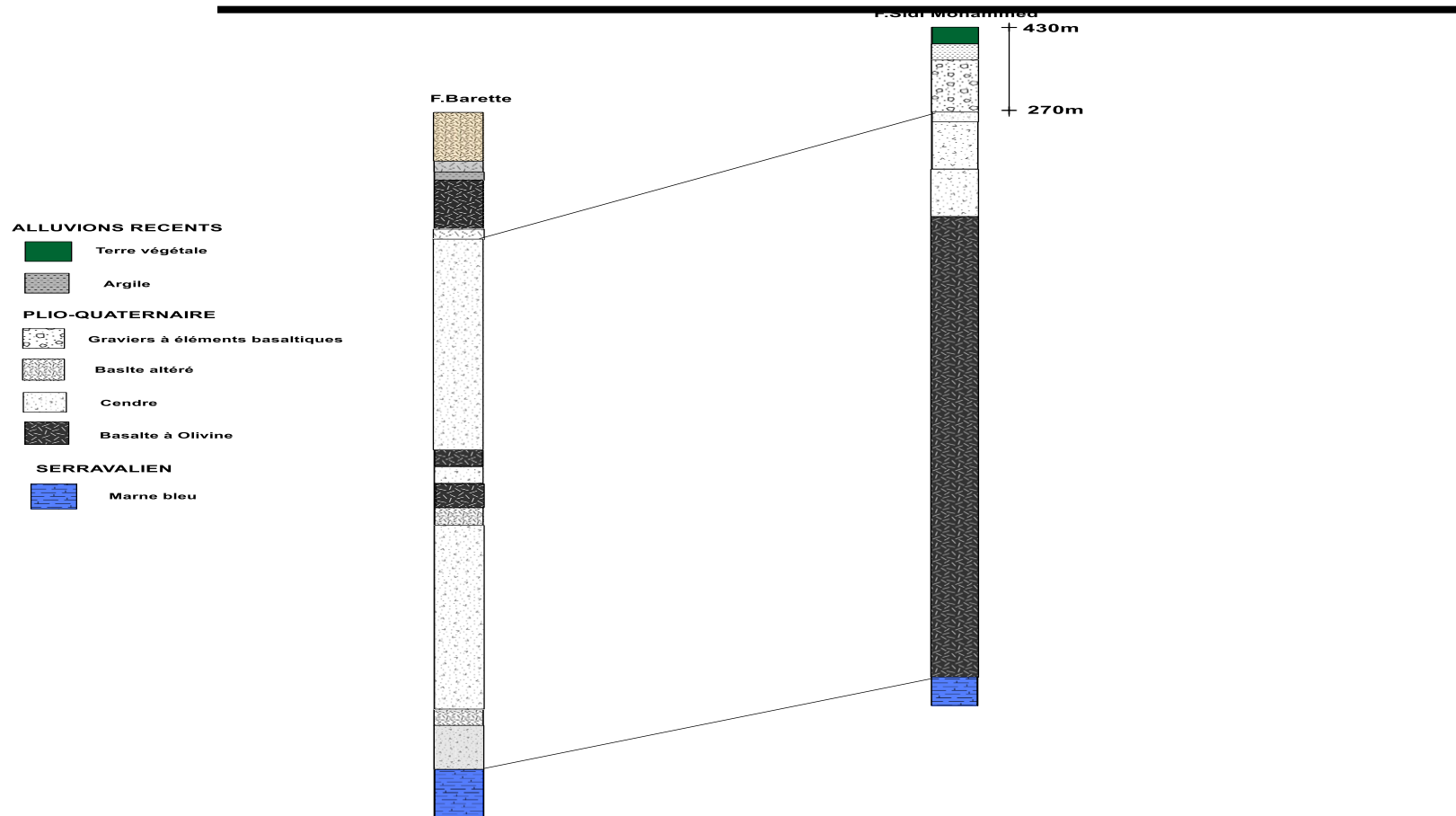


Figure (14) : Essai de corrélation entre les différents forages de la région d'étude (forages sidi Mohammed et barette)

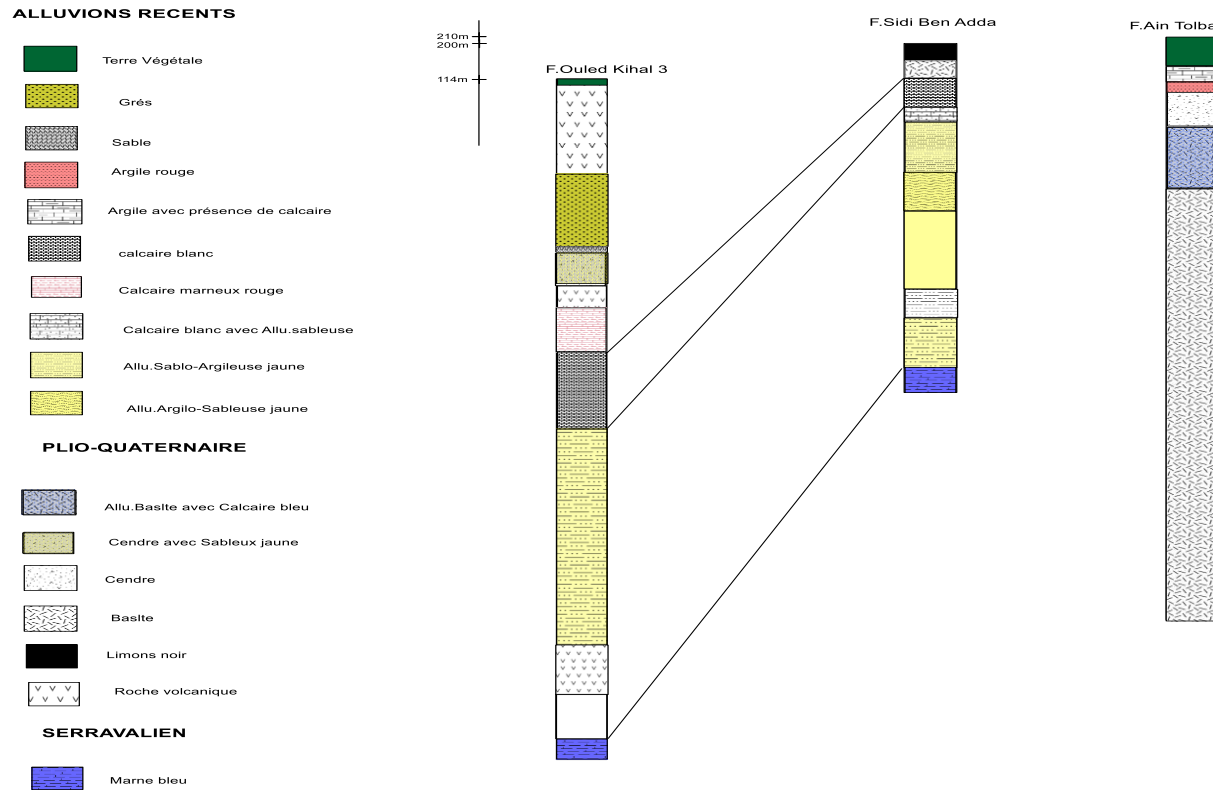


Figure (15) : Essai de corrélation entre les différents forages de la région d'étude (forages Ouled el kihel 3 , sisi Ben adda et Ain talba)

Age	LOG	EP (m)	Unité lithologique	Perméabilité
Q U T E R T A I R E	Quaternaire	?	Basalte	Aquifère fissuré moyennement perméable
		?	Alluvion	
C E N O Z O I Q U E	Pliocène	?	Grés	Aquifère poreux moyen a peut perméable
	Messinien	?	calcaires à Algues et polypier	Aquifère poreux
	Miocène supérieur	?	continental à saumatre et marin	Aquifère poreux et perméable
	Miocène moyen	?	Formation détritique hétéogène lie-de-vin	aquifère poreux
				Marnes à lits gréseux du Serravallien

Figure 16 : Colonne hydrogéologique de la région de Béni Saf.

Conclusion :

L'étude géologique et hydrogéologique de la région de Béni Saf a permis de caractériser les formations lithostratigraphiques et de mieux comprendre la complexité des structures géologiques locales. Les résultats montrent une histoire géologique marquée par plusieurs cycles tectoniques et éruptifs, influençant la distribution et la nature des aquifères. Parmi les quatre aquifères identifiés, les deux plus importants sont ceux des basaltes Plio-Quaternaires et des calcaires messiniens qui jouent un rôle crucial dans l'approvisionnement en eau de la région. La gestion durable de ces ressources est essentielle pour le développement futur de la région, et des recherches supplémentaires sont nécessaires pour approfondir la compréhension des processus hydrogéologiques en cours.

CHAPITRE III :

Étude
hydrochimique
des eaux
souterraines

III-1 INTRODUCTION :

Notre objectif principal était d'étudier la qualité des eaux souterraines de tous les points d'eaux exploités de la zone d'étude et faire une analyse statistique afin de déterminer leur aptitude à la consommation humaine et comprendre la relation entre les deux aquifères, mais malheureusement les services de l'ADE nous ont fournis les analyse physico-chimique que de quatre points : forages (Sidi Djaloul, AT1 Bis, AEK) et de la source (Aïn Tinekremnt) ;

L'analyse repose sur les données de prélèvements entre 2016 et 2023, réalisée au laboratoire de l'ADE de la wilaya de Aïn Témouchent. Elle comprend une évaluation de la fiabilité des analyses chimiques au moyen du calcul de la balance ionique, suivie d'une caractérisation des faciès chimiques à l'aide des diagrammes de Schoeller-Berkaloff, Stiff et Piper.

La seconde partie de l'étude porte sur l'examen détaillé des variations spatiales et temporelles des concentrations en ions majeurs (calcium, magnésium, sodium, potassium, bicarbonates, chlorures, sulfates et nitrates). Ces concentrations sont comparées aux normes de potabilité algériennes afin d'identifier d'éventuelles pollutions.

