



Mémoire de Fin d'Études

Présenté en vue de l'obtention d'un Diplôme de Master 2 Recherche

«Toxicologie industrielle et environnementale »

THÈME

Évaluation de l'indice de pollution minérale des eaux
thermominérales dans la région d'El Tarf (Hammam Sidi
Djaballah et Hammam Sidi Trad)

Soutenu le : 04/07/2021

Présenté Par : Kahili Amira

Ladjama Rania

Devant le jury composé de :

Dr Samira Gheid	MCB	Président	UCBET
Dr Warda Boumaraf	MCB	Examineur	UCBET
Dr Sofia Bahroun	MCA	Promoteur	UCBET

Année universitaire 2020 - 2021

REMERCIEMENTS

On remercie avant tout **ALLAH** le Tout Puissant, de nous avoir guidées durant les années d'études et de nous avoir données la volonté, la patience et le courage pour terminer ce travail.

AU PROPHÈTE MOHAMED (PSL)

Notre prière est d'être toujours fidèle à ta parole pour être un modèle.

On tiendrons tout d'abord à exprimer nos remerciements les plus sincères à Madame **SOFIA BAHROUN**, Maître de conférences « A » à la Faculté des Sciences de la nature et de la vie de l'université Chadli Bendjedid d'El Tarf, notre promotrice, ainsi que tous les enseignants et professeurs qui nous accompagnés et soutenue durant notre vie scolaire jusqu'ici, et tout au long de ce travail avec patience et disponibilité, « **MERCI** ».

Nos vifs remerciements également à Dr. **SAMIRA GHEID**, Maître de conférences « B » à la Faculté des Sciences de la nature et de la vie de l'université Chadli Bendjedid d'El Tarf, d'avoir bien voulu s'intéresser à ce travail et qui a bien acceptée de nous faire le grand honneur de présider le Jury de notre soutenance.

Nos remerciements s'adressent à **Dr. WARDA BOUMARAF**, Maître de conférence « B » à la Faculté des Sciences de la nature et de la vie de l'université Chadli Bendjedid d'El Tarf, d'avoir acceptée d'examiner, d'évaluer ce travail et de siéger au jury de notre soutenance.

Nos remerciements à tous les enseignants du département de biologie de l'université d'El Tarf.

DEDICACES

Je dédie ce mémoire

A

Mes chers Parents, ma mère **Zineb** et mon père **Radoune**

Pour leurs patiences, leurs amours, leurs soutiens et leurs encouragements, qui présentent mes sources de motivations qui font nourrir mes ambitions et faire grandir mes rêves.

Mon aimable PROMOTRICE

Dr. Sofia Bahroun, ainsi que tous nos professeurs et enseignants.

A mes frères (**Ramzi, Anwar, Abdallah**)

A qui je souhaite un avenir radieux plein de réussite

A ma sœur **Amira**

A mes familles

A tout mes chères amies

À toute personne qui m'aime

A tous ceux qui me sont chers



LADJAMA RANIA

DEDICACES

Je dédie ce mémoire

A

A mes familles

Mon aimable PROMOTRICE

Dr. Sofia Bahroun, ainsi que tous nos professeurs et enseignants

A tout mes chères amies

À toute personne qui m'aime

A tous ceux qui me sont chers

Sans oublier Msr Daroui Abderazek et Khawla, Aicha, Yaser.

Pour leurs patiences, leurs amours, leurs soutiens et leurs encouragements.



KAHILI AMIRA

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Limites de la wilaya d'El Tarf et de ses communes	12
Figure2 : Extrait de la carte pluviométrique d'Algérie.....	13
Figure3 : Carte d'inventaire des sources thermales d'El Tarf.....	16
Figure 4 : Variation de la température.....	21
Figure 5 : Variation du Ph.....	22
Figure 6 : Variation de la conductivité.....	23
Figure 8 : Variation de magnésium.....	24
Figure 9 : Variation de sodium.....	25
Figure 10 : Variation de potassium.....	26
Figure 11 : Variation de sulfates.....	27
Figure 12 : Variation de chlorures.....	28
Figure 13: Variation de l'IPM.....	28

LISTE DES TABLEAUX

Tableau1. Principale constantes physiques de l'eau pure.....	4
Tableau2 : La classification de la pollution minérale.....	20
Tableau 4 : Variation de la température.....	21
Tableau 5: Variation de pH.....	21
Tableau 4: Variation de la Conductivité.....	22
Tableau 5. Variation de magnésium.....	23
Tableau 6 ; Variation de sodium.....	24
Tableau 7 ; Variation de potassium.....	25
Tableau 8 ; Variation des sulfates.....	26
Tableau 9 ; Variation de chlorure.....	27
Tableau 10 : Évolution d'IPM au niveau des deux sources thermales pendant la période 2015.....	28

LISTES D'ABRÉVIATIONS

mg/l : milligramme par litre

µg/l : microgramme par litre

° : Degré

°C : degré Celsius

> : Supérieur

< : Inférieur

= : égal

PH : potentiel d'hydrogène

IPM ; Indice de pollution minérale

Ca²⁺ : Calcium

Mg²⁺ : Magnésium

K⁺ : Potassium

Na⁺ : Sodium

Cl⁻ : Chlorure

Résumé

Nous savons que l'eau donne la vie et qu'elle sustente notre environnement et notre culture. Pourtant, la demande mondiale d'eau grimpe en flèche en même temps que la démographie. Où L'homme s'est intéressé aux eaux chaudes qui émergeaient du sol. La qualité des ressources en eaux chaudes existantes baisse à cause de la pollution.

L'objectif principal de cette présente étude est l'évaluation de l'indice de pollution minérale des eaux thermominérales dans la région d'al Tarf (cas de hammam sidi Djaballah et hammam sidi trad), sur la base du suivi des paramètres- physicochimique, pendant l'année 2015.

Afin de suivre la qualité des eaux de hammam sidi trad et hammam sidi Djaballah, nous avons choisi une méthode pertinente, en utilisant l'indice de pollution minéral pour sa rigueur en appréciation de la qualité des ces eaux.

Les résultats montrent une très forte pollution minérale au niveau des deux sources étudiées, ce ci est expliqué par les fortes teneurs des sulfates, chlorures et sodium.

Mots clés : El Tarf, source thermale, indice de pollution minéral, très forte.

Abstract

We know that water gives life and that it sustains our environment and our culture. Yet global demand for water is skyrocketing along with demographics. Where Man became interested in the warm waters emerging from the ground. The quality of existing hot water resources is declining due to pollution.

The main objective of this study is the evaluation of the mineral pollution index of thermomineral waters in the region of al Tarf (case of hammam Sidi Djaballah and hammam Sidi Trad), on the basis of the monitoring of physicochemical parameters. , during the year 2015.

In order to monitor the quality of the water in the Sidi Trad hammam and the Sidi Djaballah hammam, we have chosen a relevant method, using the mineral pollution index for its rigor in assessing the quality of these waters.

The results show a very strong mineral pollution at the level of the two sources studied; this is explained by the high contents of sulphates, chlorides and sodium.

Keywords: El Tarf, thermal spring, mineral pollution index, very high.

ملخص

نحن نعلم أن الماء يمنح الحياة وأنه يحافظ على بيئتنا وثقافتنا. ومع ذلك ، فإن الطلب العالمي على المياه يرتفع بسرعة جنباً إلى جنب مع التركيبة السكانية. حيث أصبح الإنسان مهتماً بالمياه الدافئة الخارجة من الأرض. جودة موارد المياه الساخنة الحالية آخذة في التدهور بسبب التلوث.

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تقييم مؤشر التلوث المعدني للمياه المعدنية الحرارية في منطقة الطرف (حالة حمام سيدي جاب الله وحمام سيدي طراد)، على أساس رصد المعلمات الفيزيائية والكيميائية، خلال عام 2015. من أجل مراقبة جودة المياه في حمام سيدي طراد وحمام سيدي جاب الله، اخترنا طريقة مناسبة، باستخدام مؤشر التلوث المعدني لدقته في تقييم جودة هذه المياه.

أظهرت النتائج تلوثاً معدنياً قوياً جداً على مستوى المصدرين المدروسين ، ويفسر ذلك المحتوى العالي من الكبريتات و الكلوريدات والصوديوم.

الكلمات المفتاحية: الطارف، مصدر حراري، مؤشر التلوث المعدني، قوة جدا.

Sommaire

Remerciement

Dédicace

Sommaire

Résumé

Abstract ملخص

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction général.....1

Chapitre I Partie bibliographique

I.1. L'eau.....3

I.1.1 Propriétés physico-chimiques de l'eau.....3

I.1.2 Propriétés physiques de l'eau.....3

I.1.2.1 Propriétés chimiques de l'eau..... 4

I.1.3 Les eaux souterraines.....5

I.2. Généralités sur les eaux thermominérales5

I.2.1 Les deux types d'eaux thermales fréquentes.....6

A. Les eaux carbogazeuses..... 6

B. Les eaux Sulfurées.....6

I.2.2 Classement des eaux thermales..... 6

I.2.3 Origines de l'eau thermale, la question de l'origine juvénile.....7

I.2.4 La thermalité.....7

I.3. Pollution des eaux.....	7
I.4. Les différents types de pollutions.....	8
I.4.1 Suivant l’origine de la pollution.....	8
I.4.1.1 La pollution domestique.....	8
I.4.1.2 Pollution industrielle.....	8
I.4.1.3 Pollution agricole.....	8
I.4.1.4 Phénomènes naturels.....	9
I.4.2 Suivant la nature de la pollution.....	9
I.4.2.1 Pollution physique.....	9
I.4.2.2 Pollution chimique.....	9
A. Pollution toxique.....	10
B. Pollution nutritive.....	10
I.4.2.3 Pollution organique.....	10
I.4.2.4 Pollution microbiologique.....	10
I.5 Effets des eaux polluées dans le milieu naturel.....	11
I.5.1 Impacts sur la santé humaine.....	11
I.5.2 Autres impacts sur la biodiversité.....	11

