

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة 8 ماي 1945 قالمة

Université 8 Mai 1945 Guelma

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



Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Ecologie et environnement

Spécialité/Option : Biodiversité et Environnement

Département : Ecologie et Génie de l'Environnement

Thème

L'eau d'irrigation : caractérisation hydro chimique et pollution des eaux usées issues des bains thermaux de Hammam Debagh – Guelma

Présenté par :

Younsi Asma

Devant le jury composé de :

Président : Mr. Maoui Ammar

Pr

Université de Guelma

Examineur : M me. Talbi Hanane

MAB

Université de Guelma

Encadreur : Mr. Guettaf Mohamed

M.C.A

Université de Guelma

Co-encadreur : M me. Yalles Amina

M.C.A

Université de Guelma

Juin 2024

REMERCIEMENT

Avant tout, je voudrais remercier le Dieu tout-puissant et miséricordieux de m'avoir donné la force de continuer et le courage de surmonter tous les obstacles auxquels j'ai été confronté.

Je tiens à remercier tous les membres du jury qui ont jugé cet humble travail et qui m'ont fait part de leurs connaissances et de leurs commentaires constructifs. **Monsieur Maoui Ammar**, qui m'a fait l'honneur de sa présence en présidant le jury.

Je vous prie d'accepter mes sincères remerciements et ma gratitude,

Mme **Talbi Hanane** qui m'a fait l'honneur et la volonté d'examiner ce travail. Et je voudrais

Je vous exprime ma profonde gratitude pour le temps précieux que vous avez consacré à juger ce travail.

Pour juger ce travail.

Vos critiques et commentaires seront utiles pour enrichir mes connaissances dans ce domaine.

Mes connaissances dans ce domaine.

Je tiens à remercier mon directeur de thèse, le Professeur **Guettaf Mohammed**, pour son grand dévouement, sa disponibilité et la confiance qu'il m'a accordée pour sa grande disponibilité et la confiance qu'il m'a accordée tout au long de la préparation de cette thèse. Pour sa patience, sa gentillesse et son esprit responsable, critique et rigoureux.

Je le remercie également pour ses connaissances.

Je remercie également Mme **Yalles Amina** pour son aide pratique et son soutien moral.

Pour son aide pratique et son soutien moral, ainsi que pour ses bons conseils.

Je remercie également Mme Hassiba et tous les techniciens du laboratoire pour m'avoir aidé à mener à bien mes recherches en me fournissant toutes les informations dont j'avais besoin.

À toutes les personnes mentionnées et à d'autres que j'ai peut-être oubliées, merci.

DÉDICACES

Je dédie ce mémoire en premier lieu à ceux qui m'ont donné la vie, qui m'ont été la source de l'amour, la tendresse, et du courage, qui m'ont soutenu durant 23ans.

A mes très chers parents : Walid et Nadia

Ma Mère a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude. Mon Père, J'espère être fier de moi où que vous soyez, papa Que Dieu vous bénisse, et nous avons recueilli dans le paradis suprême.

Ainsi qu'à mes frères : Housseem, Mohamed El Nour et Abed Erraouf

A toutes mes amis et collègues spécialement Saioudi Nada et Djoudi Djihane. A tous ceux qui j'aime, et à ceux qui m'aiment.... De près ou de loin,

YOUNSI ASMA



Résumé

Résumé :

L'eau est un élément essentiel de la nature qui permet la vie de nombreuses espèces animales et végétales ainsi que de micro-organismes. Cette étude porte sur l'évaluation de la qualité physico-chimique et de la pollution de l'eau chaude et son impact sur l'agriculture dans la région de Hammam Dabbagh. Nous avons prélevé des échantillons dans six zones, trois dans l'Oued et trois à Hammamet, et effectué quatre voyages durant la période allant de 2043/02/14 à 2043/04/22. Les résultats des analyses chimiques et physiques obtenus ont montré une augmentation significative de la conductivité électrique sur le site de Hammam Dabbagh, qui est de 3133 $\mu\text{S}/\text{cm}$, impropre à l'irrigation. Les autres valeurs sont également inadaptées à l'irrigation par rapport à la norme algérienne en la matière