III-2. PRÉSENTATION DES DONNÉES :

Les prélèvements ont été effectués à la source Ain Tinekremnt et aux forages de Sidi Djaloul, AT1 Bis et AEK afin d'évaluer leur potabilité. Pour atteindre notre but de suivi qualitatif, nous avons demandé au service de l'ADE, des séries de 10 ans pour tous les points d'eau de la région d'étude (12 forages et source, figure 12), mais l'indisponibilité des analyses nous a poussé d'utiliser seulement des séries de 7 ans (2016, 2018-2023) pour le forage de Sidi Djaloul, 8 ans (2016-2023) pour la source d'Aïn Tinekremnt et ceux de l'année 2023 pour les forages AEK et AT1 Bis.

II-2-1. Fiabilité des analyses chimiques

La formule de la balance ionique a été utilisée pour vérifier la fiabilité des analyses hydrochimiques :

$$BI = \frac{(\sum[\text{cations}]_{\text{éq}} - \sum[\text{anions}]_{\text{éq}})}{(\sum[\text{cations}]_{\text{éq}} + \sum[\text{anions}]_{\text{éq}})} * 100$$

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

En utilisant cette formule, nous avons obtenu les résultats indiqués sur le tableau (09) ; Les analyses des échantillons du forage de Sidi Djaloul des années 2016 à 2022 sont de bonne qualité, à l'exception des années 2019 et 2023 qui sont acceptables. Les échantillons prélevés des années 2016, 2018, 2019 et 2023 de la source Ain Tinekremnt présentent une mauvaise analyse, tandis que ceux des années 2017 et 2022 sont acceptables. Enfin, les échantillons de 2020 et 2021 sont de bonne qualité d'analyse. L'échantillon prélevé du forage AT1 Bis présente une bonne qualité d'analyse. Quant à celui du forage AEK a une mauvaise analyse.

III-2-2. Faciès chimiques

Pour comprendre et confirmer la relation entre les points d'eau, nous avons utilisé l'analyse du faciès chimique, en utilisant les diagrammes de Schoeller-Berkaloff, de Stiff et de Piper :

a- Diagramme de Schoeller-Berkaloff :

Il s'agit d'un schéma graphique qui illustre les propriétés chimiques de multiples points d'eau. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée reliant des points correspondant aux concentrations de différents éléments chimiques. Ces concentrations sont affichées sur une échelle logarithmique à l'aide de lignes verticales. L'intersection des lignes brisées indique un changement de faciès chimique.

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff (figure 13) montre que ; les eaux d'Ain Tinkremnt sont chlorurées-calciques pour les trois années, et celles du Forage AT1 Bis sont chlorurées-magnésiennes, tandis que celles du Forage Sidi Djaloul présentent un changement de faciès entre chloruré-magnésien en 2016, 2018 et 2019, et chloruré-sodique les autres années.

Tableau (09) : Résultats de la balance ionique de la source et des forages étudiés

	Année	BI
Forage de Sidi Djaloul	2016	0,14
	2018	0,20
	2019	1,06
	2020	0,22
	2021	0,69
	2022	0,06
	2023	3,99
Source Ain Tinekremnt	2016	20,35
	2017	8,59
	2018	33,48
	2019	25,80
	2020	0,43
	2021	0,30
	2022	1,32
	2023	24,55
Forage AT1 Bis	2023	0,24
Forage AEK	2023	35,28

b- Diagramme de Stiff :

Le diagramme de Stiff est un outil largement employé en hydrogéologie pour représenter la distribution des concentrations d'ions dans les eaux souterraines. Il offre une visualisation claire de la répartition des cations et des anions dans un échantillon d'eau, et permet d'apprécier l'évolution temporelle de sa qualité en comparant les diagrammes de différents prélèvements réalisés à des moments distincts.

Les diagrammes de Stiff (figure 14) révèlent une diversité des eaux souterraines examinées. L'eau d'Ain Tinekremnt présente un caractère chloruré-calcique et bicarbonaté-sodique, tandis que celles du forage de Sidi Djaloul ont un caractère chloruré-magnésien (2016, 2018, 2019 et 2023). Les eaux sont plus riches en sodium et calcium les autres années. Le forage AT1 Bis présente une concentration plus importante en chlorure.

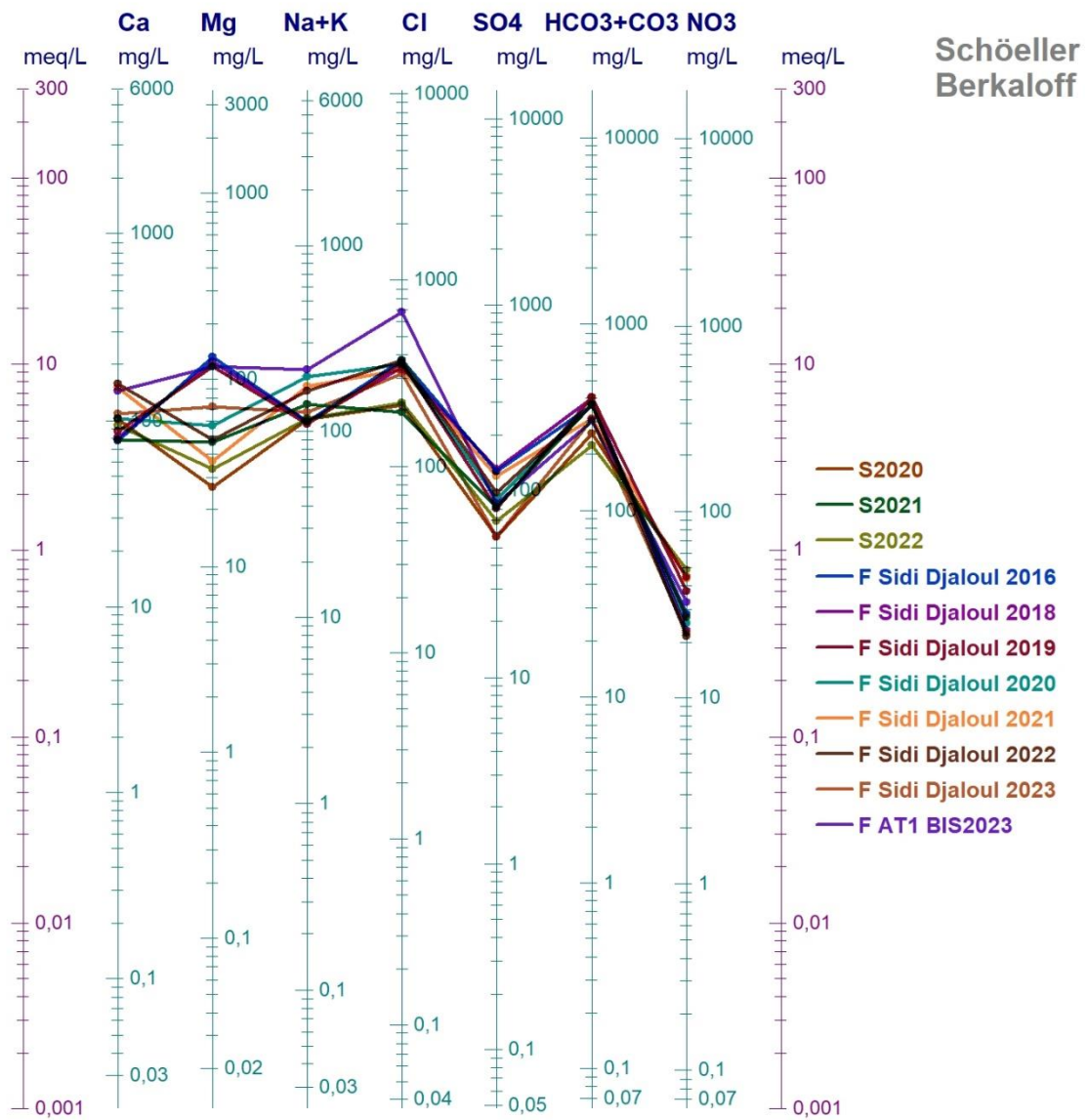


Figure 18 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux de la zone d'étude

