

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 8 Mai 1945 Guelma



Faculté des sciences de la terre de l'univers
Département : Sciences de la nature et de la vie

MEMOIRE
EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
DE MASTER

Domaine : Sciences de la terre de l'univers

Filière : Sciences de la terre

Spécialité : Hydrogéologie et Géothermie

Elaboré par : NOUASRIA Ahlam
KHALLA Imane

Dirigé par : DJERRAB Muriel

Intitulé

Caractéristiques physico-chimiques et potabilité
des principales sources de la wilaya de Guelma
(Nord-Est Algérien)

Soutenu le : 17/07/2019

Devant le Jury composé de :

Mr NOUAR Taher	PR	Univ de Guelma	Président
Mme DJERRAB Muriel	MCB	Univ de Guelma	Encadreur
Mr GUETTAF Mohamed	MCB	Univ de Guelma	Examineur

Année universitaire : 2018/2019

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier « Dieu » très clément et sa sainte miséricorde qui nous a donné la force et la patience, et qui nous a aidées à réaliser et à accomplir ce travail.

Nous remercions en particulier :

- Mme Djerrab M., pour son encadrement tout le long de ce travail,
- Mr Nouar T., pour l'honneur qu'il nous a fait de présider notre jury,
- Mr Guettaf M., d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nos vifs remerciements et notre reconnaissance vont également à :

- L'équipe de l'Algérienne des eaux de Hammam Debagh (unité de Guelma) de nous avoir autorisé à réaliser notre travail au sein de leur entreprise, et plus particulièrement Mr Lagoune, chef de station, et Mr Amraoui S., chef de laboratoire et son équipe (et surtout Mlle Naili A., Mlle Boudjahem W., H., et Kechrid B.),
- Mr Douakha M. pour les données climatologiques,
- Mr Herrath A.H. et Mr Madhi S. responsables du bureau d'étude technique en hydraulique de Guelma, et surtout Mr Chouini T. et Mr Khacha A.
- Tous nos enseignants : Mr Kachi S., Mr Brahmia A., Mr Ghrieb L. pour leur aide et aussi à Mr Gueroui Y. le chef département de SNV et STU,
- Mr Khalla A. E. M. et son fils Khalla A. R. qui nous ont aidés pendant les prélèvements,
- Les techniciennes de laboratoire "Hourria" et "Asma".

Nous remercions également l'ensemble du personnel du Département (les étudiants, enseignants, techniciens, secrétaires ...) et tous ceux qui nous ont aidé et soutenu de près ou de loin qui nous ont aidé tout le long de ce travail.

Dédicace :

Après avoir rendu grâce au dieu,

Je dédie ce travail à mes très chers êtres au monde :

À mes parents : Nouasria Rabeh et Ziani Fatima, qui ont été toujours là pour moi par leur amour, tendresse, encouragement, et leur soutien (moral et finance) durant toute ma vie.

À l'âme de ma chère sœur Amel et mes frères Saber et Mohamed Isslam et que dieu les épargner

À toute ma grande famille surtout : Sonia, Rayen, Nada, Rym, Lydia, à la petite Maram « M ».

À mes potes : Rofia, Bochra, Aida, Nadjah, Tefaha, Nesrine, Zineb Dibou, Chaima.

À mes compagnes de classe d'hydrogéologie, promotion 2018/2019.

À tous mes professeurs

À ma binôme, Iman que je vais jamais oublier sa reconnaissance.

☪

☪ ☪ *Ablam* ☪ ☪



Je dédie ce travail de fin d'études À ceux qui n'ont jamais cessé de m'encourager, et me conseiller.

À ceux qui n'ont jamais été avares ni de leur temps ni de leurs connaissances pour satisfaire mes interrogations. : À

Mon père ; Abed EL Madejid et ma mère Meriem

Mes frères Hamza et sa femme Fayza et Raouf et

sa femme Sana À ma sœur Lamia

Tous ma famille surtout les petites

Aya, Malak, Loudjaïne, Ibtihal, Iyad, Sadja.

Meriyouma

À mon fiancé : HOUCINE Dahmoune

À Mes collègues de Spécialité Hydrogéologie à tous mes amies :

Sana. Ahlem. Hana .Nedjma et Samira

À tous mes professeurs

À mon binôme AHLEM qui a partagé avec moi les bons et Les durs moments.

IMANE

RESUME

Dans ce travail de fin d'étude de Master en hydrogéologie, nous nous sommes intéressées à quelques sources situées dans la wilaya de Guelma, dans le nord-est de l'Algérie. Nous avons cherché à définir leur qualité physico-chimique, bactériologique ainsi que leur potabilité. Pour ce faire, nous avons réalisé deux prélèvements au niveau de cinq sources différentes (le premier en février, le second en mai) et nous avons analysé de nombreux paramètres physico-chimiques et bactériologiques, à la fois *in situ* et en laboratoire.

Nos résultats nous indiquent que trois de ces sources fait partie du faciès bicarbonaté calcique pour les sources S1, S2, S4 et du faciès chloruré calcique pour les sources S3 et S5 dans les deux prélèvements.

Dans l'ensemble, pour les paramètres physico-chimiques, les cinq sources répondent aux critères de potabilité définis par l'OMS, excepté pour quelques paramètres (le calcium pour toutes les sources et le magnésium, chlorures, calcium, conductivité électrique pour la source S5). En revanche, concernant la microbiologie, nous avons observé une contamination fécale dans quatre des cinq sources, et notamment pour l'une d'entre elles qui est impropre à la consommation humaine le jour des prélèvements (S1 : Hammam N'Bails).

Ce qui nécessite des nouvelles analyses pour déterminer l'origine de pollution.

MOTS-CLES

Hydrogéologie – Sources – Guelma – Algérie - Qualité physico-chimique – Analyse microbiologique – Potabilité

ABSTRACT

In this work of end of study Master in hydrogeology, we were interested in some springs located in the state of Guelma, in the north-east of Algeria. We sought to define their physicochemical, bacteriological quality as well as their potability. To do this, we performed two samples from five different springs (the first in February, the second in May), and we analyzed many physicochemical and bacteriological parameters, both *in situ* and in the laboratory.

Our results indicate that three of these springs are part of calcium bicarbonate facies for S1, S2, S4 and a calcium chloride facies for S3, and S5.

Overall, for the physicochemical parameters, the five springs meet the potability criteria defined by WHO, except for a few parameters, (calcium for all springs and magnesium, calcium, chlorides, and electrical conductivity for the spring S5). On the other hand, concerning microbiology, we observed fecal contamination in four of the five springs, and in particular for one of them which is unfit for human consumption on the day of sampling (S1: Hammam N'bail).

Which requires new analysis to determine the source of pollution.

KEYWORDS

Hydrogeology – Springs – Guelma – Algeria – Physicochemical quality – Microbiological analysis – Potability

المخلص

في هذا العمل الذي يخص نهاية دراسة الماجستير في هيدروجيولوجيا، نحن اهتمنا ببعض المنابع الموجودة في ولاية قالمة في الشمال الشرقي من الجزائر. سعينا لتحديد النوعية الفيزيوكيميائية والبكتريولوجية وصالحيتها للشرب. للقيام بذلك، أجرينا عينتين من خمسة منابع مختلفة (الأولى في فيفري والثانية في ماي) وقمنا بتحليل للعديد من العوامل الفيزيائية، الكيميائية والبكتريولوجية في الموقع وفي المختبر.

تشير النتائج التي توصلنا اليها الى أن ثلاثة من هذه المنابع 1 و2، و4 من سحنة بيكربونات الكالسيوم، ومن سحنة كلوريد الكالسيوم بالنسبة للمنبع 3 و5.

بشكل عام، بالنسبة للمعايير الفيزيوكيميائية تفي المنابع الخمسة بمعايير الشرب التي تحددها منظمة الصحة العالمية باستثناء بعض العوامل (الكالسيوم لجميع المنابع، والمغنيزيوم الكالسيوم الكلوريد والناقلية الكهربائية بالنسبة للمنبع 5)

من ناحية أخرى فيما يتعلق بالميكرو بيولوجيا لاحظنا التلوث البرازي في أربعة منابع من أصل خمسة ولا سيما لا حداها التي لا تصلح للاستهلاك البشري في يوم أخذ العينات (منبع 1 حمام النباثل)

الذي يستوجب إعادة التحاليل لمعرفة مصدر التلوث.

الكلمات المفتاحية

هيدروجيولوجيا – منابع – قالمة – الجزائر -نوعية فيزيوكيميائية -تحاليل مكروبيولوجية -الصالحية للشرب.

Liste d'abréviations :

Abréviation	Sens
ADE	L'Algérienne Des Eaux
AEP	Alimentation en Eau Potable
ASR	Anaérobies Sulfito-Réducteurs
CF	Coliformes Fécaux
CT	Coliformes Totaux
DHW	Direction Hydraulique de la Wilaya de Guelma
EDTA	Acide Ethylène Diamine Tétracétique
°F	Degré Français
GN	Gélose Nutritive
GT	Germes Totaux
NPP	Nombre le Plus Probable
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
ONS	Office National des Statistiques
ONU	Organisation des Nations Unies
SF	Streptocoque Fécaux
TGEA	Tryptone Glucose Extract Agar
UFC	Unité Formant Colonies

Liste des tableaux

Tableau I-1 : Normes concernant les paramètres organoleptiques d'une eau potable	22
Tableau I-2 : Normes concernant les paramètres physico-chimiques d'une eau potable	22
Tableau I-3 : Classes de turbidité usuelles (NTU= Nephelometric turbidity Unit) [Merzoug, 2009]	23
Tableau I-4 : Qualité des eaux en fonction de la conductivité électrique (Monod, 1989)	23
Tableau I-5 : Normes concernant les polluants dans les eaux potables	24
Tableau I-6 : Normes bactériologiques de l'eau de consommation (OMS, 2011)	24
Tableau II-1 : Coordonnées GPS et UTM des sources prélevées	27
Tableau II-2 : Paramètres physiques mesurés sur terrain	40
Tableau II-3 : Méthode de dosages des paramètres chimiques	45
Tableau II-4 : Balance ionique et fiabilité des résultats	51
Tableau III-1 : Débit mesuré sur terrain	64
Tableau III-2 : Analyse chimique des sources en meq/l du mois de Février 2019	71
Tableau III-3 : Analyse chimique des sources en meq/l du mois de Mai 2019	71
Tableau III-4 : Résultats des analyses microbiologiques du mois de Février 2019	72
Tableau III-5 : Résultats des analyses microbiologique du mois de Mai 2019	72
Tableau III-6 : Origine de la contamination fécale en fonction du rapport CF/SF (Borrego & Romero, 1982).	73

Liste des photos

Photo II-1 : GPS de type GARMIN	26
Photo II-2 : Matériel utilisé sur le terrain	39
Photo II-3 : Station de traitement des eaux du barrage de Hammam Debagh	42
Photo II-4 : Matériel courant de laboratoire	44
Photo II-5 : Membrane utilisée dans la détermination de MES	48
Photo II-6 : Le turbidimètre	50
Photo II-7 : Méthode de filtration par membrane	53
Photo II-8 : Appareillage utilisé pour la filtration sur membrane (rampe)	54
Photo II-9 : Exemple d'analyse microbiologique pour les germes totaux sur une boîte de Petri	55
Photo II-10 : Matériel utilisé (flacons d'eau, boîtes de petri vierges)	58
Photo II-11 : Exemple montrant la présence d' <i>E. Coli</i>	59
Photo II-12 : méthode employée pour la caractérisation des ASR (à gauche : chauffage à 80° C au bain-marie ; à droite : refroidissement brutal (choc thermique) ..	61
Photo II-13 : Exemple montrant la présence d'ASR (halo noir)	62
Photo III-1 : présence des GT (à gauche) et absence des GT (à droite)	74
Photo III-2 : Absence des CT (à gauche) et présence des CT (à droite)	74
Photo III-3 : Présence d' <i>E.coli</i> (photo prises par Nouasria.A)	74

Liste des figures

Figure I-1 : Situation géographique de la zone d'étude	6
Figure I-2 : Carte géomorphologique de la zone d'étude (Benmarece, 2007)	7
Figure I-3 : Coupe hydrogéologique de la nappe alluviale de Guelma (Gaud, 1976 in Benmarece, 2007)	14
Figure I-4 : Réseau hydrographique de la wilaya de Guelma (A.B.H.C.S.M., 2005) ...	15
Figure I-5 : Courbe d'évolution des températures moyennes mensuelles de la région d'étude (années 1991-2018)	16
Figure I-6 : Variations des précipitations moyennes mensuelles de la région d'étude (années 1991-2018)	17
Figure I-7 : Diagramme pluviothermique de la région d'étude (années 1991-2018)	18
Figure I-8 : Sources de déversement et d'émergence (Castany, Mégnien et al, 1974) ..	20
Figure I-9 : Sources d'affleurement et source d'émergence (dictionnaire Larousse) ...	20
FigureII-1 : Source N°1 : Hammam N'bail (photo et vue satellite)	28
Figure II-2 : Source N°1 : Hammam N'bail (extraits des cartes topographique et géologique)	29
FigureII-3 : Source N°2 : Ain Bouchiha (photo et vue satellite)	30
FigureII-4 : Source N°2 : Ain Bouchiha (extraits des cartes topographique et géologique)	31
FigureII-5 : Source N°3 : Ain Guies (photo et vue satellite)	32
Figure II-6 : Source N°3 : Ain Guies (extraits des cartes topographique et géologique)	33
Figure II-7 : Source N°4 : Sellaoua Announa (photo et vue satellite)	34
Figure II-8 : Source N°4 : Sellaoua Announa(extraits des cartes topographique et géologique)	35
Figure II-9 : Source N°5 : Aouinet Sikrane (photo et vue satellite)	36
Figure II-10 : Source N°5 : Aouinet Sikrane (extraits des cartes topographique et géologique)	37
Figure II-11 : Coupe schématique d'un appareil de filtration sur membranes (Rodier et al, 2009)	52
Figure II-12 : Membrane filtrante 0.45 micron (Rodier, 1984)	54
Figure II-13 : Méthode de recherche et de dénombrement des Spores Anaérobies Sulfitoréductrices (ASR)	61

Figure III-1 : Présentation des résultats des analyses physico-chimiques (Salinité, pH, températures, turbidité et oxygène dissous)	66
Figure III-2 : Présentation des résultats des analyses physico-chimiques - suite (conductivité, TDS, MO, dureté, résidu sec, MES).....	67
Figure III-3 : Présentation des résultats des analyses physico-chimiques – suite (chlorure, magnésium, calcium, TAC, TA, bicarbonate)	68
Figure III-4 : Présentation des résultats des analyses physico-chimiques – suite (fer, nitrate, nitrite, ammonium, sulfate, phosphate)	69
Figure III-5 : Présentation des résultats des analyses physico-chimiques – suite (Sodium, Potassium)	70
Figure III-6 : Représentation des faciès chimiques des eaux avec le diagramme de PIPER (mois de Février)	79
Figure III-7 : Représentation des faciès chimiques des eaux avec le diagramme de PIPER (mois de Mai)	80

Table des matière

INTRODUCTION	2
I. Généralités	5
I.1. Cadre géographique	5
I.2. Cadre géologique et stratigraphique	8
I.2.1. Le Paléozoïque	8
1.2.2. Le Trias	8
1.2.3. Le Jurassique	8
1.2.4. Le Crétacé	8
1.2.5. L'unité tellienne	9
1.2.6. L'unité ultra – tellienne	9
1.2.7. Le Numidien	9
I.2.8. Les faciès post-nappe	9
I.3. Cadre hydrogéologique	10
I.3.1. Les eaux souterraines	10
I.3.2. Les eaux de surface	14
I.4. Cadre climatique	15
I.4.1. Température	15
I.4.2. Précipitations	16
I.4.3. Diagramme pluviothermique	17
I.5. Définition de quelques termes importants	18
I.5.1. Les eaux souterraines	18
I.5.2. Les nappes	18
I.5.3. Les eaux de source	18
I.5.4. Les sources	19
I.6. Notion de potabilité de l'eau	20
I.6.1. Définition	20
I.6.2. Les paramètres organoleptiques	21
I.6.3. Les paramètres physico-chimiques	22
I.6.4. Les paramètres de pollution	23
I.6.5. Les paramètres bactériologiques	24
II. Matériels et méthode	26
II.1. Critères de choix des sites d'études	26

II.2. Mode de Prélèvement	38
II.2.1. Matériel utilisé sur le terrain	38
II.2.2. Transport et conservation des échantillons	39
II.3. Mesures et analyse des paramètres	39
II.3.1. Les mesures in situ	39
II.3.2. Les analyses chimiques (laboratoire)	42
II.3.3. Hydrochimie	50
II.3.4. Les analyses microbiologique	51
III. Résultats et discussions	64
Introduction	64
1. Présentation des résultats	64
1.1. Résultats de paramètre mesuré sur terrain (Débit)	64
1.2. Les paramètres physico-chimiques de l'eau	64
1.3. présentation de résultats concernant la balance ionique	71
1.4. Analyses microbiologiques	72
1.5. Détermination de l'origine de la contamination fécale	73
2. Interprétation	75
2.1. Qualité des eaux	75
2.2. Bilan	77
3. Représentation graphique des faciès chimiques	78
4. Influence de la période de prélèvement sur la qualité des eaux	81
4.1. Concernant les paramètres physico-chimiques	81
4.2. Concernant les analyses microbiologiques	81
5. Insuffisances du travail	81
Conclusion générale et recommandations	84
Références bibliographiques	87

INTRODUCTION

INTRODUCTION

L'eau est l'élément le plus important pour l'existence des êtres vivants, elle est indispensable pour la survie et pour le développement de la société moderne, c'est pourquoi elle a besoin d'être protégée, traitée et économisée.

La ville de Guelma est alimentée principalement par les eaux du barrage de Hammam Debagh, situé à quelques dizaines de kilomètres à l'ouest de la ville et par les eaux souterraines de la nappe alluviale de Guelma. Durant ces dernières années, la dégradation de la qualité des eaux d'alimentation en eau potable et en particulier celles fournies par le barrage, a poussé une grande partie de la population (urbaine, locale et passagère) à s'approvisionner à partir de quelques sources municipales. Cependant, un diagnostic général sur la qualité des eaux de ces sources s'avère indispensable.

Dans une nappe, l'eau peut subir les effets de plusieurs facteurs (concentration, échanges de base, réduction), qui sont capables de modifier partiellement ses caractéristiques chimiques et sa qualité bactériologique. L'analyse bactériologique permet de mettre en évidence une pollution fécale de l'eau, elle représente également un bon moyen pour contrôler l'efficacité des mesures de protection et de traitement.

Dans le présent travail, qui sanctionne la fin de nos études de Master en hydrogéologie, nous sommes intéressées à la détermination de la qualité physico-chimique, microbiologique et à la caractérisation de la potabilité des eaux de quelques sources d'approvisionnement en eau potable de la wilaya de Guelma. Nous avons retenu cinq sources, en fonction de leur importance et de leur facilité d'accès.

Pour atteindre ces objectifs, deux campagnes de prélèvements ont été exécutés, la première en Février et le second en Mai pour étudier l'effet du changement du régime des précipitations. De très nombreux paramètres entrant en jeu dans la détermination de la qualité des eaux ont été analysés.

Ce travail s'articule en trois chapitres :

- Le premier chapitre donne un aperçu global sur la zone d'étude : une synthèse sur les contextes géologique, hydrogéologique et climatique, des généralités sur l'eau et les normes de potabilité des eaux de sources.
- Le deuxième chapitre présente la localisation précise des sources étudiées, le protocole d'échantillonnage sur le terrain et les méthodes d'analyses physico-chimiques et bactériologiques au laboratoire.

INTRODUCTION

- Le troisième chapitre est consacré à la présentation des résultats et à leur discussion. Il est subdivisé en plusieurs parties, l'une d'elle s'intéresse à la qualité des eaux, une autre est dédiée à l'hydrochimie. Ce chapitre se termine par la mise en lumière des insuffisances constatées dans le cours de ce travail.
- Enfin, ce mémoire s'achève par une conclusion générale et des recommandations.

CHAPITRE I :

Cadre générale

I. Généralités

I.1. Cadre géographique

La wilaya de Guelma se situe à environ 60 km au sud de la Mer Méditerranée. Sur le plan administratif, elle est issue du découpage de 1974. Elle est limitée au nord par la wilaya d'Annaba, au nord-est par celle d'El Tarf, au sud-est par celles de Souk Ahras et Oum-El Bouaghi, à l'ouest par celle de Constantine et au nord-ouest par celle de Skikda (fig. I-1).

Elle compte, depuis le découpage de 1984, 34 communes réparties sur 10 daïras. Sa population était de 506 007 habitants en 2011¹ pour une superficie de 3 686 km², soit une densité de 135 habitants/km². La population n'est pas répartie de façon homogène sur le territoire (elle est concentrée dans les zones urbaines).

Les limites de la wilaya se situent aux coordonnées géographiques suivantes :

Ouest : 6°50' Est : 8°00' Nord : 36°40' Sud : 36°5'

¹ Selon le site de l'ONS (Office National des Statistiques d'Algérie)

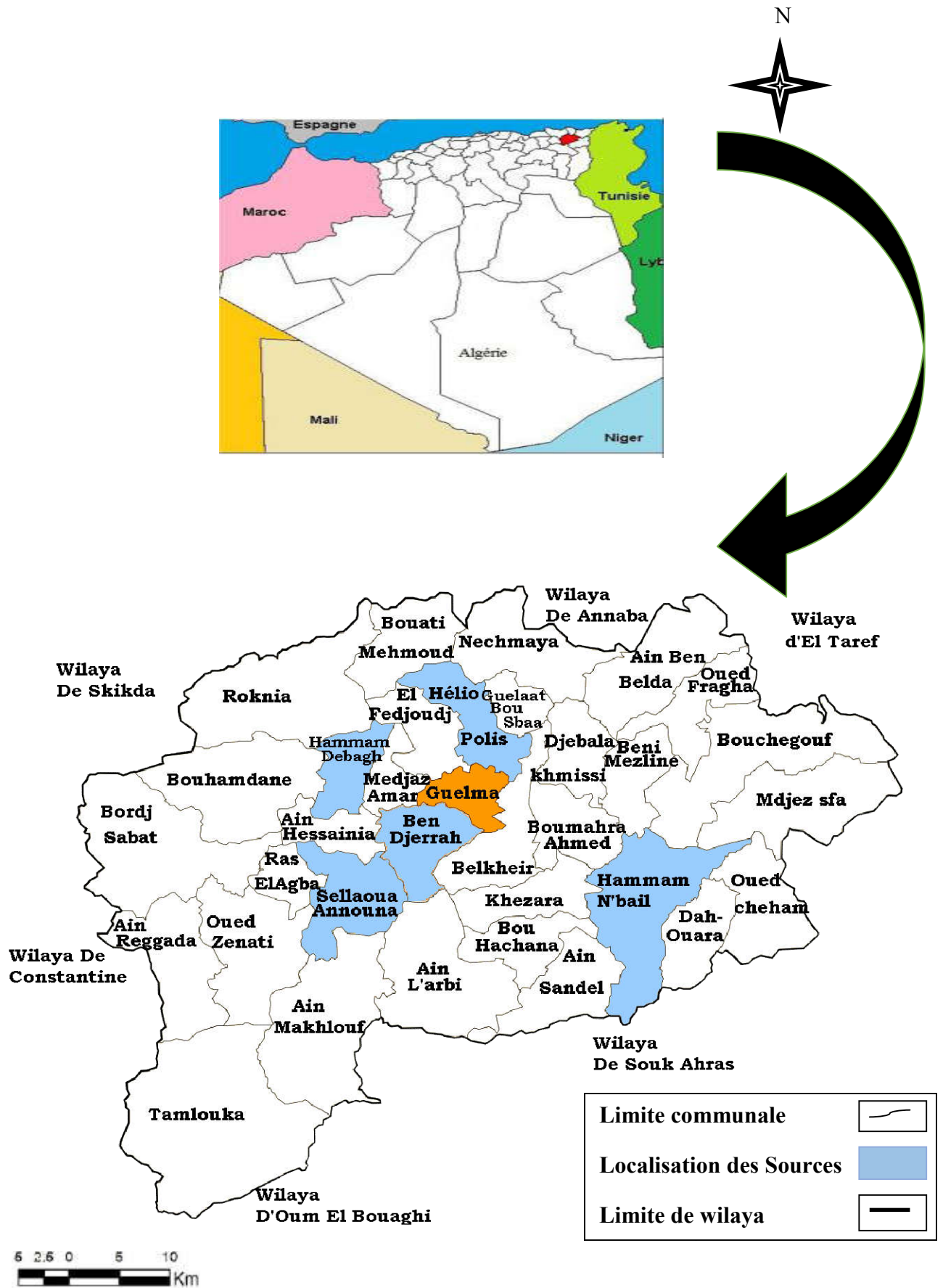


Figure I-1 : Situation géographique de la zone d'étude.

La géographie de la Wilaya est caractérisée par un relief diversifié (fig. I-2) qui se décompose comme suit :

- **Des zones montagneuses** (37,82 % de la surface totale) : les principaux reliefs sont les Djebels Mahouna (à Ben Djerrah) qui atteint 1.411 m d'altitude ; Houara à Ain Ben Beidha (1.292 m) ; Taya à Bouhamdane (1.208 m) et D'bagh à Hammam Debagh (1.060 m).
- **Des plaines et des plateaux** (27,22 % du total)
- **Des collines et piémonts** (26,29 %)
- **Autres** (8,67 %).

Le relief montagneux prédominant entoure trois dépressions importantes: la dépression de Tamlouka au Sud, celle de Guelma au centre et la dépression de Bouchegouf au Nord –Est (fig.I-2) (Benmarce, 2007).

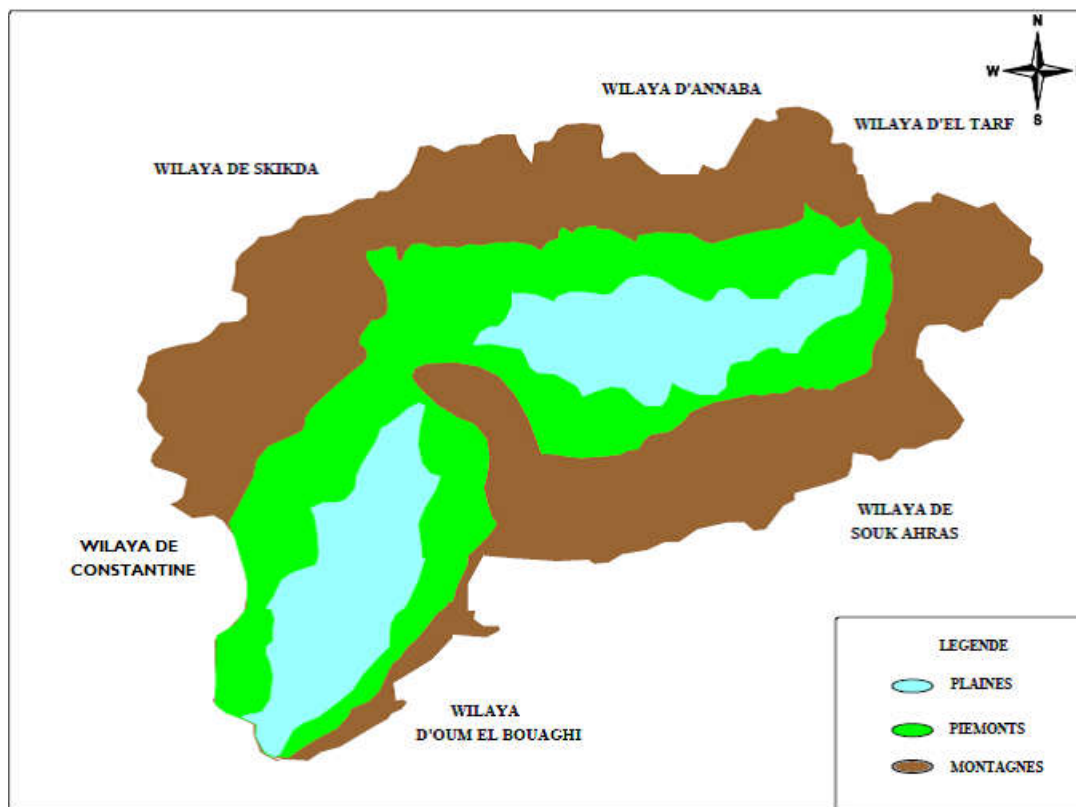


Figure I-2 : Carte géomorphologique de la zone d'étude (Benmarce, 2007).

I.2. Cadre géologique et stratigraphique

L'étude géologique à l'échelle régionale permet de comprendre la disposition exacte de notre zone d'étude dans l'ensemble géologique régional et de dévoiler sa structure et sa lithologie au sein de ce vaste ensemble géologique.

Notre zone d'étude fait partie de la chaîne alpine d'Afrique du Nord ou chaîne des Maghrébides qui fait partie elle-même de l'orogénèse alpine périméditerranéenne, d'âge Tertiaire. Cette chaîne des Maghrébides est constituée de domaines paléogéographiques différents.

La géologie de la région est caractérisée par des formations allant du Paléozoïque jusqu'au Quaternaire, présentant une lithologie très variée qui comprend essentiellement : les alluvions (sable, gravier,...), le grès, les marnes, les argiles, et les calcaires. Les principales formations, en allant de l'âge le plus ancien au plus récent sont :

I.2.1. Le Paléozoïque

Les terrains de cet âge sont rares et représentés par peu d'affleurements. On ne les trouve qu'au nord du massif de Nador N'Bail à l'entrée des gorges de l'oued Seybouse. Ces affleurements sont formés par des schistes satinés alternant avec de petits bancs de grès.

I.2.2. Le Trias

On le trouve uniquement à l'extrémité Est de la plaine alluviale. Il est formé d'argiles bariolées injectées de gypse, cargneules et de bancs disloqués de calcaires dolomitiques sombres.

I.2.3. Le Jurassique

Il est représenté par des dolomies noires, des schistes calcaires de faible épaisseur dans la région du Djebel Debagh.

I.2.4. Le Crétacé

Le Crétacé inférieur est représenté par des calcaires massifs et des dolomies à algues d'âge Aptien. On le rencontre à Hammam Bradaa et Djebel Debagh. Les calcaires massifs à microbrèches calcarénites avec des niveaux de calcaires à chailles indiquent nettement le faciès néritique du Campagnien – Maastrichtien (Vila, 1972). Le Crétacé supérieur est caractérisé par des niveaux calcaires dolomitiques riches en Orbitolines et des débris à Rudistes datant le Cénomane – Vraconien d'épaisseur limitée.

Un faciès néritique d'âge Jurassique-Crétacé est présent sous forme de fenêtre au Djebel Mahouna, Djebel Debagh, Nador et plus à l'ouest au Djebel Taya.