En utilisant d'autres graphiques et rapports caractéristiques de l'eau minérale thermale et en ajoutant le diagramme des classes de Richard, nous avons pu déterminer qu'il existe trois classes C3S1, C3S2 et C4S2. Les classes C3S1 et C3S2 se réfèrent à l'eau qui peut être utilisée sans aucun contrôle spécifique pour irriguer des cultures modérément tolérantes au sel, dans des sols bien drainés ou bien perméables. En revanche, la catégorie C4S2 se réfère à une eau fortement minéralisée qui peut convenir à l'irrigation de certaines espèces qui tolèrent bien les sels et dans des sols bien drainés ou bien perméables.

Mots-clés : Eau d'irrigation, analyses physico-chimiques

الملخص :

الماء عنصر أساسي في الطبيعة يدعم حياة العديد من أنواع الحيوانات والنباتات وكذلك الكائنات الحية الدقيقة. تركز هذه الدراسة على تقييم الجودة الفيزيائية والكيميائية وتلوث المياه الحارة وتأثيرها على الزراعة في منطقة حمام دباغ واخذنا عينات من ستة مناطق ثلاثة من واد وثلاثة من الحمامات. تمت أربع خرجات خلال الفترة من 14/02/2043 لغاية 22/04/2043. أظهرت نتائج التحليل الكيميائي والفيزيائي التي تم الحصول عليها زيادة كبيرة في التوصيل الكهربائي في موقع حمام دباغ كانت بحدود 3133 ميكرو ثانية / سم غير مناسبة للري. باقي القيم الأخرى غير مناسبة أيضا للري مقارنة بالمعيار الجزائري للري

استخدام المزيد من الرسوم البيانية والنسب المميزة الخاصة بالمياه المعدنية الحرارية إضافة صنف رسم البياني لريتشارد تمكنا من تحديد وجود ثلاث فئات C3S1 و C3S2 و C4S2 تشير الفئتان C3S1 و C3S2 إلى المياه التي يمكن استخدامها دون أي ضوابط معينة لري المحاصيل التي تتحمل الأملاح بشكل معتدل، في تربة جيدة الصرف أو جيدة النفاذية. من ناحية أخرى، تشير الفئة C4S2 إلى المياه عالية التمعن التي قد تكون مناسبة لري بعض الأنواع التي تتحمل الأملاح بشكل جيد وفي تربة جيدة التصريف أو التربة جيدة التصريف أو ذات نفاذية جيدة.

الكلمات المفتاحية: مياه الري، التحاليل الفيزيائية والكيميائية

Abstract :

Water is an essential element of nature, supporting numerous animal and plant species as well as micro-organisms. This study assesses the physico-chemical quality and pollution of hot water and its impact on agriculture in the Hammam Dabbagh region. We took samples in six areas, three in the Oued and three in Hammamet, and made four trips during the period 2043/02/14 to 2043/04/22. The results of the chemical and physical analyses obtained showed a significant increase in electrical conductivity at the Hammam Dabbagh site, which is 3133 $\mu\text{S}/\text{cm}$, unsuitable for irrigation. The other values are also unsuitable for irrigation, in line with Algerian standards.

Using other graphs and ratios characteristic of thermal mineral water and adding Richard's class diagram, we were able to determine that there are three classes C3S1, C3S2 and C4S2. Classes C3S1 and C3S2 refer to water that can be used without any specific controls to irrigate moderately salt-tolerant crops, in well-drained or well-permeable soils. On the other hand, C4S2 refers to highly mineralized water that may be suitable for irrigating certain salt-tolerant crops in well-drained or well-permeable soils.