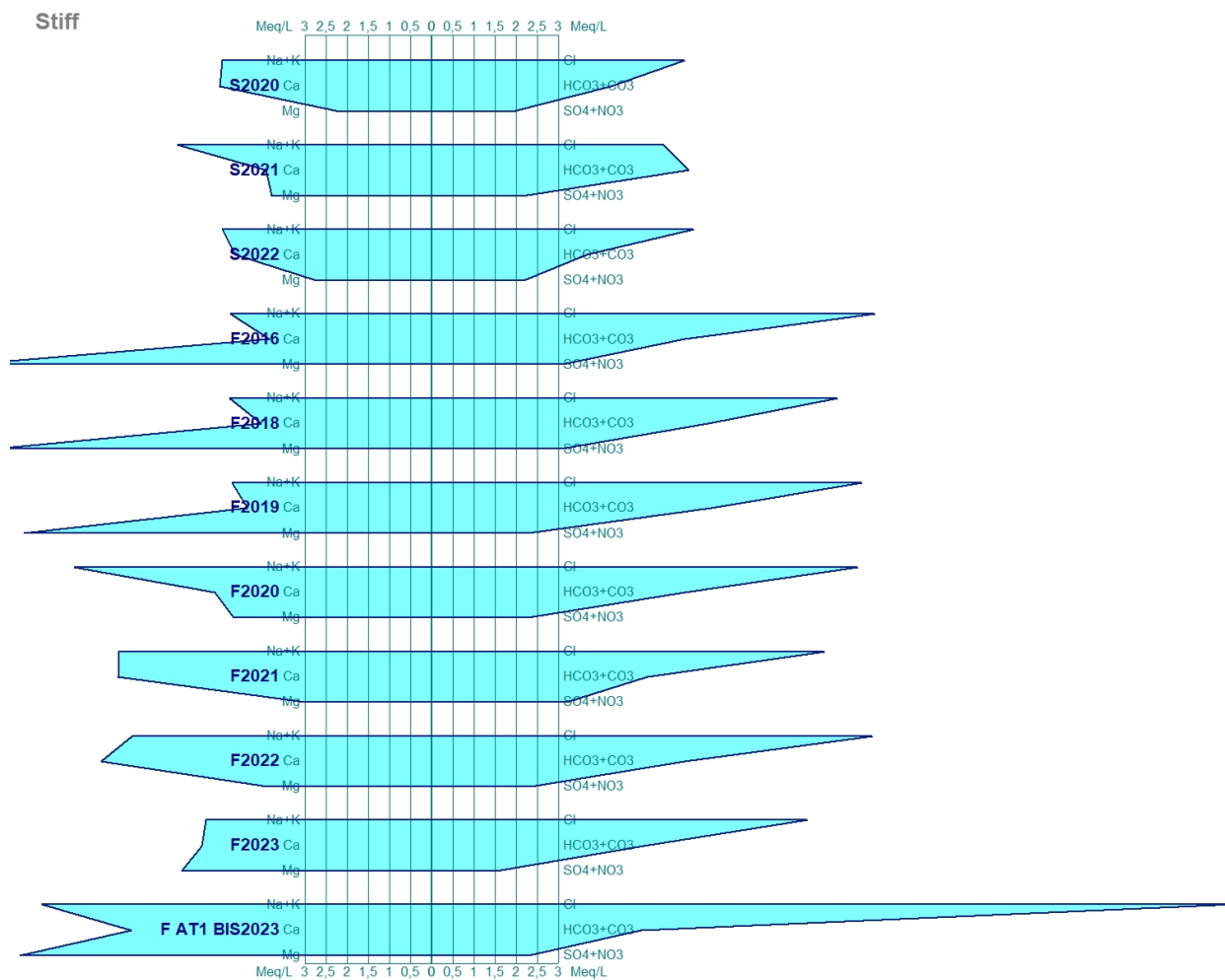


Figure 19 : Diagramme de Stiff des eaux de la zone d'étude

c- Diagramme de Piper :

Le diagramme de Piper est un outil graphique permet de préciser en premier lieu la dominance anionique et cationique et permet ainsi de présenter, sur un même graphique de nombreuses analyses autorisant des regroupements par famille d'un faciès similaire.

Le graphique de Piper met en évidence que l'anion dominant est le chlorure pour toutes les eaux mais celles-ci ne présentent aucun cation dominant sauf pour les trois années (2016, 2018 et 2019) des eaux de forage de Sidi Djaloul qui sont caractérisées par une dominance du magnésium.

Le caractère doux et légèrement de l'eau d'Ain Tinkremnt est présent, tandis que l'eau du forage Sidi Djaloul et AT1 Bis sont riches en sulfates, chlorures et nitrates. Ces variations de structure témoignent des interactions géochimiques différentes auxquelles les eaux ont été confrontées pendant leur circulation dans l'aquifère.

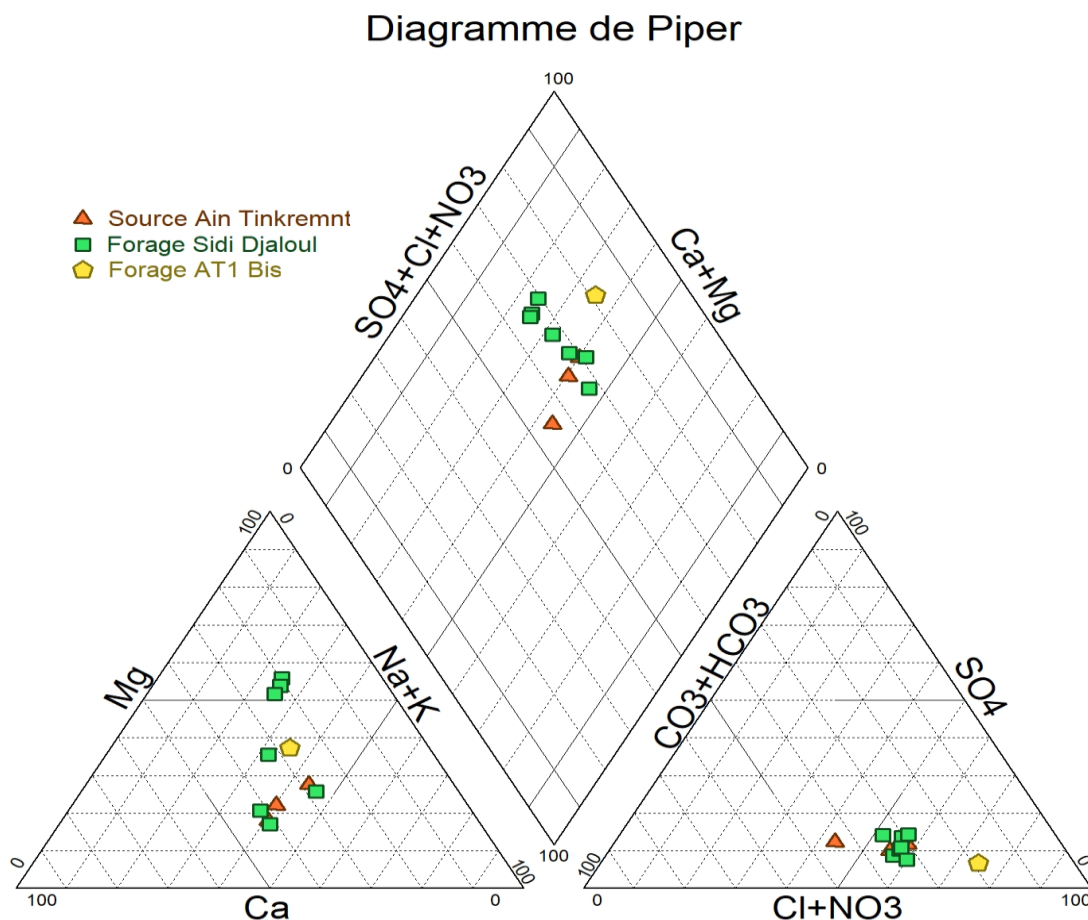


Figure 20 : Diagramme de Piper des eaux des forages étudiés.

III-2-3. Variation spatiale et temporelle des caractéristiques physico-chimiques des eaux :

Les concentrations des principaux éléments : cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) et anions (Cl^- , HCO_3^-) et indicateurs de pollution (SO_4^{2-} , NO_3^-) est la seule information dont nous disposons. En les comparant aux normes de potabilité établies en Algérie dans le Journal Officiel de 2014, nous allons les présenter ci-dessous.

III-2-3-1. Cations :

a-Calcium :

Le calcium, métal alcalino-terreux par excellence, est largement répandu dans la nature, avec une présence notable dans les roches calcaires riches en carbonate. Ces formations géologiques, composées principalement de carbonate de calcium, abondent dans divers environnements

terrestres, résultant souvent de processus géologiques millénaires tels que la sédimentation et la consolidation des coquilles et des squelettes marins.

La teneur en calcium dans le Forage Sidi Djaloul varie entre 77,5 mg/L en 2016 et 157 mg/L en 2022. Les données de Source Ain Tinkremnt révèlent des fluctuations irrégulières, avec un maximum de 101,2 mg/L en 2020. En 2023, la concentration de calcium dans le forage ATI1 Bis est de 143,1 mg/L. Toutes les eaux ne dépassent pas la norme (figure 16).

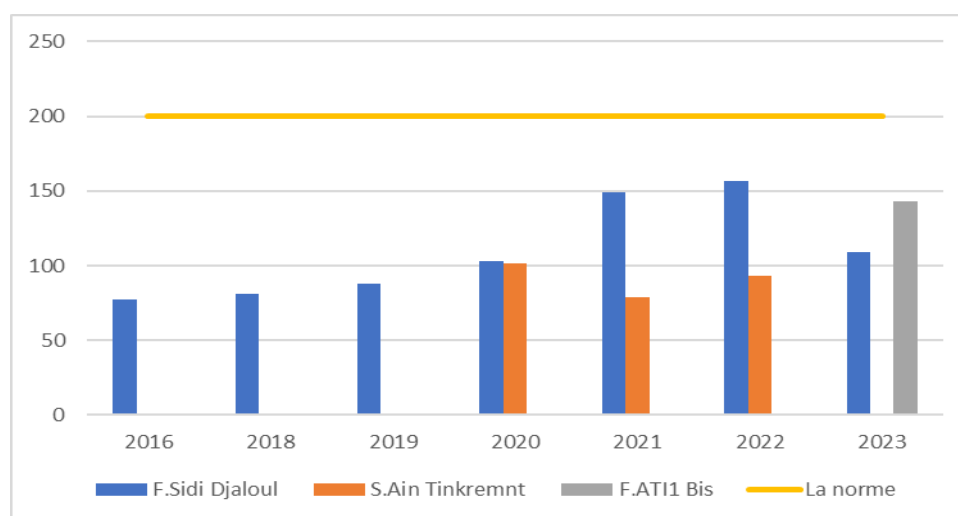


Figure 21 : Variation spatio-temporelle de l'ion calcium des points d'eau utilisés

b-Magnésium :

Le magnésium se distingue par son abondance dans le monde naturel, constituant environ 2,1% de la croûte terrestre. Sa présence s'étend à divers contextes géologiques, influençant sa concentration dans l'eau. La teneur en magnésium des eaux souterraines et de surface varie en fonction des caractéristiques du terrain traversé.

La figure 17 montre que la teneur en magnésium dans le forage de Sidi Djaloul très variable entre 47,4 mg/L en 2022 et 132,8 mg/L en 2016. Pour Source Ain Tinkremnt, les concentrations restent plus faibles de 26,6 mg/L en 2020 et 46,3 mg/L en 2021. Les informations concernant le forage ATI1 Bis en 2023 révèlent une teneur en magnésium de 118,64 mg/L. Toutes les concentrations sont inférieures à la norme.