1.2.5. L'unité tellienne

Elle appartient au domaine externe de la chaîne des Maghrébides dans le Nord – Est algérien. Cette unité correspond au domaine Tellien externe qui est constitué de formations paléogènes. On distingue :

- Un ensemble méridional à Nummulites et au sud à Globigérines ;
- Un ensemble médian à sédimentation profonde ;
- Un ensemble septentrional à matériel Eocène.

La série débute par des marnes noires paléocènes et atteint le Lutécien inférieur avec une faune riche en Nummulites.

1.2.6. L'unité ultra – tellienne :

Le faciès dominant est celui des marnes et marno-calcaires à microfaunes variées (Durand-Delga et *al*, 1968).

1.2.7. Le Numidien

Le Numidien forme les principaux reliefs de la région de Guelma (Mahouna, Houara). Il est caractérisé par un flysch gréseux constitué par les trois termes suivants :

- Argiles vertes et rouges d'âge Oligocène
- Alternance d'argile et de gros blocs de grès souvent hétérométriques d'âge Aquitanien
- Argiles, silixites et marnes correspondant au Burdigalien inférieur à Hammam Debagh. Le sommet est représenté par des grès grossiers à dragées de quartz (Lahondère, 1981).

1.2.8. Les faciès post-nappe

1.2.8.1. Le Mio–Pliocène

Il est représenté, au niveau du bassin de Guelma, par des marnes à gypse, des argiles et des conglomérats rouges. Il est considéré comme une formation post-nappe, où on y voit succéder deux cycles :

- Le premier cycle représente la molasse de Guelma qui est visible sur la route Guelma-Lakhezaras. Cette molasse est composée de grès jaunes friables intercalés avec des formations argilo-marneuses grises ou parfois gypseuses.

- Le second cycle est formé par une succession d'argiles, de conglomérats rouges, d'argiles grises à gypses et à soufre et des calcaires lacustres.

I.2.8.2. Le Quaternaire

Le Quaternaire, avec le Pliocène, constitue la roche réservoir de la nappe de Guelma.

Le Quaternaire occupe le centre du bassin et correspond au faciès de terrasses où l'on distingue :

- **Les alluvions anciennes :**

Ce sont des éboulis mélangés parfois à des argiles numidiennes. Ils sont localisés tout le long du versant ouest de bassin.

Les terrasses d'alluvions anciennes, dominant d'environ 55m à 60 m le thalweg de la Seybouse, s'écartent pour former la grande plaine qui s'étend à l'Est de Guelma et se rattache vers le Sud à la terrasse pliocène qui atteint une altitude d'environ 90m à 100m au-dessus de la Seybouse. Cette dernière terrasse comprend tantôt des limons avec cailloux roulés, tantôt des conglomérats intercalés en bancs marno-calcaires un peu travertineux.

- **Les alluvions récentes :**

Elles forment la majeure partie de la vallée principale actuelle de l'oued Seybouse. Ce sont des cailloutis, galets et graviers calcaires parfois à ciment marneux.

I.3. Cadre hydrogéologique

La géologie de la région est caractérisée par des formations allant du Trias jusqu'au Quaternaire, présentant ainsi une lithologie très variée qui comprend essentiellement :

Les alluvions (sable, gravier,...), le grès, les marnes, les argiles, et les calcaires.

Du point de vue hydrogéologique, c'est une zone d'effondrement comblé par des dépôts alluvionnaires très perméables qui contiennent une nappe importante alimentée par les eaux d'infiltrations et par les apports latéraux du bassin versant de la Seybouse.

I.3.1. Les eaux souterraines

La région de Guelma est constituée de terrains sédimentaires d'âge Crétacé, Oligocène, Mio-Pliocène et Quaternaire. Le fond du bassin est occupé par une plaine alluviale correspondant à un synclinal comblé par des argiles, des conglomérats marno-calcaires, des grès numidiens et des calcaires lacustres.

Les formations numidiennes se développent largement au sud de Guelma. Ce sont surtout les calcaires yprésiens qui dominent, viennent ensuite les grès numidiens du flanc de Mahouna, les séries marno-calcaires et les argiles.

L'ensemble est fortement tectonisé. Il en résulte des facteurs qui favorisent la présence de plusieurs unités aquifères dans les marno-calcaires (Crétacé supérieur).

L'oued Seybouse a creusé dans la même série et a mis à jour trois petites sources, c'est un indice de la présence d'une nappe à faible ressource.

Les bancs de calcaires yprésiens de la région sud de Guelma affleurent largement jusqu'à la région de Sédrata. Ces calcaires sont fortement fissurés, ce qui permet la constitution de ressources aquifères importantes, mais rapidement restituées. Les formations numidiennes dans la région de Guelma sont constituées d'une alternance d'assises gréseuses et de séries argileuses ou argilo-gréseuses.

Au nord de Héliopolis, d'El Fedjoudj et de Guelâat bouSbaa, affleurent des formations marneuses et schisteuses pauvres en eaux souterraines, alors qu'à l'ouest de cette zone s'élèvent les calcaires sénoniens du Djebel Debagh et Taya où l'infiltration est probablement importante, d'où la présence d'eau.

Le centre du bassin est occupé par des dépôts quaternaires au sein desquels on peut distinguer plusieurs terrasses.

Quant à la dépression de Bouchegouf, elle est encadrée à l'ouest et au nord par des grès, au sud par des formations triasiques marneuses et gypseuses, et au centre, elle est comblée par les alluvions déposées par la Seybouse qui forment trois niveaux : la haute, la moyenne et la basse terrasse. Les alluvions de cette dernière peuvent receler des eaux souterraines alimentées par l'Oued Seybouse, là où elles ne sont pas trop argileuses.

Le bassin de Guelma présente plusieurs ensembles lithologiques qui impliquent des zones hydrogéologiques différentes. Au sud, des formations fracturées, indice d'une bonne infiltration donc d'une importante accumulation d'eau souterraine. Sur la rive gauche de la Seybouse, on rencontre des formations pour lesquelles l'infiltration se fait très difficilement.

Enfin, au centre, les alluvions quaternaires (poudingues, graviers, galets, limons ...) à forte perméabilité renferment une nappe très importante.

Le couplage des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques des formations de la plaine a permis de distinguer un ensemble du remplissage Mio-Plio-Quaternaire capable de constituer deux réservoirs d'eau :

- le réservoir de la nappe superficielle, représenté par des alluvions argilo-limoneuses au niveau de la nappe phréatique.
- le réservoir de la nappe des graviers, représenté par des galets et des graviers intercalés avec des lentilles de sable et d'argile (Bechiri, 2011)

D'après les études géophysiques (ENAGEO, 1971, Algéo, 1997 et C.R.A.A.G, 2004), le système hydrogéologique de la région renferme les six aquifères suivants:

- Nappe alluvionnaire de Guelma
- Nappe alluvionnaire de Bouchegouf;
- Nappe des calcaires néritiques et sénoniens d'Héliopolis;
- Nappe des calcaires éocènes de Ras El Agba- Sellaoua-Announa ;
- Nappe des calcaires de Bouhechena;
- Nappe des calcaires de Tamlouka.

Du point de vue hydrogéologique, c'est une zone d'effondrement comblée par des dépôts alluvionnaires très perméables qui contiennent une nappe importante alimentée par les eaux d'infiltration et par les apports latéraux du bassin versant de la Seybouse.

Le territoire de la wilaya de Guelma comporte globalement quatre zones (sous-bassins versants) hydrogéologiques distinctes :

1. Zone des plaines de Guelma et Bouchegouf (moyenne et basse Seybouse) :

Les nappes captives du champ de Guelma s'étendent sur près de 40km le long de la vallée de la Seybouse et sont alimentées par les infiltrations et les ruissellements qui déversent dans l'Oued Seybouse. Elles constituent les plus importantes nappes de la wilaya. Au niveau de la nappe de Bouchegouf, les alluvions paraissent perméables plus que ceux de la plaine de Guelma. Elle peut contenir une nappe alluviale importante.

2. Zones des Djebels au Nord et Nord-Ouest :

Elle s'étend sur toute la partie Nord de la région du territoire de la wilaya. Elle regroupe toute la partie de l'Oued Zénati et la partie Nord de la région de Guelma. En dehors de la plaine, une grande partie de cette région est constituée d'argiles rouges numidiennes sur lesquelles reposent des grès peu perméables. Cette zone connaît une faible perméabilité en dépit d'une pluviométrie relativement importante.

Cependant, sur les calcaires crétacés inférieurs des Djebels Debagh et Taya, l'infiltration est probablement importante dans l'ensemble et malgré une importante pluviométrie, notamment dans sa partie Nord, la région a des potentialités en eaux souterraines assez faibles.

3. La zone des plaines et des collines de Tamlouka :

Il est à remarquer pour cette région que les structures synclinales du Crétacé supérieur peuvent contenir des nappes actives par des infiltrations sur les calcaires qui n'ont pas une bonne perméabilité quand ils sont profonds. Des nappes phréatiques s'établissent dans les formations quaternaires reposant sur des argiles miocènes. Elles sont drainées par les différents affluents de l'oued Charef, mais une partie de leurs eaux s'évapore dans les régions marécageuses.

4. La zone des Djebels surplombant les oueds Sédrata et Héliá :

Cette région s'étend sur les parties Nord de la région de Tamlouka et Sud de la région de Guelma et Bouchegouf. Sa partie Sud est certainement la mieux fournie en eau. Elle se caractérise par la présence des hautes dalles calcaires du Crétacé supérieur qui sont perchées sur des marnes. Des sources assez importantes jalonnent leur contact. Sur l'autre partie de la zone (la plus étendue), les dalles calcaires sont plus redressées et fractionnées et des sources parfois relativement importante jaillissent des calcaires au contact des marnes.

Les réserves sont établies au niveau des nappes phréatiques situées sur le plateau de Tamlouka et Sellaoua-Announa au Sud, le bassin de Guelma et Héliopolis au centre et la vallée de Bouchegouf, Oued Héliá et Oued Cheham au Nord-est.

Ces eaux souterraines sont exploitées à travers 83 forages d'une capacité annuelle de 48 hm³ desservant les réseaux d'AEP (42 hm³) des eaux à usages industriels (4 hm³) et l'irrigation agricole (2 hm³). Ajouté à cela, nous relevons l'existence de 380 sources naturelles et 539 puits en milieu rural (Alouane, 2012).

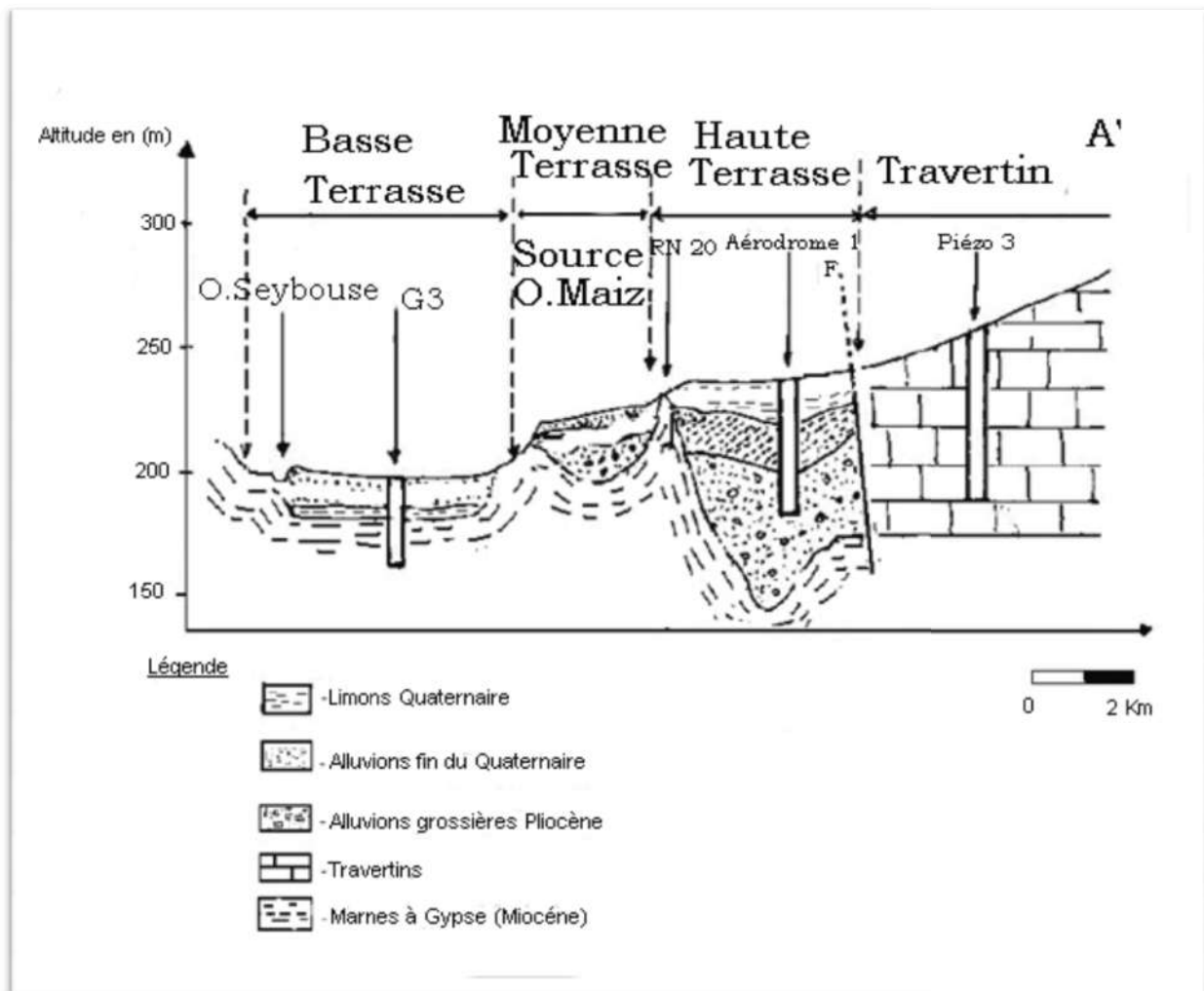


Figure I-3 : Coupe hydrogéologique de la nappe alluviale de Guelma (Gaud, 1976 in Benmarce, 2007).

I.3.2. Les eaux de surface

Le réseau hydrographique est très dense (fig. I-4). Il est composé de trois oueds majeurs qui sont :

- l'oued Bouhamdane, qui draine la partie Ouest du territoire, dont l'écoulement général est d'Ouest en Est,
- l'oued Charef, qui draine la partie Sud du territoire, dont l'écoulement général est du Sud vers le Nord,
- l'oued Seybouse, qui draine la partie Nord et Est du territoire, autrement dit presque la totalité de la wilaya de Guelma, avec une superficie de 6 471 km², pour rencontrer la mer Méditerranée à l'Est de la ville d'Annaba.

Ces oueds, qui drainent les eaux pluviales vers la mer, sont alimentés par un important chevelu hydrographique composé de petits oueds et de quelques affluents importants.

En ce qui concerne l'oued Seybouse (57,15 km), ses principaux affluents sont d'amont en aval : l'oued Bouhamdane (45,37 km), l'oued Charef (36,46 km), l'oued Boussora, l'oued Mellah, l'oued Halia et l'oued Cheham.

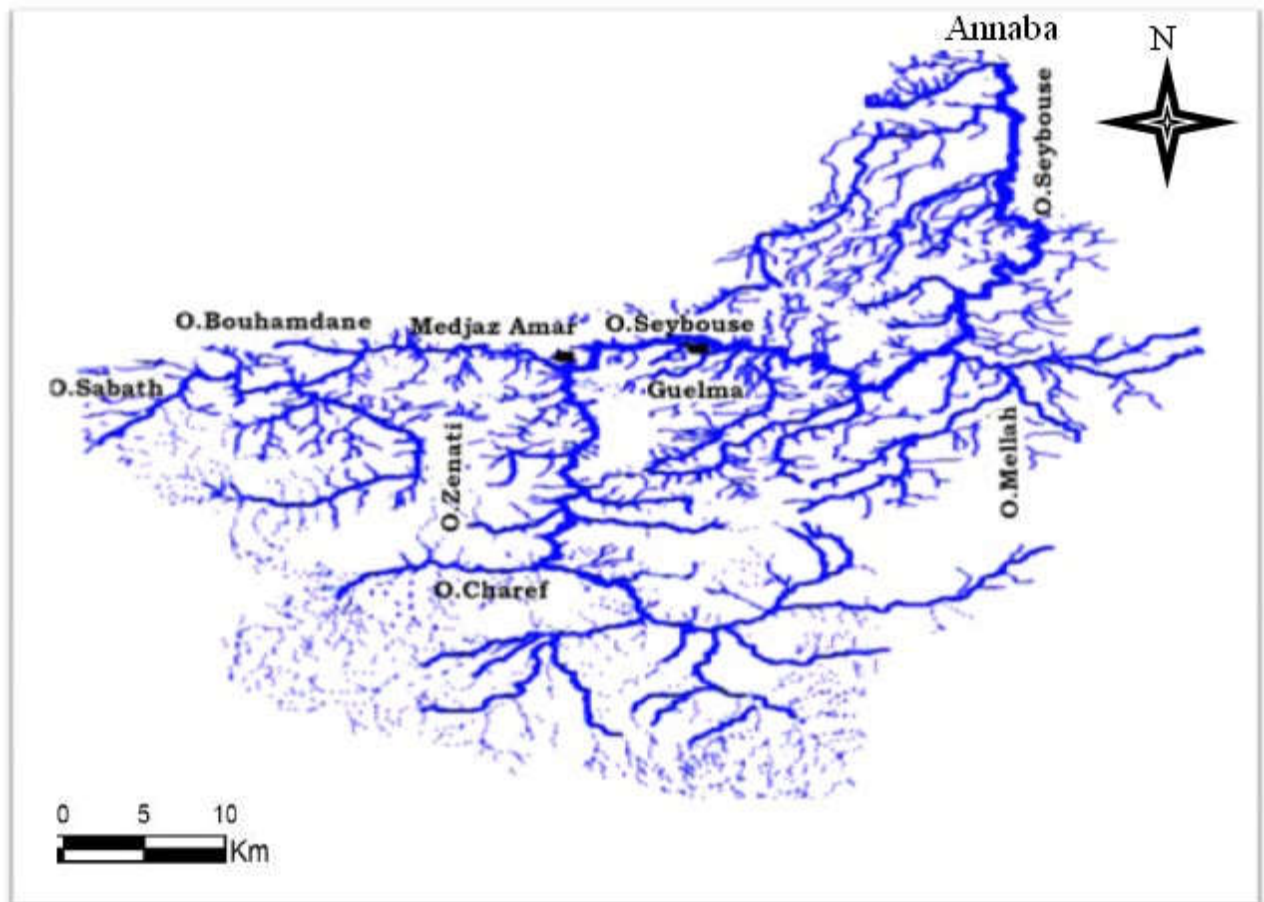


Figure I-4 : Réseau hydrographique de la wilaya de Guelma(A.B.H-C.S.M., 2005).

I.4. Cadre climatique

Les données statistiques ont été récupérées au niveau de la station de traitement du barrage de Hammam Debagh. Il s'agit des valeurs journalières de la température (minima et maxima), de la pluviométrie sur une période de 27 ans, entre 1991 et 2018.

I.4.1. Température

Pour chaque mois de l'année, nous disposons des données suivantes : T max (moyenne de tous les maxima du mois), T min(moyenne de tous les minima du mois), T moy (moyennes des températures).

La figure I-5 nous donne l'évolution de la température mensuelle entre 1991 et 2018. On note que la température moyenne mensuelle la plus élevée est celle du mois de juillet avec 36,16°C, alors que la température la plus basse est celle du mois de janvier avec 3,71°C.

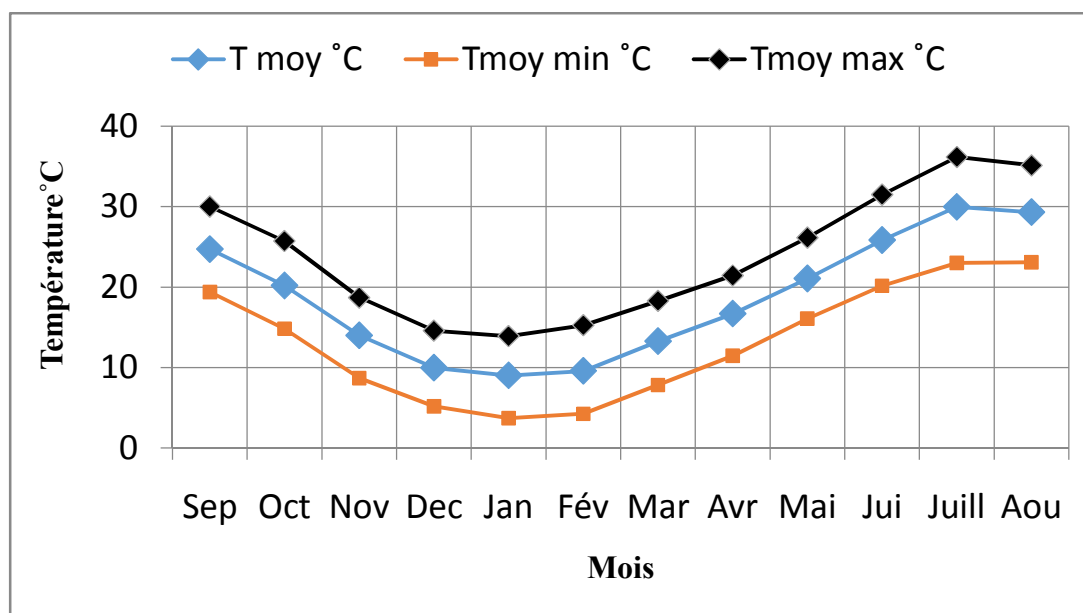


Figure I-5 : Courbe d'évolution des températures moyennes mensuelles de la région d'étude (années 1991-2018).

La température moyenne pour la période considérée est égale à 18,71 °C, avec des extrêmes compris entre 16,38°C (pour l'année 2003) et 21,49 °C (pour l'année 1994).

I.4.2. Précipitations

Le terme de précipitation désigne tout type d'eau qui tombe du ciel, sous forme liquide ou solide. Cela inclut la pluie, la neige, la grêle, etc. Ces divers types de précipitations représentent l'épaisseur de la couche d'eau qui resterait sur une surface horizontale s'il n'y avait ni écoulement, ni évaporation (Bouras, 2013).

La figure I-6 représente l'évolution des précipitations moyennes mensuelles entre 1991 et 2018. La moyenne étant de 41,64 mm, on constate que les mois de novembre à mai se caractérisent par des précipitations supérieures à la moyenne, les autres mois étant marqués par un déficit pluviométrique. Le mois le plus pluvieux est le mois de janvier avec une moyenne de 83.28mm, alors que le mois le plus sec est celui de juillet (avec un total moyen de 3,55 mm).

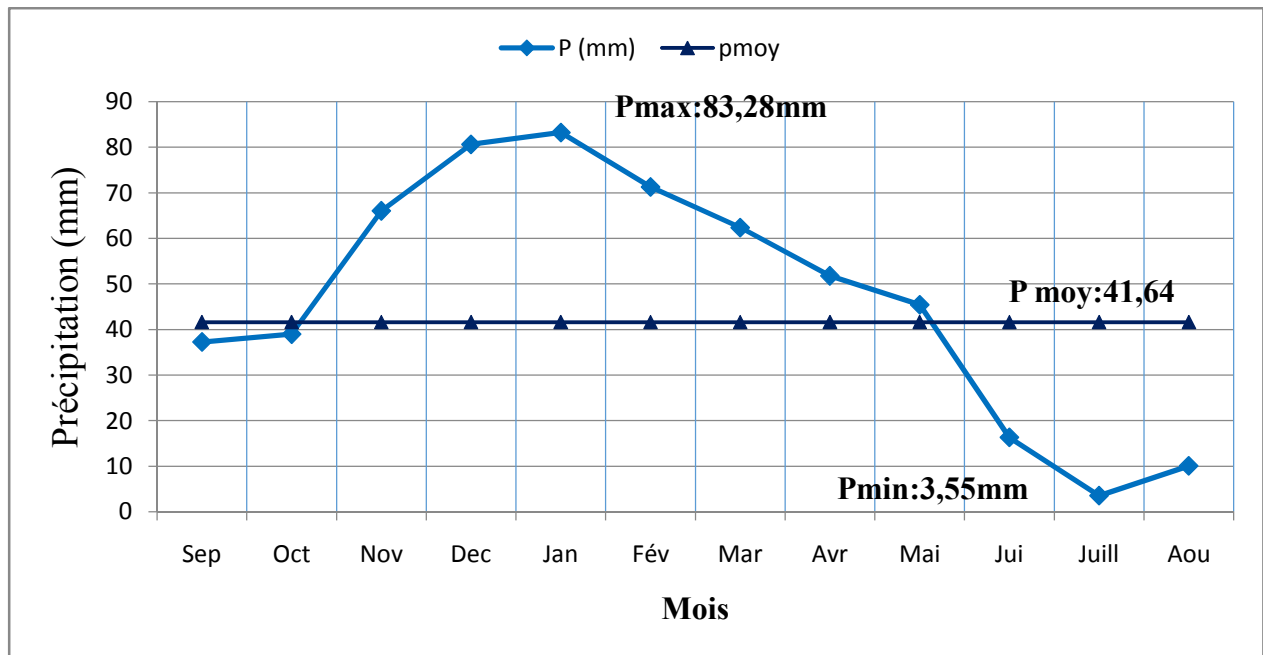


Figure I-6 : Variations des précipitations moyennes mensuelles de la région d'étude (années 1991-2018).

La pluviométrie moyenne pour la période considérée est égale à 567,43 mm, avec des extrêmes compris entre 294,8 mm (pour l'année 2016) et 928,8 mm (pour l'année 2003).

I.4.3. Diagramme pluviothermique

Un diagramme pluviothermique a été construit (fig.I-7), qui permet de comparer température (T) et pluviométrie (P) sur une période donnée (avec une échelle des températures qui est le double de celle des précipitations). Mis au point par Bagnouls et Gausson (1953), ce diagramme permet de caractériser les périodes de sécheresse (cas où la courbe des températures se trouve au-dessus de celles des précipitations). Selon ces auteurs, un mois sec est défini comme un mois où $P < 2T$.

Selon le diagramme, on peut donc distinguer deux saisons dans la région de Guelma :

- Une saison humide qui s'étend depuis le mois d'Octobre jusqu'au mois de Mai,
- Une saison sèche et chaude, d'une durée d'environ quatre mois, qui s'étend de mois de Juin jusqu'au mois de Septembre.

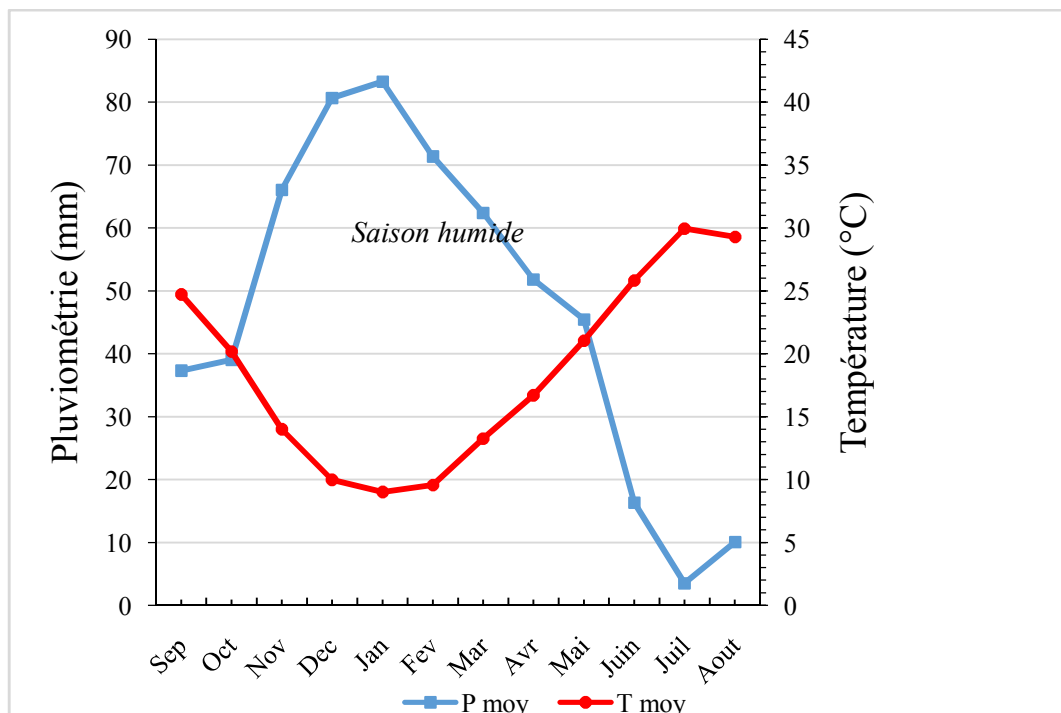


Figure I-7 : Diagramme pluviothermique de la région d'étude (années 1991-2018).

I.5. Définition de quelques termes importants

I.5.1. Les eaux souterraines

Les eaux qui ne sont ni ré-évaporées, ni retournées à la mer par ruissellement, s'infiltrent dans le sol et le sous-sol et s'y accumulent pour constituer les eaux souterraines.

La pénétration et la rétention des eaux dans le sol dépendent des caractéristiques des terrains en cause et notamment de leur structure qui peut permettre la formation de réservoirs aquifères appelés nappes.

I.5.2. Les nappes

Le mot « aquifère » ou encore « nappe » désigne simplement une couche de sol contenant de l'eau. C'est un gisement d'eau souterraine utilisable comme source d'eau (Kettab, 1992).

Les nappes d'eau souterraine ne sont ni des lacs ni des cours d'eau souterrains. Les nappes d'eau souterraine sont de l'eau contenue dans les pores ou les fissures des roches saturées par les eaux de pluie qui se sont infiltrées (AEAG, 2012).

I.5.3. Les eaux de source

Elles ont pour origine les eaux de pluies. Une fois infiltrées, celles-ci percolent verticalement à travers les différentes formations géologiques, appelées formations aquifères, jusqu'à la

zone de saturation (nappe phréatique). Une fois emmagasinées (eaux souterraines), la nappe chemine en sous-sol sur la couche imperméable, en suivant les pentes, parfois pendant des dizaines voire des centaines de kilomètres, avant de ressortir à l'air libre, alimentant une source ou un cours d'eau. Les nappes souterraines fournissent ainsi presque le tiers du débit total de tous les cours d'eau de la planète, soit environ 12.000 kilomètres cubes d'eau par an. Elles constituent une ressource naturelle renouvelable, régies par un cycle : le cycle global de l'eau.

Ce sont ces résurgences caractérisées par une source émergente ou captée qui font l'objet de cette étude (Alouane, 2012).

I.5.4. Les sources

- **Définition**

Une source peut être définie comme l'apparition à la surface du sol de l'eau d'une nappe aquifère souterraine. Toute source est alimentée par une portion de la nappe aquifère qui lui a donnée naissance (Gomella et Guerree, 1974).