Chapitre II Présentation de la zone d’étude

II.1. Introduction.....	12
II.2. Situation géographique de la wilaya d’El Tarf.....	12
II.3.Aspects climatiques.....	13
II.4.Aspects géomorphologique.....	13
II.5. La couverture végétale.....	14
II.6.Économie.....	14
II.7.Hydrologie	14
II.8.Richesses Faunistique.....	15
II.9.Situation géographique des sources thermales de la région d’étude.....	15
A. Hammam Sidi Djaballah.....	15
B. Hammam Sidi Trad.....	15

Chapitre III Matériels et méthode

III.1. Objectif du travail.....	17
---------------------------------	----

III.2. Matériels.....	17
III.3. Méthodes.....	17
III.3.1. Echantillonnage.....	17
III.3.2 Prélèvements.....	17
III.3.3 Conditions de prélèvement.....	18
III.3.4 Conservation des échantillons.....	18
III.3.5 Méthodes d'analyses.....	18
III.3.5.1 In situ (sur le terrain).....	18
A. La température.....	18
B. La conductivité.....	19
C. PH.....	19
III.3.5.2 Ex situ (au laboratoire).....	19
A. Le sodium.....	19
B. Sulfate.....	19
C. Chlorure.....	19
D.Magnésium.....	19
E. Potassium.....	19
III.6. Méthode de calcul d'IPM (Indice de pollution minérale).....	20

Chapitre IV Résultats et discussion

IV.1. Paramètres physico-chimique (in situ).....	21
IV.1.1. La température.....	21
IV.1.2. Le potentiel d'hydrogène (PH).....	21
IV.1.3. La conductivité.....	21
IV.2. Paramètres physico-chimique (au laboratoire).....	22
IV.2.1 Magnésium.....	23
IV.2. 2 Le sodium	24
IV.2.3 Le Potassium.....	25
IV.2.4 Les Sulfates.....	25

IV.2.5 Le chlorure.....	26
IV.3 Évolution temporelle de la pollution minérale	27
Conclusion	
Références bibliographiques	

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le thermalisme en Algérie a un passé lointain, bien avant les romains qui ont construit les bains thermaux. Les premières études scientifiques ont vu le jour vers les années 1940 avec Simone Gigue. Au court du temps d'autres études ont étaient élaborées du point de vu chimique, hydrogéologique et thérapeutique.

Nous connaissons mieux aujourd'hui l'origine de quelques émergences thermales et le mécanisme de leur manifestation : connaissances géologiques des gisements, chimie des eaux, relation entre structures géologiques, compositions des eaux thermales et orientations thérapeutiques. (DIB.H, 2004)

Le Nord-est Algérien possède des potentialités énormes en eau minérales et thermales dont la majorité des sources sont captées d'une manière artisanale et parfois complètement dépourvues de captage. La diversité physico-chimique de ces sources constitue une richesse inestimable dans le domaine de la santé et du tourisme.

Le développement du tourisme est devenu une des priorités nationales. La wilaya d'El-Tarf, de part sa position géographique, ses diversités forestières et faunistiques, ses sites naturels et ses vestiges ; possède incontestablement les atouts qui font d'elle un pôle touristique sans équivoque.

Les potentialités touristiques qu'offre la région sont nombreuses. La beauté de ses cordons dunaires, ses forêts de chêne, ses lacs et son climat, ne peuvent laisser son visiteur indifférent. A cela, s'ajoute l'existence des sources thermales dont certains indices de surfaces annoncent la présence d'importantes ressources hydrothermales.

L'étude des caractéristiques des eaux thermo-minérales est souvent destiné à préciser les variations potentielles de leur qualité et de leurs origines [Tardy, 1980 ; ChevalierLemire et al. 1990] ou de présenter leur localisation [Djorfi, 1988]. Leur contamination par les eaux météoriques dont la pollution est souvent considérée comme le résultat d'une importante activité anthropique est, dans cette région, très limitée car très peu peuplée et l'agriculture utilise des méthodes traditionnelles souvent imposées par le relief tourmenté.

C'est dans ce contexte que nous avons entrepris l'étude des eaux thermominérales dans la région d'el Tarf (cas de hammam sidi Djaballah et sidi trad) Deux principaux objectifs se dessinent alors :

- ❖ Evaluation du degré de pollution
- ❖ L'évaluation de la qualité de ces eaux en utilisant l'Indice de pollution minérale des eaux thermominérales.

Afin d'atteindre les objectifs visés, nous avons dégagé quatre (4) chapitres étalées sur plusieurs points jugés nécessaires.

Le premier chapitre, donne un aperçu général sur la pollution des eaux, c'est à dire les différents types de pollution des eaux suivant leurs sources et natures, et Effets des eaux polluées dans le milieu naturel ainsi que la santé humaine. Mais Aussi sur les paramètres d'évaluation de la qualité des eaux, et Les eaux thermominérales en Algérie et les sources thermales d'El Tarf.

Le deuxième chapitre, donne un aperçu sur le cadre général de la zone d'étude par, sa situation géographique. Les caractéristiques climatiques et géomorphologique et la biodiversité environnants.

Le troisième chapitre, présente les différents matériels et méthodes convenables utilisés, sans oublier la présentation de la méthode de détermination et de calcul de la pollution minéral, ainsi que le principe d'appréciation des eaux sources étudiés.

Le quatrième chapitre, est basé sur les calculs de l'indice de pollution minéral et la présentation des résultats des paramètres physico-chimiques.

Et enfin les différentes appréciations constatées. Le présent travail se termine par une conclusion générale faisant apparaitre en bref les résultats attendus de l'étude.

I.1. Introduction

L'une des grandes contradictions de la nature humaine est, que nous n'accordions aux choses toute leur valeur qu'à partir du moment où elles deviennent rares (Khiati, 2009). Ainsi, nous n'apprécions l'eau qu'une fois le puits tari. Or, les puits ne tarissent plus seulement dans les zones de sécheresse, mais également dans des régions, qui jusqu'ici, ne connaissaient pas ce genre de problème (Khiati, 2009).

Nous savons également que l'eau donne la vie et qu'elle sustente notre environnement et notre culture. Pourtant, la demande mondiale d'eau grimpe en flèche en même temps que la démographie. La qualité des ressources en eaux existantes baisse à cause de la pollution. La nécessité de répondre aux besoins toujours plus importants de notre industrie et de notre agriculture, provoque la destruction des écosystèmes hydriques à un rythme inquiétant. Le réchauffement climatique que connaît la planète ces dernières décennies, contribue à la diminution de la quantité de la ressource en eau (Gaagai, 2009).

I.1.1 L'eau

L'eau est un élément sous forme liquide en conditions standards (température et pression ambiante), composé sous sa forme pure de molécules qui associent deux atomes d'hydrogène et un atome d'oxygène sous la forme H_2O . L'eau, sous sa forme liquide, est essentielle aux organismes vivants à la fois pour ses caractéristiques mécaniques et ses propriétés chimiques. Ces êtres vivants peuvent par conséquent être composés jusqu'à 97% d'eau. (McDonald, 1988).

I.1.2 Propriétés physico-chimiques de l'eau**I.1.2.1 Propriétés physiques de l'eau**

Les valeurs des principales constantes physiques de l'eau sont rassemblées dans le (Tableau1.). Le caractère polaire de la molécule d'eau est à l'origine d'associations possibles entre les molécules d'eau ; il donnera lieu à bien des anomalies physiques que nous signalons brièvement (Boeglin, 2001).

Tableau1. Principale constantes physiques de l'eau pure (Boeglin, 2001):

Eau liquide	
Température d'ébullitions sous 760 mm Hg (101 325,02 Pa)	100%
Capacité thermique massique à 15°C	4,186 8 j .gP ⁻¹
Conductivité thermique à 20°C	5,98 mW. cmP ⁻¹ P. KP ⁻¹
	23,8 MΩ .cm
Permittivité relative ϵ à 20°C	80
Indice de réfraction pour la raie D à 10°C	1,333
Masse volumique à 4°C	1g .cmP ⁻³ P(par définition)
Eau solide	
Température de fusion	0°C (par définition)
Capacité thermique massique	2,093 4 j. gP ⁻¹
Enthalpie de fusion sous 760 mm Hg (101 325 ,02Pa)	333,27 j. gP ⁻¹
Tension de vapeur à 0°C	877,128 Pa
Permittivité relative ϵ	3,26
Indice de réfraction pour la raie D	1,309 07
Densité (par rapport à l'eau à 4°C)	0,916 49 $\neq$ 0,0007
Eau vapeur	
Conductivité thermique à 100°C	0,231mW .cm
Densité par rapport à l'air	0 ,62337
Indice de réfraction pour la raie D à 100°C	1 ,00259

I.1.2.2 propriétés chimiques de l'eau

L'eau est un excellent solvant, donc facilement polluée le processus de dissolution d'une Substance est une destruction de sa cohésion interne, cette dernière est due à des forces inter atomique et intermoléculaire. La solubilité des gaz, des liquides et des solides est la principale cause de la pollution (Fancoie, 1998).

I.1.3 Les eaux souterraines

Quand la pluie tombe sur le sol, une partie coule le long de la surface de la terre vers des ruisseaux, rivières ou des lacs et peut hydrater le sol. Une partie de cette eau est utilisée par la végétation, une autre partie s'évapore et retourne à l'atmosphère. Une partie de l'eau s'infiltre aussi dans le sol, traverse la zone non saturée et atteint la nappe phréatique, ce qui est une surface imaginaire où le sol est saturé en dessous. (Baudrillard, 1970).

I.2 Généralités sur les eaux thermominérales

✓ Eau thermique

Il s'agit d'une eau dont la température est supérieure à la température moyenne des eaux de nappe de la région. En général, également la définir ainsi : Une eau thermique est une eau d'origine souterraine naturellement chaude à son émergence, dotée de propriétés thérapeutiques et utilisée dans un établissement thermal.

✓ Eau minérale

Eau dont la composition chimique est recommandée pour une bonne santé, ce caractère, qui peut paraître suggestif, est défini par l'Académie de Médecine à partir de sa composition chimique. En effet, certaines eaux thermales, du fait de la température du réservoir, acquièrent des propriétés chimiques particulières, différentes des caractéristiques habituellement observées pour les eaux froides de surface. Du fait des températures qui peuvent être élevées dans le réservoir (200 ou 300 °C), elles sont capables de dissoudre certains minéraux et s'enrichir en "oligo" éléments durant le long temps de contact, parfois plusieurs dizaines de milliers d'années, avec les roches du réservoir profond. Par ailleurs, le circuit des eaux thermales est généralement assez long.