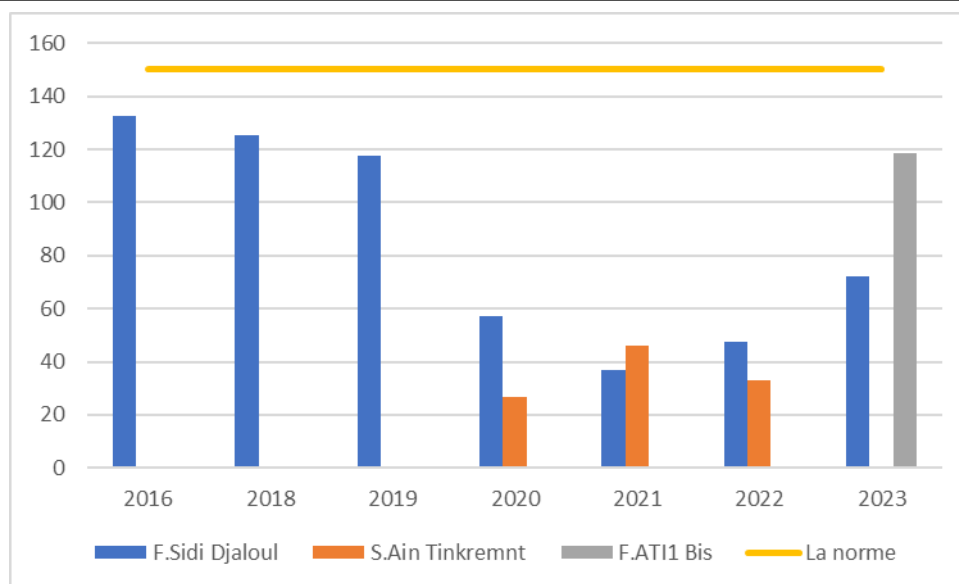


Figure 22 : Variation spatio-temporelle de l'ion magnésium des points d'eau utilisés.

c- Sodium :

Le sodium est un élément omniprésent dans l'eau naturelle, mais sa concentration varie considérablement d'une source à l'autre. Cette variation s'explique par plusieurs facteurs, dont l'origine géologique de l'eau, l'interaction avec les roches et les sols, et l'influence des activités humaines.

L'analyse de la concentration de sodium entre 2016 et 2023 révèle une variation irrégulière dont les teneurs varient entre 110 mg/L et un maximum de 190,6 mg/L. Cependant, ces valeurs demeurent inférieures à la norme acceptable. D'autre part, la source Ain Tinkremnt présente un minimum en 2022 (110,8 mg/L) et un maximum en 2021 (137 mg/L). Le forage AT11 Bis a une concentration en sodium de 207,9 mg/L au-delà de la norme de 200 mg/L.

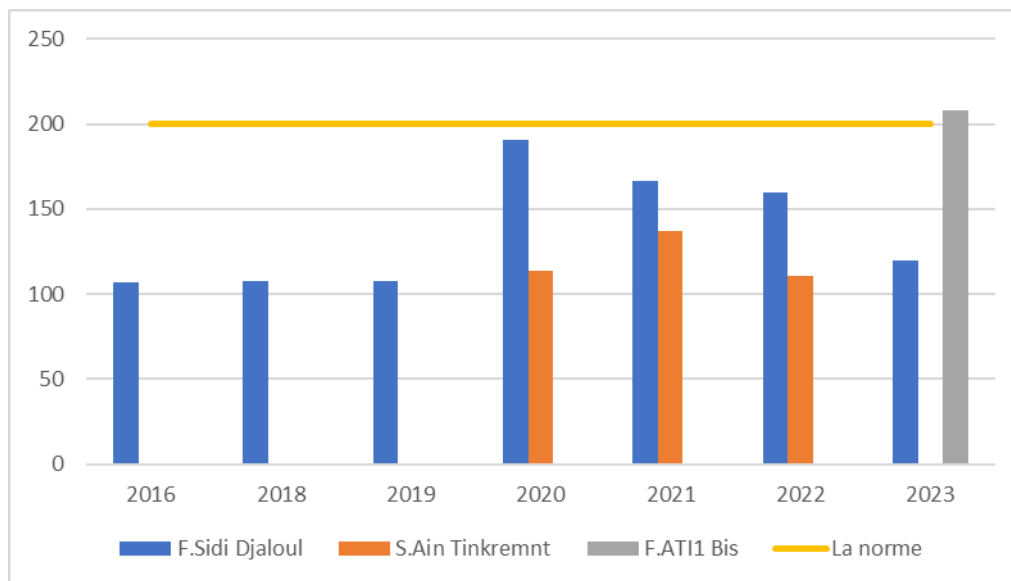


Figure 23 : Variation spatio-temporelle de l'ion Sodium des points d'eau utilisés.

d- Potassium :

Bien que les roches ignées présentent des teneurs en potassium et en sodium généralement similaires, une observation intrigante réside dans le fait que la valeur de potassium mesurée dans l'eau provenant de ces formations rocheuses se trouve souvent en dessous de la norme de potabilité de 12 mg/L.

La teneur en potassium dans le forage de Sidi Djaloul fluctue entre 1,88 mg/L en 2019 et 7,3 mg/L en 2021. Les informations disponibles concernant la source Ain Tinkremnt indiquent des concentrations de 1,8 mg/L en 2020 et 6,24 mg/L en 2022. En 2023, l'analyse du forage AT11 Bis révèle une teneur en potassium de 7,41 mg/L. Ces valeurs restent largement inférieures à la norme de 12 mg/L (figure 19).

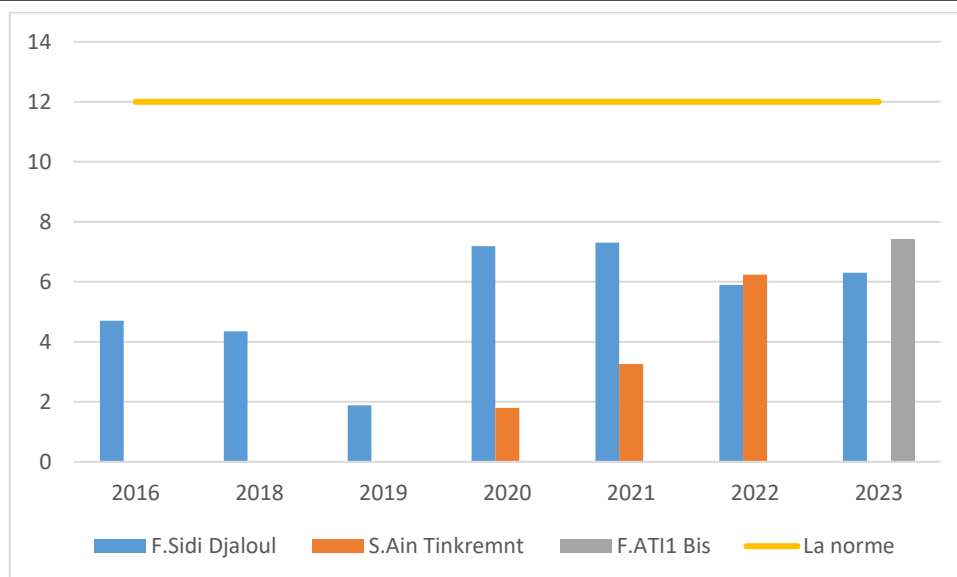


Figure 24 : Variation spatio-temporelle de l'ion Potassium des points d'eau utilisés.

III-2-3-2. Anions :

a- Bicarbonate :

Les ions bicarbonates, ces acteurs essentiels de la chimie de l'eau, naissent de la dissolution des minéraux carbonatés très abondants dans la croûte terrestre.

Les variations des concentrations d'ions bicarbonates dans les différents sites étudiés révèlent des tendances distinctes. Au niveau du Forage Sidi Djaloul, la concentration est demeurée relativement stable autour de 366 mg/L en 2016, 2019 et 2020. Cependant, une augmentation significative a été observée en 2018, atteignant 405,1 mg/L, suivie d'une baisse marquée en 2021 à 312,3 mg/L. En contraste, à la Source Ain Tinkremnt, la concentration varie entre 224 mg/L en 2022 et 372,1 mg/L en 2021. Enfin, pour le Forage ATI1 Bis, la concentration en bicarbonate était de 302,5 mg/L en 2023 (figure 20). Ces variations soulignent la dynamique complexe de la dissolution des formations carbonatées dans l'eau.

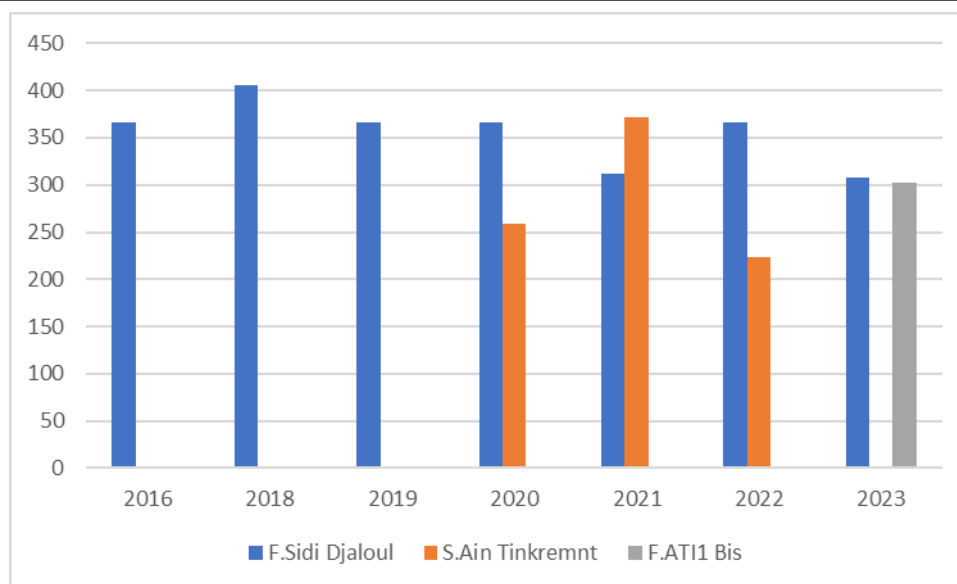


Figure 25 : Variation spatio-temporelle de l'ion Bicarbonate des points d'eau utilisés.

b- Chlorure :

Les chlorures, ces ions omniprésents dans l'eau souterraine, jouent un rôle crucial en tant qu'indicateurs de sa salinité. Cette salinité, résultant d'une multitude de facteurs, peut compromettre la qualité de l'eau pour la consommation humaine et l'irrigation.