- **Les différents types de sources**

Les principaux types de sources sont les suivants :

- **Sources d'affleurement**

Lorsque la couche imperméable inférieure d'une nappe aquifère affleure au niveau du sol d'une vallée, l'eau de cette nappe apparaît à la surface sous forme d'un chapelet de sources. Elles apparaissent surtout dans des terrains calcaires ou cristallins, les sources thermo-minérales appartiennent à cette catégorie (Vilagines, 2000).

- **Sources de déversement**

Ce type de sources se rencontre dans les terrains fissurés en surface, de nature calcaire et surtout granitique (le réseau de fissures vient rencontrer la surface du sol, avec une pente qui permet d'y conduire l'eau).

Généralement leur débit est faible, pratiquement constant et elles peuvent facilement tarir.

Aussi n'envisagera-t-on leur captage qu'en l'absence d'autres possibilités (Bonnin, 1982).

- **Sources d'émergence**

Bien que la couche perméable soit fissurée en direction de sol, on peut avoir un débit alimentant un trou d'eau, souvent envahi de végétation par une ou plusieurs fractures ou l'on peut voir l'eau bouillonner.

Le débit localisé de ces sources est souvent important, leur risque de tarissement est inégal (Gomella et Guerree, 1980).

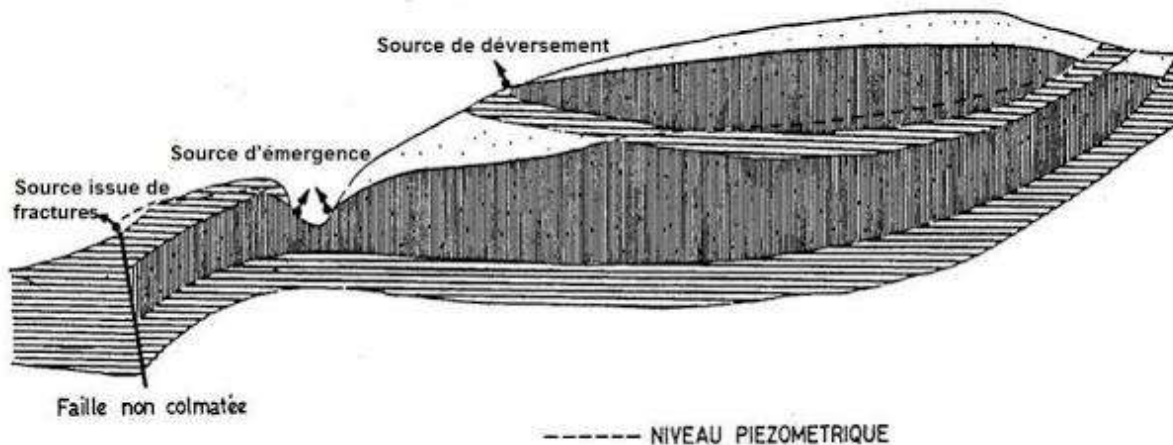


Figure I-8 : Sources de déversement et d'émergence (Castany, Mégnién et al, 1974).

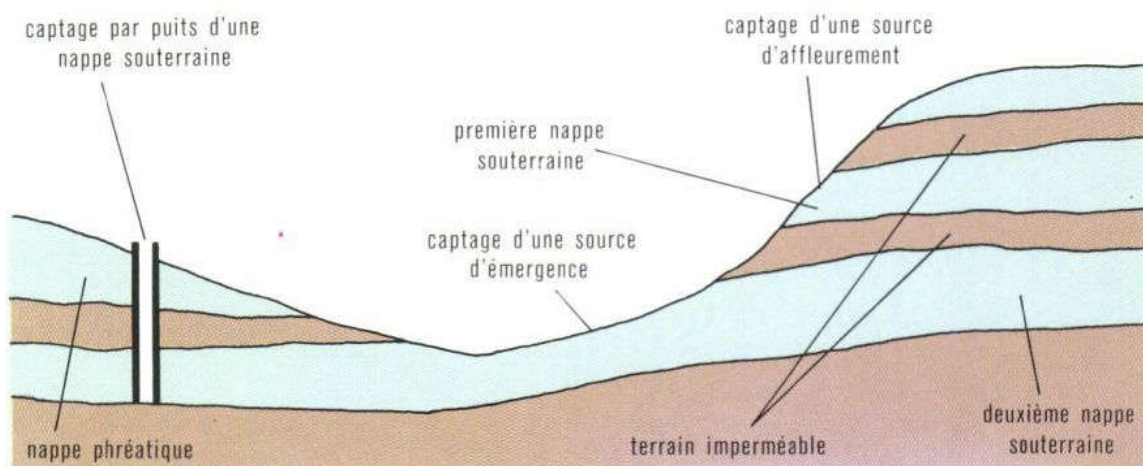


Figure I-9 : Sources d'affleurement et sources d'émergence (dictionnaire Larousse).

I.6. Notion de potabilité de l'eau

I.6.1. Définition

L'eau potable doit obligatoirement respecter les seuils réglementaires de différents paramètres, divisés en différents groupes: les qualités organoleptiques (odeur, couleur, saveur), les éléments microbiologiques (virus, bactéries), les substances indésirables (nitrate, fluor), toxiques (chrome, plomb), les pesticides ainsi que la composition naturelle de l'eau (pH, taux de calcium,...) (ENCYCLOPÉDIE MÉDICALE, 1997).

Les normes de potabilité sont l'ensemble des critères organoleptiques, physiques, chimiques, toxiques, éléments indésirables et bactériologiques que doit respecter une eau pour pouvoir être offerte à la consommation humaine (Hubert et Marin, 2001).

Normes de potabilité d'une eau

Généralement, pour chaque paramètre, on recherche sa présence et l'on détermine sa quantité dans l'eau. La norme pour un paramètre dans l'eau est représentée par un chiffre, qui fixe une limite supérieure à ne pas dépasser et une limite inférieure à respecter. Si un paramètre dépasse la concentration limite, il y a absence de conformité par rapport aux normes établis.

A ce titre l'OMS, dans ses recommandations, ne fixe pas des normes strictes, mais plutôt des valeurs guides qui sont susceptibles d'être utilisées avec une certaine souplesse, dans le souci constant de protection de la santé de la population, tout en permettant de porter un jugement comparatif sur la qualité de l'eau.

I.6.2. Les paramètres organoleptiques

Les facteurs organoleptiques (couleur, saveur, turbidité et odeur) constituent souvent les facteurs d'alerte pour une pollution sans présenter à coup sûr un risque pour la santé (Genoudet, 2001).

- La couleur

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. Les couleurs réelles et apparentes sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité (Rodier, 2005).

Elle représentera un indicateur de pollution si elle dépasse l'équivalent de 15 mg/l de platine cobalt (Lefèvre, 1991).

- L'odeur

Toute odeur est un signe de pollution ou de présence de matières organiques en décomposition.

L'odeur peut être définie comme l'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles (Rodier, 2005).

- Le goût et la saveur

Le goût peut être défini comme l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lorsque la boisson est dans la bouche.

La saveur peut être définie comme l'ensemble des sensations perçues à la suite de la stimulation par certaines substances solubles des bourgeons gustatifs (Rodier, 2005).

Les normes des différentes caractéristiques, rapportées sur le tableau ci-dessous, sont des valeurs maximales admissibles pour une eau potable.

Tableau I-1 : Normes concernant les paramètres organoleptiques d'une eau potable.

Paramètres organoleptiques	Unité	Norme OMS	Norme (Algérienne, 2000)
Turbidité	Unité Jackson	05 (OMS 2011)	Au maximum 2
Couleur	mg/l de platine	-	Au maximum 25
Odeur	Seuil de perception à 25°C	2 (OMS 2006)	Au maximum 4
Saveur	Seuil de perception à 25°C	4 (OMS 2006)	Au maximum 4

I.6.3. Les paramètres physico-chimiques

Concernant l'eau potable, seules les substances présentant un risque direct pour la santé ou donnant une mauvaise qualité esthétique sont contrôlées. Leurs concentrations doivent être comparées aux concentrations maximales acceptables (CMA), donc il est intéressant de comparer ces normes avec les recommandations.

Les tableaux I-2 à I-5 donnent les normes concernant les paramètres physico-chimiques analysés.

Tableau I-2 : Normes concernant les paramètres physico-chimiques d'une eau potable.

Paramètres physico-chimiques	Unité	Norme OMS	Norme (Algérienne, 2000)
Température	°C	25 (OMS 2011)	-
PH	-	6,5 à 8,5 (OMS 2011)	6.5 à 8.5
Conductivité	µs/cm	1400 (OMS 2011)	1000
Résidus secs	mg/l après séchage	Max 2000 (OMS2006)	Max 2800
Alcalinité totale	°F	≥ 2,5(OMS 2006)	-

TDS	mg/l	≥1000	-
Dureté totale	mg/l	≥1500	10 à 50
Chlorure	mg/l de Cl ⁻	250 (OMS 2011)	200 à 500
Calcium	mg/l de Ca ²⁺	75 (OMS 2011)	200
Bicarbonate	mg/l de HCO ³⁻	500 (OMS 2011)	-
Magnésium	mg/l de Mg ²⁺	50 (OMS 2011)	-
Sulfates	mg/l de SO ⁴⁻	250 (OMS 2011)	200 à 400
Sodium	mg/l de Na ⁺	200 (OMS 2006)	200
Potassium	mg/l de K ⁺	12 (OMS 2006)	-
Fer	mg/l	0.3 (OMS 2011)	Au maximum 0.3

Tableau I-3: Classes de turbidité usuelles (NTU= nephelometric turbidity unit) [Merzoug, 2009].

NTU < 5	Eau claire
5 < NTU < 30	Eau légèrement trouble
NTU > 50	Eau trouble

Tableau I-4 : Qualité des eaux en fonction de la conductivité électrique (Monod., 1989).

Conductivité électrique (µS/Cm)	Qualité des eaux	Classe
CE < 400	Excellente	1A
400 < CE < 750	Bonne	1B
750 < CE < 1500	Passable	2
1500 < CE < 3000	Médiocre	3

I.6.4. Les paramètres de pollution

La pollution des eaux est due à plusieurs facteurs dont l'activité industrielle, l'activité agricole ou encore le déversement des effluents domestiques et industriels.

Tableau I-5 : Normes concernant les polluants dans les eaux potables.

Paramètres de pollution	Unité	Norme (OMS)	Norme (Algérienne, 2000)
Nitrates	mg/l	50 (OMS 2017)	Au maximum 50
Nitrites	mg/l	3 (OMS 2017)	Au maximum 0.1
Ammonium	mg/l	0.5 (OMS 2011)	Au maximum 0.5
Phosphate	mg/l	0.5 (OMS 2011)	Au maximum 0.5

I.6.5. Les paramètres bactériologiques

Plusieurs paramètres permettent de caractériser la potabilité d'une eau :

Tableau I-6 : Normes bactériologiques de l'eau de consommation (OMS, 2011).

Paramètres	Unité	Normes
Les coliformes totaux	UFC	10/100ml
Les coliformes fécaux	UFC	0 UFC/100ml
Les streptocoques fécaux	UFC	0 UFC/100ml
Les anaérobies sulfite-réducteurs	-	0 UFC/100ml

CHAPITRE II :

Matériels et méthodes

II. Matériels et méthodes

II.1. Critères de choix des sites d'études

Pour étudier les caractéristiques physico-chimiques, bactériologiques et préciser la potabilité de quelques sources de la wilaya de Guelma, nous avons choisi 5 sites d'échantillonnage. Ces sites ont été sélectionnés par rapport à leur fréquentation par la population locale et à leur facilité d'accès.

Nous avons réalisé deux campagnes de prélèvement différentes pour étudier l'effet du changement du régime des précipitations : la première a été faite le 23 Février 2019 et la seconde le 02 Mai 2019. Lors du premier prélèvement, la journée était nuageuse et la température moyenne d'environ 17°C, tandis que la seconde journée était ensoleillée avec une température un peu plus élevée (22°C).

Nous avons mesuré les coordonnées géographiques de chaque source à l'aide d'une sonde GPS (voir photo et tableau suivant) :

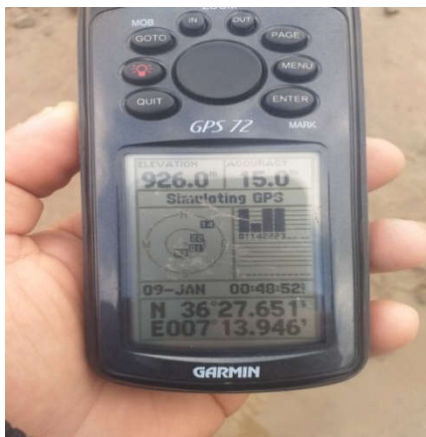


Photo II-1 : GPS de type GARMIN.(prise par Khalla, A.R)

Tableau II-1 : Coordonnées GPS et UTM des sources prélevées.

N °	Commune	Source	Coordonnées GPS	Coordonnées UTM ¹ (m)
01	Hamмам N'baïl	Hamмам N'baïl (Nouvelle source)	N36.342560° E7.677079°	X: 381325,07 Y: 4022456,72 Z : 347m / NGA ²
02	Héliopolis	Ain Bouchiha	N 36,499402° E 7,436097°	X : 359981,07 Y : 4040178,93 Z : 270m / NGA
03	Ben Djerrah	Ain Guies	N36.437260° E7.382516°	X : 355010 ,00 Y : 4033364,35 Z : 607m / NGA
04	Sellaoua Announa	Sellaoua	N36.379685° E7.235083°	X : 341757,48 Y : 4027217,56 Z : 766m / NGA
05	Hamмам Debagh	Aouinet Sikrane	N36.451259° E7.254202°	X : 343592,48 Y : 4035117,97 Z : 409m / NGA

Les figures suivantes présentent, pour chaque source, une photo prise le jour du premier prélèvement, et une vue satellite (Google Earth) ainsi qu'un extrait de la carte topographique et de la carte géologique correspondant à chaque source.

¹ UTM : Transverse Universelle de Mercator (m)

² NGA : Nivellement Général de l'Algérie



Source S1 :

Hamмам N'Bails



Figure II-1 : Source N°1 : Hammam N'Bail (photo, et vue satellite).Photo prise par Nouasria.A et Khalla. I

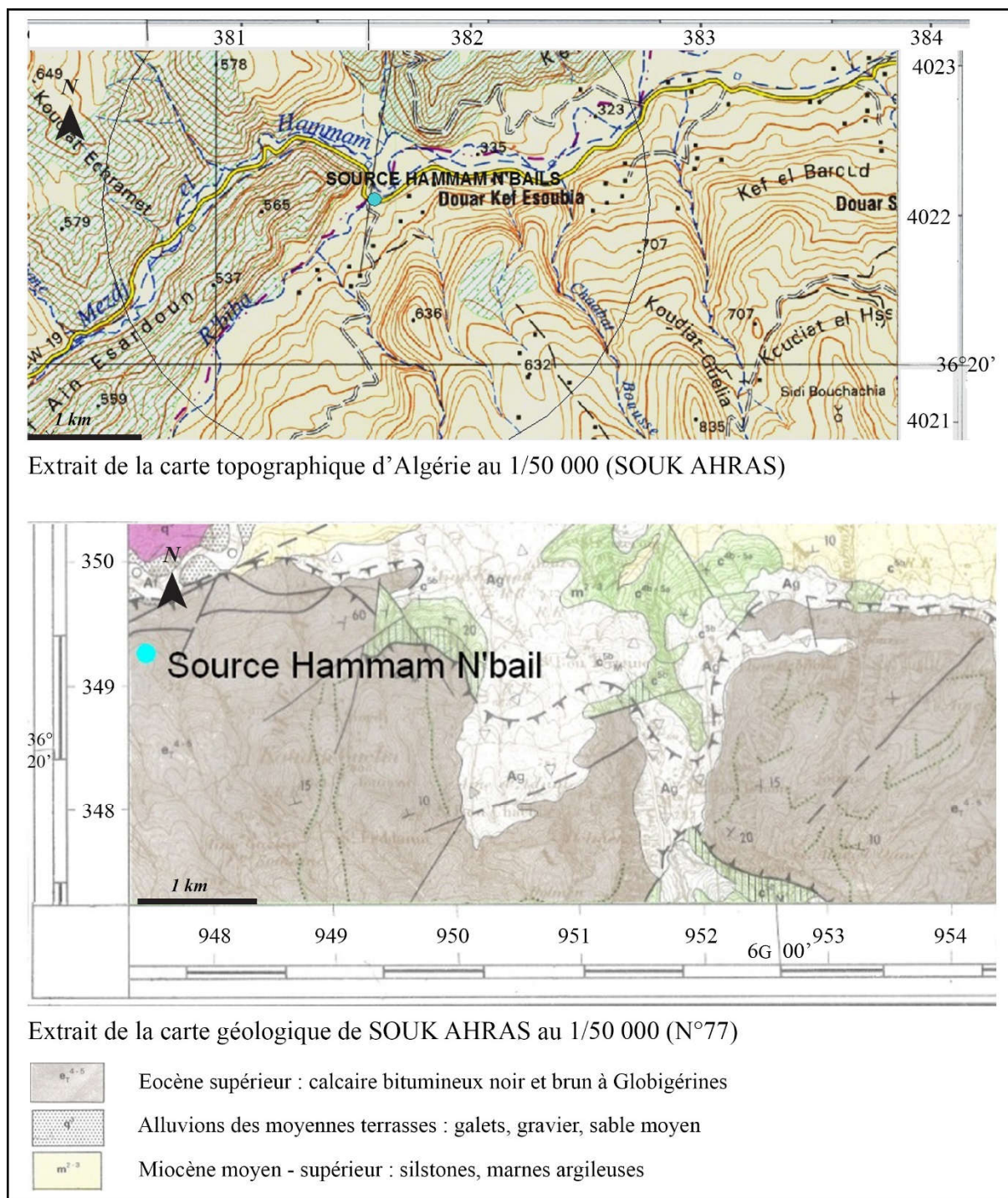


Figure II-2 : Source N°1 : Hammam N'Bail (extraits des cartes topographique et géologique).

La source de Hammam N'Bails se situe dans des formations calcaires bitumineuses de couleur noir et brun, à Globigérines, qui indiquent l'âge Eocène Supérieur.



Figure II-3 : Source N°2 : Ain Bouchiha (photo et vue satellite). Photo prise par Nousaria.A et Khalla. I

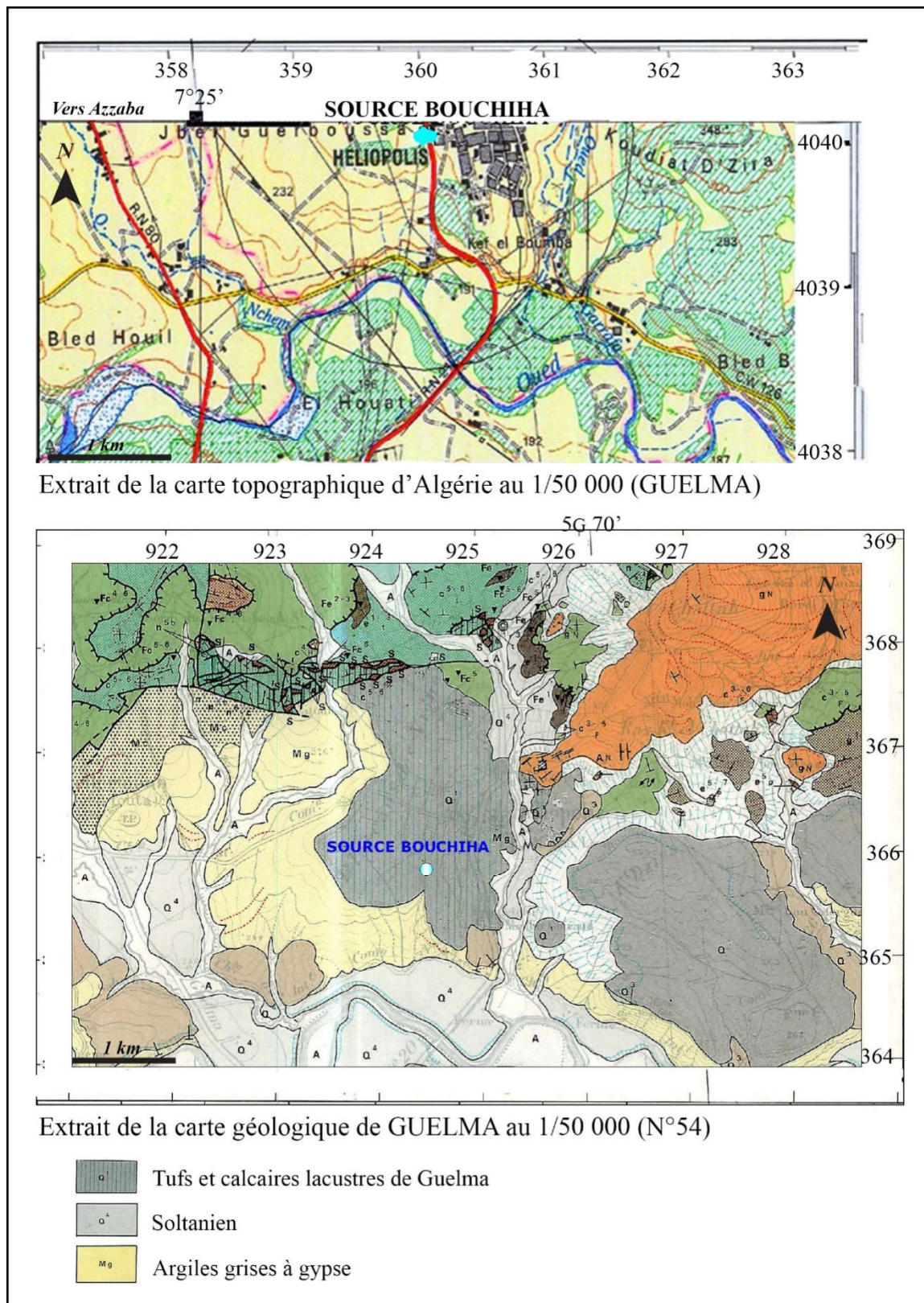
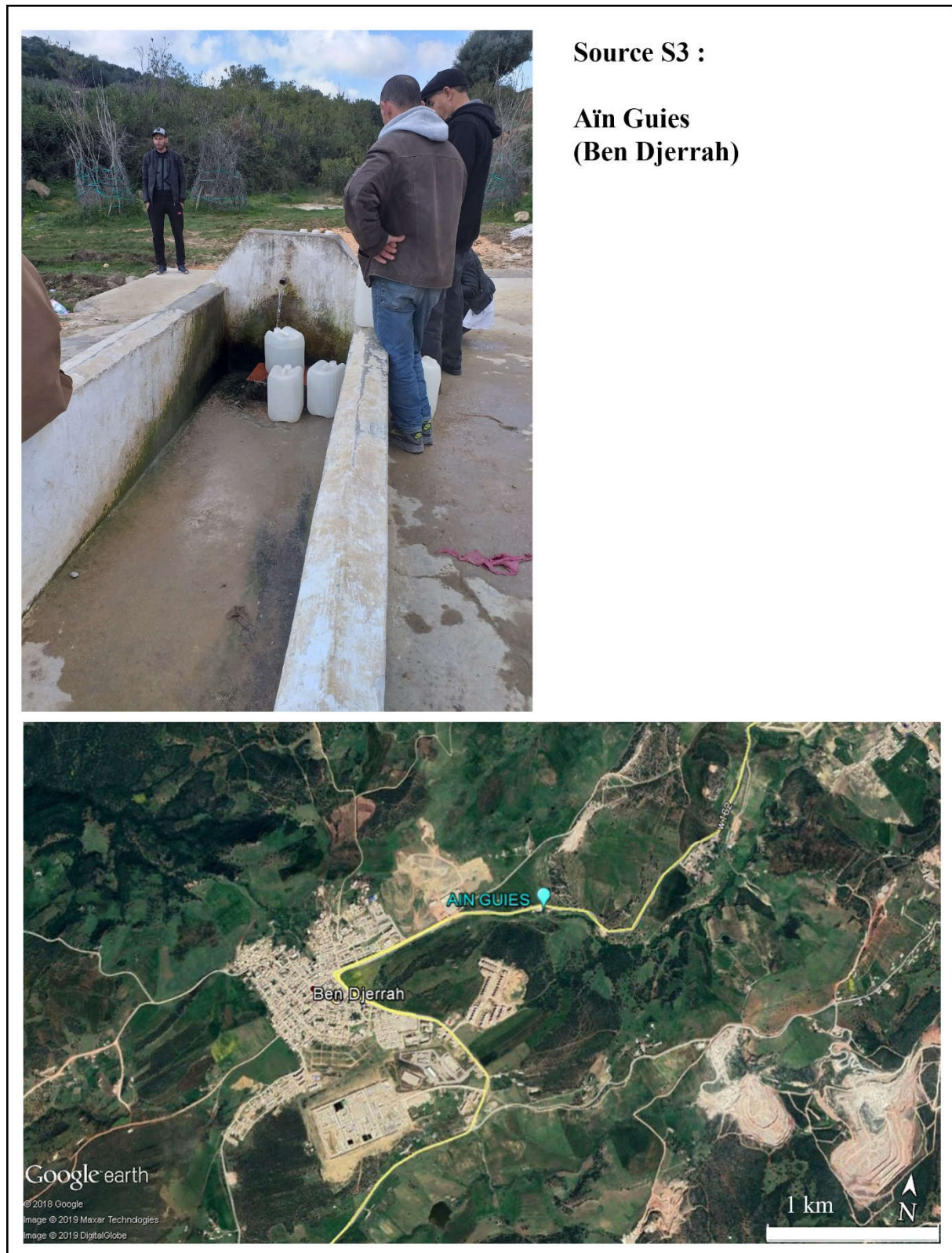


Figure II-4 : Source N°2 : Ain Bouchiha (extraits des cartes topographique et géologique).

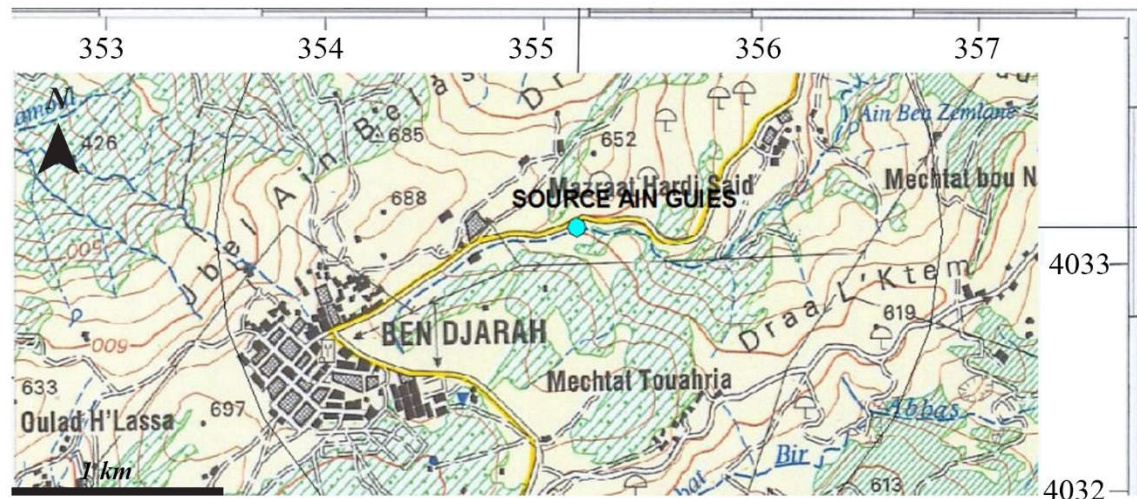
La source d'Ain Bouchiha se situe dans des formations de tufs et calcaires lacustres de Guelma d'âge Quaternaire.



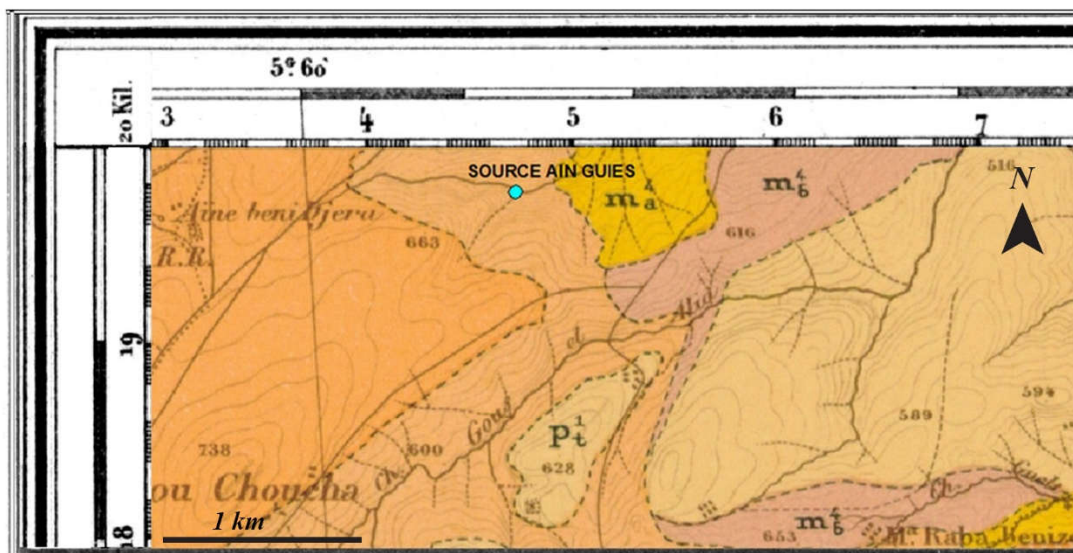
Source S3 :

Aïn Guies
(Ben Djerrah)

Figure II-5 : Source N°3 : Ain Guies (photo et vue satellite). Photo prise par Nouasria.A et Khalla. I



Extrait de la carte topographique d’Algérie au 1/50 000 (GUELMA)



Extrait de la carte géologique de ABDI La MAHOUNA au 1/50 000 (N°76)

- e_a^2 Argiles et grès (Medjanien)
- m_a^4 Argiles grises à gypse
- m_b^4 Argiles rouges gréseuses et poudingue (Pontique)

Figure II-6 : Source N°3 : Ain Guies (extraits des cartes topographique et géologique).