Une eau minéralisée est une eau ayant une concentration importante en sels minéraux : Calcium– Magnésium – Sodium – Potassium – Chlorures – Carbonates – Bicarbonates et Sulfates.

Une eau minérale naturelle est une eau de source naturelle, douée de propriétés Thérapeutiques et ce quel que soit son degré de minéralisation.

✓ Eau de source

L'eau de source est d'origine souterraine, naturellement potable chimiquement et microbiologiquement mais elle doit se conformer aux normes de potabilité que l'eau du robinet.

Elle ne subit aucun traitement (sauf la séparation d'éléments instables ou de matières en suspension par décantation ou par filtration sans modification de la composition chimique).

L'eau de source peut être également gazéifiée par addition de gaz carbonique. Contrairement aux eaux minérales, les composants physico-chimiques de l'eau de source peuvent subir des modifications dans le temps.

✓ **Eau minérale froide**

Une eau minérale est une eau dont la composition chimique diffère de celles des eaux souterraines locales au lieu de son émergence et qui renferme des substances dissoutes en très Petites ou en très grandes quantités, assez actives pour modifier profondément ses qualités ordinaires.

On distingue plusieurs types d'eaux minérales :

- ✓ eau minérale naturelle non gazeuse
- ✓ eau minérale naturellement gazeuse
- ✓ eau minérale renforcée au gaz de la source
- ✓ eau minérale gazéifiée.

I.2.1 Les deux types d'eaux thermales fréquentes

A. Les eaux carbogazeuses

Ce sont des eaux chargées en CO_2 ; qui peut être produit exemple par la décomposition de la calcite à haute température qui libère le gaz, en effet lorsque des calcaires sont enfouis et portés à haute température, une décomposition de la calcite se produit

B. Les eaux Sulfurées

Il s'agit d'eaux riches en Sulfures et autres composés soufrés ayant différents niveau d'oxydo-réduction (Sulfites, Thiosulfates, Soufre organique, Sulfate, Polysulfures, etc...). La présence de sulfures, notamment d'hydrogène Sulfuré, même à l'état de traces induit une odeur très caractéristique

I.2.2 Classement des eaux thermales

On classe les eaux minérales en fonction de leur température d'émergence (froide en dessous de 20°C , hypothermale entre 20 et 35°C , thermale entre 35°C et 50°C , hyperthermale au-dessus de 50°C) et de la présence d'un élément remarquable, soit par sa nature, soit par sa concentration par rapport à l'ensemble des autres éléments contenues dans l'eau. On distingue ainsi six principales classes d'eaux minérales

- Les eaux sulfurées,
- Les eaux sulfatées,
- Les eaux chlorurées,

- Les eaux bicarbonatées,
- Les eaux chlorobicarbonatées
- Les eaux oligominérales

I.2.3 Origines de l'eau thermale, la question de l'origine juvénile

Comme les eaux thermales sont chaudes par définition, qu'elles sont souvent liées à des zones relativement actives au niveau tectonique, différents auteurs se sont posés la question de l'origine « juvénile » de l'eau. Selon cette hypothèse, l'eau résulterait de la condensation des vapeurs d'eau échappées des magmas. La cuisson en profondeur des roches d'origine superficielles, hydratées, conduit en effet à la libération de vapeur d'eau. Différentes études ont montré que cette origine « juvénile » était nulle ou insignifiante dans la plupart des cas. L'eau thermale est essentiellement une eau va dose. Parfois, il peut s'agir d'eau fossile, contenant des minéralisations caractéristiques de ses conditions de dépôt. On retiendra donc qu'en général, l'eau thermale participe à la circulation générale du cycle de l'eau.

I.2.4 La thermalité

Selon Léon Moret, une source thermo minérales est une source dont l'eau est souvent chaude et tient en dissolution des principes susceptibles d'agir efficacement sur la santé humaine.

Selon Henri Schoeller, une eau thermale est une eau dont la température est supérieure à la température moyenne annuelle de l'air, plus de 4°C et selon Madame Dib, celle du sol plus de 2 °C. La température d'une eau souterraine est un facteur relatif, lié aux valeurs de la température extérieure, elle-même fonction de la localisation géographique et tout ce qu'elle entraîne. C'est l'une des propriétés les plus tangibles des eaux thermo minérales, une de celles qui ont le plus contribué à fixer sur elle l'attention populaire.

Rappelons que, Pour un aquifère ou une source ordinaire, la température est celle de la moyenne annuelle du lieu. Cette moyenne dépend de la latitude (1° de diminution pour un éloignement de 2° de l'Equateur), de l'altitude (1° pour 150 à 200 m d'altitude)

I.3. Pollution des eaux

La pollution de l'eau est une altération de sa qualité et de sa nature qui rend son utilisation dangereuse et (ou) perturbe l'écosystème aquatique (Vademecum, 1990) (N. Benamar, M. Bouderbala, Z. Boutiba, 2010). Elle peut concerner les eaux superficielles (rivières, plans d'eau) et/ou les eaux souterraines. Elle a pour origines principales, l'activité humaine, les industries, l'agriculture et les décharges de déchets domestiques et industriels, (Vademecum, 1990),

(ZEROUALI D., 2002) Donc, tous les polluants de l'eau sont soit de nature physique, chimique ou biologique. (ZEROUALI D., 2002).

La pollution représente l'ensemble des rejets de composés toxiques que l'homme libère dans l'écosphère mais aussi des substances qui sans être dangereuses pour les organismes exercent une influence perturbatrice sur l'environnement. Elle présente un risque pour la santé humaine et celle des écosystèmes notamment le milieu marin. (N. Benamar, M. Bouderbala, Z. Boutiba, 2010).

I.4 Les différents types de pollutions

Il existe différents types de pollution suivant l'origine et la nature des substances polluantes, nous distinguons :

I.4.1. Suivant l'origine de la pollution

On peut distinguer :

I.4.1.1. La pollution domestique

Provenant des habitations, elle est en général véhiculée par le réseau d'assainissement jusqu'à la station d'épuration (si elle existe) et ensuite les eaux de surfaces environnantes

La pollution domestique se caractérise par des germes fécaux, de fortes teneurs en matières organiques, des sels minéraux (azote, phosphore) et des détergents.

I.4.1.2. Pollution industrielle

Les industries, en particulier chimiques, métallurgiques et même électroniques, constituent une cause essentielle de la pollution des eaux. Celle-ci prend place non seulement au niveau des usines mais aussi au niveau de l'utilisation des substances produites et au niveau des objets manufacturés, en fin de cycle du produit, avec les déchets (Ramade, 1984).

Elle est caractérisée par une très grande diversité, selon l'utilisation de l'eau dans les processus (refroidissement, lavage, extraction, mise en solution...etc.). Nous pouvons donc retrouver dans l'eau, qui est un bon solvant, tous les sous-produits possibles de l'activité humaine : Des matières organiques et graisses (industries agroalimentaires, abattoirs et équarrissage), hydrocarbures (raffineries), acides, bases et produits chimiques divers (industries chimiques et pharmaceutiques) (Gaujous, 1995).

I.4.1.3. Pollution agricole

Elle dépend de plusieurs types d'activités : agricoles, élevages et liée à l'habitat. L'agriculture est devenue une cause importante de pollution des sols et des eaux par suite de l'usage systématique des engrais chimiques et des pesticides.

L'élevage traditionnel abouti au fumier qui constitue des litières souillées de déjections animales (fertilisant naturel). Il présente de fortes charges organiques.

Aux activités précédemment décrites s'ajoutent une pollution de type domestique liée à l'habitat du monde rural (Viala & Botta, 2005).

I.4.1.4. Phénomènes naturels

Certains auteurs considèrent que divers phénomènes naturels sont aussi à l'origine de pollution : par exemple, une éruption volcanique, un épanchement sous-marin d'hydrocarbures, le contact avec des filons géologiques (métaux lourds), une source thermo minéraleEtc. (Gaujous, 1995).

I.4.2. Suivant la nature de la pollution

Suivant la nature de la pollution on peut distinguer différents types de pollution dont :

I.4.2.1 Pollution physique

Les principaux agents physiques de la pollution sont

- la chaleur,
- la radioactivité,
- et le transport de matière solide en suspension.

Elle provient essentiellement des centrales thermiques et nucléaires et les usines utilisant l'eau comme liquide de refroidissement.

Ensuite, un autre facteur de la pollution physique de l'eau serait celui lié aux risques de pollution radioactive. Les déchets radioactifs demeurent les polluants physiques les plus dangereux. Les déchets restent toxiques pendant une période allant à des siècles voir plusieurs milliers d'année, (Habila, 2018).

Enfin, on peut aussi constater une pollution physique de l'eau par des matières en suspensions provenant des mines ou des cimenteries qui peuvent alors modifier la turbidité de l'eau.

I.4.2.2. Pollution chimique

Certains éléments chimiques qui se trouvent dans l'eau sont utiles et même indispensables à la santé de l'homme à des faibles concentrations mais peuvent devenir toxiques lorsqu'ils sont absorbés en très grande quantité (Rodier et al; 2009).

Cette pollution chimique affecte tout le cycle de l'eau, depuis la pluie jusqu'aux eaux souterraines par exemple : 7,8 % des eaux souterraines dépassent 40 mg/l de nitrates contre 1,6 % pour les eaux de surface (Henaut, 2011).

On distingue selon la nature de la pollution chimique :

- La pollution toxique,

➤ Et La pollution nutritive.

A. Pollution toxique

Les principaux éléments toxiques rencontrés dans l'environnement lors des pollution chroniques ou aigues sont généralement :

- ❖ Des métaux lourds (plomb, mercure, zinc),
- ❖ Des halogènes (chlore, brome, fluor, iode),
- ❖ Des molécules organiques complexes d'origine synthétiques (pesticides) ou naturelle (hydrocarbures). (01)

B. Pollution nutritive

Cette pollution provient de la surabondance, dans les écosystèmes aquatiques, d'élément nutritifs, tels que le phosphore et l'azote. Les eaux usées ainsi que les fertilisants agricoles et domestiques sont les principales sources. (02).