La figure 21 présente les concentrations en ions chlorure pour différentes années et sites. Au niveau du Forage Sidi Djaloul, la concentration est relativement stable autour de 350 mg/L inférieur à la norme. Pour la Source Ain Tinkremnt, les données révèlent une concentration qui varie entre 195 mg/L et 220mg/L, elle reste en dessous de la norme. En ce qui concerne Forage ATI1 Bis, pour l'année 2023, la concentration en ions chlorure était notablement élevée, atteignant 673,6 mg/L, dépassant largement la norme établie à 500 mg/L.

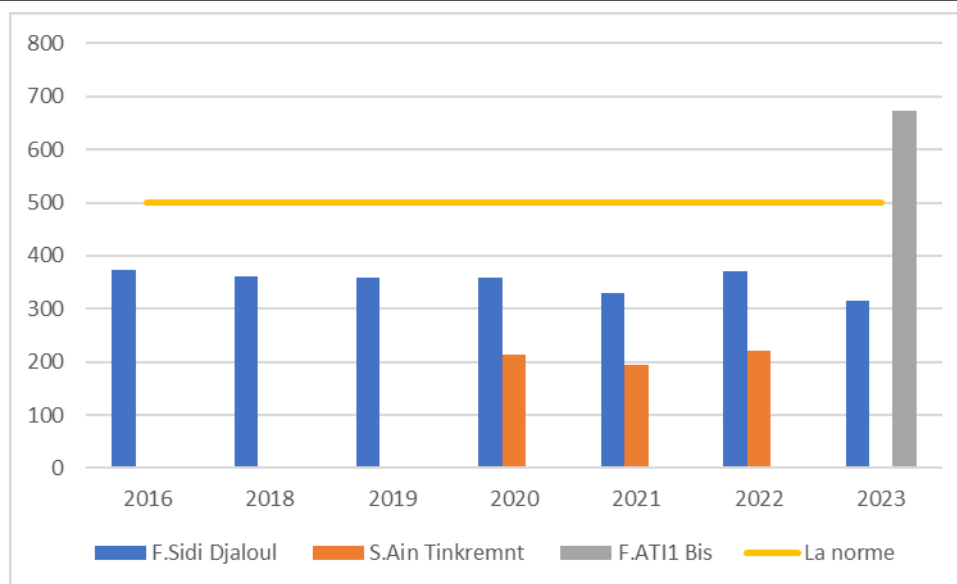


Figure 26 : Variation spatio-temporelle de l'ion Chlorure des points d'eau utilisés.

c- Sulfate :

Le sulfate, présent dans les eaux naturelles de manière générale, est le résultat d'une interaction complexe entre la géologie, l'oxygène et les activités humaines. Il est essentiel de saisir son origine, ses éventuelles conséquences et les mesures de gestion appropriées afin de préserver la qualité de l'eau.

La représentation graphique du forage Sidi Djaloul montre de stable variation de la teneur en sulfate au fil des années, variant entre 57 mg/L en 2023 et 128 mg/L en 2016. Cette concentration reste inférieure à la norme. Pour Source Ain Tinkremnt, la concentration en sulfate était de 57,2 mg/L en 2020, et à 82,17 mg/L en 2021 restant en dessous de la norme. Quant à Forage ATI1 Bis en 2023, la concentration en sulfate était de 85,61 mg/L.

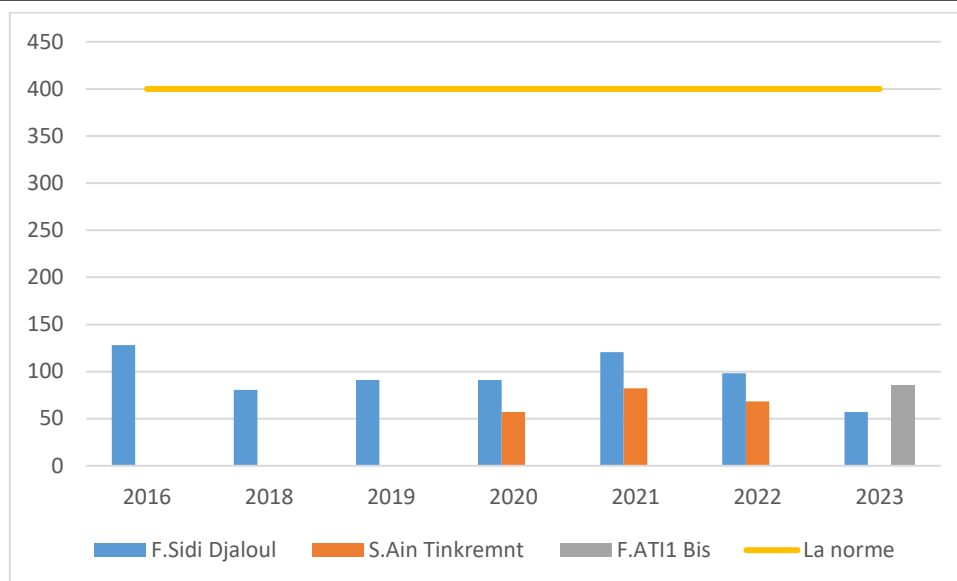


Figure 27 : Variation spatio-temporelle de l'ion sulfate des points d'eau utilisés.

d-Nitrate :

Les nitrates sont des composés chimiques naturellement présents dans l'environnement, notamment dans les sols et les eaux. Toutefois, une augmentation notable de leur concentration a été constatée récemment, principalement en raison de la pollution d'origine humaine, notamment issue des activités agricoles.

Les résultats indiquent des différences dans les niveaux de nitrate pour chaque site et chaque année. Dans le cas de Forage Sidi Djaloul, les niveaux étaient habituellement inférieurs à la norme de 50 mg/L, avec une légère hausse en 2021 (43,63 mg/L). D'autre part, les eaux de la source Ain Tinkremnt, les concentrations ne sont pas au-delà de la norme. Les niveaux étaient de 44,3 mg/L en 2020 et de 48,7 mg/L en 2022, mais ils ont diminué en 2021 à 27,0 mg/L. Finalement, en 2023, la concentration du forage ATI1 Bis était de 32,56 mg/L, ce qui reste également inférieur à la norme (figure 23).

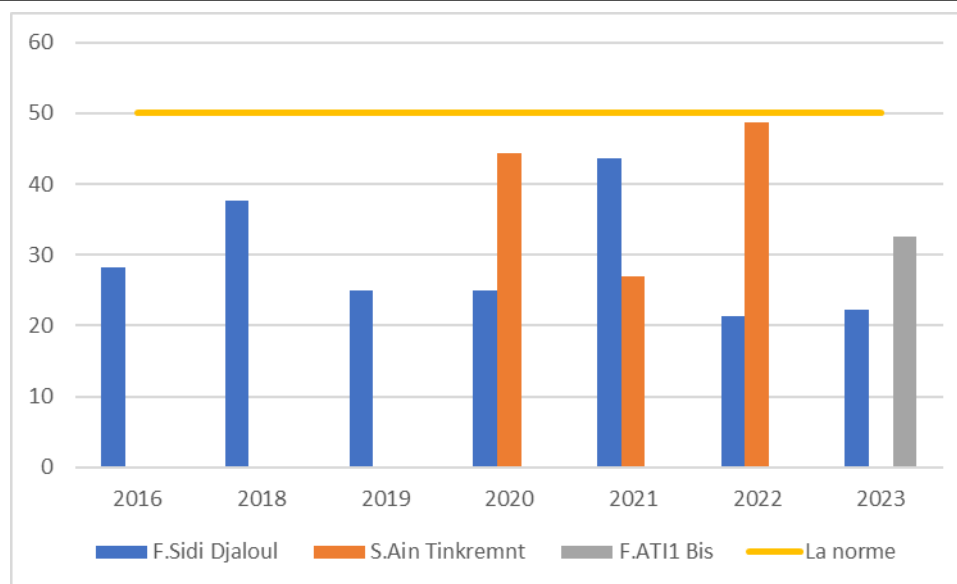


Figure 28 : Variation spatio-temporelle de l'ion nitrate des points d'eau utilisés.

III-3. Conclusion :

Le faciès chimique des eaux étudiées montre que les eaux de forage de Sidi Djaloul sont toutes de la même famille « Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne », avec une dominance de l'anion chlorure et du cation magnésium pour forage de Sidi Djaloul.

Les analyses des paramètres hydrochimiques des forages de Sidi Djaloul et ATI1 Bis, ainsi que de la source Ain Tinkremnt, indiquent des caractéristiques hydrochimiques assez similaires et des compositions chimiques qui répondent aux normes de qualité de l'eau en Algérie, en la grande majorité, à la consommation humaine. Les résultats montrent une stabilité des concentrations en éléments clés tels que le calcium, le magnésium et le potassium, avec des niveaux globalement conformes aux normes établies. De plus, les concentrations en nitrates et en chlorures restent en dessous des limites maximales autorisées, garantissant une bonne qualité de l'eau pour la consommation. La source de Ain Tinkremnt présente des concentrations en composés chimiques qui demeurent stables et respectent les normes établies. Il est important de souligner qu'une surveillance continue est primordiale pour préserver la qualité de l'eau et prévenir toute éventuelle contamination à l'avenir.

III-4. Partie pratique

III-4-1. INTRODUCTION :

Dans cette section, nous allons analyser tous les paramètres en effectuant une étude expérimentale dans le laboratoire de l'ADE de Ain Témouchent. Cette étude consistera à réaliser des analyses physico-chimiques et bactériologiques la source de Ain Tinkremnt.

III-4-2. PRÉSENTATION DE L'ADE UNITE DE AIN TEMOUCHENT :

La wilaya d'Ain Témouchent a été dotée d'une unité d'Algérienne Des Eaux qui gère 28 communes de la wilaya l'objectif essentiel est:

- L'exploitation (gestion et maintenance) des systèmes et installation permettant la production, le traitement, le transfert, le stockage et la distribution de l'eau potable à travers le territoire.
- Le service public de l'eau potable visant à assurer la disponibilité de l'eau aux citoyens.
- La normalisation et la surveillance de la qualité de l'eau distribuée.

La wilaya d'Ain Témouchent bénéficie d'une alimentation provenant d'un mélange de divers points de productio :

- Eaux superficielles (Station de traitement Dzioua).
- Eaux Souterraines (Sources, forages, puits).
- Eaux de dessalement (Station de dessalement Chatt El Hillal).