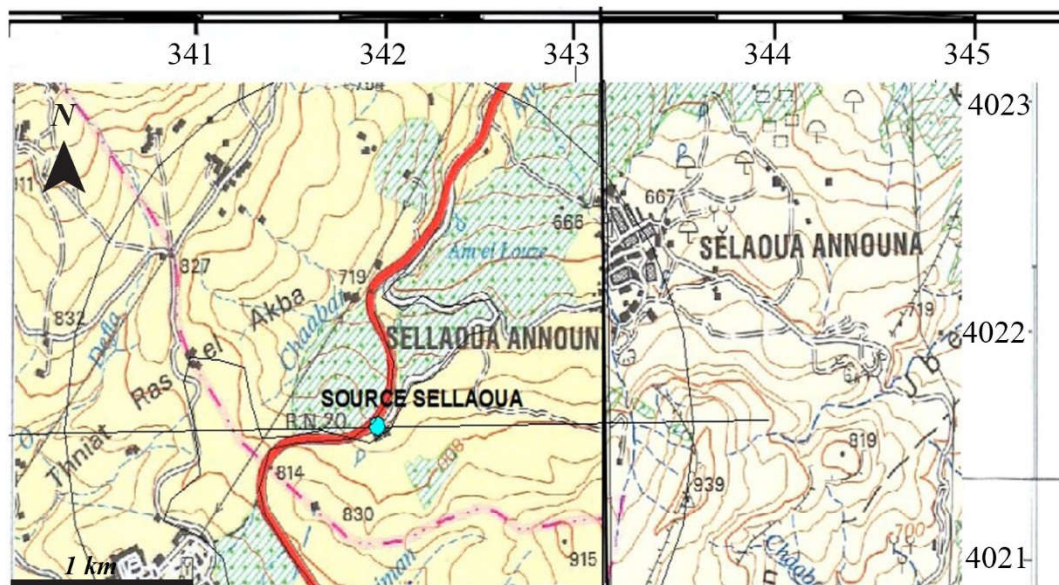
La source d’Ain Guies localisée dans des formations d’argiles et grès d’âge Medjanien.



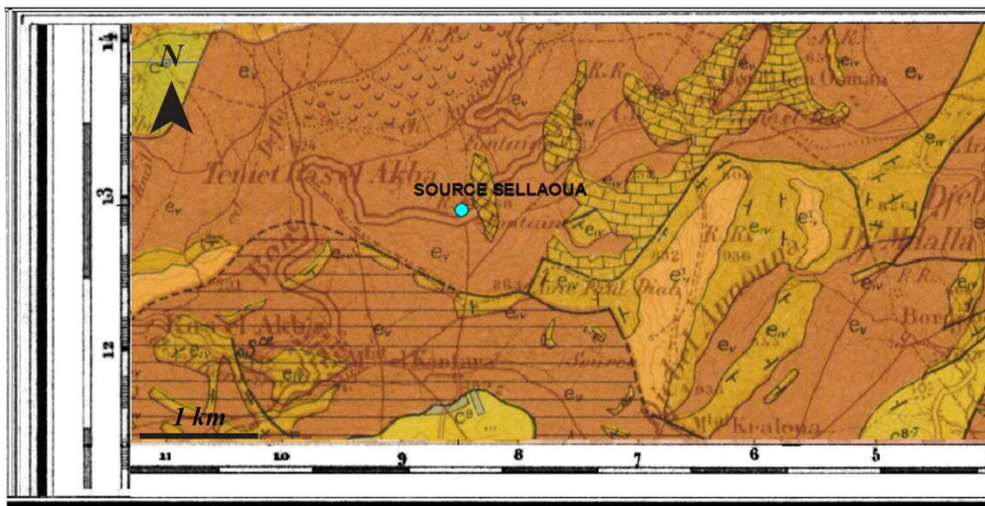
Source S4 :

Sellaoua
(Sellaoua Announa)

Figure II-7 : Source N°4 : Sellaoua (photo et vue satellite). Photo prise par Nouasria.A et Khalla. I



Extrait de la carte topographique d'Algérie au 1/50 000 (GUELMA)



Extrait de la carte géologique de OUED ZENATI au 1/50 000 (N°75)

-  Dano-Montien
 - 1. Marnes noires
 - 2. Eboulis de cet étage
-  Lutétien
 - 1. Calcaires
 - 2. Marnes grises
-  Yprésien
 - Marno-calcaires à silex

Figure II-8 : Source N°4 : Sellaoua (extraits des cartes topographique et géologique).

La source de Sellaoua se situe dans des formations des marneuses noires d'âge Dano-Montien.

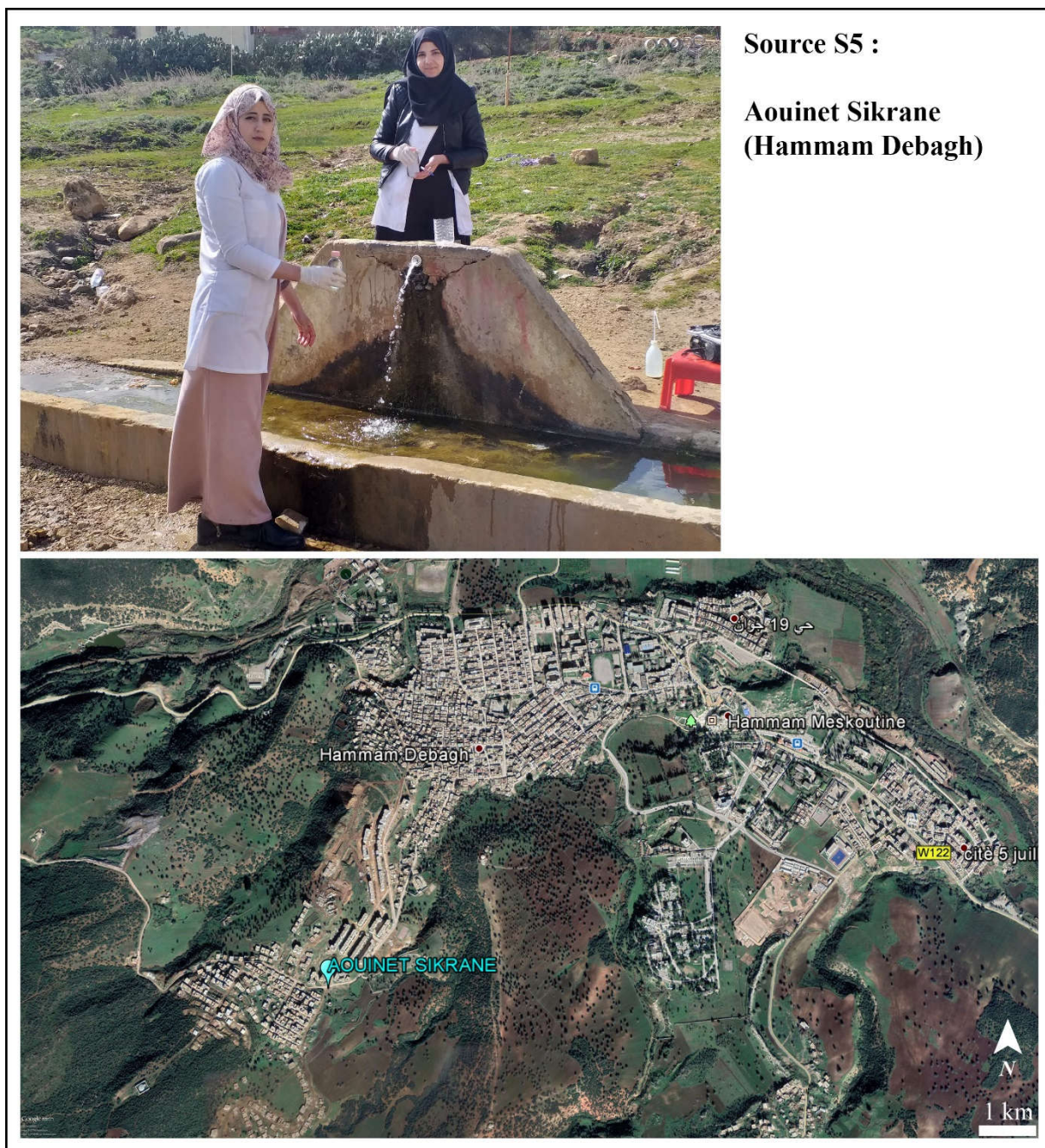


Figure II-9 : Source N°5 : Aouinet Sikrane (photo et vue satellite). Photo prise par Nouasria.A et Khalla. I

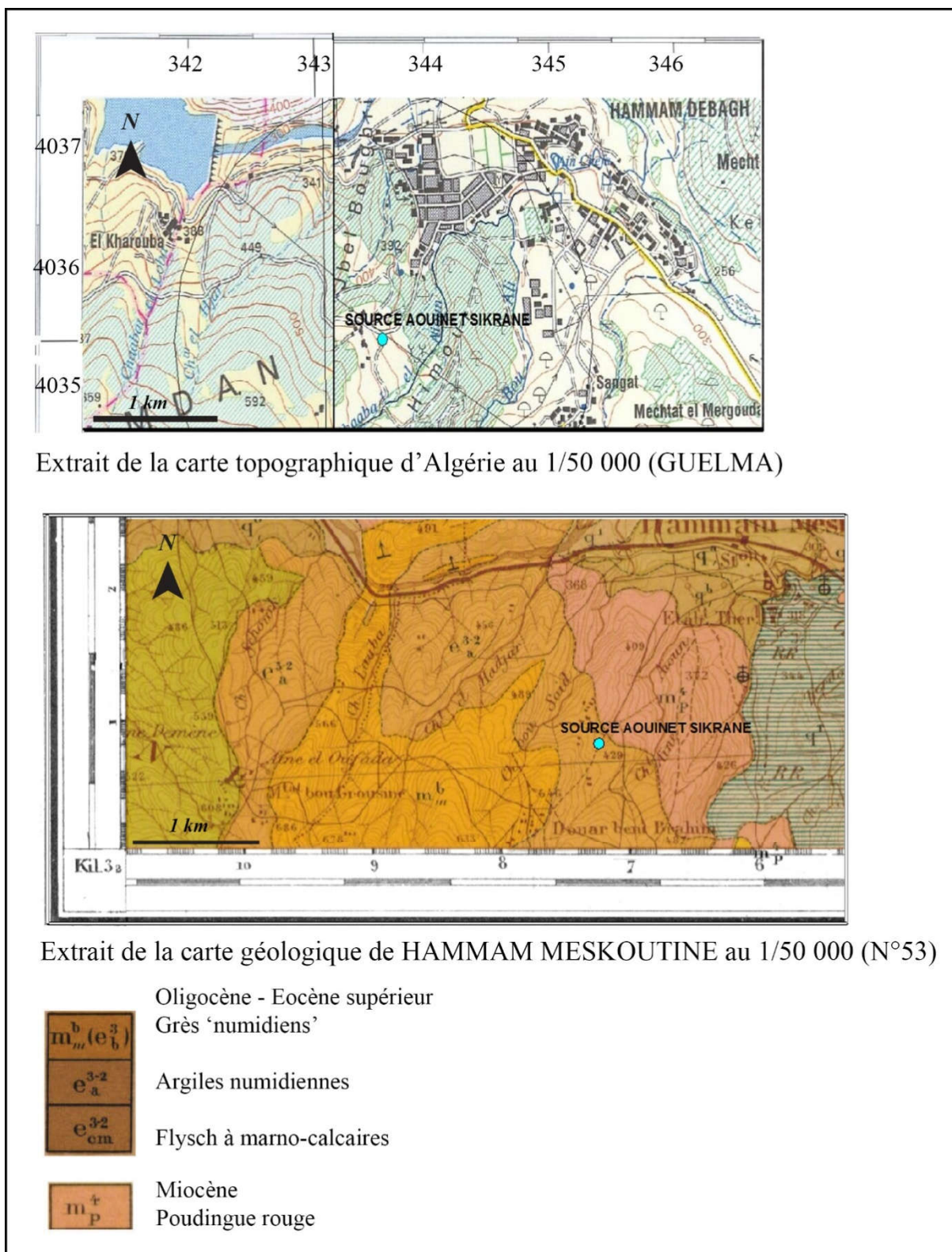


Figure II-10 : Source N°5 : Aouinet Sikrane (extraits des cartes topographique et géologique).

La source d'Aouinet Sikrane se situe dans les argiles numidiennes d'âge Oligocène à Eocène supérieur, à proximité du poudingue rouge d'âge Miocène.

II.2. Mode de Prélèvement

Les techniques de prélèvements sont variables en fonction du but recherché et de la nature de l'eau à analyser. Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée.

L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension, etc.)(Rodier et *al*, 2009).

Dans notre cas, l'échantillonnage pour les analyses physicochimiques s'est effectué dans des flacons propres de type bouteille en plastique d'eau minérale (Polyéthylène) de 1.5 litre.

L'échantillonnage destiné à l'analyse bactériologique a été fait à l'aide de flacons en verre stériles en pyrex munis de bouchons à vis. Les flacons stériles sont maintenus sous la conduite de la source directement, en ouvrant le bouchon sous le flux d'eau. Il faut remplir le flacon en laissant un certain vide d'air, afin de permettre un mélange en agitant le flacon.

II.2.1. Matériel utilisé sur le terrain

On a utilisé le matériel suivant :

- Un appareil multi-paramètre qui mesure le PH, la température, la conductivité, l'oxygène dissous, TDS³
- Un GPS
- Des bouteilles vides (polyéthylène)
- Flacons en verre
- Un appareil photos
- Des étiquettes et stylos
- Un carnet de terrain
- Un seau.

³TDS =Taux des sels dissous.



Photo II-2 : Matériel utilisé sur le terrain.

II.2.2. Transport et conservation des échantillons

Depuis le prélèvement jusqu'au traitement, il faut un délai aussi court que possible, un stockage bref et une conservation à basse température pendant toute la durée du transport. L'analyse bactériologique doit être effectuée le plus rapidement possible car la teneur initiale en microorganismes contenus dans l'eau peut varier dans les flacons après le prélèvement.

II.3. Mesures et analyse des paramètres

II.3.1. Les mesures *in situ*

Les mesures *in situ* sont des analyses réalisées sur place par un appareil multi-paramètre qui permet la mesure des différents paramètres fournis par la même sonde à 4 électrodes. Il faut suivre les procédures suivantes après avoir planté directement la sonde de mesure dans le récipient d'eau échantillonnée :

- Raccorder la sonde à l'instrument.
- Immerger la sonde dans l'échantillon à mesurer en évitant les chocs.
- Allumer l'instrument.
- L'instrument affichera les différents paramètres selon la programmation effectuée.
- Appuyer sur la touche LOG pour mémoriser les données ou sur la touche MENU pour entrer en mode programmation.

Pour certains paramètres, il est également possible de sélectionner l'unité de mesure en appuyant sur UNIT ou RÉOLUTION (Hanna, 2008).

De nombreuses réactions (chimiques, physiques ou biologiques) peuvent se produire au sein d'un échantillon destiné à l'analyse, modifiant sensiblement les concentrations de certains éléments. Par exemple, la température, le pH, la conductivité et l'oxygène dissous doivent être mesurés sur place. Ces paramètres sont très sensibles aux conditions du milieu et susceptibles de varier dans des proportions importantes s'ils ne sont pas mesurés sur le site (la liste des paramètres mesurés sur place est donnée dans le tableau suivant). Ils donnent les premières indications sur la qualité des eaux.

Nous avons également noté les coordonnées GPS et mesuré le débit de chaque source.

Le débit a été mesuré de façon empirique en chronométrant la durée de remplissage d'un récipient de volume connu (un seau de 12 L).

Tableau II-2 : Paramètres physiques mesurés sur terrain.

Paramètres	Matériel
Température (T°C)	multi-paramètre
Potentiel hydrogène (pH)	multi-paramètre
Oxygène dissous (OD mg/l) et en (%)	multi-paramètre
Conductivité électrique (CE $\mu\text{s}/\text{cm}$)	multi-paramètre
TDS (mg/l)	multi-paramètre
Salinité	multi-paramètre

Détails concernant les paramètres mesurés sur place :

Température (T°C) :

Il est très important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision (Rodier et *al.* 1996). En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz (De Villers et *al.* 2005), dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique et dans la détermination du pH pour la connaissance de l'origine de l'eau. (Leclerc, 1996 ; Rodier et *al.* 1996). La température de l'eau dépend des échanges thermiques avec l'air ambiant et du rayonnement solaire.

La température joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique bactérienne et de l'évaporation des eaux. Elle varie en fonction de la température extérieure (l'air), des saisons, de la nature géologique et de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface

du sol. De plus elle met en évidence des contrastes de température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir des inducteurs sur l'origine de l'eau (Drissi, 2008).

✚ Potentiel d'Hydrogène (pH) :

Le pH mesure la concentration en ions H^+ . Il traduit ainsi la balance entre l'acidité ou l'alcalinité sur une échelle de pH qui s'étend de 0 à 14 avec 7 étant neutre.

Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau (Castany et Margat, 1977). Il joue aussi un rôle primordial dans les processus biologiques qui exigent des limites très étroites de pH (Zeddouri, 2003), sans oublier que la mesure du pH donne des renseignements importants sur la nature des eaux (Detay, 1993).

D'une façon générale, le pH des eaux naturelles est lié à la nature de terrains traversés, il varie habituellement entre 7,2 et 7,6 (Rodier, 1996).

✚ Conductivité électrique CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$) :

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique (Rodier et al, 2009).

La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés d'électrons. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau (Saadali, 2007).

La conductivité est également fonction de la température de l'eau: elle est plus importante lorsque la température augmente (Mayet, 1994). Elle s'exprime en micro siemens par centimètre (Detay, 1993).

✚ Oxygène dissous (O_2) :

L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'eau car il conditionne la vie des microorganismes aquatiques et généralement le fonctionnement de cet écosystème. Il est un facteur écologique essentiel indispensable pour la respiration des organismes vivants aérobies (Chocat, 1997, in Chibani.S, 2009). La diminution de sa teneur génère un milieu favorable à la fermentation et aux dégagements d'odeurs. Sa solubilité est fonction de la température, la pression partielle dans l'atmosphère et de la salinité (Rodier, 1994). La mesure de l'oxygène

dissous (mg/l ou en % saturation) est importante car elle permet de fournir des informations concernant la dégradation de substances organiques (réactions biochimiques), la provenance de l'eau, la mobilisation potentielle de certains métaux, etc. (Thierrin *et al*, 2001).

✚ Minéralisation globale d'une eau (TDS) :

La minéralisation est fonction de la géologie des terrains traversés. D'une façon générale, elle est plus élevée dans les eaux souterraines que dans les eaux superficielles.

Une eau dont la minéralisation est inférieure à 600 mg/l, est généralement considérée comme bonne; au-delà de 1200 mg/l, elle devient (sauf accoutumance) assez désagréable (Rodier, 1996).

✚ Salinité :

C'est la masse de sels (composés ioniques) dissous dans 1L d'eau. Elle s'exprime en g par Kg d'eau. Un composé ionique ou solide ionique cristallin est constitué de cations (ions chargés positivement) et d'anions (ions chargés négativement) régulièrement disposés dans l'espace.

Globalement, un cristal ionique est électriquement neutre. Chaque solide ionique cristallin possède une formule statistique qui indique la nature et la proportion des ions présents sans en mentionner. (Rodier *et al*, 2009)

II.3.2. Les analyses chimiques (laboratoire)

Les analyses chimiques (et microbiologiques) des eaux des sources étudiées ont été réalisées à la station de traitement des eaux du barrage de Hammam Debagh.



Photo II-3 : Station de traitement des eaux du barrage de Hammam Debagh.

II.3.2.1. Matériel utilisé au laboratoire

Le matériel utilisé est le suivant (voir photo) :

- Spectrophotomètre UV-Visible convenant pour effectuer des mesures à 510 nm.
- Cuve photométrique, de parcours optique d'au moins 10 mm et convenant pour l'absorbance prévue de la solution d'essai.
- Balance analytique de laboratoire.
- Matériel courant de laboratoire : fioles, pipettes, béchers, burettes, poires à pipeter, barreaux magnétiques...
- Agitateur magnétique
- Capsules de 100 ml
- Etuve pour séchage
- pH-mètre
- Electrode
- Dispositif de filtration sous vide ou sous pression (rampe)
- Membranes de filtration.



Balance ionique.



Bain-marie.



pH-mètre.



Agitateur magnétique



fliales

béchers



poire

burette



pissette

pipette

barreaux
magnétiques



Spectrophotomètre.

Photo II-4 : Matériel courant de laboratoire.

II.3.2.2. Eléments chimiques analysés

On procède à une analyse des éléments majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , PO_4^{3-} , NO_3^- , NO_2^-) ainsi que le titre alcalimétrique complet TAC et le titre hydrotimétrique TH.

Tableau II-3 : Méthode de dosages des paramètres chimiques.

Paramètre chimique	Unité	Méthode
Calcium	mg/l	Méthode titrimétrique à l'EDTA
Magnésium	mg/l	Méthode titrimétrique à l'EDTA
Fer	mg/l	Méthode spectrophotométrique à la phénantroline
Ammonium	mg/l	Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire
Bicarbonate	mg/l	Méthode titrimétrique à l'acide Chlorhydrique à 1 N, et solution d'HCl à 0,1N.
Sulfate	mg/l	Méthode spectrophotométrique au BaCl_2
Chlorure	mg/l	Méthode de Mohr
Nitrate	mg/l	Méthode spectrophotométrique au salicylate de sodium.
Nitrite	mg/l	Méthode Titrimétrique
Phosphate	mg/l	Méthode spectrophotométrique à l'acide ascorbique
TH	°F (degré français)	Méthode titrimétrique à l'EDTA

Les paramètres chimiques analysés sont les suivants :

🚦 Calcium (Ca^{2+}) :

Titration des ions calcium avec une solution aqueuse de l'EDTA à un pH compris entre 12 et 13. L'indicateur utilisé est le murexide, qui forme un complexe rose avec le Calcium.

Lors du titrage, l'EDTA réagit avec les ions calcium, l'indicateur vire alors de la couleur rose à la couleur violette.

✚ Magnésium (Mg^{2+}) :

Le magnésium est l'un des éléments les plus répandus dans la nature; il constitue environ 2,1% de l'écorce terrestre. La plupart de ses sels sont très solubles dans l'eau (Rodier, 1996).

Ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite) (Debieche, 2002). Il est classé comme élément significatif de la dureté de l'eau.

Le titrage molaire des ions calcium et magnésium a été fait avec une solution de sel disodique de l'acide éthylènediaminetétraacétique (EDTA) à pH=10.

Le noir érichrome T, qui donne une couleur rouge foncé ou violette en présence des ions calcium et magnésium, est utilisé comme indicateur (Rodier et al, 2009).

✚ Sodium et Potassium (Na^+ et K^+):

La photométrie de flamme permet le dosage des cations alcalins Li, Na, K.


Le photomètre de flamme est constitué de trois éléments : le bruleur, le monochromateur et d'une cellule photoélectrique ; d'un amplificateur et d'un afficheur.

✚ Fer (Fe^{2+}) :

On ajoute une solution de phénantroline-1.10 à une prise d'essai et on effectue une mesure photométrique du complexe rouge- orange à une longueur d'onde de 510 nm. Le complexe fer (IIphénantroline-1.10) est stable dans l'intervalle de pH de 2.5 à 9 et l'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité du fer.

✚ Ammonium (NH_4^+) :

On réalise une mesure spectrométrique du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence d'ion nitroprussiate de sodium. Les ions hypochlorite sont générés *in situ* par hydrolyse alcaline du sel de sodium du dichoroisocyanurate de sodium.

 Bicarbonate (HCO_3^-) :


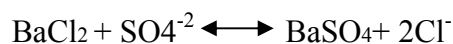
L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des bicarbonates, carbonates et hydroxydes. La détermination des volumes successifs d'acide fort en solution diluée est nécessaire pour neutraliser, aux niveaux de $\text{pH} = 8.3$ et 4.3 , le volume d'eau à analyser.

La première détermination sert à calculer le titre alcalimétrique (TA), la seconde à calculer le titre alcalimétrique complet (TAC).


On titre avec de l' HCl à $0,1 \text{ N}$ jusqu'à obtention d'un pH de $4,3$ (Aminot et Chaussepied, 1983).

 Sulfate (SO_4^{2-}) :

Les ions sulfates sont précipités et dosés à l'état de sulfate de baryum suivant la réaction :

 Nitrate (NO_3^-) :

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitro-salicylate de sodium, coloré en jaune et qui peut être dosé par colorimétrie.

 Nitrite (NO_2^-) :

Les ions nitrites réagissent en milieu acide ($\text{pH} = 1.9$) avec la sulfamilade en formant du sel de Diazonium qui forme avec le N- (1-naphtyl) - éthylènediamine – dichlorohydraté un colorant azoïque rouge.

 Chlorure (Cl^-) :

Les chlorures sont dosés en milieu neutre, par une solution titrée de nitrate d'argent $\text{N}/10$ en présence de chromate de potassium à 10% . La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent.

 Phosphate (PO_4) :

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les ortho phosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage spectrométrique. Certaines formes organiques pouvant être

hydrolysées au cours de l'établissement de la coloration et donner des ortho phosphates, le développement de la coloration est accélérée par l'utilisation d'un catalyseur, le tartrate double d'antimoine et de potassium (Rodier, 2009).

✚ Alcalinité (TA-TAC) :

À l'inverse de l'acidité, l'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bases et de sels d'acides faibles. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte le plus généralement de la présence d'hydrogencarbonates, de carbonates et d'hydroxydes.

On distingue comme pour la mesure de l'acidité, deux titres qui sont le titre alcalimétrique ou titre alcalimétrique simple (TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC).

La détermination des volumes successifs d'acide fort en solution diluée est nécessaire pour neutraliser, aux niveaux de pH 8.3 et 4.3, le volume d'eau à analyser. La première détermination sert à calculer le titre alcalimétrique (TA), la seconde à calculer le titre alcalimétrique complet (TAC) (Rodier et *al*, 2009).

✚ Matière en Suspension (MES) :

La détermination des matières en suspension dans l'eau s'effectue par filtration, l'eau est filtrée et le poids de matières retenues par le filtre est déterminé par pesée différentielle.



Photo II-5 : Membrane utilisée dans la détermination des MES.

✚ Matière Organique (MO):

L'échantillon d'eau est en présence d'une quantité connue de permanganate de potassium et d'acide sulfurique pendant une période donnée (10mn). Une partie du permanganate est réduite par les matières oxydables de l'échantillon. L'excès de permanganate est déterminé

par addition d'un excès d'oxalate, suivie par un titrage de l'oxalate en excès par du permanganate (principe de titrage en retour).

✚ Résidu sec (RS) :

On provoque l'évaporation au bain d'eau bouillante d'un volume d'eau choisie en fonction des quantités de matières fixes présentes, dessiccation à l'étuve à température donnée et pesée du résidu.

Le résidu sec à 100-105 °C :

Une partie ou la totalité tant de l'eau interstitielle que de l'eau de cristallisation de certains sels peut s'évaporer. Vers 105-110 °C, les hydrogénocarbonates se transforment en carbonates, ce qui entraîne une perte d'anhydride carbonique.

Il peut y avoir, en outre, une perte plus ou moins négligeable de matières organiques.

✚ Dureté totale (TH) :

La dureté d'une eau ou titre hydrotimétrique (TH) est la somme des cations alcalino-terreux présents dans l'eau, c'est le cas des ions calcium et magnésium. Ces ions présents dans l'eau sous forme de sels de chlorure, de sulfates ou hydrogénocarbonate. On détermine la dureté totale de l'eau par la méthode complexométrique.

✚ Turbidité:

La turbidité d'une eau est due à la présence des particules en suspension, notamment colloïdales : argiles, limons, grains de silice, matières organiques, etc. L'appréciation de l'abondance de ces particules mesure son degré de turbidité. Celui-ci sera d'autant plus faible que le traitement de l'eau aura été plus efficace (Rodier *et al.*, 2009).

Elle est exprimée en unités et correspond à une mesure optique de passage de lumière. D'autres unités comparables sont employées, l'unité néphélométrique de turbidité ou NTU.



Photo II-6 : Le turbidimètre.

II.3.3. Hydrochimie

II.3.3.1. Introduction

L'hydrochimie étudie les interactions entre l'eau et la roche. Au cours de sa circulation dans le sous-sol, l'eau va se charger en substances minérales. Ce phénomène est appelé échange de base.

La chimie des différentes sources en eau (eaux de surface, eaux souterraines) est souvent influencée par la dissolution des formations géologiques, les rejets industriels ou encore l'activité agricole.

En raison de l'utilisation de ces eaux, l'hydrochimie permet de :

- Donner une idée de la qualité chimique de l'eau,
- Visualiser à l'aide de cartes la répartition et l'évolution géographique des concentrations en éléments chimiques dissous.

II.3.3.2. Qualité des données

L'analyse des balances ioniques permet de contrôler la cohérence des résultats. Il s'agit de comparer quantitativement les cations et les anions, pour voir si la somme des premiers correspond à celle des seconds. Pour ce faire, on utilise une unité commune (le milli-équivalent par litre ou meq/l). Dans le cas d'une trop grande différence entre les cations et les anions, cela indique que les résultats ne sont pas satisfaisants (un élément a pu être mal estimé ou oublié), et donc que les analyses ne sont pas fiables.

La méthode utilisée est la Balance Ionique (BI) : elle est exprimée sous forme d'un écart relatif par la formule suivante :

$$BI = \frac{\Sigma r(\text{cations}) - \Sigma r(\text{anions})}{\Sigma r(\text{cations}) + \Sigma r(\text{anions})} \times 100$$

Toutes les valeurs des cations et anions sont en **meq/l**.

D'une manière générale, plus l'écart entre cations et anions est faible, meilleur sont les résultats. On prend en compte la valeur absolue de la balance ionique (donc sans tenir compte du signe) :

Tableau II-4 : Balance ionique et fiabilité des résultats.

Valeur absolue de la balance ionique BI	Fiabilité des résultats
< 1 %	Excellente
Comprise entre 1 et 5 %	Acceptable
Comprise entre 5 et 10 %	Médiocre
> 10 %	Douteuse (mauvaise)

(in Mekkaoui et Benour, 2016)

II.3.4. Les analyses microbiologiques

Afin de compléter l'analyse chimique des eaux, quelques analyses microbiologiques ont été réalisées, ce qui permettra d'évaluer de façon plus précise la qualité réelle des eaux.

L'objectif d'une analyse bactériologique n'est pas d'effectuer un inventaire de toutes les espèces présentes, mais de rechercher soit celles qui sont susceptibles d'être pathogènes soit, ce qui est souvent plus aisé, celles qui les accompagnent et qui sont en plus grand nombre souvent présentes dans l'intestin des mammifères et sont par leur présence indicatrices d'une contamination fécale et donc des maladies associées à la contamination fécale (Rodier et *al*, 2009).