Key words: Irrigation water, physico-chemical analysis

Tableau	Titre	Page
01	Situation géographique et caractéristiques hydro thérapeutiques des différentes stations thermales en Algérie. Source : Ministère du tourisme. Journées d'études du 27 mars 2006 Biskra	9
02	Microorganismes pathogènes présents dans les rejets d'eaux thermales	13
03	Préparation des solutions étalons pour NO_3^-	36
04	Solutions étalons pour SO_4^{2-}	39
05	Préparation des solutions étalons pour le dosage du sodium	41
06	Préparation des solutions étalons pour le dosage du potassium	41
07	Valeurs des poids et poids relative des paramètres	45

Figure N°	Titre	Page
1	Bains thermaux [1]	1
2	Carte géographique sur les bains thermaux [2]	7
3	Carte de localisation des points de prélèvement	20
4	Carte géologique simplifiée de Hammam Debagh (d'après la carte publiée en 1937 par le service géologique de l'Algérie [3])	22
5	Carte géologique de la source thermale du Hammam Meskhoutine (Guelma)	23
6	Coupe géologique de la source thermale de Hammam Meskhoutine	23
7	L'échantillon dans glacière	25
8	Multi paramètre	26
9	L'Oxytop	29
10	Réacteur à droite et photomètre de meure a gauche	30
11	Les étapes d'analyse de PH sur l'eau	31
12	Les étapes d'analyse de chlorure d'ammonium sur l'eau	32
13	Les étapes d'analyse de (TA-TAC) sur l'eau	33
14	Les étapes des analyse de calcium sur l'eau	34
15	Photomètre à flamme PFP	40
16	Courbe d'étalonnage de l'élément sodium	41
17	Courbe d'étalonnage de l'élément potassium	42
18	Evolution spatio-temporelle de la température des eaux thermales de H Debagh	48
19	Evolution spatio-temporelle de PH des eaux thermales de H Debagh	49

20	Evolution spatio-temporelle de L'oxygène dissous dans l'eau thermales de H Debagh	50
21	Evolution spatio-temporelle des solides dissous TDS dans l'eau	51
22	Evolution spatio-temporelle de la salinité de l'eau	52
23	Evolution spatio-temporelle de la demande biologique en oxygène DBO5	53
24	Evolution spatio-temporelle des nitrites des eaux thermales de H. Debagh	54
25	Evolution spatio-temporelle de nitrates des eaux thermales de H Debagh	55
26	Evolution spatio-temporelle d'azote ammoniacal (NH_4^+) des eaux thermales de H Debagh	56
27	Evolution spatio-temporelle des phosphates des eaux thermales de H Debagh	57
28	Evolution spatio-temporelle de la dureté totale des eaux thermales de H Debagh	58
29	Interface de commande du logiciel Diagramme	59
30	Diagramme de piper montrant les facies hydrochimiques des eaux thermales de Hammam Debagh durant la période De (Fév. mars et avril 2024)	61
31	Diagramme de classification des eaux d'irrigation (Wilcox 1955)	62
32	Diagramme de classification des eaux d'irrigation (Richards, 1954)	63
33	Evaluation spatio-temporelle de l'indice de la Qualité de L'Eau IQE des différents sites	64
34	Evaluation spatio-temporelle du pourcentage de sodium (%Na) des différents sites	66
35	Evaluation spatio-temporelle de l'indice de Kelly des différents sites	67
36	Evaluation spatio-temporelle de l'indice de Perméabilité (PI) des différents sites	68
37	Evaluation spatio-temporelle de l'indice de sodium (SAR) des différents sites	69