III-4-3. ÉCHANTILLONNAGE :

Il est essentiel que l'échantillon soit homogène et représentatif afin de préserver les caractéristiques de l'eau. On a effectué une analyse des eaux de sources d'Ain Tinkremnt.



Figure 29 : Chambre de captage de la source d'Ain Tinkremnt supérieur (03_12_2023) .

III-4-3-1. Echantillons destinés au laboratoire des analyses physico-chimiques :

Les échantillons sont collectés dans des bouteilles de 1,5 litre en P.E.T (Polyéthylène). Les bouteilles sont rincées à plusieurs reprises avec de l'eau à analyser, puis elles sont complètement remplies afin d'éviter toute entrée d'air.

Les bouteilles et les flacons sont marqués afin de les identifier plus facilement. Le nom de la source indiqué par un code, la date, l'heure de prélèvement et la température de l'eau ainsi que celle de l'environnement doivent être affichés sur chaque étiquette.

III-4-3-2. Echantillons destinés au laboratoire des analyses bactériologiques :

On effectue correctement l'échantillonnage d'eau pour les analyses microbiologiques, dans un récipient stérile, afin d'éviter toute contamination accidentelle. L'échantillonnage implique la collecte d'eau dans des flacons en verre préalablement nettoyés et stérilisés. Les bouchons sont placés de manière à éviter toute entrée de bulles d'air.

III-4-4.LES ANALYSES ORGANOLEPTIQUES :

Il est important de prendre en compte les diverses caractéristiques organoleptiques lors du prélèvement, car certaines odeurs peuvent s'évanouir pendant le transport ou modifier l'apparence de l'échantillon.

III-4-4-1. Teste de la couleur :

Pour tester la couleur de l'eau on utilise le spectrophotomètre UV/Visible.



Figure 30 : Spectrophotomètre

Mode opératoire :

- Remplir une cuve avec 10 ml d'eau distillée pour préparer le blanc, dont l'absorbance sera de 0.
- Sélectionner le programme de mesure de la couleur sur l'appareil.
- Placer la cuve contenant le blanc dans l'appareil ; celui-ci affichera une valeur de zéro.
- Remplacer la cuve de blanc par la cuve contenant l'échantillon. L'appareil indiquera alors la teneur en platine en mg/l.

III-4-4-2. Test de l'odeur :

On a évalué l'odeur en utilisant simplement l'organe olfactif lors du prélèvement de l'eau.

Il est possible de détecter une odeur désagréable en observant la différence après avoir passé sur du charbon, tandis que les eaux potables n'ont aucune odeur.

III-4-4-3. La turbidité :

On mesure la turbidité par un Turbidimètre. La norme de turbidité est 5 NTU.



Figure 31 : Turbidimètre

III-4-5. ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES :**III-4-5-1. La conductivité :**

Dans un premier temps, il est nécessaire de calibrer l'appareil avec (kcl = 1000), puis de réaliser le premier prélèvement et de mesurer la conductivité. La valeur affichée, qui représente la conductivité et la température, est lue.



Figure 32 : Conductivimètre.

III-4-5-2. Le pH :

Tout d'abord, il faut vérifier la précision du pH-mètre en utilisant une solution tampon de pH 7. Deuxièmement, évaluez le pH de l'échantillon collecté. Analysez et consignez les données obtenues concernant le pH et la température de l'échantillon.

III-4-5-3. Détermination de l'alcalinité :

➤ Principe :

Évaluation des quantités successives d'acide fort en solution diluée requises pour neutraliser à des pH de 8,3 et 4.3. Le volume d'eau à analyser est utilisé pour calculer le titre alcalimétrique (TA), tandis que la seconde détermination permet de calculer le titre alcalimétrique complet (TAC).

➤ Réactifs :

- Solution de HCl 0.1N.
- Solution de phénolphtaléine à 0,5 %.
- Méthyle orange à 0,5 %.
- Solution de vert de bromocrésol.

- Titre Alcalimétrique (TA) :
 - Prélever 10 ml d'eau à analyser.
 - Ajouter quelques gouttes de solution alcoolique de phénolphaléine, ce qui peut entraîner deux résultats :
 - Si la solution devient rose, titrer avec la solution de HCl 0.1N jusqu'à ce que la solution se décolore.
 - Si la solution reste incolore, le titre alcalimétrique est nul.
- Titre Alcalimétrique Complet (TAC) :
 - Prélever à nouveau 10 ml d'eau.
 - Ajouter quelques gouttes de solution de vert de bromocrésol.
 - Titrer avec la solution de HCl 0.1N jusqu'à ce que la solution prenne une couleur jaune-orange.
- Expression des résultats :

$$\mathbf{TA = N \times V \times 1000 / V_o \times 50}$$

Si : La couleur ne change pas $TA = 0$

La valeur de TAC est calculé par :

$$\mathbf{TAC = N \times V \times 1000 / V_o \text{ (meq)} / 1 \times 50}$$

Soit :

V_o : la prise d'essai

V : le volume de HCl

N : la normalité de HCl

III-4-5-4. Détermination de bicarbonates (HCO₃⁻) :

➤ Principe :

Le TAC est utilisé pour calculer la concentration en bicarbonates, qui est exprimée en mg/l de HCO₃⁻, car l'alcalinité correspond à la totalité des bicarbonates et des carbonates.

➤ Expression utilisée :

$$\text{HCO}_3^- = (\text{TAC}/50) \times 61$$

III-4-5-5. Détermination de la dureté totale (TH) :

➤ Principe :

Les composés alcalino-terreux de l'eau sont influencés par le sel disodique de l'acide éthylène diamine tétra acétique (E.D.T.A.) pour former un complexe de type chélate. Le virage d'indicateur en milieu tamponné permet de détecter la disparition des dernières traces d'éléments à doser afin d'éviter la précipitation de magnésium. Cette méthode permet de mesurer la somme des ions de calcium et de magnésium.

➤ Réactifs :

- Solution d'EDTA disodique 0.02N
- Indicateur NET 0,4 %
- Solution tampon (pH = 10)

➤ Mode opératoire :

- Prélever 10 ml d'eau et les verser dans un erlenmeyer de 100 ml.
- Ajouter 0,5 ml de solution tampon.
- Ajouter quelques gouttes de l'indicateur coloré NET.
- Titrer avec la solution d'EDTA disodique jusqu'à ce que la solution prenne une coloration bleu-vert.

➤ Expression des résultats :

La dureté totale est calculé par :

$$TH = N \times V \times 1000 / V_0 \text{meq} / l \times 50$$

Soit : V_0 : la prise d'essai :

V : le volume d'EDTA disodique versé jusqu'à le virage.

N : Normalité d'EDTA (0.02N)

III-4-5-6. Détermination de la dureté calcique :

➤ Principe :

Analyse des ions de calcium à l'aide d'une solution aqueuse d'EDTA à un pH de 12 à 13. Le murexide est utilisé comme indicateur, formant un complexe rose avec le calcium. Au moment du titrage, l'EDTA interagit avec les ions calcium, ce qui entraîne une transition de la couleur rose à la couleur violette.

➤ Réactifs :

- Solution d'EDTA 0.02N
- Solution de soude concentrée (NaOH)
- Indicateur coloré de murexide en poudre

➤ Mode opératoire :

- Prélever 10 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 0,4 ml de solution de NaOH.
- Ajouter une pincée de murexide en poudre.
- Titrer avec la solution d'EDTA jusqu'à ce que la solution prenne une coloration violette.

➤ Expression des résultats :

La formule de la dureté calcique est la suivante :

$$Ca^{2+} = N \times V \times (1000 / V_0) \times 20 \text{ mg/l}$$

Soit : V_0 : la prise d'essai

V : le volume d'EDTA serve au dosage.

N : la normalité d'EDTA

III-4-5-7. Détermination de la dureté magnésienne :

➤ Principe :

La dureté du magnésium est la quantité totale de sels de magnésium. La quantité de cette dureté peut être calculée en fonction des concentrations de la dureté totale et calcique selon la formule suivante :

➤ Expression utilisée :

$$D_{Mg} = TH - DCa \times 2 \text{ mg/l}$$

$$Mg^{2+} = (TH - Ca^{2+}) / 20 \times 12 \text{ mg/l}$$

III-4-5-8. Détermination des chlorures :

➤ Principe :

Le chlorure d'argent insoluble est produit par réaction des ions chlorures avec des ions argent, ce qui entraîne une précipitation quantitative. Le chromate d'argent brun-rouge est formé par l'ajout d'un petit excès d'ions argent, avec des ions chromates ajoutés comme indicateur. On utilise cette réaction pour indiquer le virage. Lors du titrage, on maintient le pH entre 5 et 9,5 pour favoriser la précipitation.

➤ Réactifs :

- Solution de chromate de potassium à 10 %
- Solution de nitrate d'argent à 0.1N

➤ Mode opératoire :

- Prélever 10 ml d'eau.
- Ajouter quelques gouttes de solution de chromate de potassium.
- Titrer avec la solution de nitrate d'argent jusqu'à l'apparition d'une coloration rouge brique.

➤ Expression des résultats :

La teneur en chlorures est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$Cl^- = (N \times V \times 1000 / V_0) \times 35.45 \text{ mg/l}$$

Où :

V_0 : le volume de l'échantillon

V : le volume de nitrate d'argent versé jusqu'au changement de couleur

N : la concentration de la solution de nitrate d'argent (0.02 N)

III-4-5-9. Détermination des sulfates (SO_4^{2-}) :

Plusieurs méthodes sont utilisées pour mesurer les ions de sulfates présents dans l'eau, ce qui peut la rendre impropre à l'utilisation. L'une d'entre elles est le spectrophotomètre UV Visible.

a-Mesures et calcul du résultat : Les résultats sont affichés directement par le spectromètre UV - Visible en mg / l



Figure 33 : Spectrophotomètre

III-4-5-10. Détermination de phosphate et phosphore :

- Réactifs :
 - Acide ascorbique
 - Réactif mélangé
- Mode opératoire :
 - Mettre 40 ml de l'échantillon dans une fiole jaugée de 50 ml.
 - Ajouter 1 ml d'acide ascorbique.
 - Ajouter 2 ml de réactif mélangé.
 - Compléter jusqu'à 50 ml avec de l'eau distillée.
 - Attendre 10 minutes pour la réaction.
 - Préparer le blanc en mettant 10 ml d'eau distillée dans une cuve ; l'absorbance doit être de 0.
 - Sélectionner le programme de mesure des phosphates sur l'appareil.
 - Placer la cuve contenant le blanc dans l'appareil pour calibrer à zéro.
 - Remplacer la cuve de blanc par celle contenant l'échantillon. L'appareil affichera la teneur en phosphate en mg/l.
 - Appuyer sur le bouton (P) phosphore pour afficher la concentration de P sur l'écran.