I.4.2.3. Pollution organique

Les matières organiques ont longtemps été les principaux polluants des milieux aquatiques. Elles proviennent :

- ❖ Des déchets domestiques (ordures ménagères, excréments),
- ❖ Des déchets agricoles (lisiers),
- ❖ Des déchets industriels (abattoirs, laiteries ...) lorsque ceux-ci sont rejetés sans traitement

Préalable.

I.4.2.4. Pollution microbiologique

Parmi les microorganismes susceptibles d'être présent dans l'eau, on peut mentionner, les virus, les bactéries, les protozoaires et d'autres. (Péchère J ; 1982). Les rejets provenant des intestins des animaux et de l'homme sont évacués dans le sol, ils y subissent une épuration naturelle. Mais s'ils pénètrent dans un environnement aquatique, les germes pathogènes sont transférés à ce dernier ainsi se diluent avec.

Les bactéries et les virus transportés par l'homme et les animaux peuvent aussi affecter la qualité de l'eau et les organismes marins. Par exemple l'accumulation de ces microorganismes dans les coquillages cause, après leur consommation des gastroentérites, l'hépatite A, et autres maladies. (03).

I.5. Effets des eaux polluées dans le milieu naturel

Quand les eaux usées ne sont pas épurées avant leurs rejets dans le milieu naturel, l'altération de ce dernier et les déséquilibres qui s'y produisent ont non seulement des effets immédiats sur les Utilisations de l'eau mais aussi des effets à long terme, parfois irréversibles pour la vie humaine. Les différentes formes de pollution peuvent être accompagnées par des phénomènes de nuisances telles que : (ANDRIANARISON Tsirilalaina Rado, 2007).

- ✓ La diminution du taux de l'oxygène dissous, paramètre majeur pour la vie des poissons et des organismes résidant dans l'eau,
- ✓ La présence de produit toxique ayant des effets immédiats ou à long terme,
- ✓ La prolifération d'algues due aux concentrations élevées en nutriments l'azote et phosphore, causant le phénomène d'eutrophisation,
- ✓ La modification physique du milieu (forte turbidité, taux de salinité élevé, augmentation de la température).
- ✓ La présence des bactéries et d'autres germes pathogènes.

I.5.1 Impacts sur la santé humaine

Ils peuvent être caractérisés par des maladies causées par :

- ✓ Des infections bactériennes (Gastro-entérite causée par la *Clostridium perfringens*) ;
- ✓ Des infections virales (méningite et infection causée par l'Echo virus) ;
- ✓ Et des infections parasitaires (Amibiase causée par l'amibe).

I.5.2. Autres impacts sur la biodiversité

Lorsqu'il y a un excès de matières organique dans le milieu, leur décomposition peut entraîner l'asphyxie de la faune aquatique. Ce sont les poissons qui souffrent le plus du manque d'oxygène, les invertébrés moins affectés et les bactéries encore moins. En cas de forte pollution la vie végétale aussi tend à disparaître. (04)

De nombreuses espèces animales et végétales ont déjà disparu et beaucoup d'autres sont en voie de disparition mais la lutte contre la Pollution de l'eau n'est pas toujours évidente car les produits contaminants sont parfois difficiles à détecter. (05)

II.1.Introduction

Malgré la disponibilité d'importantes ressources, le potentiel thermal de la wilaya d'El Tarf demeure peu exploité. Les sources captées et faisant office de hammams, sont dans un état rudimentaire et désolant.

Le développement du thermalisme peut, pourtant être un moteur au développement de cette région qui recèle d'ailleurs d'énormes potentialités touristiques de natures diverses. L'exploitation moderne d'une source thermique exige, justement l'association du thermalisme au patrimoine naturel, culturel et historique local. C'est justement dans cet esprit, que la Direction du Tourisme et de l'Artisanat de la wilaya d'El-Tarf, a décidé d'entreprendre des études permettant d'évaluer la possibilité de relancer les activités thermales dans la région.

II.2.Situation géographique de la wilaya d'El Tarf

Située à l'extrême nord-est de l'Algérie, la wilaya d'El Tarf est comprise entre les parallèles 36°23'25" et 36°57'7" de latitude Nord et 7°39'49" et 8°40'52" de longitude Est. Issue du découpage administratif de 1984, elle s'étend sur une superficie de 2 882 km² et comprend 24 communes. Elle est délimitée au nord par la mer Méditerranée, à l'est par la frontière algéro-tunisienne, à l'ouest par la wilaya d'Annaba, au sud-ouest par la wilaya de Guelma et au sud par la wilaya de Souk Ahras.

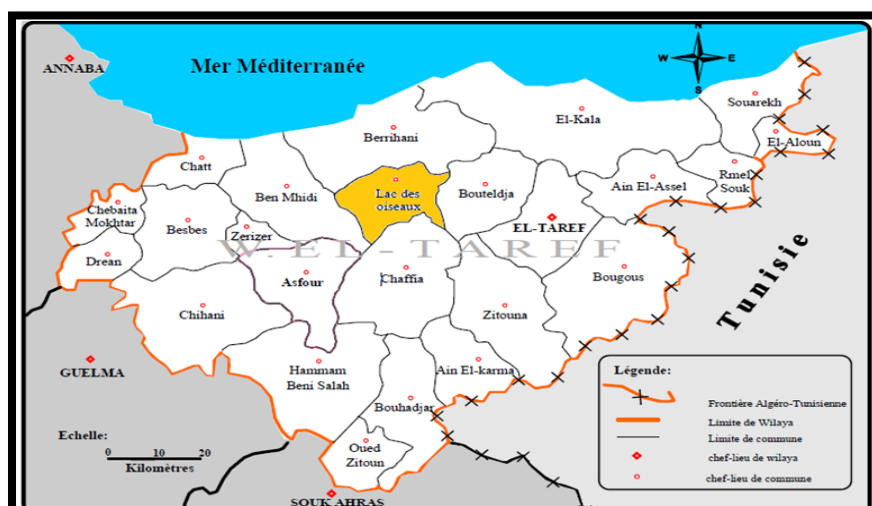


Figure1 ; Limites de la wilaya d'El Tarf et de ses communes (Boukhouna S. ,2008)

II.3.Aspects climatiques

Le territoire de la wilaya d'El-Tarf se trouve sous l'influence d'un climat méditerranéen subhumide avec une moyenne pluviométrique annuelle qui se situe entre 700mm et 900mm selon les données de l'ANRH (Figure02). Les données mensuelles enregistrées de 1969 à 2010, à Roum El Souk, donnent une moyenne pluviométrique annuelle au niveau de cette station, de 751 mm.

Cette région qui est l'une des plus arrosée du pays, connaît un déficit pluviométrique important. A titre d'exemple, en 1934, la station météorologique d'El Kala, a enregistré 1070 millimètres de pluie (L. Joleaud).

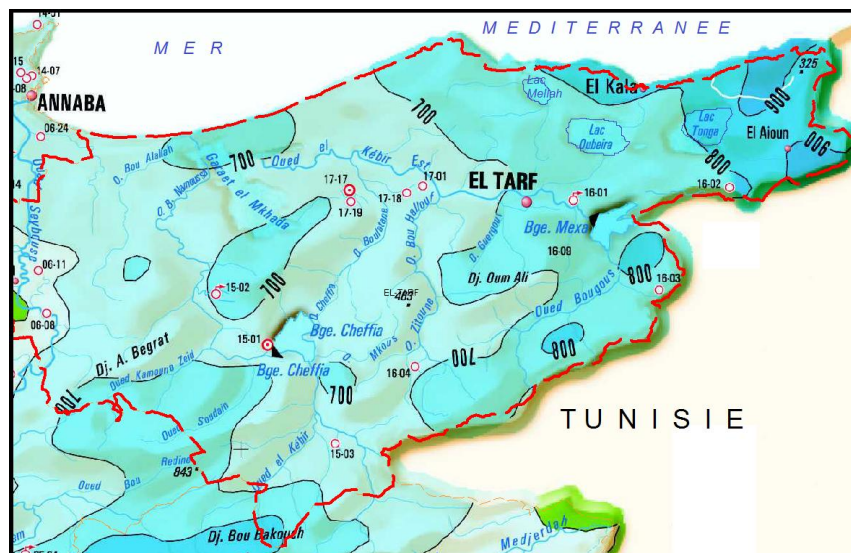


Figure2 : Extrait de la carte pluviométrique d'Algérie au 1/500 000e (Source : ANRH).

II.4 Aspects géomorphologiques

La région d'étude présente des formes géomorphologiques diversifiées : plaines, cordons dunaires, zones de piémonts et montagnes.

Les différentes unités morphologiques peuvent être les suivantes (Affoun S...).

Les plaines littorales (la plaine de Bouteldja, bordée par des étangs marécageux ; les marrais temporaires de Garaat el M'Kheda et Garaat El Khoubzi ; la bordure Est de la plaine de Annaba).

-Les bassins intérieurs parmi lesquels nous distinguons les *bassins de montagnes* (le bassin de la Cheffia ; le bassin de Ain Kerma drainé par deux oueds qui se rejoignent pour donner

Oued Zitouna ; le bassin accidenté de Bouhadjar drainé par les oueds Bouhadjar et Kébir qui alimentent le barrage Cheffia , *le bassin des plaines* (bassin d'El-Tarf parcouru à l'amont par Oued El Kébir Est ; *les bassins littoraux* (les trois bassins d'El-Kala sont occupés par les lacs Mallah, Oubeira et Tonga).

- **Les basses montagnes ;**

-**Les hautes montagnes** (monts d'El Kala).

-**Les cordons dunaires** (ces reliefs littoraux jouent un rôle de barrières qui atténuent l'influence de la douceur marine).