II.3.4.1. Technique de la filtration sur membrane

L'appareil utilisé est le suivant :

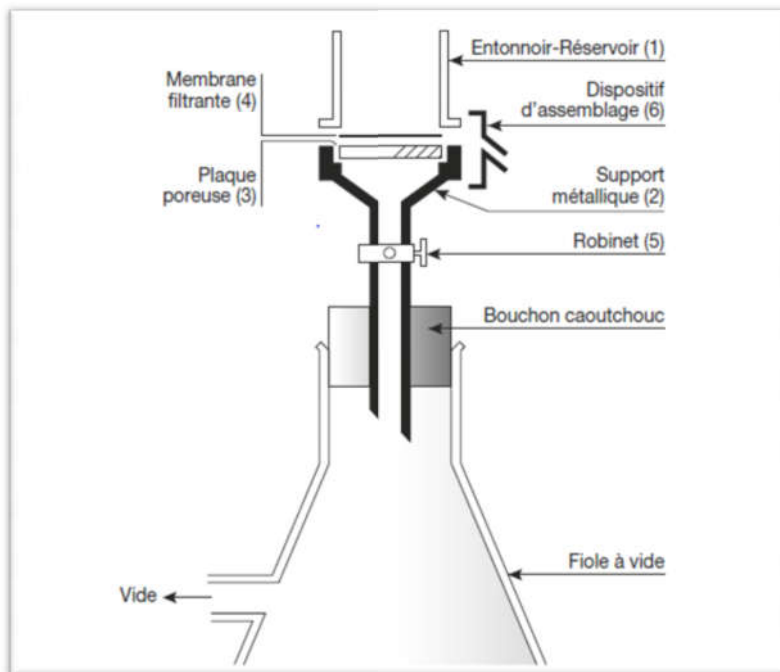


Figure II-11 : Coupe schématique d'un appareil de filtration sur membranes (Rodier et *al*, 2009).

Méthode suivie :

- ♣ Flamber la face supérieure (plaque poreuse) de l'appareil.
- ♣ Fermer le robinet du support et mettre en marche la pompe à vide.
- ♣ Prélever une membrane stérile en la saisissant par son bord extérieur, avec une pince flambée et refroidie ; déposer sur la plaque poreuse.
- ♣ L'entonnoir-réservoir flambé et refroidi est placé au-dessus de la membrane.
- ♣ Installer le dispositif de fixation.
- ♣ Agiter soigneusement le flacon d'eau à analyser et verser l'eau, stérilement, dans le réservoir jusqu'au repère (100 ml).
- ♣ Ouvrir le robinet du support suffisamment pour laisser l'eau s'écouler lentement sous l'action du vide,
- ♣ Rincer avec de l'eau stérile (40 à 50 ml) dès la filtration terminée.
- ♣ Dès que la membrane paraît sèche, fermer le robinet, enlever le dispositif de fixation et, avec la pince à creuset, le réservoir.
- ♣ Prélever la membrane avec une pince flambée en la saisissant par son extrême bord, et l'introduire sur le milieu de culture choisi (**Rodier et al, 2009**).

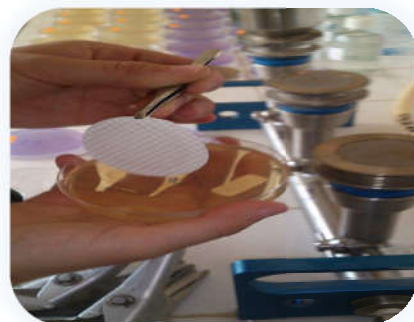


Photo II-7 : Méthode de filtration par membrane.



Photo II-8 : Appareillage utilisé pour la filtration sur membranes (rampe).

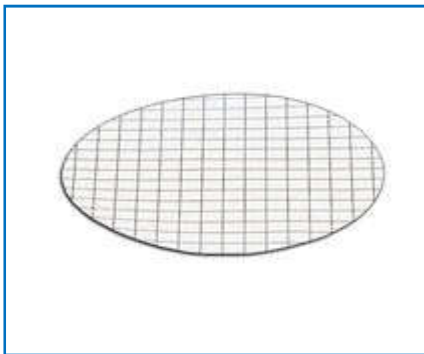


Figure II-12 : Membrane filtrante 0.45 micron (Rodier, 1984).

II.3.4.2. Recherche et dénombrement des germes revivifiables (germes totaux)

Les microorganismes revivifiables nommés également mésophiles aérobies sont toute bactérie, levure ou moisissure, capable de former des colonies dans un milieu spécifié à des températures optimales de croissance (après 24 h à 37 °C et 72 h à 22 °C) [Rejsek, 2002].

✚ Mode opératoire :

A partir de l'eau à analyser, et des dilutions décimales 10^{-1} et 10^{-2} , porter aseptiquement 2 fois 1 ml dans deux boîtes de Pétri vides, numérotées et préparées à cet usage (Lebres, 2002).

Compléter ensuite chacune des boîtes avec environ 20 ml de gélose TGEA fondue puis refroidie à $45\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ (Lebres, 2002). Le temps qui s'écoule entre le moment où l'on a distribué l'inoculum dans la boîte et celui où le milieu est coulé ne doit pas excéder 15 minutes (Merzoug, 2009). Faire ensuite des mouvements circulaires et de va-et-vient en forme

de « 8 » sur une surface horizontale pour permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose (Lebres, 2002). Laisser solidifier les boîtes sur la paille (Merzoug, 2009)

Les boîtes seront partagées en deux séries distinctes :

- ✓ La première série sera incubée, couvercle en bas à $22\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ pendant 72 ± 3 heures.
- ✓ La seconde sera incubée couvercle en bas à $37\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C}$ pendant 24 ± 1 heures (Rodier et *al*, 1996).

 **Lecture :**

Les germes revivifiables se présentent dans les deux cas sous formes de colonies lenticulaires poussant en masse.

Il s'agit de dénombrer toutes les colonies, en tenant compte des deux remarques suivantes :

1. Dénombrer les boîtes contenant entre 15 et 300 colonies.
2. Les résultats sont exprimés en nombre de micro-organismes revivifiables par ml d'eau à analyser à 22°C et 37°C .

$$N = \frac{\sum c}{1.1 \times d}$$

Où :

$\sum c$: est la somme des colonies dénombrées sur deux boîtes de dilutions successives retenues.

d : est le taux de dilution correspondant à la première dilution.



Photo II-9 : Exemple d'analyse microbiologique pour les germes totaux sur une boîte de Petri.

II.3.4.3. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et coliformes fécaux

Selon les paramètres recherchés dans chaque type d'eau, on utilise différents milieux de cultures cités dans les normes correspondantes :

- ✓ Pour la recherche et le dénombrement des coliformes totaux : on utilise une gélose lactosées au TTC et TERGITOL, incubé à 37°C.
- ✓ Pour la recherche et le dénombrement des streptocoques fécaux : on utilise le milieu SLANETZ au TTC, incubé à 37°C

Définition :

Coliformes totaux

Dans cette famille des entérobactéries, certains forment le groupe des coliformes, qui ont les propriétés suivants :

- Ce sont des bacilles à Gram négatif, non sporulés, oxydase «-», aérobies ou anaérobies facultatifs
- Ils peuvent se développer en présence de sels biliaires ou d'autres agents de surface équivalents
- Ils fermentent le lactose avec production d'acide et de gaz en 48 heures à une température de 35 à 37°C. ($\pm 0.5^\circ\text{C}$). (Dellarras *et al*, 2003).

coliformes fécaux :

Les coliformes thermo tolérants ont les même propriétés que les coliformes mais à $42 \pm 2^\circ\text{C}$.

Les *Escherichia Coli* sont des coliformes thermo-tolérants ayant la particularité de produire de l'indole à partir du tryptophane présent dans le milieu à $42 \pm 2^\circ\text{C}$ (Lebres *et al*, 2008).

Mode opératoire :

- **Test présomptif :**

La recherche et le dénombrement des coliformes se fait selon la méthode en filtration sur membrane à 0,45m en milieu solide (Lebres *et al*, 2008).

 **Lecture :**

Après la période d'incubation spécifiée, dénombrer les colonies caractéristiques qui se présentent sous forme de petites colonies lisses légèrement bombées à contours réguliers et pigmentés en jaune orangé ou en jaune (lactose positives) (Rodier et al., 2009).

• **Test confirmatif :**

Repiquer de façon aléatoire 5 à 10 colonies à fin de confirmation la présence des coliformes fécaux qui basée sur le test à la production d'indole d'autre part.

- Il faut transférer chaque colonie caractéristique séparément (5 à 10) dans un tube de milieu Schubert.
- Bien triturer la colonie dans le milieu puis incuber ce dernier à $44 \pm 0,5^\circ\text{C}$ pendant 21 ± 3 heures

 **Lecture :**

Ajouter 2 à 3 gouttes du réactif de Kovacs. La présence d'une coloration rouge à la surface du bouillon traduit la production d'indole à partir du tryptophane présent dans le milieu (Rodier et al., 2009).

Calculer ensuite la valeur a du nombre de bactéries coliformes lactose positives et des *Escherichia coli*.

Le résultat final sera exprimé selon l'équation mathématique suivante :

$$a = \frac{b}{C} \times A$$

où :

b : nombre de colonies caractéristiques présumées dans la boite

A : nombre de colonies repiquées

C : nombre total de colonies trouvées dans la boite

II.3.4.4 Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux :

 **Mode opératoire :**

• **Test présomptif :**

La recherche se fait selon la méthode de Lebres et Mouffok (2008), qui est la streptométrie par filtration

✚ Lecture :

Après incubation, les streptocoques apparaissent sous forme de petites colonies rouges, marron ou roses, lisses, légèrement bombées.

• Test confirmatif :

Transférer aseptiquement la membrane du milieu SLANETZ et BARTLEY sur une plaque de gélose bile esculine azoture (BEA) préchauffée préalablement à 44°C. Cette dernière sera incubée à son tour à 44±0.5°C pendant 2 heures.

Lecture :

Les colonies caractéristiques prennent une coloration noire traduisant ainsi l'hydrolyse de l'esculine présente dans le milieu. Le nombre de colonies trouvées sera exprimé (**Rodier et al, 2009**).



Photo II-10 : Matériel utilisé (flacons d'eau, boîtes de Petri vierges).

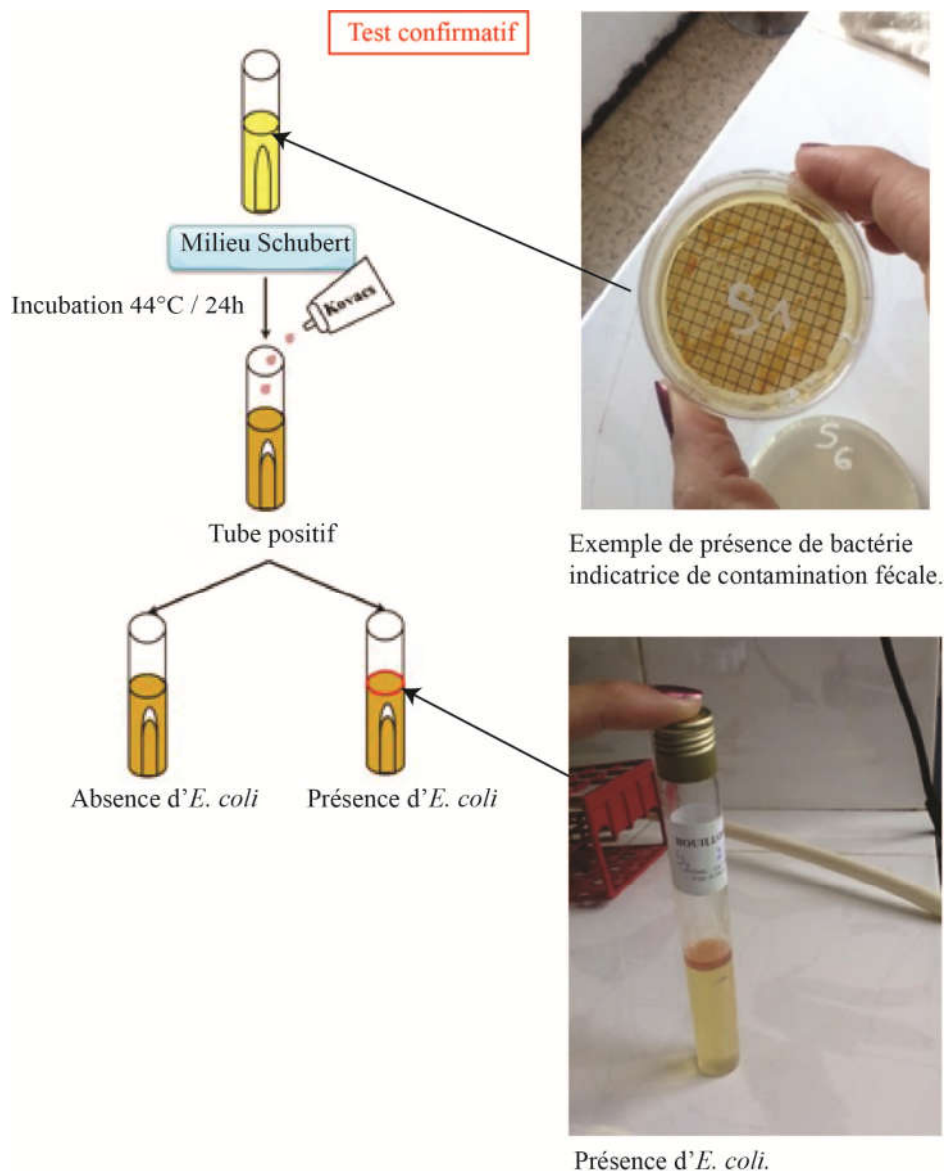


Photo II-11 : Exemple montrant la présence d'*E. Coli*.

II.3.4.5. Recherche et dénombrement des spores de bactéries anaérobies sulfitoréducteurs (ASR)

Les anaérobies sulfitoréducteurs (ASR) se présentent sous forme de bactéries Gram+, se développant en 24 à 48 heures sur une gélose viande foie (VF) en donnant des colonies typiques réduisant le sulfite de sodium (Na_2SO_3) qui se trouve dans le milieu, en sulfure qui en présence de Fe^{2+} donne FeS (sulfure de fer) de couleur noire. Les spores des ASR constituent généralement des indices de contamination ancienne (Rejsek, 2002).

🛠 Mode opératoire :

Après l'avoir homogénéiser soigneusement, introduire 25 ml d'eau à analyser dans un tube stérile et placer celui-ci dans un bain d'eau à 80°C pendant 10 minutes dans le but de détruire

toutes les formes végétatives des ASR éventuellement présentes, puis refroidir rapidement sous l'eau de robinet. Répartir ensuite le contenu de ce tube, dans 4 tubes stériles, à raison de 5 ml par tube :

- ✓ Couler dans chacun d'eux 20 ml de gélose VF, fondue puis refroidir à $45 \pm 1^\circ\text{C}$, additionnée 1 ml de la solution de sulfite de sodium et 4 gouttes de la solution d'alun de fer.
- ✓ Mélanger doucement sans incorporer de bulles d'air.
- ✓ Laisser solidifier sur la paillasse pendant 30 minutes environ, puis incuber à 37°C pendant 24 à 48 h (Labres, 2006).

📌 Lecture et expression des résultats :

Considérer comme résultat d'une spore de bactérie anaérobie sulfito-réductrice toute colonie noire entourée d'un halo noir. Exprimer le résultat en nombre de spore par 20 ml d'eau à analyser (Rejsek, 2002).

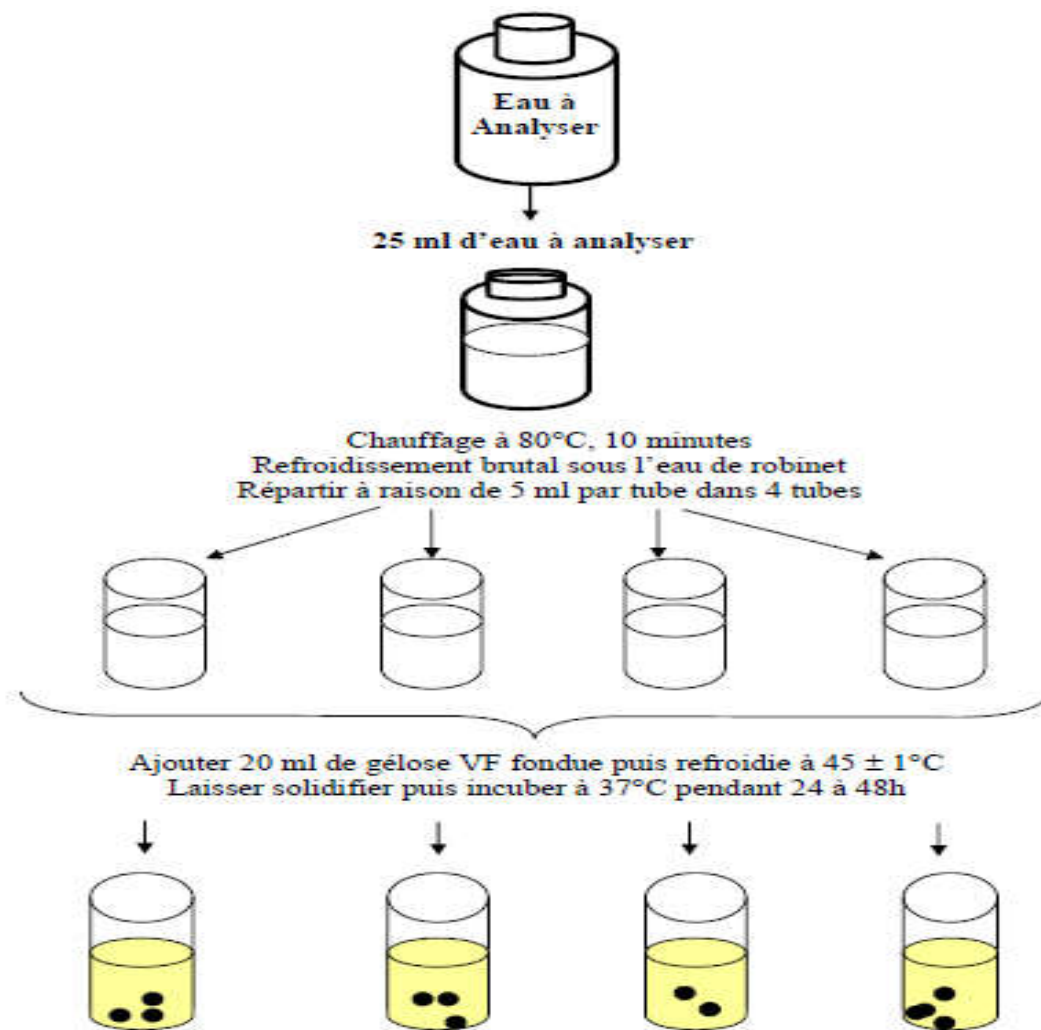


Figure II-13 : Méthode de recherche et de dénombrement des Spores Anaérobies Sulfitoréductrices (ASR).



Photo II-12 : Méthode employée pour la caractérisation des ASR (à gauche : chauffage à 80 °C au bain-marie ; à droite : refroidissement brutal (choc thermique)).



Photo II-13 : Exemple montrant la présence d'ASR (halo noir).

CHAPITRE III :
Résultats et discussions

III. Résultats et discussions

Introduction

Les eaux naturelles constituent un milieu complexe. Si leurs compositions sont en relation directe avec les constituants des sols et des couches géologiques traversées, la qualité des eaux est largement affectée par le couvert végétal, les pratiques agricoles, l'urbanisation et plus généralement par l'activité économique développée dans les paysages où elles coulent. Mais c'est surtout depuis l'essor de la chimie au cours du XXe siècle et la mise sur le marché de plusieurs dizaines de milliers de substances de synthèse au travers de l'agrochimie, de la pharmacie humaine et vétérinaire, des produits phytosanitaires, des solvants, des matériaux, etc. que la contamination des eaux naturelles s'est diversifiée. Ceci explique l'inflation, au cours des dernières décennies, du nombre de paramètres utilisés pour définir la qualité des eaux (Rodier et *al.*, 2009).

Ce travail fait le point des connaissances sur la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux souterraines de cinq sources, avec dans un premier temps la présentation des résultats, puis l'interprétation, et dans un deuxième temps une partie consacrée à l'hydrochimie.

1. Présentation des résultats

1.1 Résultats de paramètre mesuré sur terrain (Débit)

Tableau III-1 Débit mesuré sur terrain :

Source	Débit pour le mois de Février	Débit pour le mois de Mai
S1 Hammam N°bail	4L/s	3L/s
S2 Ain Bouchiha	0,03 L/s	0,03 L/s
S3 Ain Guies	0,26 L/s	0,24 L/s
S4 Sellaoua Announa	0,7 L/s	0,5 L/s
S5 Aouinet Sikrane	0,12 L/s	0,11 L/s

1.2. Les paramètres physico-chimiques de l'eau

L'appréciation de la qualité des eaux potables issues des sources se base sur la mesure des paramètres physico-chimiques. L'ensemble des résultats obtenus sont représentés graphiquement et interprétés pour évaluer le degré de potabilité des eaux.

En général, l'interprétation des résultats des paramètres retenus pour analyse se fait de façon relative, en le comparant entre eux et avec les normes de l'OMS.

Les résultats sont présentés sur les figures III-1 à 5 : sur chaque figure, nous avons regroupé six paramètres, excepté sur la dernière (deux paramètres seulement), soit 26 paramètres au total. Les deux périodes d'échantillonnage (février et mai 2019) sont indiquées par des couleurs différentes et les cinq sources échantillonnées sont numérotées de S1 à S5.

Chaque dépassement de la norme OMS est indiqué par un pointillé rouge.

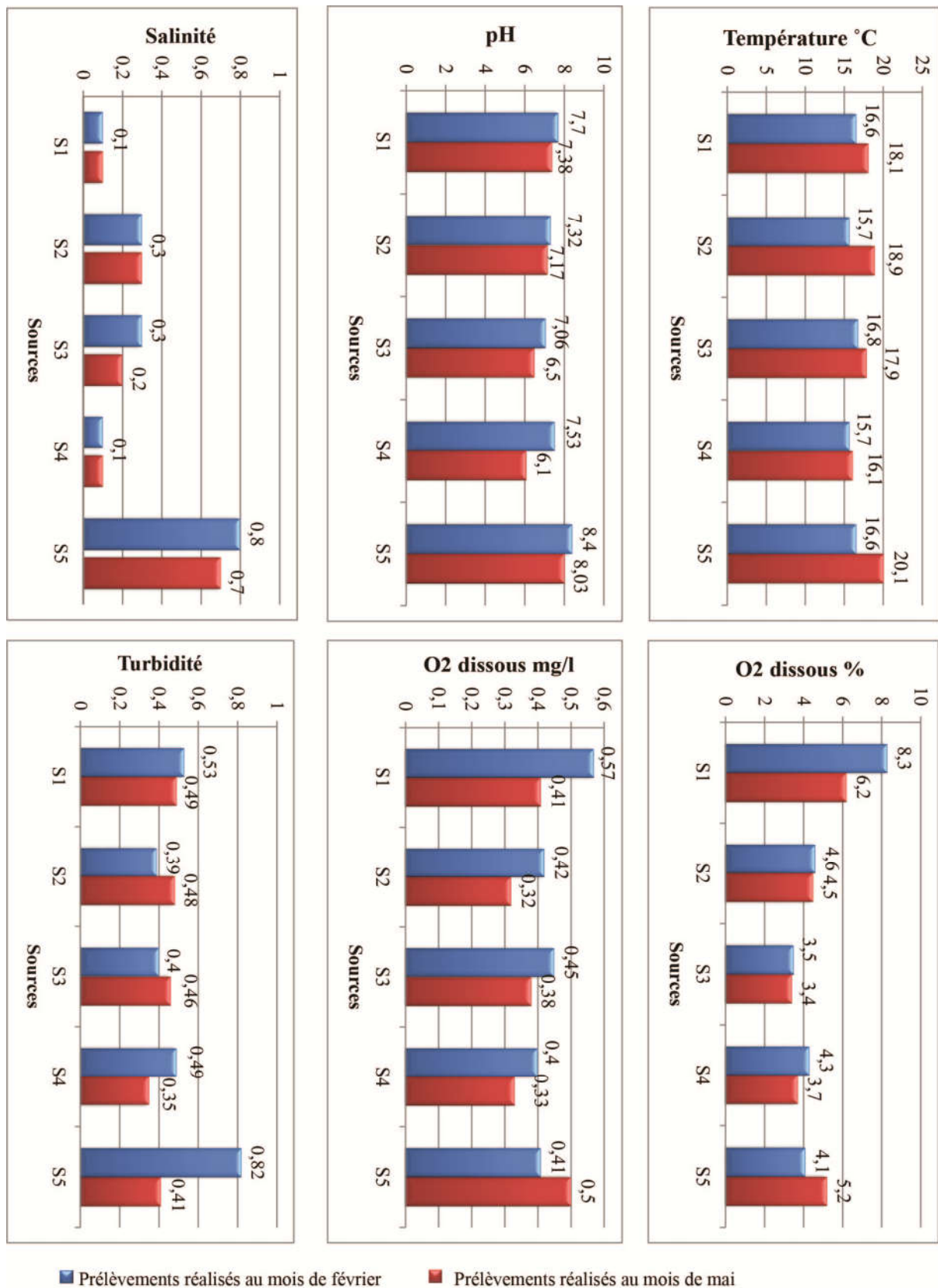


Figure III-1 : Présentation des résultats des analyses physico-chimiques (salinité, pH, température, turbidité et oxygène dissous).

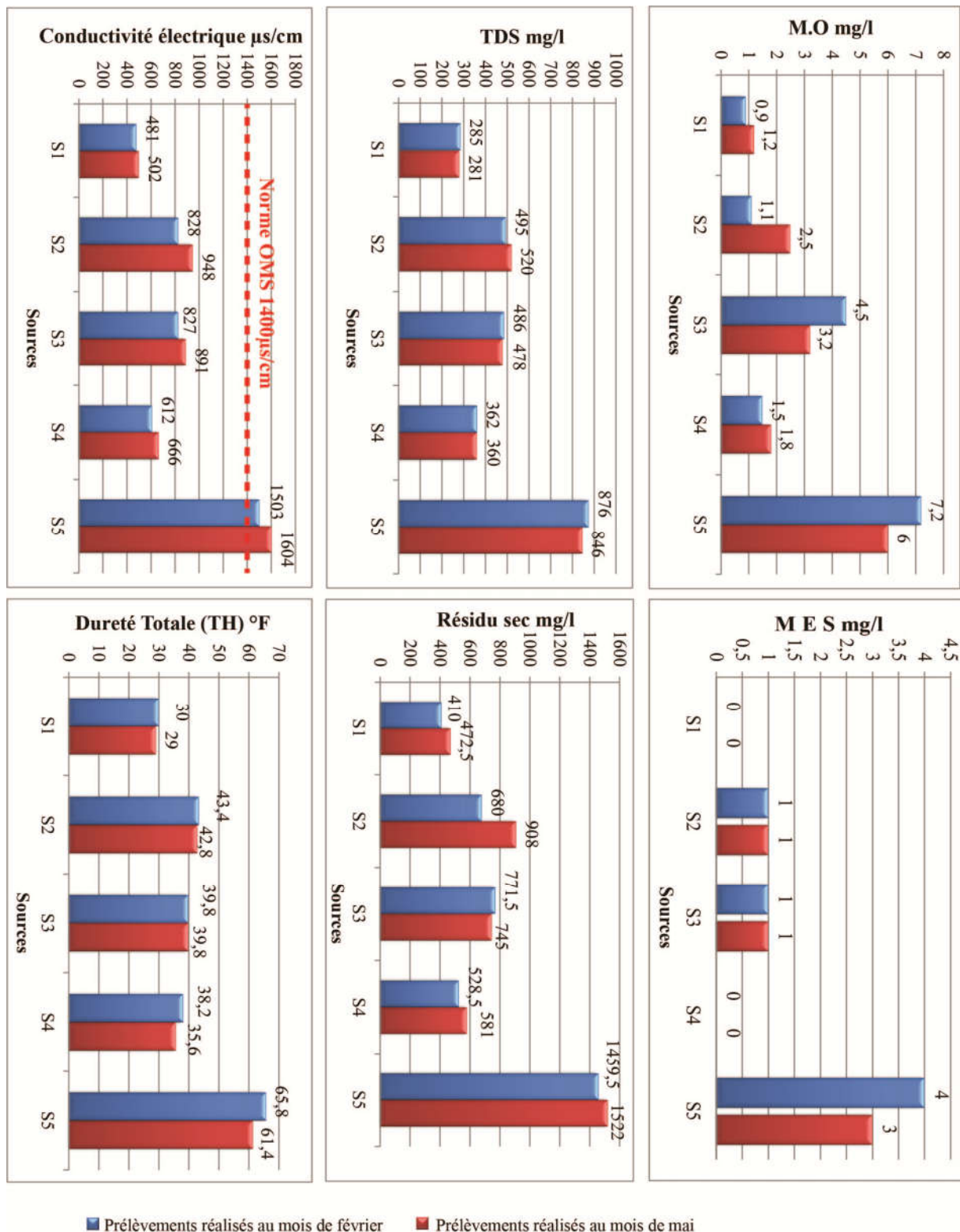


Figure III-2 : Présentation des résultats des analyses physico-chimiques - suite (conductivité, TDS, MO, dureté, résidu sec, MES).

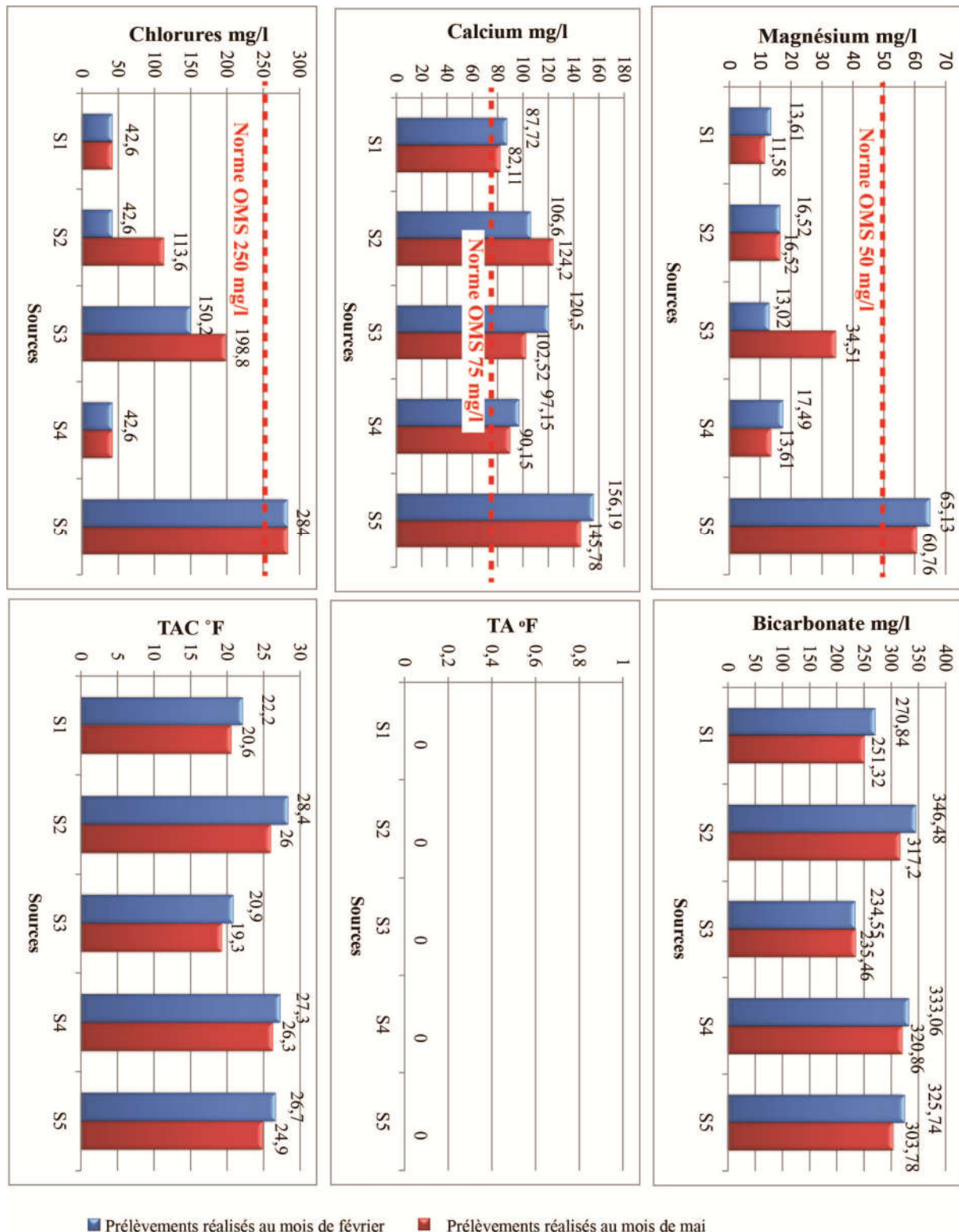


Figure III-3 : Présentation des résultats des analyses physico-chimiques - suite (chlorure, magnésium, calcium, TAC, TA, bicarbonate).