III-4-5-11. Détermination des Nitrates :

On peut utiliser cette méthode pour mesurer les niveaux de nitrates dans les eaux de distribution, souterraines et superficielles.

Les nitrates produisent du paranitro-salicylate de sodium en présence de salicylate de sodium, qui est coloré en jaune et peut être dosé colorimétriquement.

- Réactifs :
 - Solution de salicylate de sodium à 0,5 %
 - Solution d'hydroxyde de sodium à 30 %
 - Solution de tartrate double de sodium et de potassium
 - Acide sulfurique (H_2SO_4) en solution
 - Solution mère de nitrate à 1000 mg/l
 - Solution étalon de nitrate à 10 mg/l

- Mode opératoire :
 - Introduire 10 ml de l'eau à analyser.
 - Ajouter 3 gouttes de solution d'hydroxyde de sodium à 30 %.
 - Ajouter 1 ml de solution de salicylate de sodium à 0,5 %.
 - Évaporer à sec au bain-marie ou à l'étuve à 75-88 °C.
 - Dissoudre le résidu avec 2 ml d'acide sulfurique concentré.
 - Laisser reposer pendant 10 minutes.
 - Ajouter 15 ml d'eau distillée.
 - Ajouter 15 ml de solution de tartrate double de sodium et de potassium.
 - Faire la lecture au spectromètre UV-Visible à une longueur d'onde de 415 nm.

III-4-5-12. Détermination d'ammonium : (NH₄)

- Principe :

On effectue la mesure spectrométrique en utilisant un composé bleu que l'ammonium forme en réaction avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitroprussiate de sodium. L'hydrolyse alcaline du sel de sodium du dichloroisocyanurate de sodium produit des ions hypochlorite in situ.

- Réactifs :
 - Solution colorée homogénéisée
 - Solution de dichloroisocyanurate de sodium
- Mode opératoire :
 - Mettre 40 ml d'eau à analyser dans une fiole jaugée de 50 ml.
 - Ajouter 4 ml de solution de salicylate et 4 ml de solution de dichloroisocyanurate de sodium.
 - Compléter jusqu'à 50 ml avec de l'eau distillée.
 - Laisser reposer pendant une heure.
 - Préparer un blanc en mettant 10 ml d'eau distillée dans une cuve ; l'absorbance doit être de 0.
 - Sélectionner le programme d'AMMONIUM sur l'appareil.
 - Placer la cuve contenant le blanc dans l'appareil pour calibrer à zéro.
 - Remplacer la cuve de blanc par celle contenant l'échantillon. L'appareil affichera alors la teneur en ammonium en mg/l.

III-4-5-13. Détermination de nitrite :

➤ Principe :

Réaction des ions nitrites : Les ions nitrites présents dans un échantillon réagissent à pH 1,9 avec le réactif amino-4 benzène sulfonamide en présence d'acide orthophosphorique pour former un sel diazoïque. Ce sel diazoïque forme ensuite un complexe de couleur rose avec le dichlorhydrate de N-(naphtyl-1)-diaminoéthane-1,2, ajouté avec le réactif amino-4 benzène sulfonamide. L'absorbance de ce complexe est mesurée à 540 nm.

Minéralisation de la matière organique et nitrification : La matière organique présente dans le sol est minéralisée par des micro-organismes. L'azote minéral ainsi produit est ensuite transformé par des bactéries aérobies en nitrates. Ce processus, appelé nitrification, comporte deux étapes : la nitritation, qui produit des nitrites (NO_2^-), et la nitratisation, qui transforme les nitrites en nitrates. Si les conditions environnementales le permettent, les nitrates seront utilisés par des bactéries anaérobies comme source d'énergie et transformés en azote gazeux. Les nitrates peuvent également s'adsorber et se fixer sur les argiles et l'humus.

Les nitrites sont les sels de l'acide nitreux, un acide instable de formule HNO_2 . La formule de l'ion nitrite est NO_2^- . Le processus de transformation de l'azote est le suivant :

Matière organique → (ammonification) → NH_4^+ → (oxydation l'ammonium) → NO_2^- (oxydation du nitrite) → NO_3^- .

➤ Réactifs :

- Réactif coloré mixte pour nitrites

➤ Mode opératoire :

- Mettre 40 ml d'eau à analyser dans une fiole jaugée de 50 ml.
- Ajouter 1 ml de réactif coloré.
- Compléter jusqu'à 50 ml avec de l'eau distillée.
- Laisser reposer pendant 20 minutes.
- Préparer un blanc en mettant 10 ml d'eau distillée dans une cuve ; l'absorbance doit être de 0.
- Sélectionner le programme de mesure des NITRITES sur l'appareil.
- Placer la cuve contenant le blanc dans l'appareil pour calibrer à zéro.

- Remplacer la cuve de blanc par celle contenant l'échantillon. L'appareil affichera alors la teneur en nitrites en mg/l.

III-4-6. ANALYSES BACTERIOLOGIQUE :

En général, pour effectuer le dénombrement par filtration sur membrane, on utilise un ester de cellulose avec une porosité de 0,22 μm ou 0,45 μm , qui peut retenir les bactéries.



Figure 34 : Appareil de la filtration sur membrane.

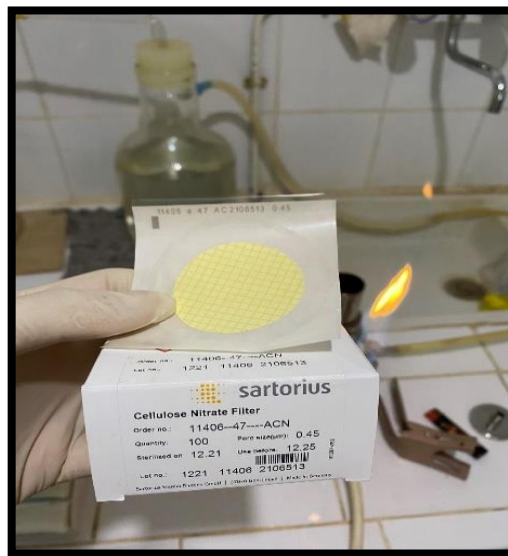


Figure 35 : Membrane de porosité 0,22 μm . Figure 36 : Membrane de porosité 0,45 μm .

III-4-6-1. Recherche et dénombrement des Escherichia coli et bactéries coliformes :

Selon cette approche, les coliformes désignent les bacilles Gram-négatifs qui peuvent être aérobies ou anaérobies, mais qui ne sont pas sporulés. Ils ne disposent pas de doxydase capable de se multiplier en présence de sels biliaries et de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz.

Une période de 24 à 48 heures à une température allant de 36 à 37°C. Les propriétés des coliformes thermo-tolérants sont identiques à celles des coliformes, mais à une température de $42 \pm 2^\circ\text{C}$. Les Escherichia coli sont des bactéries thermo-tolérantes qui ont la capacité de générer de l'indole en utilisant le tryptophane présent dans l'environnement à une température de $42 \pm 2^\circ\text{C}$.

➤ Mode opératoire :

La recherche de bactéries coliformes par filtration membranaire nécessite une préparation préalable qui se déroule selon les étapes suivantes :

- Stériliser l'entonnoir gradué en acier inoxydable et la membrane poreuse à l'aide d'un bec Bunsen.
- Refroidir immédiatement ces éléments avec l'eau à analyser, si elle est en quantité suffisante, ou avec de l'eau distillée stérile.

- Placer une membrane de porosité nominale de $0,45 \mu\text{m}$ entre la membrane poreuse et l'entonnoir en utilisant des pinces stériles.
- Fixer l'ensemble avec le clip correspondant.
- Déposer ensuite 100 ou 250 ml d'eau à analyser devant un bec Bunsen.
- Activez la pompe à vide pour aspirer l'eau à travers la membrane.
- Retirez l'entonnoir.
- Transférez immédiatement et aseptiquement la membrane, à l'aide de pinces stériles recouvertes de mousse, sur la surface d'une gélose TTC (chlorure de triphényltétrazolium) préalablement préparée.



Figure 37 : Déposer l'eau de prélèvement dans l'appareil de filtration.

Il sera incubé avec un couvercle fermé à une température de $35 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 21 ± 3 heures, voire 44 ± 4 heures, et sera utilisé pour identifier les bactéries coliformes, puis pour identifier biochimiquement *Escherichia coli*.



Figure 38 : Incubateur.

➤ Lecture et interprétation :

Après la durée d'incubation spécifiée, il est nécessaire de mesurer les colonies caractéristiques qui se manifestent sous la forme de petites colonies lisses légèrement bombées aux contours réguliers et colorées en jaune orangé ou jaune (lactose positive).

Sélectionnez 5 à 10 colonies au hasard afin de confirmer l'existence de l'oxydase d'une part et de la production d'indole d'autre part.

➤ Mode opératoire pour le test d'oxydase :

- Pour les besoins de ce test, commencez par repiquer de 5 à 10 colonies sur une gélose TSA (caséine).
- Incubez à $36 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 21 ± 2 heures.
- Ensuite, réalisez le test de l'une des manières suivantes :
- Imbiber un disque d'oxydase avec une goutte d'eau distillée stérile, puis y déposer une colonie caractéristique.
- Verser 2 à 3 gouttes de réactif oxydase préparée extemporanément (tétraméthyl-p-phénylènediamine) sur un papier filtre, puis étaler une partie de la culture sur le papier.
- Dans les deux cas, une réaction positive est immédiate et se traduit par une couleur bleu-violet foncé.