II.5. La couverture végétale

La couverture végétale de la wilaya d'El-Tarf est dominée par la forêt qui couvre une superficie d'environ 166300 hectares et où le chêne liège et le chêne kermès constituent l'association la plus répandue (S. Affoun). Le chêne liège est plus développé à des altitudes comprises entre 500 et 700 mètres alors que le chêne kermès se limite aux reliefs des cordons dunaires de Berrihane et d'El-Kala. La série du chêne zen est très peu développée.

Ces variétés de chêne constituent un peuplement naturel.

D'autres espèces forestières artificielles, issues de reboisement, telles que l'eucalyptus et le pin maritime, constituent le deuxième peuplement forestier.

II.6. Économie

La wilaya d'El-Tarf est caractérisée par deux principales vocations, le tourisme et l'agriculture. Elle dispose d'un peu plus de 72 000 hectares. Le rendement, selon les moyens de travail engagés, varie entre les 15 à 20 quintaux par hectare pour les céréales, les conditions climatiques y jouent, entre autres, un rôle prépondérant. La vocation touristique apparaît à travers la diversité de ses nombreuses et indéniables potentialités, ainsi que les sites historiques et archéologiques résultant du passage de plusieurs civilisations, les stigmates sont encore présents en plusieurs

Lieux et contrées de la wilaya. Elle recèle des atouts certains, uniques en Algérie et rares à travers le monde.

II.7. Hydrologie

La région est drainée par un réseau hydrographique très dense dont les principaux oueds sont : oued El-Kebir, oued Bounamoussa et oued Seybousse, les deux principaux bassins versants sont ceux de oued Kebir et oued Seybousse. La région est aussi riche en eaux souterraines (plusieurs sources), des barrages, des lacs et des retenues collinaires (D.S.A., 1993).

II.8.Richesses Faunistique

De la région d'El-Tarf La faune est très diversifiée, BOUAZOUNI, (2004) signale des espèces en voie de disparition telles que le cerf de barbarie, la hyène tachetée et le chacal Doré, l'hyène rayée, le porc-épic, le renard doux, la loutre, la cigogne blanche, l'oie cendrée et d'autres canards d'eau

II.9.Situation géographique des sources thermales de la région d'étude

A) Hammam Sidi Djaballah

Hammam Sidi Djaballah est situé à 7 km environs au Sud-Ouest de Bouteldja à quelques mètres à droite de la route Bouteldja – Echafia. Ce Hammam a été construit par les turcs. Le hammam est bien accessible et situé sur un terrain plat. Il est très fréquenté par les curistes et dispose d'un espace parking. Ce lieu est aussi fréquenté à cause de la présence du tombeau du Saint Sidi Djaballah (Marabout).

• Morphologie et allure des griffons :

- ✓ Source de terrasse, bien localisée.

• Aménagement et usage :

Source captée par une conduite de 20 m menant aux bains.

- ✓ Captage ancien
- ✓ La source alimente quatre chambres de bains
- ✓ L'eau est utilisée aussi pour l'alimentation humaine

Le débit mesuré est égal 1l l/s.

- ✓ Le débit augmente en hiver du fait de mélange avec les eaux de la nappe superficielle
- ✓ Débit des fuites : faible

• Caractères organoleptiques de l'eau

- ✓ Odeur : inodore.
- ✓ Couleur : incolore. (d'après DIB.H, 2004)

B) Hammam Sidi Trad

Situé à 1 km de la frontière Algéro-Tunisienne. Hammam Sidi Trad. se situe à 40 km environs au Sud d'El Tarf et à 20 km au Sud-est de Zitouna, dans une région montagneuse isolée Ce Hammam a été construit par les romains.

• Morphologie et allure des griffons :

- ✓ Source de thalweg au-dessous d'une petite falaise.
- ✓ Emergence bien localisée avec des griffons secondaires.

- ✓ L'eau sort en pente forte.
- **Aménagement et usage :**
- ✓ Source captée et utilisée.
- ✓ Captage ancien.
- ✓ L'eau sort des fissures conduites directement au bain par une canalisation de 15 cm de largeur sur une pente forte de distance de 15 m environs ;
- ✓ Utilisée pour crénothérapie.
- ✓ Débit constant et permanent.
- ✓ Débit capté faible.
- ✓ Débit des fuites : faible
- **Caractères organoleptiques de l'eau**
- ✓ Odeur : inodore.
- ✓ Couleur : incolore. (d'après DIB.H, 2004).

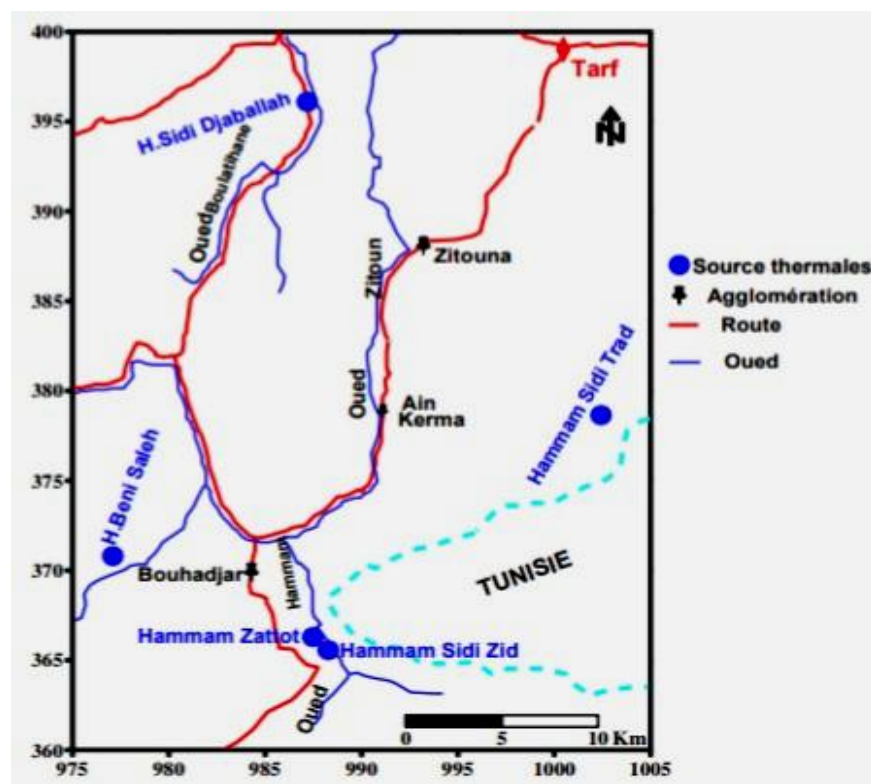


Figure3 : Carte d'inventaire des sources thermales d'El Tarf (d'après DIB.H ,2004)

III.1. Objectif du travail

Notre travail a pour objectif l'évaluation de l'indice de pollution minérale des eaux thermominérales dans la région d'al Tarf (cas de hammam sidi Djaballah et hammam sidi trad), sur la base du suivi des paramètres- physicochimique, Dans ce travail nous avons utilisé les résultats des analyses de deux sources thermales situées dans la wilaya de Tarf effectuées pendant l'année 2015.

III.2. Matériels

L'ensemble des instruments et appareils seront cités au fur et à mesure de leurs utilisations. Ainsi on peut dénombrer ;

- ❖ Un GPS pour relever les coordonnées.
- ❖ Une glacière pour transporter les échantillons.
- ❖ Des flacons stériles pour prélèvement d'eau.
- ❖ Multi-paramètres340I-/SET WTW.
- ❖ Un spectrophotomètre UV/VIS 6705 JENWAY.

III.3.Méthodes**III.3.1. Echantillonnage :**

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 sera donnée.

Pour faire un échantillonnage on utilise des flacons lestés à cavalier mobile, a clapets spéciaux pour prélèvement en profondeur. Les échantillons seront recueillis dans les flacons soumis ou préalable à un nettoyage rigoureux et stériliser.

Chaque prélèvement est accompagné d'une fiche de renseignement sur laquelle est noté :

- ✓ Types des échantillons prélevés (Eaux thermominérales),
- ✓ Lieux d'échantillonnage (hammam sidi trad hammam sidi Djaballah ...),
- ✓ Périodes d'échantillonnage (2015).
- ✓ Paramètres analysés sur terrain.
- ✓ Paramètres analysés au laboratoire.

III.3.2. Prélèvements

Les prélèvements ont été effectués pendant l'année 2015, Les points de prélèvements choisis sont les suivants : Au niveau de hammam sidi trad. et Au niveau de hammam sidi Djaballah. Les échantillons ont été recueillis aseptiquement dans des flacons stériles de 250 ml munis d'étiquettes (portant les coordonnées du lieu de prélèvement et la date du prélèvement).

III.3.3. Conditions de prélèvement

Les manipulations effectuées au cours du prélèvement ne doivent en aucun cas être à l'origine d'une altération, d'où la nécessité :

- ❖ D'utiliser des instruments stériles et de travailler dans des conditions stériles,
- ❖ D'utiliser des flacons propres, secs, étanches, à col large stérilisés c'est à dire l'eau recueillie dans le récipient de prélèvement constitue un échantillon représentatif et aussi les concentrations des substances à analyser ne varient pas entre le moment du prélèvement et celui de l'analyse.
- ❖ D'identifier immédiatement le produit avec une étiquette ou une référence,
- ❖ Réduire au maximum le délai avant l'analyse.
- ❖ De réfrigérer le produit au cours de son transport à une température de 4 °C ; certains germes fragiles peuvent néanmoins disparaître au cours de cette réfrigération.

III.3.4. Conservation des échantillons

Les prélèvements subiront obligatoirement un certain temps de transport et une attente au laboratoire avant la mise en route analytique. D'une façon générale, le transport à la température de 4 °C et à l'obscurité dans des emballages isothermes permet d'assurer une conservation satisfaisante.

III.3.5. Méthodes d'analyses

Différents paramètres globaux sont ainsi mesurés dont certains sur site (sur le terrain) et les autres aux laboratoires, Les paramètres enregistrés sont :

III.3.5.1 In situ (sur le terrain)

Pendant chaque sortie de l'échantillonnage, il y a certains paramètres qui sont analysés sur place à l'aide d'une mallette multi paramètres doté d'une sonde qui affiche simultanément les résultats de 3 paramètres d'indication tel que le pH, conductivité, température puis notés sur une fiche de terrain préalablement préparée.