Sommaire

Remerciement

Dédicace

Résumé

Liste de tableaux

Liste des figures

Introduction générale

Chapitre 01 : synthèse bibliographique

-1.-GENERALITES	01
1.1- SOURCES CHAUDES ET EAU THERMALE.....	01
1.2-. Définition des bains thermaux.....	01
1.3-. Comment se forment les eaux thermales ?.....	03
1.4-. A quelles fins l'eau thermale est-elle utilisée ?.....	04
1.5-. Quels sont les minéraux présents dans les eaux thermales ?.....	04
2.-Le thermalisme en Algérie.....	05
2.1. Les potentialités en sources et stations thermales en Algérie.....	07
2.2. Types des bains thermaux.....	10
2.3. Les intérêts des bains thermaux.....	10
3. la pollution des eaux.....	11
3.1-Pollution domestique.....	11
3.2-Pollution industrielle.....	11
3.3-Pollution accidentelle.....	11
3.4-Pollution agricole.....	12

3.5-Pollution biologique.....	12
3.6-Pollution thermique.....	12
3.7. La pollution des eaux issus des bains thermaux.....	12
4. L'irrigation en Algérie.....	14
4.1. Les types d'irrigation.....	15
4.3.1 Irrigation gravitaire ou irrigation de surface.....	16
4.3.2 Irrigation par aspersion.....	16
4.3.2.1 Irrigation sur frondaison.....	16
4.3.2.2 Irrigations sous frondaison.....	17
4.3.3 Irrigation localisée.....	17
4.2. L'irrigation avec les eaux des mauvaises qualités.....	17
4.3. Les avantages des eaux thermaux intégrée à l'agriculture.....	17

Chapitre 02 : matériel et méthodes

1.choix des sites d'étude.....	19
2.description des sites d'étude.....	19
2.1. Cadre géologique local.....	21
2.1.1 Aperçu d'ensemble.....	21
2.1.2 Litho stratigraphie de la zone de Hammam Debagh.....	21
2.1.3 Le Crétacé Autochtone.....	21
2.1.4 La série des Nappes Telliennes.....	21
2.1.5 La série du Flysch- Crétacé.....	22
2.2 Dépôts de grès Psammétique rouges et verts.....	22
2.3 Dépôts des terrasses.....	22
2.4 Présentation des sites thermaux étudiés.....	24

2.5 Campagne de prélèvement d'eau.....	24
3.échantillonnage.....	24
a. Méthode de prélèvement.....	24
b. Enregistrement et étiquetage des échantillons.....	25
c. Transport et conservation.....	25
4. mesure in situ.....	25
a. -Détermination de la température.....	26
b. Détermination du pH.....	26
c. Détermination de la conductivité électrique (CE).....	27
5.analyse au laboratoire.....	27
5.1 analyse physico chimique.....	27
5.2 préparation des solutions.....	27
5.2.1. EDTA.....	27
5.2.2. TAMPON AMONICAL.....	27
5.2.3. SOLUTION NAOH.....	28
5.2.4. SOLUTION AGNO3.....	28
5.2.5. SOLUTION DACID SULFIRIQUE H ₂ SO ₄ Normalité 0.02.....	28
5.3 demande biochimique en oxygène(DBO5).....	28
5.4 Demande chimique en oxygène (DCO).....	29
5.5 mesure de dureté totale de l'eau (TH)(ca ²⁺ .mg ²⁺ .CL ⁻ .TAC(HCO ₃ ⁻).....	30
5.5.1. La dureté totale (TH).....	30
5.5.2. Chlorure d'ammonium.....	31
5.5.3. Alcalinité (TA-TAC).....	32
5.5.4. Calcium.....	33