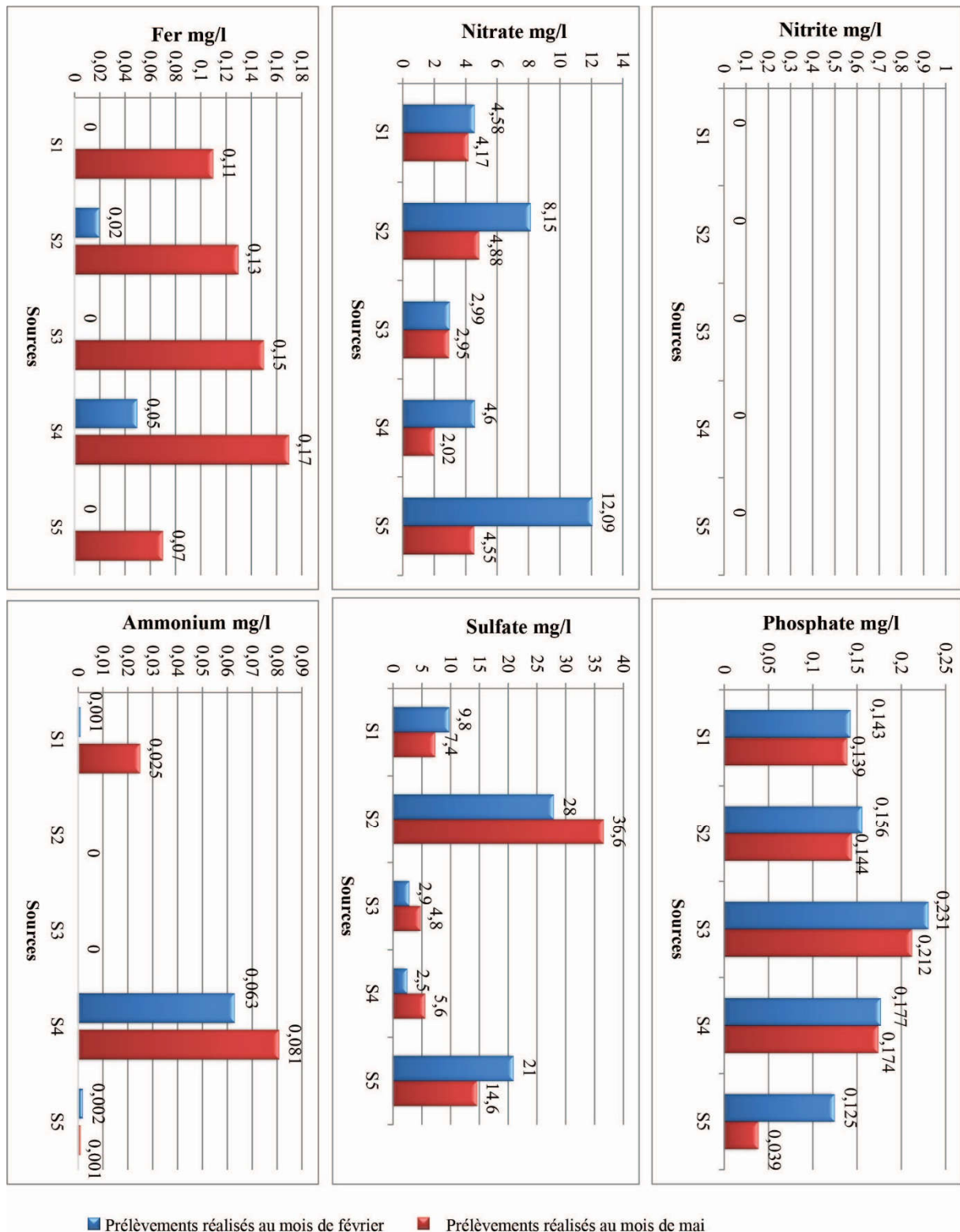
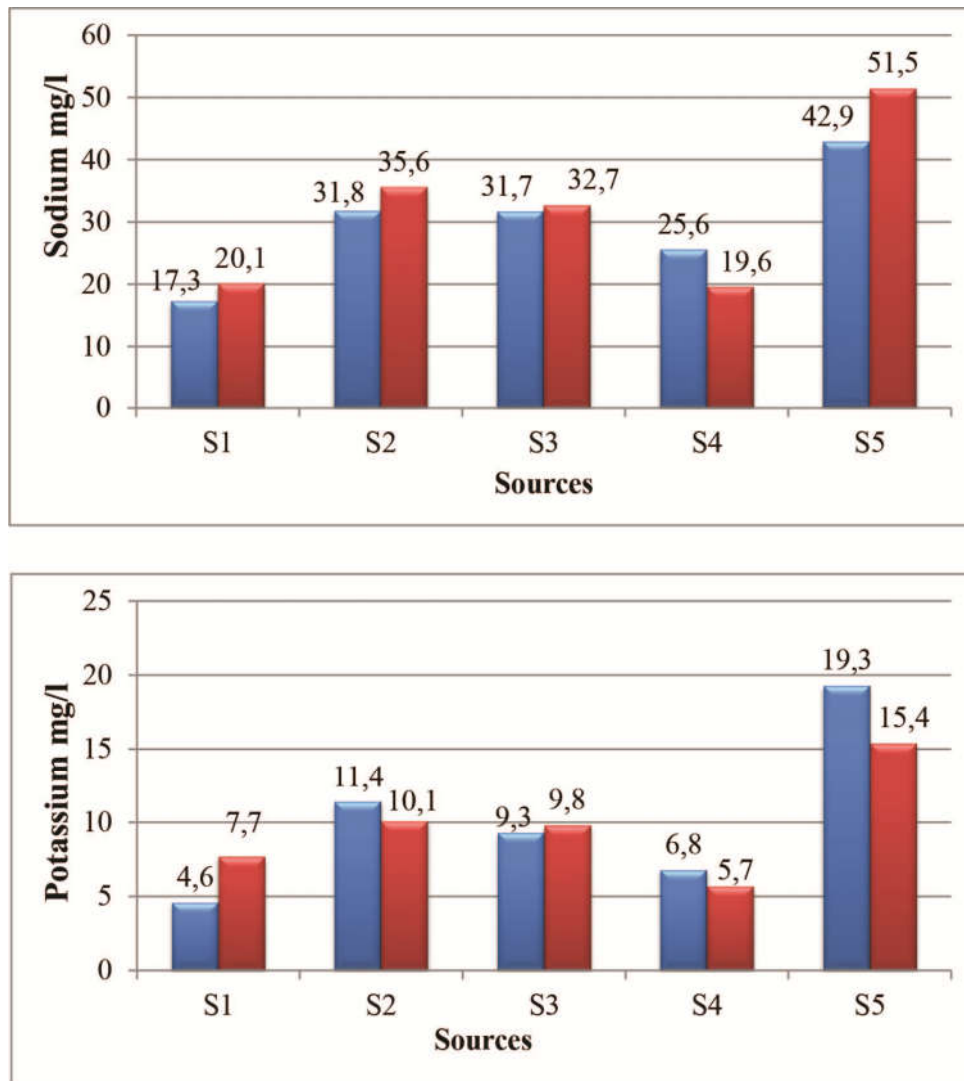


Figure III-4 : Présentation des résultats des analyses physico-chimiques - suite (fer, nitrate, nitrite, ammonium, sulfate, phosphate).



■ Prélèvements réalisés au mois de février ■ Prélèvements réalisés au mois de mai

Figure III-5 : Présentation des résultats des analyses physico-chimiques – suite (Sodium, Potassium).

1.3 Présentation de résultats concernant la balance ionique :

Tableau III-2 : Analyse chimique des sources en meq/l du mois de Février 2019.

Equivalent (g)	61	35.5	62	48	23	39.1	12	20	SEUIL 7%		
	HCO ₃ ⁻	CL ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	BI%	S.A	S.C
Sources											
S1	4.44	1.2	0.07	0.20	0.75	0.11	1.13	4.38	3.75	5.91	6.37
S2	5.68	1.2	0.13	0.58	1.38	0.29	1.37	5.33	4.89	7.59	8.37
S3	3.84	4.23	0.04	0.06	1.37	0.23	1.08	6.02	5.05	8.17	8.70
S4	5.46	1.2	0.07	0.05	1.11	0.17	1.45	4.85	5.57	6.78	7.58
S5	5.34	8	0.19	0.43	1.86	0.49	5.42	7.80	5.45	13.96	15.57

La fiabilité de nos résultats est donc acceptable pour les sources S1 et S2, et médiocre pour les autres sources.

Tableau III-3 : Analyse chimique des sources en meq/l du mois de Mai 2019.

Equivalent (g)	61	35.5	62	48	23	39.1	12	20	SEUIL 7%		
	HCO ₃ ⁻	CL ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	BI%	S.A	S.C
Sources											
S1	4.12	1.2	0.06	0.15	0.87	0.19	0.96	4.10	5.06	5.53	6.12
S2	5.2	3.2	0.10	0.76	1.54	0.25	1.37	6.21	0.59	9.26	9.37
S3	3.86	5.6	0.04	0.1	1.42	0.25	2.87	5.12	0.31	9.6	9.66
S4	5.26	1.2	0.03	0.11	0.85	0.14	1.13	4.50	0.15	6.6	6.62
S5	4.98	8	0.07	0.30	2.23	0.39	5.06	7.28	5.69	13.35	14.96

La fiabilité de nos résultats est donc excellente pour les sources S2, S3 et S4, et médiocre pour les autres sources.

1.4. Analyses microbiologiques

Les résultats obtenus sont présentés sous forme des tableaux suivants, le premier pour le mois de février, le second pour le mois de mai.

Dans chaque tableau, les cinq sources sont référencées et cinq paramètres sont détaillés :

Tableau III-4 : Résultats des analyses microbiologiques du mois de Février 2019.

Sources	Germe totaux (UFC) ¹		Coliformes totaux CT/100ml (UFC)	Coliformes fécaux CF/100ml (UFC)	Streptocoques fécaux SF/100ml (UFC)	ASR
	22°C	37°C				
S1	2.10 ²	287	10	6	0	0
S2	2.10 ²	3.10 ³	15	5	0	0
S3	1	4	3	0	0	0
S4	4,46.10 ²	1.10 ³	8	5,3	0	0
S5	4.10 ²	5.10 ³	63	43,3	0	0

Tableau III-5 : Résultats des analyses microbiologiques du mois de Mai 2019.

Sources	Germe totaux (UFC)		Coliformes totaux CT/100ml (UFC)	Coliformes fécaux CF/100ml (UFC)	Streptocoques fécaux SF/100ml (UFC)	ASR
	22°C	37°C				
S1	175	1.10 ²	13	7,8	1	0
S2	255	2.10 ²	3	3	0	0
S3	00	00	0	0	0	0
S4	3.10 ²	5.10 ²	24	16	0	0
S5	2,21.10 ²	3.10 ²	120	108	0	0

¹ Pour les germes totaux, il y a deux températures de lecture des résultats, à 22°C et à 37°C.

1.5 Détermination de l'origine de la contamination fécale :

Pour déterminer l'origine de la contamination fécale, on fait un calcul mathématique du rapport quantitatif des coliformes fécaux sur les streptocoques fécaux (CF/SF), ce qui permet de savoir si l'origine de la pollution est à prédominance animale ou humaine (voir tableau suivant) :

Tableau III-6 : Origine de la contamination fécale en fonction du rapport CF/SF (Borrego & Romero, 1982).

Valeur du rapport CF/SF	Origine de la pollution
< 0.7	Pollution principalement ou entièrement animale
compris entre 0.7 et 1	Pollution d'origine mixte à prédominance animale
compris entre 1 et 2	Pollution d'origine incertaine
compris entre 2 et 4	Pollution d'origine mixte à prédominance humaine
> 4	Source de pollution exclusivement humaine

Concernant nos résultats, la seule source contaminée par les streptocoques fécaux est la source S1 (Hammam N'Bails), pendant le prélèvement du mois de mai. Pour cette source, le rapport CF/SF est supérieur à 4, la contamination est donc d'origine humaine.

Les autres sources ne comportent pas de streptocoques fécaux, ni en février, ni en mai : le rapport ne peut donc pas être calculé.

Les coliformes fécaux en revanche sont présents dans presque tous les prélèvements, exceptés au niveau de la source n°3 (Ain Guies). Les coliformes fécaux dominent donc, ce qui nous permet de supposer que la pollution constatée est d'origine humaine.



Photo III-1 : Présence des GT (à gauche) et absence des GT (à droite).

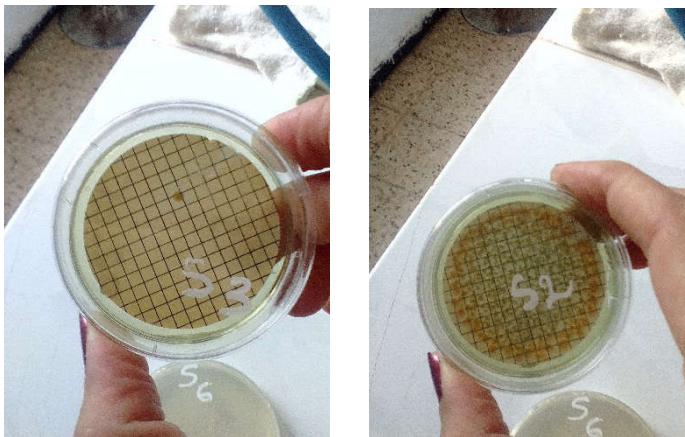


Photo III-2 : Absence des CT (à gauche) et présence des CT (à droite).



Photo III-3 : Présence d'*E.coli* (photos prises par Nouasria.A).

2. Interprétation

2.1. Qualité des eaux

- Source 1 (Hammam N'Bails)

	Prélèvement 1 (Février)	Prélèvement 2 (Mai)
Paramètres physico-chimiques	L'ensemble des paramètres physico-chimiques pris en compte sont compatibles avec les normes de l'OMS sauf le calcium.	L'ensemble des paramètres physico-chimiques pris en compte sont compatibles avec les normes de l'OMS sauf le calcium.
Paramètres microbiologiques	L'eau de cette source ne répond pas aux exigences bactériologiques pour les germes totaux, les CT et les CF	L'eau de cette source ne répond pas aux exigences bactériologiques pour les germes totaux, les CT, les CF, les SF
Qualité globale de l'eau	L'eau de la source Hammam N'Bails est d'une bonne qualité physico-chimique mais du point de vue microbiologique l'eau n'est pas tolérée pour être potable.	

La présence des bactéries dans l'eau de Hammam N'Bails peut être due au lessivage des sols ou à la lixiviation des déchets.

- Source 2 (Ain Bouchiha – Héliopolis)

	Prélèvement 1 (Février)	Prélèvement 2 (Mai)
Paramètres physico-chimiques	Tous les paramètres sont en-deçà des normes de l'OMS à part le calcium.	Tous les paramètres sont en-deçà des normes de l'OMS à part le calcium.
Paramètres microbiologiques	L'eau de cette source ne répond pas aux exigences bactériologiques pour les germes totaux, les CT, les CF	L'eau ne répond pas aux exigences bactériologiques pour les CT, les CF.
Qualité globale de l'eau	L'eau de la source Ain Bouchiha est d'une bonne qualité physico-chimique mais du point de vue microbiologique l'eau n'est pas tolérée pour être potable.	

La présence des bactéries dans l'eau d'Ain Bouchiha peut être due au lessivage des terres agricoles ou rejets domestiques des agglomérations rurales.

- Source 3 (Ain Guies – Ben Djerrah)

	Prélèvement 1 (Février)	Prélèvement 2 (Mai)
Paramètres physico-chimiques	L'ensemble des paramètres physico-chimiques pris en compte sont compatibles avec les normes de l'OMS à part le calcium.	L'ensemble des paramètres physico-chimiques pris en compte sont compatibles avec les normes de l'OMS à part le calcium.
Paramètres microbiologiques	L'eau contient 4 GT et 3 CT, ce qui est donc inférieur à la norme (10 CT/100 ml)	Aucune contamination observée
Qualité globale de l'eau	L'eau de la source Ain Guies est d'une bonne qualité physico-chimique et microbiologique.	

Du point de vue microbiologique, au mois de février, l'eau de la source Ain Guies est contaminée (présence des GT et CT), mais la qualité d'eau reste plus ou moins acceptable. Pour le mois de Mai, l'eau est de bonne qualité.

- Source 4 (Sellaoua Announa)

	Prélèvement 1 (Février)	Prélèvement 2 (Mai)
Paramètres physico-chimiques	Tous les paramètres sont en-deçà des normes à part le calcium.	Tous les paramètres sont en-deçà des normes à part le calcium.
Paramètres microbiologiques	Présence de contamination par les GT, les CT, les CF	Présence de contamination par les GT, les CT, les CF
Qualité globale de l'eau	L'eau de la source Sellaoua Announa est de bonne qualité physico-chimique mais ne répond pas aux exigences bactériologiques.	

La présence des bactéries dans l'eau de Sellaoua Announa peut être due à la lixiviation des sols. L'eau de pluie peut accroître considérablement le niveau de contamination microbienne

des eaux de source, et des flambées de maladies véhiculées par l'eau peuvent se manifester à la suite de précipitations.

- Source 5 (Aouinet Sikrane – Hammam Debagh)

	Prélèvement 1 (Février)	Prélèvement 2 (Mai)
Paramètres physico-chimiques	Presque tous les paramètres sont en-deçà des normes, sauf la conductivité électrique, les chlorures, le magnésium et le calcium.	Tous les paramètres sont en-deçà des normes, sauf la conductivité électrique, les chlorures, le magnésium et le calcium.
Paramètres microbiologiques	Présence de contamination par les GT, les CT, les CF	Présence de contamination par les GT, les CT, les CF
Qualité globale de l'eau	L'eau de la source Aouinet Sikrane est d'une mauvaise qualité physico-chimique et ne répond pas aux exigences bactériologiques.	

L'eau de la source d'Aouinet Sikrane dépasse la norme pour le calcium, magnésium, et la conductivité électrique parce qu'elle est chargée en sels dissous (minéralisation élevée). Les chlorures et le également dépassent la norme, ces valeurs élevées sont dues à la dissolution des formations argileuses.

La présence des bactéries dans l'eau peut être expliquée par le fait que cette source se situe près d'une agglomération et donc des activités humaines.

2.2. Bilan

- ✚ La source de meilleure qualité est celle d'Ain Guies parce que tous les paramètres physico-chimiques sont compatibles avec les normes de l'OMS et l'eau de cette source répond aux exigences bactériologiques.
- ✚ Les sources de moins bonne qualité sont celles d'Aouinet Sikrane (S5), qui ne répond pas aux exigences physico-chimiques et bactériologiques tolérées par l'OMS, et aussi la source de Hammam N'Bails (S1), car elle est contaminée par des CF, et des SF qui sont nuisibles à la santé humaine.


3. Représentation graphique des faciès chimiques

La représentation graphique des résultats d'analyses a été faite à l'aide du diagramme de PIPER, en utilisant le logiciel Diagramme, conçu par Roland Simler (Laboratoire d'hydrogéologie, Université d'Avignon, 2004).

3.1 Classification de PIPER :

La représentation des analyses chimiques sur le diagramme de Piper permet de différencier différentes familles d'eaux. Ce diagramme est composé de deux triangles permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique et d'un losange synthétisant le faciès global.

L'examen des représentations graphiques obtenues permet de déduire les interprétations suivantes :

 Prélèvement du mois de Février (fig.III-6):

Dans le triangle des cations, le calcium et le magnésium sont dominants par rapport au sodium,

Dans le triangle des anions, ce sont les bicarbonates, les chlorures qui sont abondants, les nitrates sont moins fréquents dans les sources : S1, S2, S4,

En revanche, pour S3, S5, les chlorures sont les plus abondants, ensuite les bicarbonates et les nitrates, tandis que les sulfates sont moins fréquents.

Dans le diagramme losangique, nous avons constaté deux faciès :

- Pour les sources S1, S2, S4 : le faciès est bicarbonaté calcique et magnésien.

Pour ces sources, le faciès est dû à la nature lithologique des formations traversées par les eaux (des formations carbonatées).

- Pour les sources S3: le faciès est chloruré calcique ce faciès indique une dissolution de roches argileuses.
- Pour la source S5 : le faciès est chloruré calco-magnésien dû aux dissolutions des formations argileuses (le substratum) et dolomitiques où se circule les eaux souterraines.

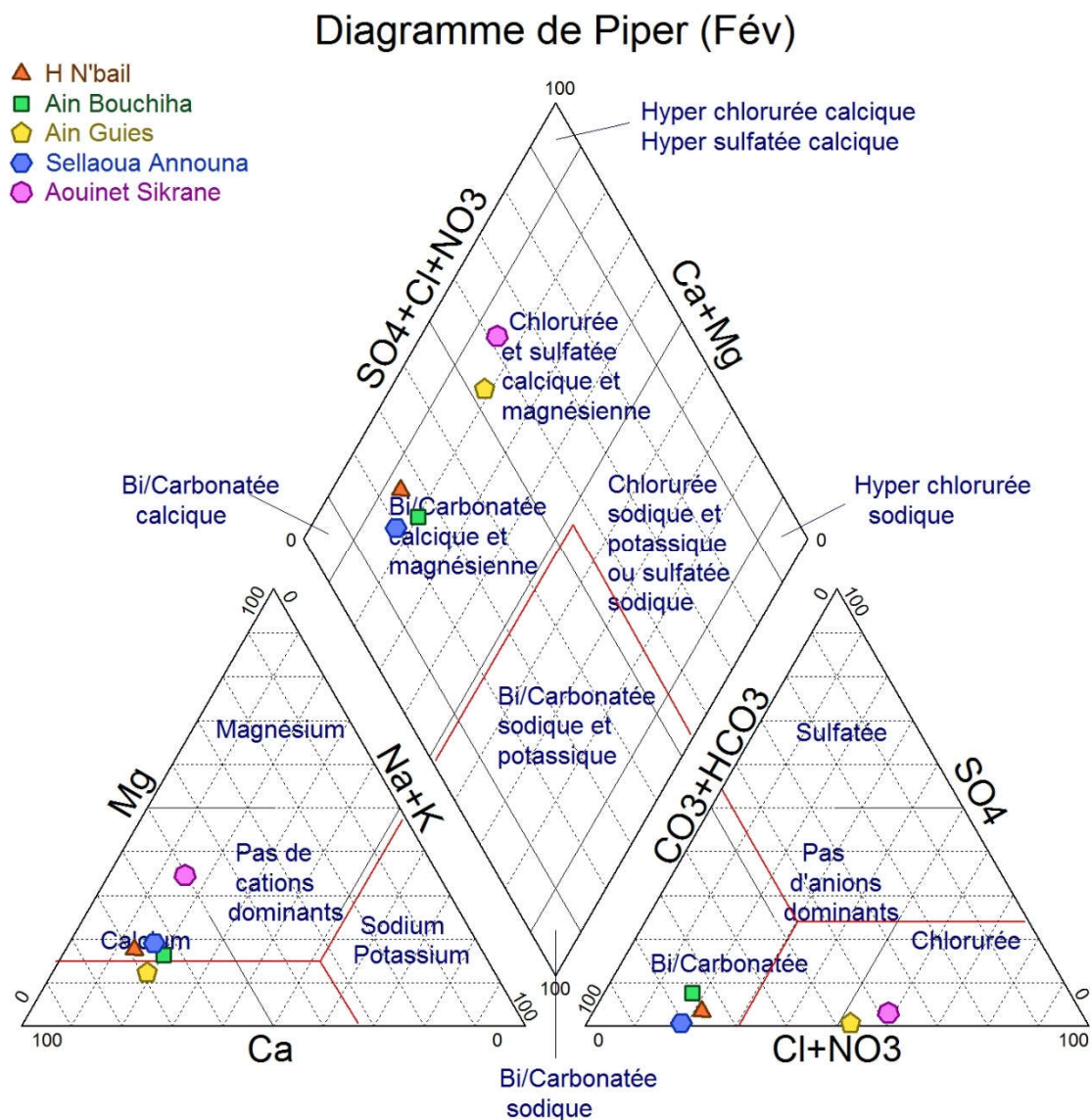


Figure III-6 : Représentation des faciès chimiques des eaux avec le diagramme de PIPER (mois de février).

✚ Prélèvement du mois de Mai (fig. III-7) :

Dans le triangle des cations, le calcium et magnésium dominent par rapport au sodium.

Dans le triangle des anions, ce sont les chlorures qui dominent par rapport aux bicarbonates, sulfates et les nitrates (sources S3 et S5). Pour les sources S1, S2, S4, ce sont les bicarbonates qui sont dominants par rapport aux chlorures, sulfates et nitrates.

Dans le diagramme losangique, nous avons constaté deux faciès :

- Pour les sources S1, S2, S4 : le faciès est bicarbonaté calcique et magnésien. Le faciès bicarbonaté calcique des sources S1, S2, S4 s'explique par les formations

lithologiques présentes (S1 : calcaires bitumineux), (S2 : tufs et calcaires lacustres de Guelma), (S4 : marnes noires, éboulis de marnes)

- Pour la source S3 : le faciès est chloruré calcique. Ce faciès indique une dissolution de formations évaporitiques riches en sels et en gypse (S3 : argiles et grès)
- Pour la source S5 (Aouinet Sikrane), le faciès est chloruré calco-magnésien, ce faciès dû à l'influence de la nature lithologique (S5 : argiles numidiennes constituent le substratum), et l'augmentation de magnésium indique la dissolution des formations dolomitiques où se situe la source.

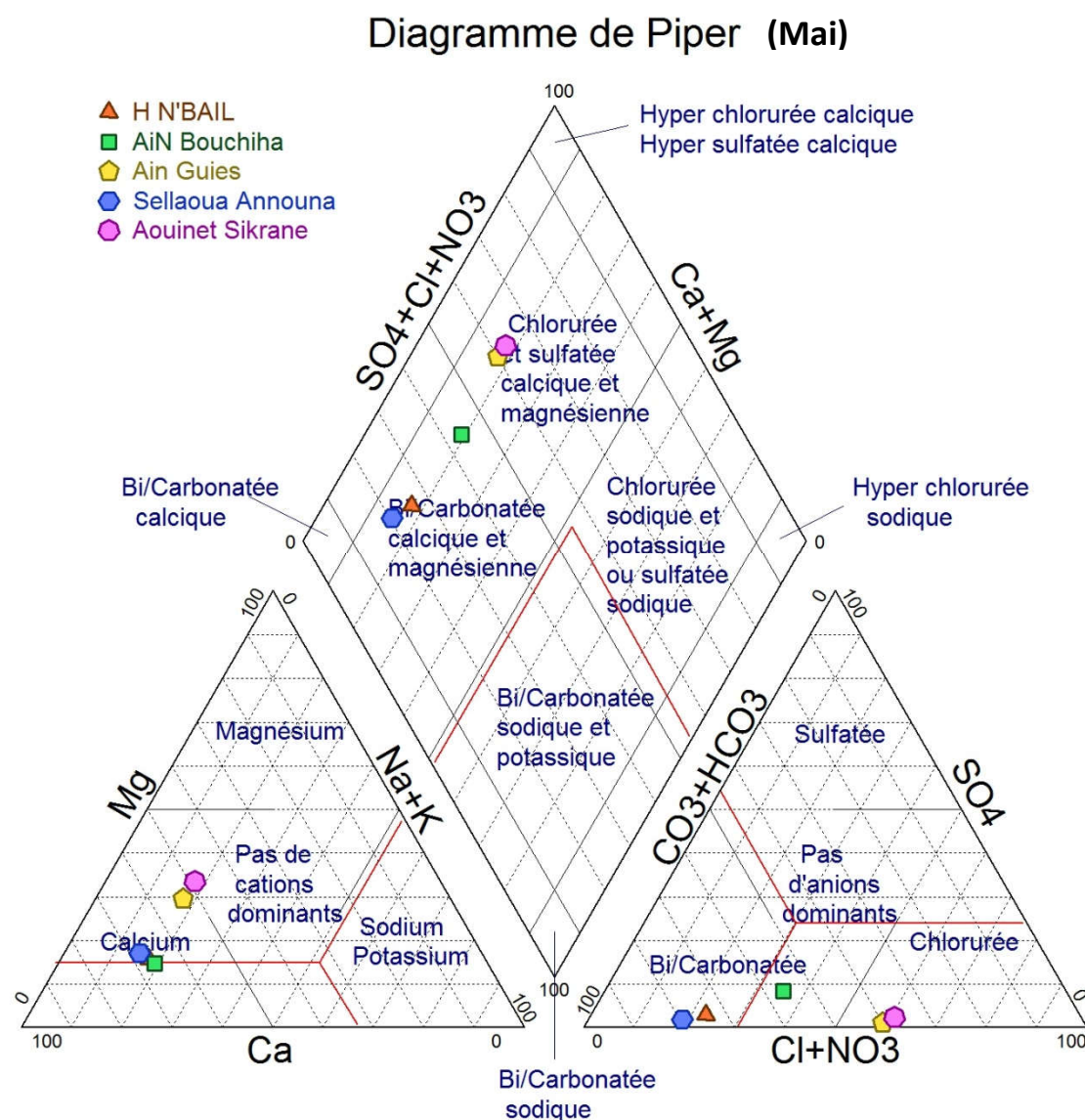


Figure III-7 : Représentation des faciès chimiques des eaux avec le diagramme de PIPER (mois de mai).