➤ Test à l'indole :

- Transférer chaque colonie caractéristique séparément (5 à 10) dans un tube contenant 3 ml de bouillon tryptophane.
- Triturer soigneusement chaque colonie dans le milieu.
- Incuber les tubes à $44 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ pendant 21 ± 3 heures.
- Après incubation, ajouter 2 à 3 gouttes de réactif de Kovac pour détecter la production d'indole.
- La présence d'une couleur rouge à la surface du bouillon indique la production d'indole à partir du tryptophane.



Figure 39 : Milieu Tryptophane.

➤ En conclusion :

Toute colonie caractéristique (jaune) est considérée comme une bactérie coliforme. Sans l'enzyme oxydase et sans production d'indole. Toute colonie caractéristique (rouge) est considérée comme une bactérie *Escherichia coli*, sans enzyme oxydase, mais produisant de l'indole à 44°C. Ensuite, il convient de calculer la valeur du nombre de bactéries coliformes lactose positives à part et celle d'*Escherichia coli* à part. Le résultat final sera exprimé en utilisant l'équation mathématique $a=(b/A).C$

A: Quantité de colonies réimplantées .

b : Quantité présumée de colonies caractéristique dans la boîte.

C : Ensemble des colonies découvertes dans la boîte.

III-4-6-2. Recherche et dénombrement des Entérocoques Intestinaux :

Selon cette approche, les entérocoques intestinaux désignent des bactéries présentes sous la forme de Cocci à Gram positive, sphériques ou ovoides, qui forment des chainettes sans catalase, mais qui contiennent un antigène du groupe. Ils peuvent se développer en 24 à 48 heures à une température de 37 °C dans un milieu sélectif : l'azoture de sodium, créant des colonies spécifiques qui réduisent le taux de TTC. De plus, ils hydrolysent l'esculine en 2 heures à une température de 44 °C après avoir repiqué une colonie sur une gélose biliée à l'esculine et à l'azoture.

➤ Mode opératoire :

La recherche des entérocoques intestinaux ou Streptocoques du groupe « D » après filtration sur membrane nécessite une préparation préalable, qui se déroule selon les étapes suivantes :

- Stériliser l'entonnoir gradué en acier inoxydable ainsi que la membrane poreuse à l'aide d'un bec Bunsen.
- Refroidir immédiatement ces éléments avec l'eau à analyser, si elle est disponible en quantité suffisante, ou avec de l'eau distillée stérile.
- Mettre en place, de manière aseptique, une membrane de porosité nominale de 0,45 µm entre la membrane poreuse et l'entonnoir à l'aide d'une pince stérile.

- Fixer ce dispositif avec le clip correspondant.
- Déposer ensuite 100 ou 250 ml d'eau à analyser devant un bec Bunsen.
- Activer la pompe à vide pour aspirer l'eau à travers la membrane.
- Retirer l'entonnoir, puis transférer immédiatement la membrane à l'aide d'une pince stérile à bouts arrondis sur la surface d'une plaque de gélose SLANETZ et BARTLEY préalablement préparée.(**Figure 35**).
- Incuber la plaque, couvercle en bas, à $36 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 44 ± 4 heures.



Figure 40 : Gélose SLANETZ et BARTLEY.

➤ Lecture et interprétation:

Les entérocoques intestinaux ou streptocoques du groupe « D » se manifestent sous la forme de petites colonies lisses, légèrement bombées, à contours réguliers et colorées en rouge, marron ou rose. La membrane du milieu de Slanetz et Bartley est transférée de manière aseptique sur une plaque de gélose Bile esculine azoture (BEA) préchauffée à une température de 44°C . Elle sera ensuite incubée à $44 \pm 0,5^\circ\text{C}$ pendant 2 heures.

Les colonies typiques acquièrent alors une teinte noire, ce qui témoigne de l'hydrolyse de l'esculine présente dans l'environnement.

Faire le calcul du nombre de colonies et le ramener à 100 ou 250 ml d'eau à examiner.



Figure 41 : Gélose de BEA.



Figure 42 : milieu de BEA.

III-5. RESULTATS ET DISCUSSION :

Le stage effectué à l'unité d'Algérienne des eaux pour l'eau de source Ain Tinkremnt a donné les résultats suivants :

III-5-1. 1 Paramètres organoleptiques :

L'échantillon prélevé dans la bouteille a été examiné par observation oculaire. Il a été observé que ces eaux sont incolores et transparentes. Aucune odeur désagréable n'a été détectée et la turbidité est inférieure à la norme.

Tableau 10 : Résultats des analyses organoleptiques

Les paramètres organoleptiques	Source de Ain Tinkremnt	Unité	Normes Algériennes (2011)
Couleur	2	Mg/l platine	15
Turbidité	0,453	NTU	5

III-5-2. Paramètres physico-chimiques:

Suite aux analyses physico-chimiques de la source Ain Tinkremnt exposées dans le tableau (11), il est évident que celles-ci demeurent en dessous des normes.

Tableau 11 : Résultats des analyses physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques	Source de Ain Tinkremnt	Unité	Normes Algériennes 2011
Température	19,2	°C	25
pH	7,38	pH	6.5 < pH < 9
Conductivité	1261	Us/cm	2800
Titre alcalimétrique complet	220	Mg/l en CaCO ₃	
Dureté totale (TH)	364	Mg/l en CaCO ₃	500
Calcium (Ca 2+)	65,6	Mg/l	200
Magnésium (Mg 2+)	48,1	Mg/l	150
Chlorures (Cl-)	202,9	Mg/l	500
Sulfates (SO ₄ -2)	84,88	Mg/l	400
Bicarbonates (HCO ₃ -)	268,4	Mg/l	-
Nitrates (No ₃ -)	24,6	Mg/l	50
Nitrites (No ₂ -)	0	Mg/l	0,2
Phosphate (p)	0,435	Mg/l	0,5
Ammonium (NH ₄ +	0,02	Mg/l	0,5

III-5-3. Paramètres bactériologiques :

Selon l'analyse microbiologique de la source de Ain Tinkremnt, il est démontré que ses eaux ne sont pas polluées par des bactéries.

Tableau 12 : Résultats des analyses bactériologiques

Paramètres Bactériologiques	Unité	Résultat	N.A (E.B) 2011
Coliformes totaux	/	00	/
Escherichia Coli	n/100ml	00	20
Entérocoques	n/100ml	00	20
Bactérie Sulfito-réductrices	n/20ml	00	00

III-5-4. CONCLUSION :

L'objectif principal de notre étude était de déterminer les paramètres organoleptiques, physico-chimiques et bactériologiques des eaux de la source d'Ain Tinkremnt et assister à toutes les étapes effectuées par les agents de l'ADE de l'échantillonnage aux analyses.

Après avoir effectué les mesures sur les échantillons d'eau, nous pouvons conclure que :

- L'eau étudiée ne présente aucune odeur ni couleur.
- La température de l'eau est constante.
- Les paramètres physico-chimiques des sources sont inférieurs aux normes établies.
- Les analyses bactériologiques montrent que la source Ain Tinkremnt a une bonne qualité bactériologique.

CONCLUSION

Générale

En conclusion, notre étude exhaustive de la région de Béni Saf révèle un climat semi-aride caractérisé par des précipitations modestes et une sécheresse persistante tout au long de l'année. Cette condition climatique peut avoir des répercussions significatives sur l'agriculture et la disponibilité en eau, soulignant ainsi l'importance de stratégies de gestion de l'eau durable.

D'un point de vue géologique et hydrogéologique, notre analyse met en lumière une histoire complexe marquée par plusieurs cycles tectoniques et éruptifs. Les formations lithostratigraphiques, notamment les basaltes Plio-Quaternaires et les calcaires miocènes, abritent les principaux aquifères de la région, soulignant leur importance cruciale pour l'approvisionnement en eau local.

Les tests hydrochimiques des eaux étudiées, selon la disponibilité des données, notamment Sidi Djaloul, ATII Bis et Ain Tinkremnt, démontrent une qualité d'eau satisfaisante conforme aux normes de consommation humaine en Algérie. Les concentrations en éléments clés restent stables et respectent les limites établies, garantissant ainsi la salubrité de l'eau pour la consommation.

En ce qui concerne la source d'Ain Tinkremnt, nos analyses organoleptiques, physico-chimiques et bactériologiques confirment sa qualité élevée. L'absence d'odeur ou de couleur, la constance de la température, ainsi que les paramètres physico-chimiques inférieurs aux normes algériennes et la bonne qualité bactériologique témoignent de la potabilité de cette eau.

Enfin, notre étude souligne l'importance cruciale de la gestion durable des ressources en eau dans la région de Béni Saf, ainsi que la nécessité d'une surveillance continue pour préserver la qualité de l'eau et garantir son accessibilité pour les générations futures.

Références bibliographique

AROUS N. et MELEB S. (2018) : Apport des SIG à la réalisation d'une carte hydrogéologique de la partie Ouest du plateau d'Ain Témouchent. Mémoire de master à l'université de TLEMCEN, Algérie.

BRACENE R. (2002) : Géodynamique du nord d'Algérie. Thèse de doctorat l'université de CERGY PONTOISE.

DIB A. et BENADDA M. (2023) : Contribution à l'étude hydrogéologique et hydrochimique des eaux de quelques sources dans la région de Béni Saf. Mémoire de master à l'université de TLEMCEN, Algérie.

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.

JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N°18, (2011). Décret exécutif n 11125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif la qualité de l'eau de consommation humain. 18 Rabie Ethani 1432, 23 mars 2011.

LOUNI-HACINI A. (2002) : La transition du magmatisme calco-alcalin dans l'Oranie. Thèse doctorat d'état. USTHB (Alger). 198p.

MAHROUG D. (2014) : Etude géologique et gîtologique de la minéralisation de fer de Sidi Safi (Béni Saf, Algérie). Mémoire de master à l'université de Tizi Ouzou, Algérie.

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.

Sites Internet :

- Wikipedia.
- www.tutitempo.net.
- Google Earth.
- Mapcarta .
- Google translate.

Logiciels :

- Mapinfo.
- Surfer12.
- Excel.
- Diagramme.