5.6 mesure des éléments nutritifs et des sulfates(NO ₂ .NO ₃ .NH ₄ .PO ₄ .SO ₄)	34
5.6.1. Nitrites (mg/l) NO ₂	34
5.6.2. Nitrates (mg/l) NO ₃	35
5.6.3. Azote ammoniacal selon la norme : unité : mg/l NH ₄	37
5.6.4. Ortho phosphates (mg/l) PO ₄	38
5.7 mesure de sodium et de potassium.....	40
a) Principe.....	40
b) Matériel.....	40
c) Réactifs.....	40
d) Mode opératoire.....	40
e) Etablissement des courbes d'étalonnage.....	41
f) Expression des résultats.....	42
5.8 MES.....	43
6. Application des indices de qualité de l'eau d'irrigation et des techniques statistiques multi variées.....	43
6.1 L'indice de la qualité de l'eau (IQE).....	44
6.2 Taux d'absorption de sodium (SAR).....	46
6.3 Pourcentage de sodium soluble : SSP.....	46
6.4 Indice de Kelly : KI.....	46
6.5 Indice de perméabilité : PI.....	47

Chapitre 03 : résultats et discussions

1.paramètre physico chimique.....	48
1.1. La température de L'eau.....	48
1.2. Le ph de l'eau.....	49
1.3. L'oxygène dissous.....	49

1.4. Le total des solides dissous TDS	51
1.5. La salinité de l'eau.....	51
1.6. La demande biologique en oxygène DBO5.....	52
1.7. Les nitrites de l'eau en mg/l.....	53
1.8. Les nitrates de l'eau en mg/l.....	54
1.9. L'azote ammoniacal (NH_4^+) de l'eau en mg/l.....	55
1.10. Les phosphates de l'eau en mg/l.....	56
1.11. Le titre hydrotimétrique (dureté totale) TH en °f.....	57
2. analyses des données par logiciels.....	59
2.1 Classification chimique des eaux thermales destinée à l'irrigation.....	60
2.1.1. Diagramme de pipere.....	60
2.1.2. Classification des eaux destinées à l'irrigation selon le Diagramme de Wilcox.....	61
2.1.3. Classification des eaux destinées à l'irrigation selon le Diagramme de Richards.....	62
3. Évaluation de la qualité de l'eau basée sur le calcul des indices	64
3.1. Pourcentage de sodium (%Na)	64
3.2. Le rapport de Kelly (KI).....	66
3.4. Indice de Perméabilité (PI).....	67
3.5 Rapport d'Adsorption de Sodium SAR.....	68

Conclusion

Références bibliographiques

Les eaux thermales de Hamma Debagh coulent le long du versant oriental du Châabet Cheddakha, s'étendant sur une distance de 6 km, depuis les hauteurs de la zone de Skhouana dans la commune de Houari Boumediene jusqu'à l'embouchure du Châabet avec l'Oued Bouhamdane. Le débit de l'eau thermale est estimé à 500 litres/sec. Elle se caractérise par ses propriétés chimiques et physiques et sa richesse en carbonates. La grande disponibilité de sources thermales dans la région Debagh, on compte plus de 10 sources thermales, pouvant être mieux exploitées pour l'irrigation des cultures de la région. Aujourd'hui, c'est devenu nécessaire, Plus grand que jamais, exploiter et préserver toutes les ressources en eau dont regorge la wilaya de Guelma, surtout si l'on sait que les études hydro-climatiques montrent que la région est soumise à un climat méditerranéen caractérisée par une saison humide et sèche et les volumes d'eau distribués est de 18 Hm³ en 2013, alors que les besoins pour les surfaces actuellement irrigables (10 000 ha) sont de l'ordre de 60 millions de m³ pour un apport de 6000 m³/ha, soit un déficit de l'ordre 70%. [1]

La problématique de la recherche consiste à déterminer l'étendue de l'effet d'une eau minérale fortement et significativement chargée sur la qualité de l'eau destinée principalement à l'irrigation lorsqu'elle se mélange à l'oued Bouhmdane. [1]

La problématique du présent travail est de répondre à la question suivante : les eaux thermales, par sa forte charge en matière de sels, peuvent impacter la fertilité du sol. Et quel seraient les conséquences sur le rendement de cultures [1]

Il existe très peu de données hydro-chimiques sur les eaux thermales dans la région. Malgré que la wilaya de Guelma joue un rôle important dans le domaine de l'agriculture au sein de la communauté Algérienne grâce au barrage de Hammam Debagh qui assure l'irrigation du périmètre de Guelma-Boucheouf. [1]

Dans ce contexte, l'objectif de ce travail est d'entreprendre une étude concernant l'une des potentialités hydriques de la région. L'analyse physico chimique fournit donc des informations sur le faciès chimique, et sur la qualité au quelle elle peut être exploitée de manière rassurante.