A. La température

La température est un paramètre intéressant dans l'étude des eaux. Elle joue un rôle primordial dans la solubilité des sels et des gaz, donc sur la conductibilité, elle permet de différencier entre les eaux qui circulent en profondeur et celles qui circulent près de la surface.

B. La conductivité

Elle est considérée comme étant la propriété que possède l'eau à laisser passer le courant électrique, elle est fonction de la température, de la concentration et de la nature de l'état d'ionisation des composés dissous. (DIB.H, 2004).

C. PH

Il constitue la concentration en ions H^+ d'une solution (l'acidité ou l'alcalinité de milieu), L'échelle du pH varie en fonction de la force ionique :

$pH = \log (1/[H]^+)$ L'eau est acide

Le $pH < 7$ L'eau est neutre

Le $pH = 7$ L'eau est basique, le $pH > 7$

III.5.2. Ex situ (au laboratoire)

Tous les échantillons destinés aux analyses doivent toujours être prélevés dans les contenants stériles fournis par les laboratoires.

Il s'agit des différents paramètres physico-chimique globaux facilement mesurables et qu'il est généralement utile de connaître tels que : la dureté, l'alcalinité les éléments minéraux majeurs (calcium, magnésium, sodium, Potassium, chlorures, sulfates,...).

A. Le sodium (Na^+)

Le sodium Na^+ est très abondant sur la terre. On le retrouve dans les roches cristallines et les roches sédimentaires (sables, argiles, évaporites).

B. Sulfate (SO_4^{-2})

Les origines des sulfates SO_4^{-2} dans les eaux sont variées. Les origines naturelles sont l'eau de pluie. Cimentaires ((sables, argiles, évaporites).

C. Chlorure (Cl^-)

L'ion chlorure Cl^- est présent en petite quantité sur la terre. La source principale de chlorure dans les eaux est due à la dissolution de roches sédimentaires.

D. Magnésium (Mg^{+2})

Ses origines sont comparables à celle de calcium, cet élément provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium. (Guechi, 2016).

E. Potassium (K^+)

Métal blanc argentée, alcalin, radioactif, très réactif a l'eau, se trouve dans la nature sous la forme de chlorures doubles dans de nombreux minerais, tels que la carnallite (très minéralisée

En contact avec certaines évaporites) et se trouve également dans les centres des végétaux sous formes de carbonate ; le potassium provient de l'altération des roches silicatées des Argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques retrouvées dans les eaux usées agricoles. (Guechi, 2016).

III.6. Méthode de calcul d'IPM (Indice de pollution minérale)

Les indicateurs de pollution regroupent les sels minéraux (Mg^{+2} , K^+ , Na^+ , SO_4^{-2} , Cl^-) qui proviennent des pollutions minérales.

Un indice de pollution minérale IPM, calculé à partir des concentrations de ces ions, permet de classer l'eau analysée sur une échelle à 2 niveaux de pollution. Les classes ont été établies à partir des modifications induites par les polluants. L'indice le plus élevé correspond à une grande vulnérabilité à la pollution.

Tableau2 : La classification de la pollution minérale

Les classes	Na^+ (mg/l)	Mg^{2+} (mg/l)	K^+ (mg/l)	Cl^- (mg/l)	SO_4^{2-} (mg/l)	IPM	Pollution minérale
Classes1	252.5-352.5	95-120	18.3-23.3 3	355-505	631-781	0-5	Faible
Classe2	352.5-452.5	120-145	23.3-28.3	505-655	781-931	5-10	Modérée
Classe3	452.5-552.5	45-170	28.3-33.3	655-805	931-1081	10-15	Forte
Classe4	>552.5	>170	28.3-33.3	>805	>1081	15-20	Très forte

IV.1. Paramètres physico-chimique (in situ)

IV.1.1. La température (T en °C)

Le tableau 3 et les données d'analyses nous montrent une valeur de température minimum de 35,5 °C observée en hammam sidi Djaballah, et une valeur maximum de 64 °C en hammam sidi trad durant l'année 2015.

Tableau 3 : Variation de la température (En degré Celsius).

Stations	Température en °C
Hamмам Sidi Djaballah	35,5
Hamмам Sidi Trad.	64

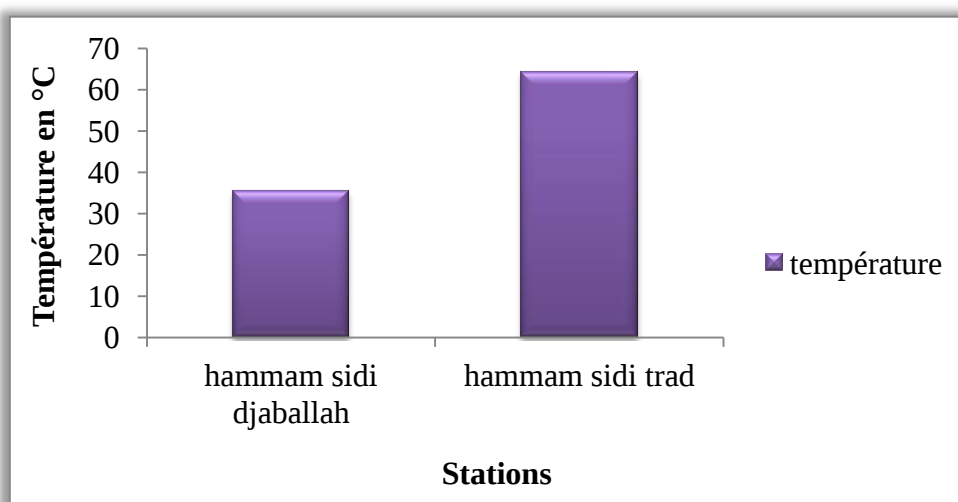


Figure 4 : Variation de la température (En degré Celsius).

Ainsi l'allure de la figure 4 montre que la température est notamment plus élevée dans hammam sidi trad, ceci s'explique par la faible profondeur des eaux, et qu'elles sont souvent liées à des zones relativement actives au niveau tectonique et la fonction de la localisation géographique et tout ce qu'elle entraîne.

IV.1.2. Le potentiel d'hydrogène (pH)

L'analyse des valeurs du pH dans le tableau 4 nous a permis de constater une valeur minimum de 7 en hammam sidi trad., ainsi qu'une valeur maximum de 7,93 en hammam sidi Djaballah.

Tableau 4: Variation de pH

Stations	PH
Hamмам Sidi Djaballah	7,93
Hamмам Sidi Trad	7

Ainsi suite à la figure 5 on peut souligner que les eaux au niveau des stations sont marquées par un pH alcalin. Ainsi les variations du pH durant cette période sont probablement dû aux différentes réactions et interactions des différents facteurs biotiques (solubilité par exemple) ou abiotiques (température) en relation avec ce pH, mais aussi du niveau de volume de l'eau.

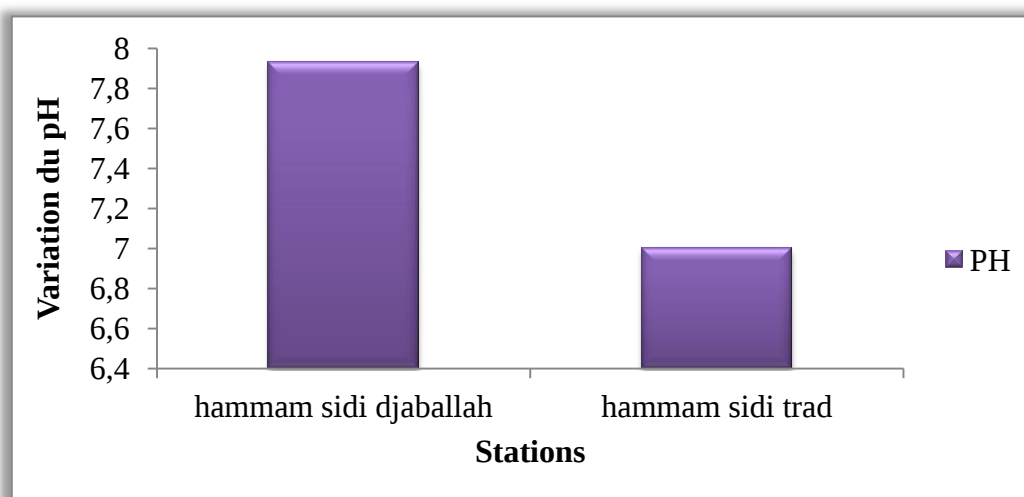


Figure 5 : Variation du pH.

IV.1.3. La conductivité (CE en $\mu\text{S/cm}$)

La mesure de la conductivité suite au tableau 5 nous a permis de déterminer les différentes fluctuations de la conductivité des eaux des deux hammams en 2015, on peut observer la valeur minimum dans hammam sidi trad qui est de 780 $\mu\text{S/cm}$, et la valeur maximum de 1870 $\mu\text{S/cm}$ a hammam sidi Djaballah.

Tableau 5: Variation de la Conductivité (en $\mu\text{S/cm}$)

Stations	Conductivité en $\mu\text{S/cm}$
Hamam Sidi Djaballah	1870
Hamam Sidi Trad	780

La figure n°6 nous a permis d'apprécier la minéralisation ainsi d'autre réaction chimiques relatives à cette dernière. La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau. La conductivité électrique, exprimée en millisiemens par cm (mS/cm), est directement liée aux formations traversées dans le bassin hydrogéologique des griffons. Ces valeurs sont faibles pour Sidi Trad, et élevées pour sidi Djaballah.