4. Influence de la période de prélèvement sur la qualité des eaux

Deux prélèvements ont été effectués, en Février (période hivernale) et en Mai (printemps), dans le but d'étudier l'effet du climat sur la qualité des eaux.

4.1. Concernant les paramètres physico-chimiques

Les valeurs obtenues en Février et en Mai sont généralement différentes. Selon les sources, certaines sont plus élevées pendant l'hiver (par exemple le taux d'oxygène dissous) et d'autres pendant le printemps (par exemple les taux de sodium, d'ammonium, de sulfates).

L'écart moyen entre les deux valeurs, pour l'ensemble des paramètres, est proche de 20 %, mais l'évolution est extrêmement variable en fonction des paramètres et des sources concernées. Une analyse détaillée des résultats paraît très complexe. D'autres analyses pourraient également permettre de confirmer ou non ces évolutions et de les expliciter.

4.2. Concernant les analyses microbiologiques

On observe une augmentation conséquente de la charge microbienne entre les mois de Février et de Mai, à l'exception de la source n°3 (Aïn Guies), dont la qualité est excellente pour les deux prélèvements.

L'explication qui peut être apportée est la suivante : en période hivernale, la pollution est diluée par les précipitations, alors qu'elle est concentrée pendant les périodes plus sèches.

5. Insuffisances du travail

- Pour la partie hydrochimique, nous n'avons pas pu faire d'Analyse en Composantes Principales (ACP), qui aurait permis de comprendre le mécanisme du chimisme des eaux.

L'A.C.P peut s'utiliser dans des situations nombreuses et variées pour savoir comment se structurent les variables, quelles sont celles qui sont associées, quelles sont celles qui ne le sont pas, quelles sont celles qui « vont dans le même sens », quelles sont celles qui s'opposent.

L'A.C.P permet de regrouper selon les mêmes facteurs les échantillons présentant des caractères d'origine ou d'évolution similaire.

- D'autres analyses seraient nécessaires afin de confirmer le faciès chimique des eaux, d'autres prélèvements auraient pu permettre d'analyser un plus grand nombre de sources afin d'obtenir des résultats plus complets.
- Une surveillance périodique de la qualité des eaux serait également souhaitable.

II. Résultats et discussions

Introduction

Les eaux naturelles constituent un milieu complexe. Si leurs compositions sont en relation directe avec les constituants des sols et des couches géologiques traversées, la qualité des eaux est largement affectée par le couvert végétal, les pratiques agricoles, l'urbanisation et plus généralement par l'activité économique développée dans les paysages où elles coulent. Mais c'est surtout depuis l'essor de la chimie au cours du XXe siècle et la mise sur le marché de plusieurs dizaines de milliers de substances de synthèse au travers de l'agrochimie, de la pharmacie humaine et vétérinaire, des produits phytosanitaires, des solvants, des matériaux, etc. que la contamination des eaux naturelles s'est diversifiée. Ceci explique l'inflation, au cours des dernières décennies, du nombre de paramètres utilisés pour définir la qualité des eaux (Rodier et *al.*, 2009).

Ce travail fait le point des connaissances sur la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux souterraines de cinq sources, avec dans un premier temps la présentation des résultats, puis l'interprétation, et dans un deuxième temps une partie consacrée à l'hydrochimie.

1. Présentation des résultats

1.1. Les paramètres physico-chimiques de l'eau

L'appréciation de la qualité des eaux potables issues des sources se base sur la mesure des paramètres physico-chimiques. L'ensemble des résultats obtenus sont représentés graphiquement et interprétés pour évaluer le degré de potabilité des eaux.

En général, l'interprétation des résultats des paramètres retenus pour analyse se fait de façon relative, en le comparant entre eux et avec les normes de l'OMS.

Les résultats sont présentés sur les figures III-1 à 5 : sur chaque figure, nous avons regroupé six paramètres, excepté sur la dernière (deux paramètres seulement), soit 26 paramètres au total. Les deux périodes d'échantillonnage (février et mai 2019) sont indiquées par des couleurs différentes et les cinq sources échantillonnées sont numérotées de S1 à S5.

Chaque dépassement de la norme OMS est indiqué par un pointillé rouge.

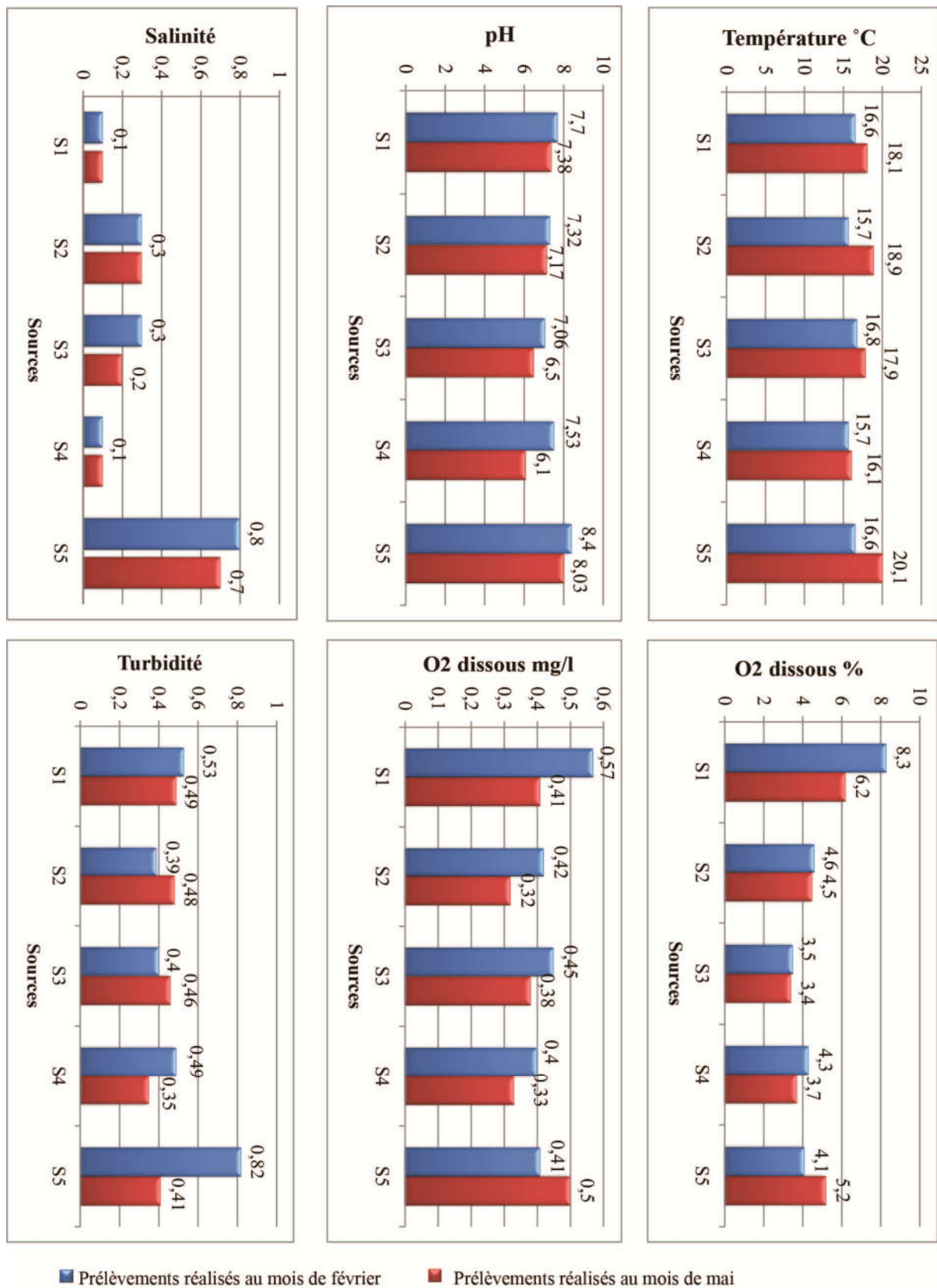


Figure III-1 : Présentation des résultats des analyses physico-chimiques (salinité, pH, température, turbidité et oxygène dissous).

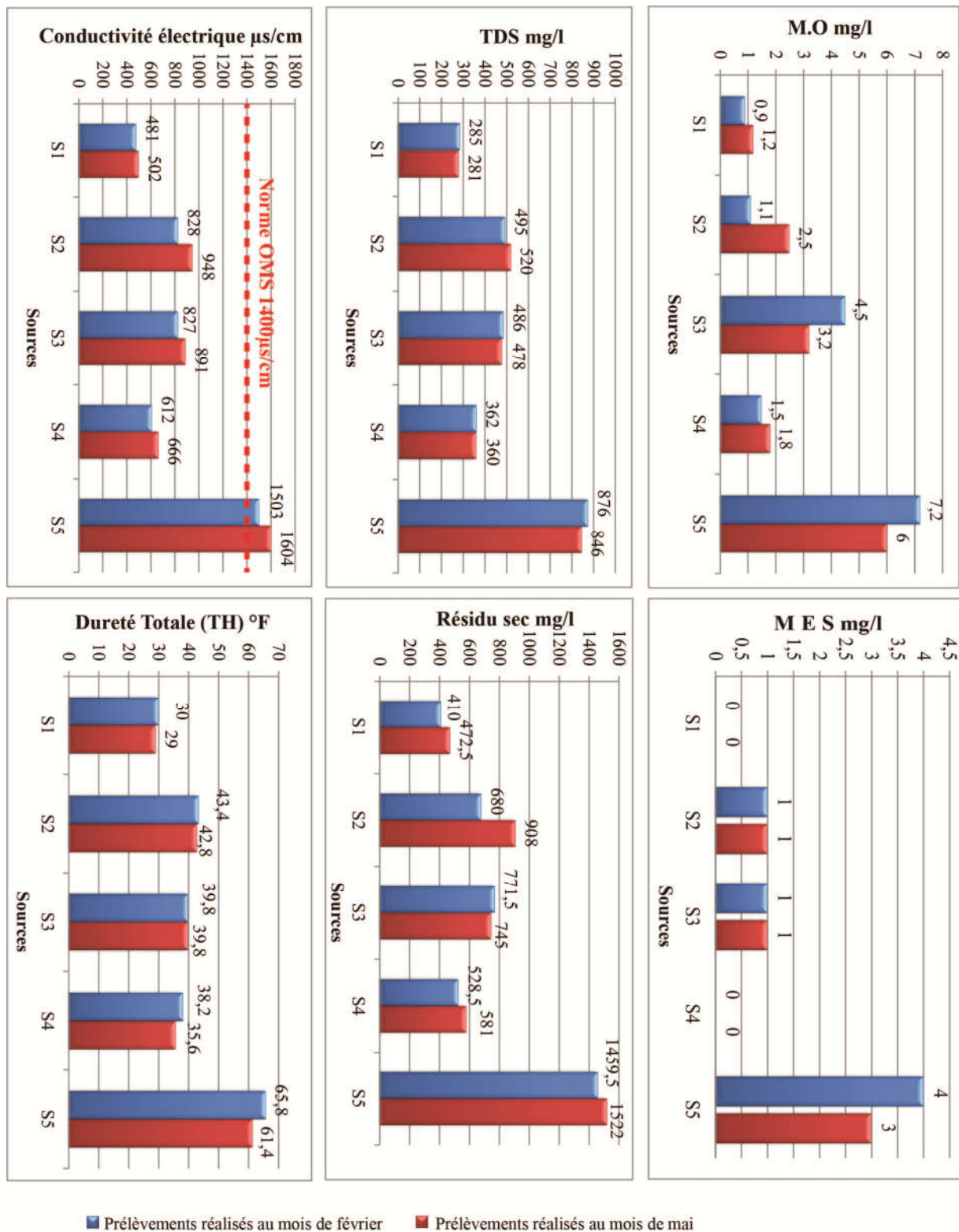


Figure III-2 : Présentation des résultats des analyses physico-chimiques - suite (conductivité, TDS, MO, dureté, résidu sec, MES).

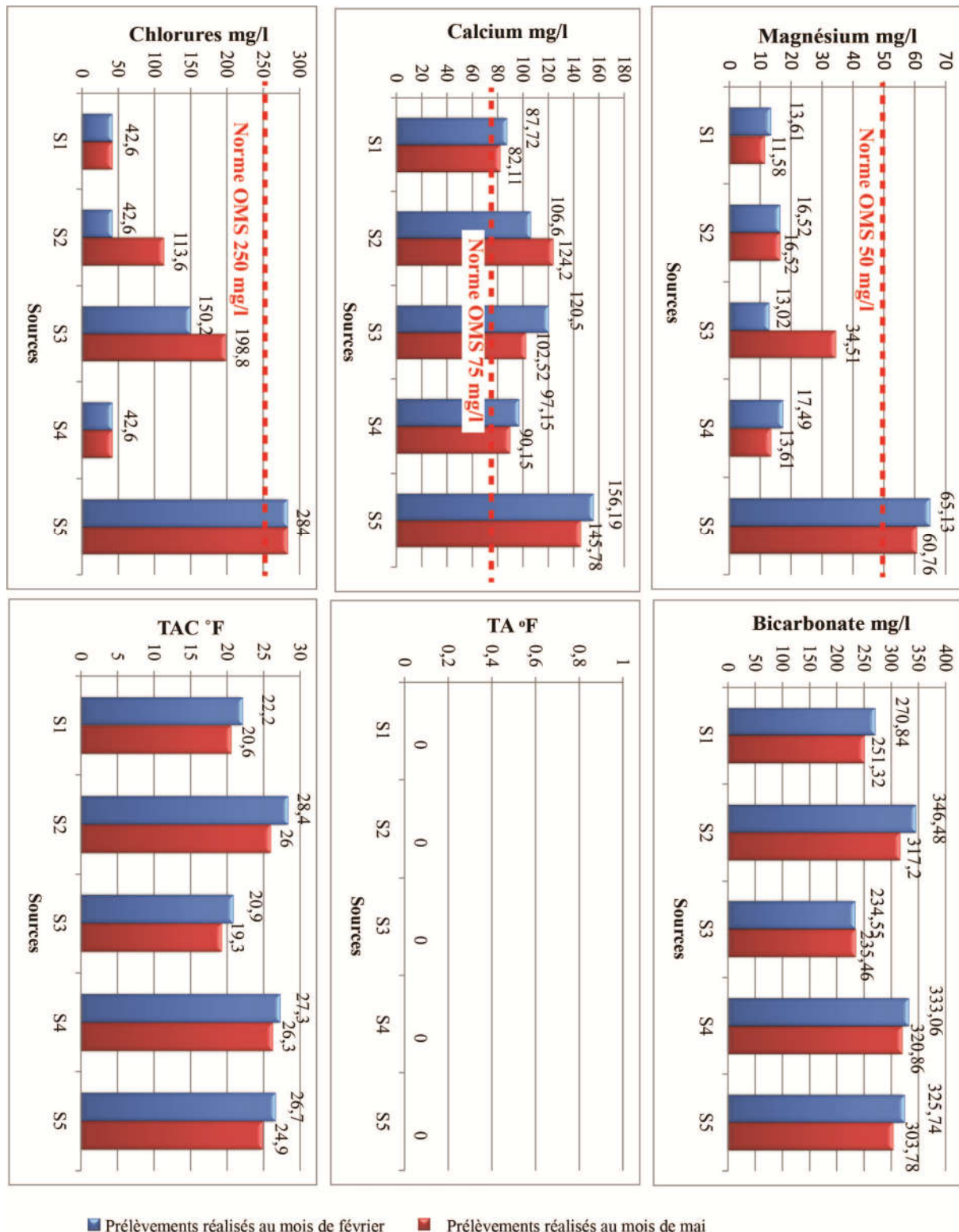


Figure III-3 : Présentation des résultats des analyses physico-chimiques - suite (chlorure, magnésium, calcium, TAC, TA, bicarbonate).

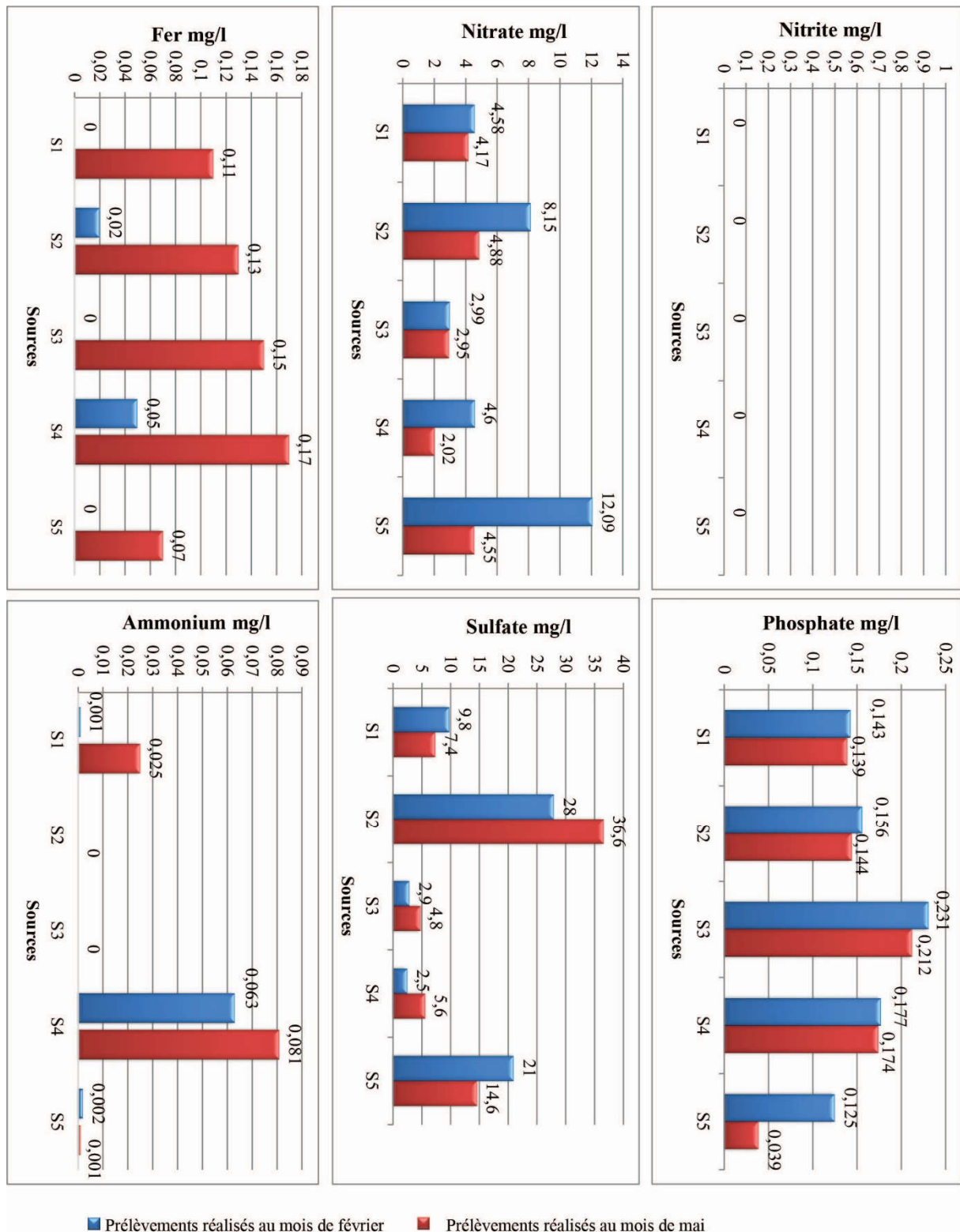
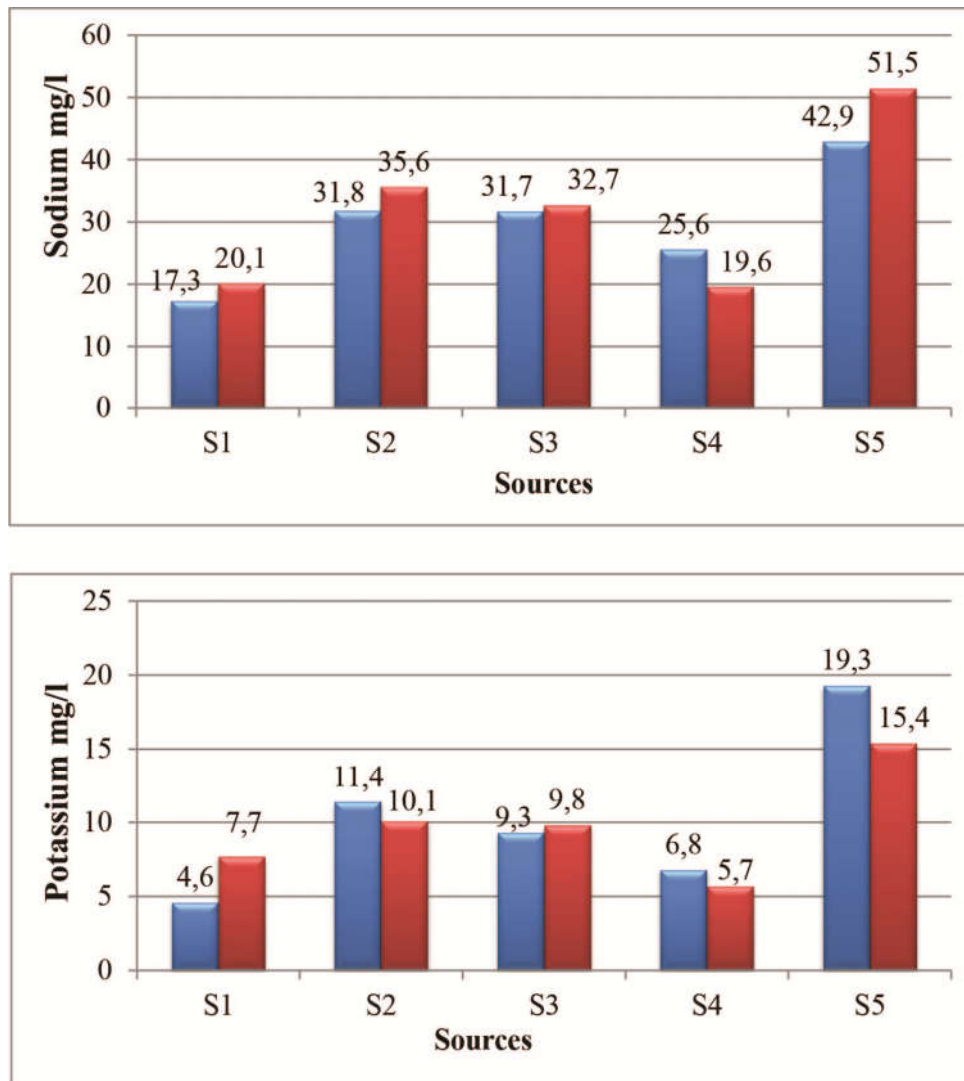


Figure III-4 : Présentation des résultats des analyses physico-chimiques - suite (fer, nitrate, nitrite, ammonium, sulfate, phosphate).



■ Prélèvements réalisés au mois de février ■ Prélèvements réalisés au mois de mai

Figure III-5 : Présentation des résultats des analyses physico-chimiques – suite (Sodium, Potassium).

1.2. Analyses microbiologiques

Les résultats obtenus sont présentés sous forme des tableaux suivants, le premier pour le mois de février, le second pour le mois de mai.

Dans chaque tableau, les cinq sources sont référencées et cinq paramètres sont détaillés :

Tableau III-1 : Résultats des analyses microbiologiques du mois de Février 2019.

Sources	Germe totaux (UFC) ¹		Coliformes totaux CT/100ml (UFC)	Coliformes fécaux CF/100ml (UFC)	Streptocoques fécaux SF/100ml (UFC)	ASR
	22°C	37°C				
S1	2.10 ²	287	10	6	0	0
S2	2.10 ²	3.10 ³	15	5	0	0
S3	1	4	3	0	0	0
S4	4,46.10 ²	1.10 ³	8	5,3	0	0
S5	4.10 ²	5.10 ³	63	43,3	0	0

Tableau III-2 : Résultats des analyses microbiologiques du mois de Mai 2019.

Sources	Germe totaux (UFC)		Coliformes totaux CT/100ml (UFC)	Coliformes fécaux CF/100ml (UFC)	Streptocoques fécaux SF/100ml (UFC)	ASR
	22°C	37°C				
S1	175	1.10 ²	13	7,8	1	0
S2	255	2.10 ²	3	3	0	0
S3	00	00	0	0	0	0
S4	3.10 ²	5.10 ²	24	16	0	0
S5	2,21.10 ²	3.10 ²	120	108	0	0

Détermination de l'origine de la contamination fécale :

Pour déterminer l'origine de la contamination fécale, on fait un calcul mathématique du rapport quantitatif des coliformes fécaux sur les streptocoques fécaux (CF/SF), ce qui permet de savoir si l'origine de la pollution est à prédominance animale ou humaine (voir tableau suivant) :

¹ Pour les germes totaux, il y a deux températures de lecture des résultats, à 22°C et à 37°C.

Tableau III-3 : Origine de la contamination fécale en fonction du rapport CF/SF (Borrego & Romero, 1982).

Valeur du rapport CF/SF	Origine de la pollution
< 0.7	Pollution principalement ou entièrement animale
compris entre 0.7 et 1	Pollution d'origine mixte à prédominance animale
compris entre 1 et 2	Pollution d'origine incertaine
compris entre 2 et 4	Pollution d'origine mixte à prédominance humaine
> 4	Source de pollution exclusivement humaine

Concernant nos résultats, la seule source contaminée par les streptocoques fécaux est la source S1 (Hammam N°Bails), pendant le prélèvement du mois de mai. Pour cette source, le rapport CF/SF est supérieur à 4, la contamination est donc d'origine humaine.

Les autres sources ne comportent pas de streptocoques fécaux, ni en février, ni en mai : le rapport ne peut donc pas être calculé.

Les coliformes fécaux en revanche sont présents dans presque tous les prélèvements, exceptés au niveau de la source n°3 (Ain Guies). Les coliformes fécaux dominent donc, ce qui nous permet de supposer que la pollution constatée est d'origine humaine.



Photo III-1 : Présence des GT (à gauche) et absence des GT (à droite).

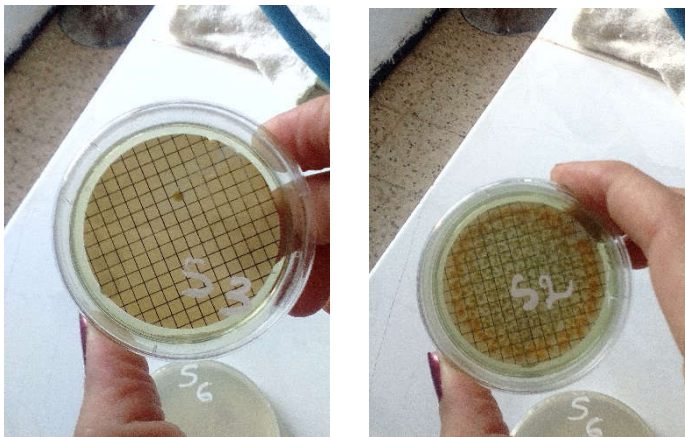


Photo III-2 : Absence des CT (à gauche) et présence des CT (à droite).



Photo III-3 : Présence d'*E.coli* (photos prises par Nouasria.A).

2. Interprétation

2.1. Qualité des eaux

- Source 1 (Hammam N°Bails)

	Prélèvement 1 (Février)	Prélèvement 2 (Mai)
Paramètres physico-chimiques	L'ensemble des paramètres physico-chimiques pris en compte sont compatibles avec les normes de l'OMS sauf le calcium.	L'ensemble des paramètres physico-chimiques pris en compte sont compatibles avec les normes de l'OMS sauf le calcium.
Paramètres microbiologiques	L'eau de cette source ne répond pas aux exigences bactériologiques pour les germes totaux, les CT et les CF	L'eau de cette source ne répond pas aux exigences bactériologiques pour les germes totaux, les CT, les CF, les SF
Qualité globale de l'eau	L'eau de la source Hammam N°Bails est d'une bonne qualité physico-chimique mais du point de vue microbiologique l'eau n'est pas tolérée pour être potable.	

La présence des bactéries dans l'eau de Hammam N°Bails peut être due au lessivage des sols ou à la lixiviation des déchets.

- Source 2 (Ain Bouchiha – Héliopolis)

	Prélèvement 1 (Février)	Prélèvement 2 (Mai)
Paramètres physico-chimiques	Tous les paramètres sont en-deçà des normes de l'OMS à part le calcium.	Tous les paramètres sont en-deçà des normes de l'OMS à part le calcium.
Paramètres microbiologiques	L'eau de cette source ne répond pas aux exigences bactériologiques pour les germes totaux, les CT, les CF	L'eau ne répond pas aux exigences bactériologiques pour les CT, les CF.
Qualité globale de l'eau	L'eau de la source Ain Bouchiha est d'une bonne qualité physico-chimique mais du point de vue microbiologique l'eau n'est pas tolérée pour être potable.	

La présence des bactéries dans l'eau d'Ain Bouchiha peut être due au lessivage des terres agricoles ou rejets domestiques des agglomérations rurales.

- Source 3 (Ain Guies – Ben Djerrah)

	Prélèvement 1 (Février)	Prélèvement 2 (Mai)
Paramètres physico-chimiques	L'ensemble des paramètres physico-chimiques pris en compte sont compatibles avec les normes de l'OMS à part le calcium.	L'ensemble des paramètres physico-chimiques pris en compte sont compatibles avec les normes de l'OMS à part le calcium.
Paramètres microbiologiques	L'eau contient 4 GT et 3 CT, ce qui est donc inférieur à la norme (10 CT/100 ml)	Aucune contamination observée
Qualité globale de l'eau	L'eau de la source Ain Guies est d'une bonne qualité physico-chimique et microbiologique.	

Du point de vue microbiologique, au mois de février, l'eau de la source Ain Guies est contaminée (présence des GT et CT), mais la qualité d'eau reste plus ou moins acceptable. Pour le mois de Mai, l'eau est de bonne qualité.

- Source 4 (Sellaoua Announa)

	Prélèvement 1 (Février)	Prélèvement 2 (Mai)
Paramètres physico-chimiques	Tous les paramètres sont en-deçà des normes à part le calcium.	Tous les paramètres sont en-deçà des normes à part le calcium.
Paramètres microbiologiques	Présence de contamination par les GT, les CT, les CF	Présence de contamination par les GT, les CT, les CF
Qualité globale de l'eau	L'eau de la source Sellaoua Announa est de bonne qualité physico-chimique mais ne répond pas aux exigences bactériologiques.	

La présence des bactéries dans l'eau de Sellaoua Announa peut être due à la lixiviation des sols. L'eau de pluie peut accroître considérablement le niveau de contamination microbienne

des eaux de source, et des flambées de maladies véhiculées par l'eau peuvent se manifester à la suite de précipitations.