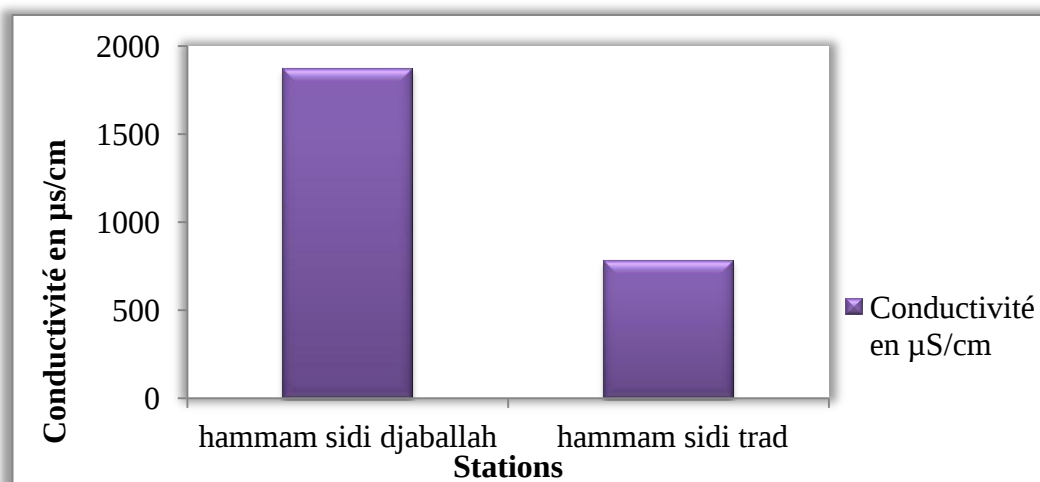


Figure 6 : Variation de la conductivité (CE en µS/cm).

IV.2. Paramètres physico-chimique (au laboratoire)

IV.2.1 Magnésium Mg^{2+} (mg/l) ;

Suite au tableau 6 qui détermine les différentes fluctuations de la mesure du magnésium au niveau des deux hammams et cela suivant la période de l'année 2015, on remarque que le minimum est de 9,2 mg/l dans hammam sidi trad, et le maximum est de 11,52 mg/l dans hammam sidi Djaballah.

Tableau 6. Variation de magnésium (en mg/l)

Stations	Magnésium en mg/l
Hamмам Sidi Djaballah	11,52
Hamмам Sidi Trad	9,2

D'après la figure n°7 les variations de concentration de magnésium dans hammam sidi Djaballah et hammam sidi trad s'explique par ;

- Soit de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite).
- Soit des formations salifères riches en magnésium « $MgSO_4$ »

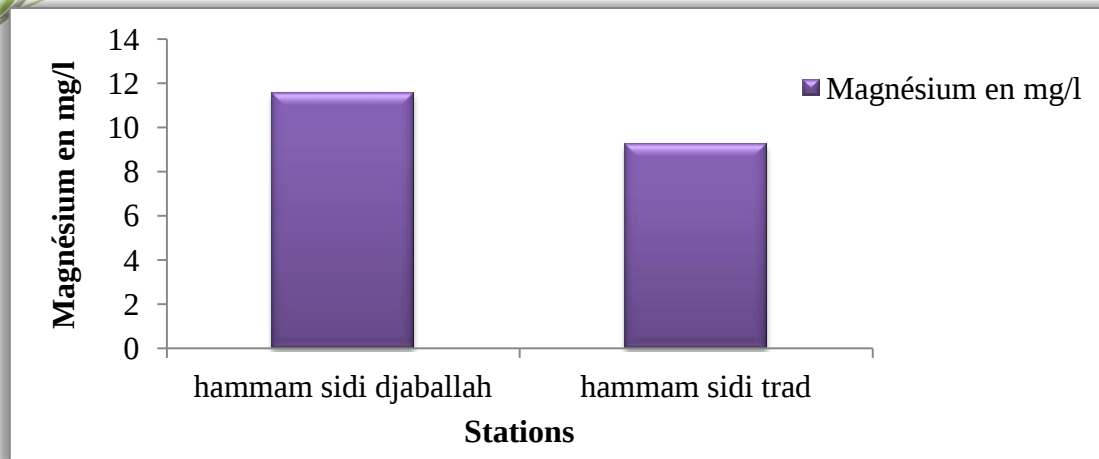


Figure 7 : Variation de magnésium en mg/l

IV.2.2. Le sodium Na^+

Les valeurs du sodium oscillent entre la valeur minimale 100 mg/l dans hammam sidi trad et la valeur maximale 300 mg/l dans hammam sidi Djaballah (Tableau 7).

Tableau 7 ; Variation de sodium (en mg/l).

Stations	Sodium en mg/l
Hamam Sidi Djaballah	300
Hamam Sidi Trad	100

La figure n°8 nous a permis de déduire que la variation de sodium des eaux des stations est forte dans hammam sidi Djaballah, Le sodium provient de la lixiviation des formations géologiques contenant du chlorure de sodium. Peut aussi provenir de la décomposition des sels minéraux comme les silicates de sodium et d'aluminium.

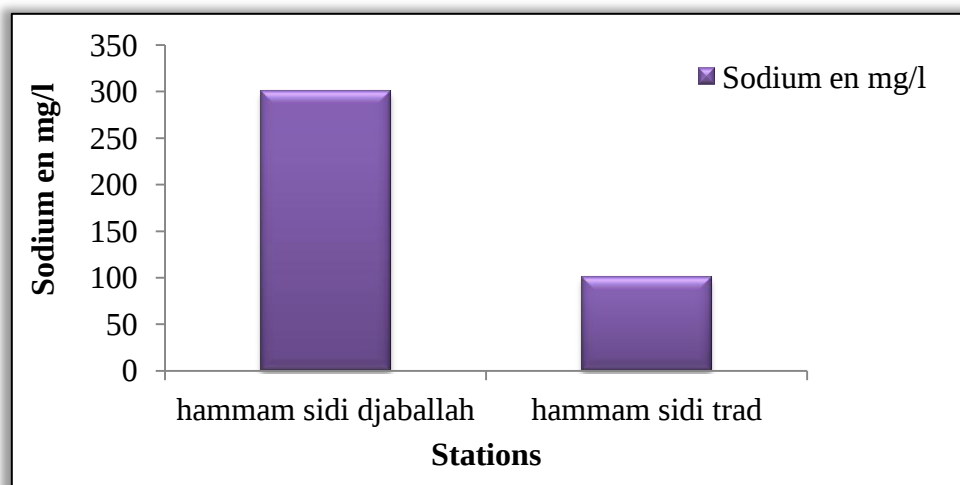


Figure 8 : Variation de sodium en mg/l.

IV.2.3. Le Potassium K^+

La mesure de potassium suite au tableau 8 nous a permis de déterminer les différentes fluctuations au niveau des eaux des deux hammams de l'année 2015, on observe donc la valeur minimum est de 5 mg/l dans hammam sidi Djaballah et la valeur maximum 6 mg/l dans hammam sidi trad.

Tableau 8 ; Variation de potassium en mg/l.

Stations	Potassium en mg/l
Hammam Sidi Djaballah	5
Hammam Sidi Trad	6

La figure n°9 nous a permis de déduire que la variation de potassium provient des argiles numidien et de la dissolution des engrais chimiques (NPK, à base d'azote, potasse et phosphore), la source essentielle du potassium est les roches ignées. Le potassium provient de l'altération des formations argileuses des alluvions quaternaires.

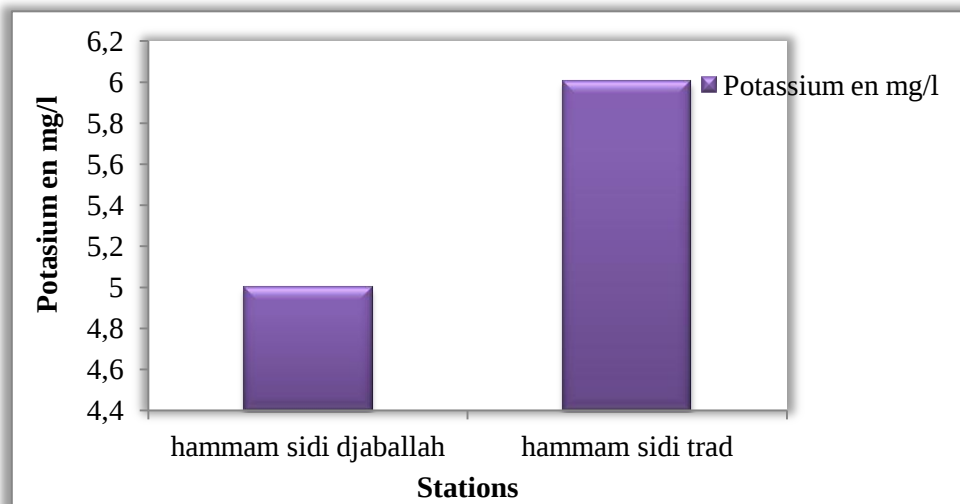


Figure 9 : Variation de potassium en mg/l.

IV.2.4. Les Sulfates SO_4^{2-}

D'après le tableau 9 on constate que la valeur maximum des sulfates est de 80 mg/l dans hammam sidi Djaballah, et la valeur minimum est de 4 mg/l dans hammam sidi trad.

Tableau 9 ; Variation des sulfates en mg/l.

Stations	Sulfates en mg/l
Hammam Sidi Djaballah	80
Hammam Sidi Trad	4

La figure n°10, montre que la concentration de sulfates est forte dans hammam sidi Djaballah. La teneur en sulfate dans l'eau est liée aux éléments alcalins et alcalino-terreux de la minéralisation, ils proviennent essentiellement de la dissolution des gypses, ils sont intracellulaires. L'anion de sulfate n'a aucun rôle dans l'équilibre électrolyte des liquides corporels.