- Source 5 (Aouinet Sikrane – Hammam Debagh)

	Prélèvement 1 (Février)	Prélèvement 2 (Mai)
Paramètres physico-chimiques	Presque tous les paramètres sont en-deçà des normes, sauf la conductivité électrique, les chlorures, le magnésium et le calcium.	Tous les paramètres sont en-deçà des normes, sauf la conductivité électrique, les chlorures, le magnésium et le calcium.
Paramètres microbiologiques	Présence de contamination par les GT, les CT, les CF	Présence de contamination par les GT, les CT, les CF
Qualité globale de l'eau	L'eau de la source Aouinet Sikrane est d'une mauvaise qualité physico-chimique et ne répond pas aux exigences bactériologiques.	

L'eau de la source d'Aouinet Sikrane dépasse la norme pour le calcium, magnésium, et la conductivité électrique parce qu'elle est chargée en sels dissous (minéralisation élevée). Les chlorures et le également dépassent la norme, ces valeurs élevées sont dues à la dissolution des formations argileuses.

La présence des bactéries dans l'eau peut être expliquée par le fait que cette source se situe près d'une agglomération et donc des activités humaines.

2.2. Bilan

- ✚ La source de meilleure qualité est celle d'Ain Guies parce que tous les paramètres physico-chimiques sont compatibles avec les normes de l'OMS et l'eau de cette source répond aux exigences bactériologiques.
- ✚ Les sources de moins bonne qualité sont celles d'Aouinet Sikrane (S5), qui ne répond pas aux exigences physico-chimiques et bactériologiques tolérées par l'OMS, et aussi la source de Hammam N'Bails (S1), car elle est contaminée par des CF, et des SF qui sont nuisibles à la santé humaine.

3. Hydrochimie

3.1. Introduction

L'hydrochimie étudie les interactions entre l'eau et la roche. Au cours de sa circulation dans le sous-sol, l'eau va se charger en substances minérales. Ce phénomène est appelé échange de base.

La chimie des différentes sources en eau (eaux de surface, eaux souterraines) est souvent influencée par la dissolution des formations géologiques, les rejets industriels ou encore l'activité agricole.

En raison de l'utilisation de ces eaux, l'hydrochimie permet de :

- Donner une idée de la qualité chimique de l'eau,
- Visualiser à l'aide de cartes la répartition et l'évolution géographique des concentrations en éléments chimiques dissous.

3.2. Qualité des données

L'analyse des balances ioniques permet de contrôler la cohérence des résultats. Il s'agit de comparer quantitativement les cations et les anions, pour voir si la somme des premiers correspond à celle des seconds. Pour ce faire, on utilise une unité commune (le milli-équivalent par litre ou meq/l). Dans le cas d'une trop grande différence entre les cations et les anions, cela indique que les résultats ne sont pas satisfaisants (un élément a pu être mal estimé ou oublié), et donc que les analyses ne sont pas fiables.

La méthode utilisée est la Balance Ionique (BI) : elle est exprimée sous forme d'un écart relatif par la formule suivante :

$$BI = \frac{\Sigma r(\text{cations}) - \Sigma r(\text{anions})}{\Sigma r(\text{cations}) + \Sigma r(\text{anions})} \times 100$$

Toutes les valeurs des cations et anions sont en **meq/l**.

D'une manière générale, plus l'écart entre cations et anions est faible, meilleur sont les résultats. On prend en compte la valeur absolue de la balance ionique (donc sans tenir compte du signe) :

Tableau III-4 : Balance ionique et fiabilité des résultats.

Valeur absolue de la balance ionique BI	Fiabilité des résultats
< 1 %	Excellente
Comprise entre 1 et 5 %	Acceptable
Comprise entre 5 et 10 %	Médiocre
> 10 %	Douteuse (mauvaise)

(in Mekkaoui et Benour, 2016)

Tableau III-5 : Analyse chimique des sources en meq/l du mois de Février 2019.

Equivalent (g)	61	35.5	62	48	23	39.1	12	20	SEUIL 7%		
	HCO ₃ ⁻	CL ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	BI%	S.A	S.C
Sources											
S1	4.44	1.2	0.07	0.20	0.75	0.11	1.13	4.38	3.75	5.91	6.37
S2	5.68	1.2	0.13	0.58	1.38	0.29	1.37	5.33	4.89	7.59	8.37
S3	3.84	4.23	0.04	0.06	1.37	0.23	1.08	6.02	5.05	8.17	8.70
S4	5.46	1.2	0.07	0.05	1.11	0.17	1.45	4.85	5.57	6.78	7.58
S5	5.34	8	0.19	0.43	1.86	0.49	5.42	7.80	5.45	13.96	15.57

La fiabilité de nos résultats est donc acceptable pour les sources S1 et S2, et médiocre pour les autres sources.

Tableau III-6 : Analyse chimique des sources en meq/l du mois de Mai 2019.

Equivalent (g)	61	35.5	62	48	23	39.1	12	20	SEUIL 7%		
	HCO ₃ ⁻	CL ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	BI%	S.A	S.C
Sources											
S1	4.12	1.2	0.06	0.15	0.87	0.19	0.96	4.10	5.06	5.53	6.12
S2	5.2	3.2	0.10	0.76	1.54	0.25	1.37	6.21	0.59	9.26	9.37
S3	3.86	5.6	0.04	0.1	1.42	0.25	2.87	5.12	0.31	9.6	9.66
S4	5.26	1.2	0.03	0.11	0.85	0.14	1.13	4.50	0.15	6.6	6.62
S5	4.98	8	0.07	0.30	2.23	0.39	5.06	7.28	5.69	13.35	14.96

La fiabilité de nos résultats est donc excellente pour les sources S2, S3 et S4, et médiocre pour les autres sources.

3.3. Représentation graphique des faciès chimiques

La représentation graphique des résultats d'analyses a été faite à l'aide du diagramme de PIPER, en utilisant le logiciel Diagramme, conçu par Roland Simler (Laboratoire d'hydrogéologie, Université d'Avignon, 2004).

Classification de PIPER :

La représentation des analyses chimiques sur le diagramme de Piper permet de différencier différentes familles d'eaux. Ce diagramme est composé de deux triangles permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique et d'un losange synthétisant le faciès global.

L'examen des représentations graphiques obtenues permet de déduire les interprétations suivantes :

✚ Prélèvement du mois de Février (fig.III-6):

Dans le triangle des cations, le calcium et le magnésium sont dominants par rapport au sodium,

Dans le triangle des anions, ce sont les bicarbonates, les chlorures qui sont abondants, les nitrates sont moins fréquents dans les sources : S1, S2, S4,

En revanche, pour S3, S5, les chlorures sont les plus abondants, ensuite les bicarbonates et les nitrates, tandis que les sulfates sont moins fréquents.

Dans le diagramme losangique, nous avons constaté deux faciès :

- Pour les sources S1, S2, S4 : le faciès est bicarbonaté calcique et magnésien.

Pour ces sources, le faciès est dû à la nature lithologique des formations traversées par les eaux (des formations carbonatées).

Pour les sources S3 et S5 : le faciès est chloruré et sulfaté calcique et magnésien, ce faciès indique une dissolution de roches argileuses.

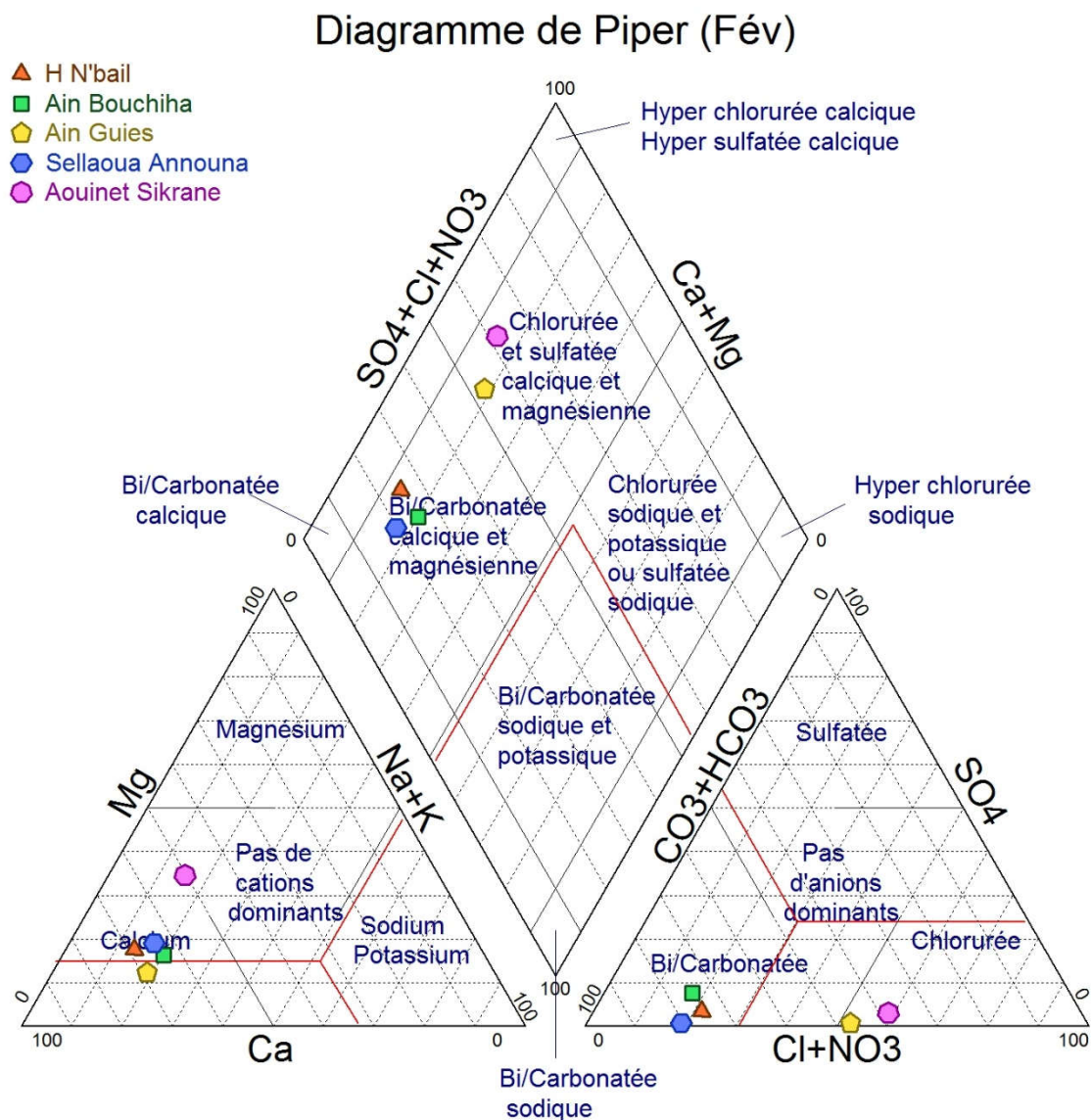


Figure III-6 : Représentation des faciès chimiques des eaux avec le diagramme de PIPER (mois de février).

✚ Prélèvement du mois de Mai (fig. III-7) :

Dans le triangle des cations, le calcium et magnésium dominent par rapport au sodium.

Dans le triangle des anions, ce sont les chlorures qui dominent par rapport aux bicarbonates, sulfates et les nitrates (sources S3 et S5). Pour les sources S1, S2, S4, ce sont les bicarbonates qui sont dominants par rapport aux chlorures, sulfates et nitrates.

Dans le diagramme losangique, nous avons constaté deux faciès :

- Pour les sources S1, S2, S4 : le faciès est bicarbonaté calcique et magnésien. Le faciès bicarbonaté calcique des sources S1, S2, S2 s'explique par les formations lithologiques présentes (S1 : calcaires bitumineux), (S2 : tufs et calcaires lacustres de Guelma), (S4 : marnes noires, éboulis de marnes)
- Pour les sources S5, S3 : le faciès est chloruré et sulfaté calcique et magnésien. Ce faciès indique une dissolution de formations évaporitiques riches en sels et en gypse. Pour la source S3 (Aïn Guies) et S5 (Aouinet Sikrane), le faciès est dû à l'influence de la nature lithologique (S3 : argiles et grès) et (S5 : argiles numidiennes).

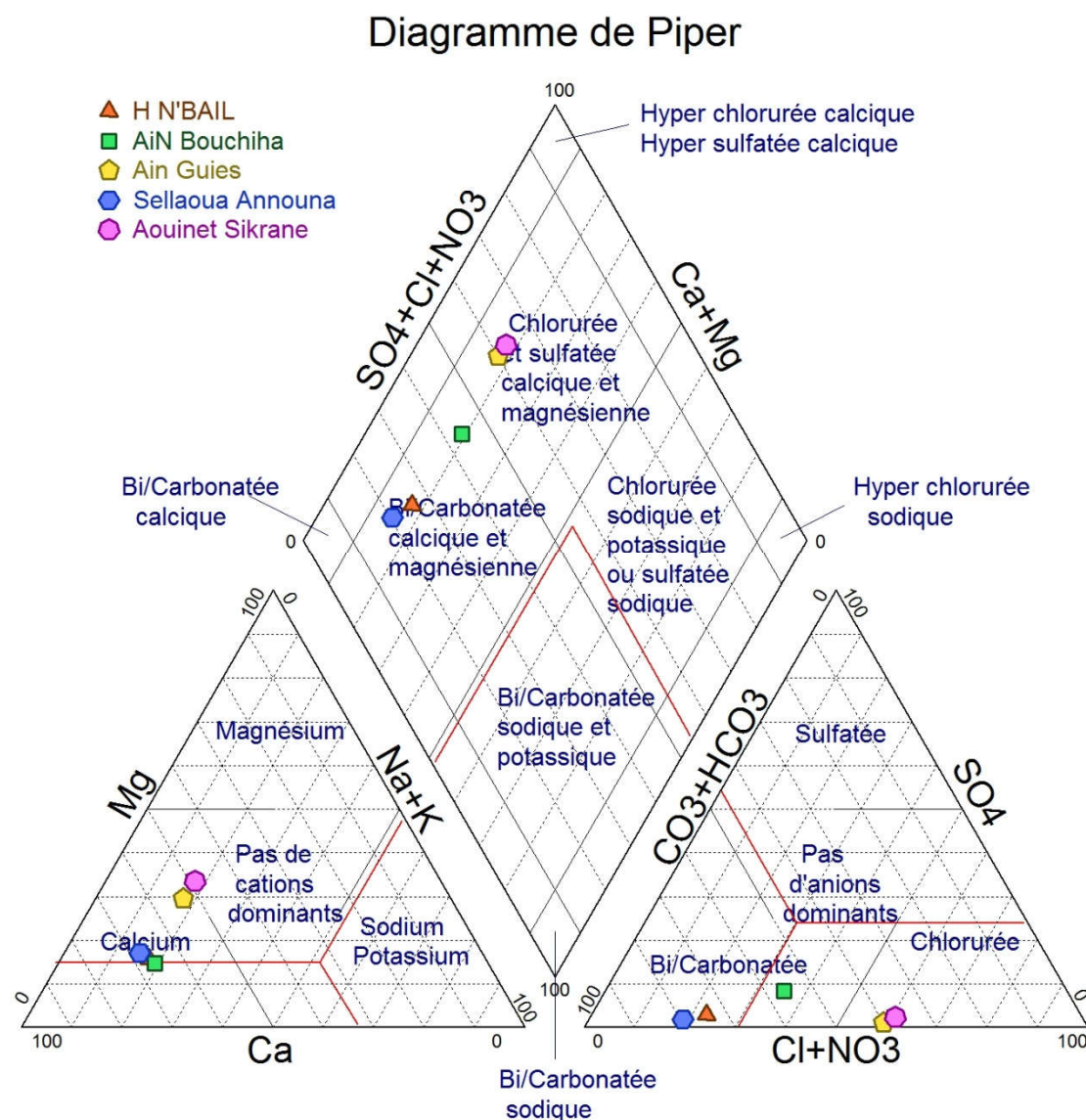


Figure III-7 : Représentation des faciès chimiques des eaux avec le diagramme de PIPER (mois de mai).

4. Influence de la période de prélèvement sur la qualité des eaux

Deux prélèvements ont été effectués, en Février (période hivernale) et en Mai (printemps), dans le but d'étudier l'effet du climat sur la qualité des eaux.

4.1. Concernant les paramètres physico-chimiques

Les valeurs obtenues en Février et en Mai sont généralement différentes. Selon les sources, certaines sont plus élevées pendant l'hiver (par exemple le taux d'oxygène dissous) et d'autres pendant le printemps (par exemple les taux de sodium, d'ammonium, de sulfates).

L'écart moyen entre les deux valeurs, pour l'ensemble des paramètres, est proche de 20 %, mais l'évolution est extrêmement variable en fonction des paramètres et des sources concernées. Une analyse détaillée des résultats paraît très complexe. D'autres analyses pourraient également permettre de confirmer ou non ces évolutions et de les expliciter.

4.2. Concernant les analyses microbiologiques

On observe une augmentation conséquente de la charge microbienne entre les mois de Février et de Mai, à l'exception de la source n°3 (Aïn Guies), dont la qualité est excellente pour les deux prélèvements.

L'explication qui peut être apportée est la suivante : en période hivernale, la pollution est diluée par les précipitations, alors qu'elle est concentrée pendant les périodes plus sèches.

5. Insuffisances du travail

- Pour la partie hydrochimique, nous n'avons pas pu faire d'Analyse en Composantes Principales (ACP), qui aurait permis de comprendre le mécanisme du chimisme des eaux.

L'A.C.P peut s'utiliser dans des situations nombreuses et variées pour savoir comment se structurent les variables, quelles sont celles qui sont associées, quelles sont celles qui ne le sont pas, quelles sont celles qui « vont dans le même sens », quelles sont celles qui s'opposent.

L'A.C.P permet de regrouper selon les mêmes facteurs les échantillons présentant des caractères d'origine ou d'évolution similaire.

- D'autres analyses seraient nécessaires afin de confirmer le faciès chimique des eaux, d'autres prélèvements auraient pu permettre d'analyser un plus grand nombre de sources afin d'obtenir des résultats plus complets.
- Une surveillance périodique de la qualité des eaux serait également souhaitable.

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATION

Conclusion générale et recommandations

Au terme de ce travail, nous avons pu étudier la qualité physico-chimique et bactériologique de cinq sources situées dans la wilaya de Guelma, afin de déterminer leur potabilité et leurs caractéristiques physico-chimiques. Pour ce faire, deux prélèvements ont été réalisés, le premier en Février et le second en Mai, dans le but d'étudier l'impact du climat. De nombreux paramètres ont été analysés, certains *in situ*, les autres en laboratoire.

Les données climatiques fournies par la station de l'ADE de Hammam Debagh révèlent que la région d'étude est caractérisée par un climat méditerranéen, à hivers froids et pluvieux, de type humide et subhumide, et étés très chauds et secs. Les températures sont variables d'une saison à l'autre avec des amplitudes parfois très importantes.

Du point de vue de la géologie, la région étudiée est caractérisée par la présence de formations géologiques d'âges variés (du Paléozoïque au Quaternaire). Les formations alluvionnaires du Mio-Pliocène et du Quaternaire constituent la roche réservoir de la nappe aquifère de Guelma.

Nos résultats nous indiquent que la plupart des paramètres physico-chimiques pris en compte sont compatibles avec les normes de l'OMS, à l'exception du Calcium, dont la concentration dépasse les normes pour toutes les sources. Cet élément provient de la dissolution des formations géologiques avoisinantes.

Pour la source S5 (Aouinet Sikrane), les normes sont également dépassées pour le Magnésium, les Chlorures et la conductivité électrique.

S'agissant des analyses bactériologiques, la présence de coliformes totaux (CT), de coliformes fécaux (CF) a été constatée dans la plupart des prélèvements. Les streptocoques Fécaux (SF) ne sont présents que dans une seule source (S1). Ces résultats nous indiquent donc l'existence d'une sérieuse pollution fécale qui menace la qualité de ces eaux. L'une des explications peut être la localisation de ces sources en bord de route.

Au terme de ce travail, il apparaît que l'eau des sources étudiées est impropre à la consommation, du fait du dépassement de la teneur en calcium et de la présence d'une contamination fécale. Il apparaît également que la qualité des eaux de ces différentes sources est variable : les eaux les plus 'propres' sont celles de la source S3 (Aïn Guies) et celles qui sont les plus 'sales' sont celles de la source S5 (Aouinet Sikrane).

Enfin, nous avons constaté des différences variables entre les deux prélèvements, avec un écart moyen de 20% pour les valeurs des paramètres physico-chimiques, mais nous ne pouvons pas dégager de tendance évolutive claire. En revanche, du point de vue bactériologique, il apparaît que le second prélèvement est nettement plus pollué que le

Conclusion générale et recommandations

premier, excepté pour la source S3 (Ain Guies), dont la qualité est excellente dans les deux cas.

La prévention des problèmes de santé associés à la contamination de l'eau potable doit reposer sur les recommandations suivantes :

- une surveillance régulière de la qualité de l'eau, particulièrement pour les sources vulnérables.
- au niveau des terres agricoles, les épandages de fumier et d'engrais doivent être dosés le plus justement possible, en fonction des exigences des cultures.
- l'information de la population, qui considère qu'une eau de source est une garantie suffisante de potabilité.
- l'établissement de normes nationales de la qualité des eaux de consommation.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUE

Références bibliographiques

A

AEAG (Agence de l'eau Adour-Garonne), 2012. Revue Adour-Garonne n°118, 52 p.

ALGEO, (Alger Géophysique), 1997. Etude géophysique dans la plaine de Guelma. Rapport Internet, 28p.

Alouane H, 2012. Evaluation des teneurs en nitrates dans les sols et dans les eaux captées et émergentes en zones à vocation agricole, impact des nitrates sur la qualité des eaux destinées à la consommation humaine. Mémoire de magister Université Mentouri Constantine, 49 p.

Aminot A. et Chaussepied M, 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin, Centre national pour l'exploitation des océans, CNEXO (Brest), 395 p.

B

Bagnouls F. et Gausson H, 1953. Saison sèche et indice xérothermique. Bull. Soc. Hist. Nat., Toulouse, vol.88, p. 193-239.

Benmarce K, 2007. Caractéristiques physico-chimiques et isotopiques des eaux souterraines dans la région de Guelma (Nord-Est Algérien). Mémoire de magister, Université Badji Mokhtar-Annaba, 156 p.

Bensouilah T, 2015. Contribution à l'étude écologique des passereaux nicheurs dans le Nord-Est d'Algérie, 179 p.

Bonnin J, 1982. Aide-mémoire d'hydraulique urbaine. 1^{ère} édition Eyrolles. Paris. Pp 23-24. Source d'affleurement

Bouras Z. et Sekfali S, 2013. Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux superficielles « cas d'oued Zenati » (Nord-Est Algérien). Mémoire de Master Université de Guelma 9 -10 – 20 pp.

Borrego A.F. et Romero P, 1982. Study of the microbiological pollution of a Malaga Littoral area II. Relationship between fecal coliforms and fecal streptococci. VI^e journée étud. Pollutions, Cannes, France. Pp 561-569.

Références bibliographiques

C

Castany G. et Margat J, 1977. Dictionnaire Français D'hydrogéologie, Géologie Minière. 249 p.

Castany, Mégniën et al, 1974. Les bassins de la Seine et des cours d'eaux normands, Tome 1- Ressources d'eaux et données hydrologiques. Fascicule 4- Eaux souterraines. Agence financière de bassin Seine-Normandie Ed, Nanterre, 157p.

CEAEQ, 2000. Recherche et dénombrement des coliformes fécaux; méthode par filtration sur membrane. Centre d'expertise en analyse environnementale, Gouvernement du Québec. Canada. 24 p.

Chibani S, 2008. Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de surface et souterraine de la région de Ain Makhlouf (Wilaya de Guelma). Mémoire de Magister en Hydro-écologie. Université de Guelma. 97p.

Chocat B, 1997. Le rôle possible de l'urbanisation dans l'aggravation du risque d'inondation : l'exemple de l'Yzeron (Lyon), Revue de géographie de Lyon, n° 4, 1997, p. 273-280.

C.R.A.A.G, 2004. (Centre de Recherches Astronomiques et Géophysiques Algérien). Etude géophysique par gravimétrie de la région d'Oued Zenati, Guelma. Rapport Internet. 42 p.

D

Dellarras C, Bernard A, 2003. Surveillance sanitaire et microbiologie des eaux. Ed. Lavoisier, Paris, : 246 p

Denis F, Bingen E., Martin C., Ploy M. C. et Quentin R., 2007. Bactériologie médicale : Techniques usuelles. Elsevier Masson. 594 p.

Detay M, 1993. Le forage d'eau ; réalisation, entretien et réhabilitation, Masson, 379 p.

De Villers J, Squilbin M. et Yourassowsky C, 2005. Qualité physicochimique et chimique des eaux de surface : Cadre général. Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement (IBGE). 16 p.

Drissi, 2008. Qualité des eaux de quelques sources dans la région de Souk-Ahras. Mémoire de Magister. Universitaire de Souk Ahras. 69 p.

Références bibliographiques

Durand-Delga M, 2011. La recherche géologique française en Algérie du Nord après 1962, p. 217-222.

E

ENAGEO (Entreprise Nationale De Géophysique), 1971. Etude géophysique dans la région de Guelma, 52 p.

G

Gaud B, 1976. Etude hydrogéologique de la nappe alluvionnaire de Guelma. Rapport interne, p. 318 – 333.

Genoudet, A. 2001. L'eau du robinet : de la source au verre. Extrait de dossier de bulletin de l'association médicale Kouzmine internationale.

Gomella C. et Guerree H, 1974. La distribution de l'eau dans les agglomérations urbaines et rurales. 1^{ere} édition. Editions Eyrolles. 28 p.

Gomella C. et Guerree H, 1980. Guide de l'alimentation en eau dans les agglomérations urbaines et rurales. Tome1 : La distribution. 3^{ème} édition Eyrolles, pp 21-22.

H

Hanna I, 2008. Mode d'emploi ; Multi paramètres. 13 paramètres, Edition 4, 55p.

Hubert P. et Marin M, 2001. Quelle eau boirons-nous demain ? Edition Fabienne, 128 p.

K

Kettab A, 1992. Traitement des eaux. Les eaux potables. Edition : Office des Publications Universitaire. Ben Aknoun, Alger : 4p.

L

Lahondère J. C, 1981. Relation du « socle ancien » de la région de Bastia (corce) avec les schistes lustrés environnants. C.R Acad. Sic, paris, T.293 , sér.II,p. 169-172.

Lebres E. et Mouffok F, 2008. Le cours national d'hygiène et de microbiologie des eaux de boisson. Manuel des travaux pratiques des eaux. Institut Pasteur d'Algérie, 53 p.

Références bibliographiques

Lebres E, 2002. Cour national d'hygiène et de microbiologie des aliments « Microbiologie des eaux des boissons et des produits de la mer ». Institut Pasteur d'Algérie, 34p.

Lebres E, 2006. Manuel des travaux pratiques : Analyses des eaux, Institut Pasteur d'Algérie, 60p.

Leclerc H, 1996. Microbiologie générale. Doin. France, 368 p.

Lefèvre S, 1991. Les analyses d'eau avec les tests prêts à l'emploi : la potabilité de l'eau, les eaux piscicoles, l'eau des piscines, laboratoire Merck- Clevenot.

M

Mayet, 1994. L'analyse de l'eau, seconde édition, Edition le Moniteur.

Mekkaoui AH et Benour S, 2016 bassin versant de la moyenne Seybouse pollution de eaux de surface approche qualitative et cartographique, 137 p.

Merzoug S, 2009. Etude de la qualité microbiologique et physico-chimique de l'eau de l'écosystème lacustre Garaet Hadj-Taher Ben Azouz, Wilaya de Skikda. Mémoire de Magister. Université de 08 Mai 1945- Guelma, 113 p.

Monod I, 1989. Mémento technique de l'eau, 9^{ème} édition. T1. Dégrément. France, 591 p.

Mouchara N, 2009. Impacts des lâchés de barrage de Hammam Debagh sur la qualité des eaux de la vallée de la Seybouse dans sa partie amont (Nord-Est Algérien) Mémoire de Magister en Hydrogéologie. Université Badji Mokhtar- Annaba, 141p.

O

OMS, 2004. Les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable, Plusieurs mises à jour disponibles (en 2006, en 2011, en 2017), Organisation Mondiale de la Santé, Genève, Suisse, 1150p.

R

Rejsek F, 2002. Analyse des eaux : Aspects réglementaires et techniques. Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine (CRDP). Bordeaux, 358 p.

Rodier J,et al, 1984. L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 5^{ème} édition. Editions Bordas, Paris, 1334 p.

Références bibliographiques

Rodier J, et al, 1996. L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduelles, eaux de mer. 6^{ème} édition. Editions Dunod .Paris.1383p.

Rodier J, Bazin C., Broutin J.-P., Chambon P., Champsaur H., Rodi L., 2005.l'analyse de l'eau : eaux naturelle, eau résiduaires et l'eau de mer. 8^{ème} Ed. Dounod, paris : 1383p.

Rodier J.et Legube B et Merlet N, 2009. L'analyse de l'eau .eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 9^{ème} édition. Edition Dunod, Paris.1579P.

S

Saadali B, 2007. Etude de la qualité des eaux des sources issues du massif dunaire de Bouteldja (Algérie Extrême Nord Orientale). Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar. Annaba, 83p.

T

Thierrin J., Steffen P., Cornaz S., Vuataz F. D., Balderer W. et Looser M, 2001. Guide pratique de l'échantillonnage des eaux souterraines. Société Suisse d'Hydrogéologie, 57p.

V

Vila J.M, 1972. Les témoins méridionaux du môle néritique constantinois au Sud de Hammam Meskoutine et de Guelma, Algérie. B.S.H.N. Afr. Nord, 63, fasc. 1-2, p.29

Vilagines R, 2000. Eau, environnement et santé publique. Introduction à l'hydrologie. 3^{ème} Edition : Tec et Doc. Lavoisier, 174p.

Z

Zeddouri A, 2003. Contribution à l'étude hydrogéologique et hydrochimique de la plaine alluviale de Guelma (Essai de modélisation), Guelma, Nord-Est Algérien. Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar, Annaba.

Zmirou D., Ferley J. P., Collin J. F., Charrel M. et Berlin J, 1987. A follow-up study of gastro-intestinal diseases related to bacteriologically substandard drinking water. American Journal of Public Health. Etats-Unis. Vol. 77. pp. 582 - 584.

Sites Internet:

Références bibliographiques

- ANDI (Agence Nationale de Développement de l'investissement) : www.andi.dz(consulter le 15/03/2019.)
- Direction du commerce Guelma : <http://www.dcwguelma.dz/fr/index.php/wilaya-guelma>(consulter le 17/03/2019.)
- Google earth, (2018). Europa Technologies. Tele Atlas. www.googleearth.com.(consulter le 02/07/2019.)

PUBLICATIONS

- **ENCYCLOPÉDIE MÉDICAL, 1997.**(consulter le 27/03/2019.)