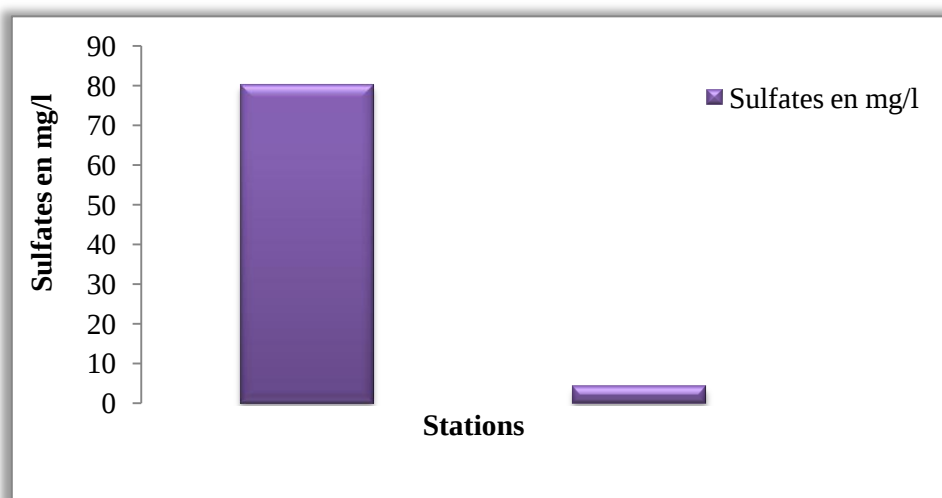


Figure 10 : Variation de sulfates en mg/l.

IV.2.5. Le chlorure Cl⁻

Le tableau 10 montre les différentes fluctuations de chlorure des deux hammams pendant la période d'étude (2015). On remarque alors le minimum des chlorures est de 60 mg/l dans hammam sidi trad et le maximum des chlorures est de 245 mg/l dans hammam sidi Djaballah.

Tableau10 ; Variation de chlorure en mg/l.

Stations	Chlorures en mg/l
Hammam Sidi Djaballah	245
Hammam Sidi Trad	60

La figure n°11 montre que la concentration de chlorure est forte dans hammam sidi Djaballah. L'origine de ces éléments est liée principalement à la dissolution des formations salifères. La provenance des chlorures peut être due au passage de l'eau à travers des percolations de roches sédimentaires.

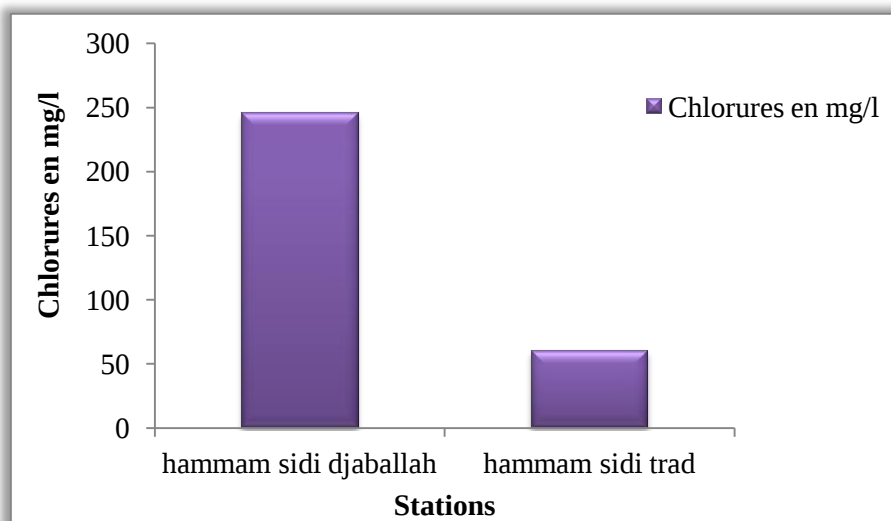


Figure 11 : Variation de chlorures en mg/l

IV.3. Évolution temporelle de la pollution minérale

Les résultats des analyses réalisées durant la période 2015 (tableau11) nous ont permis de calculer, de représenter et d'interpréter d'autres paramètres ainsi que l'Indice de Pollution minérale (IPM) .

Tableau 11 : Évolution d'IPM au niveau des deux sources thermales pendant la période 2015.

Stations	Mg ⁺² (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	SO4 ⁻² (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	IPM	Pollution minérale
Hamмам sidi Djaballah	11,52	300	5	80	245	218,304	Très forte
Hamмам sidi trad	9,2	100	6	4	60	35,84	Très forte

Calcule l'IPM

$$IPM = \frac{11,52+300+5+80+245}{5} = 218,304$$

Ainsi on observe dans le tableau la pollution minéral est très forte dans les deux stations thermales, hammam sidi Djaballah est 218,304 et hammam sidi trad est 35,84.

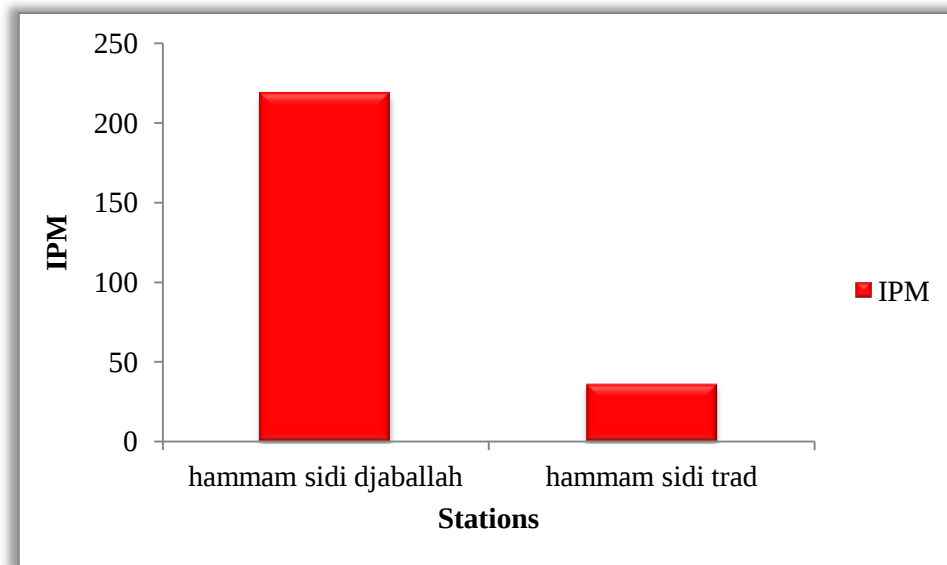


Figure 12: Variation de l'IPM.

Suite aux résultats obtenues et représentés dans la figure 12, on note la présence de pollution minérale très forte dans les deux stations correspondant à la valeur IPM= 218,304 dans hammam sidi Djaballah, IPM = 35,84 dans hammam sidi trad, couleur rouge), Cela est dû à l'augmentation du sodium, sulfates et chlorure dans les deux stations.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le présent travail, a été consacré à l'étude de la pollution minérale de hammam sidi Djaballah et hammam sidi trad dans la région de Tarf, durant la période 2015,).

Le suivi des paramètres physico-chimiques et minérales a permis de détecter une évolution spatiale par une variation des concentrations de tous les éléments (chimiques et minérales).cette étude hydro chimique est basée sur l'analyse physico-chimique.

La variation des paramètres physico-chimiques des eaux chauds des deux stations est due soit à la lithologie des terrains traversés (dissolution des formations géologiques), soit à des facteurs externes.

Nous avons utilisé une variété de méthodes analytiques dans le dosage des éléments minéraux dans les deux stations.

Les ions dominants sont le plus souvent sodium, sulfates et chlorure dans les deux stations D'après les analyses les deux stations on a trouvé une pollution minérale très forte.

Nous trouvons que la pollution des eaux chauds de hammam sidi Djaballah et hammam sidi trad l'augmentation du sodium, sulfates et chlorure dans les deux stations.

D'après les résultats des analyses et le calcul d'IPM, on a trouvé que hammam sidi Djaballah la plus vulnérable à la pollution par apport hammam sidi trad.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AFFOUN Samia (2006) : *Ressources en eaux. Mobilisation et utilisation dans le bassin de la Mafragh.* Mémoire de magistère. Université de Constantine.

BOUKHNOUNA Sabah (2008) : *Impact de l'Oued Bounamoussa sur la Qualité des Eaux de la Nappe Alluviale Superficielle d'EL-Asfour (W. d'El Taref).*

Mémoire Magister. Fac. Sc. de la Terre. Dpt de géol., Univ. Badji Mokhtar, Annaba.

DIB.H, 2004 : Le thermalisme de l'extrême Est Algérien : Guelma, Souk Ahras, Skikda et Taref. Encadrement d'un Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Hydrogéologie. Faculté des Sciences de la Terre et de l'Aménagement du Territoire. Université de Constantine.

JOLEAUD. L. (1936) : *Etude géologique de la région de Bône et de la Calle.*

Bull. Sce Géol. De l'Algérie. 2^e Série N°12.

Gaujous., (1995) : La pollution des milieux aquatique : Aide mémoire 2^{ème} édition Lavoisier TEC & DOC, 220p.

Khiati., (2009) : L'agriculture Algérienne de l'air précolonial au reforme libérales actuelle, Editeur : Alger ; Anep, 258p.

Gaagai., (2009) : Etude hydrologique et hydro chimique du bassin versant du barrage de BABAR sur Oued EL ARAB région Est de l'ALGERIE. Mémoire de magistère en hydraulique, Université de BATNA, 108p.

McDonald A T, Kay D., 1988, Water resources issues and strategies. UK: Longman Scientific and Technical, pp146-148.

Ramade, 1984 : Eléments d'écologie-écologie fondamentale. Ed Mac GrawHill. Réactivité vis-à-vis du chlore, mémoire de Magister, Hill Paris ; 397p.

Rodier, 2009 : Analyse de l'eau : Eau naturelle, eau résiduaire, eau de mer. 9ème édition DUNOD Paris, 1573p.

Pécherre J, 1982 : Reconnaître et traiter les infections 4ème édition, Edisem ST Hyacinthe. Québec. P509.

Sites internet

Site 01 : [https://www.memoireonline.com/determination des volumes livret net aux culture](https://www.memoireonline.com/determination-des-volumes-livret-net-aux-culture) consulté le 22/03/2021.

Site 02 : [googlescholar.com](https://scholar.google.com/) consulté le 12/04/2021.

Site 03 : [https://www.Arnobio2.com/techniques](https://www.arnobio2.com/techniques) consulté le 30/04/2021.

Site 04: [https://www.Developpementdurable blog spot. Com](https://www.developpementdurable.blog/spot-com/) consulté le 15/05/2021.

Site 05: [https://www.exposé pollution de l'eau.com](https://www.expose-pollution-de-leau.com/) consulté le 15/05/2021.