Ce travail de recherche est hiérarchisé en trois chapitres fondamentaux, le premier portant sur une synthèse bibliographique globale décrit les notions générales sur les eaux thermales, comment elles se forment, leurs avantages, leurs propriétés physico-chimiques, leurs localisations où on les trouve en Algérie et leurs diverses utilisations. [1]

Le deuxième chapitre, matériel et méthodes, il a commencé par présenter la zone d'étude et la stratégie de choix des points d'échantillonnage. Les éléments physico-chimiques, mesurés in situ, ont été également mentionnés. Les différentes méthodes de dosage des éléments majeurs ont pris la plus grande part de ce chapitre. [1]

Le dernier chapitre a été consacré aux résultats, le cœur de ce mémoire, qui se présentent sous forme d'histogrammes et de diagrammes, à partir desquels nous pouvons analyser scientifiquement les variations spatio-temporelles des différents éléments qui peuvent influencer d'une manière notable la qualité de ces eaux. En conclusion, les aspects les plus importants qui, selon nous, pourraient contribuer à enrichir les connaissances des scientifiques et des chercheurs en particulier ont été extraits. Quelques orientations et recommandations ont, également, été suggérées pour l'amélioration de la qualité de l'eau afin qu'elle puisse être exploitée de manière rassurante. [1]

Chapter 1

Synthèse bibliographique

1. GENERALITES :

1.1. SOURCES CHAUDES ET EAU THERMALE

Les propriétés de ces eaux, leurs bienfaits, les minéraux qu'elles contiennent et leur formation suscitent la curiosité de nombreuses personnes. Les eaux thermales sont des eaux à forte teneur en minéraux et à température élevée qui émergent du sous-sol de la terre. La principale différence entre ces eaux et les autres eaux de source est le niveau de température élevé des eaux thermales. Les eaux thermales, qui sont utilisées depuis des centaines, voire des milliers d'années, occupent une place importante dans de nombreuses cultures.

L'eau thermale passe par différentes étapes au cours du processus de remontée à la surface de la terre. Cette eau, qui provient de sources souterraines, est chauffée de différentes manières. Par exemple, de petits morceaux de pierre en fusion sont l'un des facteurs qui rendent les eaux thermales chaudes. Un autre facteur de réchauffement des eaux thermales est la circulation de ces eaux dans le sous-sol. Dans les deux cas, la principale source de température des eaux thermales est la radioactivité de la couche du manteau terrestre. Les eaux thermales sont exposées à de nombreux éléments et minéraux différents et leur température augmente au cours de leur remontée vers la surface de la terre. Ainsi, de nombreux minéraux présents dans le sous-sol sont mélangés à ces eaux. Par conséquent, les eaux thermales attirent l'attention en raison de leur forte teneur en minéraux et de leur température élevée. Ces caractéristiques font des eaux thermales une source de guérison.

Les eaux thermales, qui revêtent une grande importance dans de nombreuses cultures, sont présentes dans différentes parties du monde. Les eaux thermales des différentes régions ont des proportions minérales différentes, car les proportions des éléments trouvés sous terre dans les différentes parties du monde diffèrent. Par conséquent, certaines sources d'eau thermale ont des propriétés acides tandis que d'autres ont des valeurs de pH plus basiques. Outre leur forte teneur en minéraux, les eaux thermales abritent également de temps à autre divers micro-organismes. Bien que de nombreuses eaux thermales soient utilisées à des fins de relaxation, d'hygiène et de thérapie, certaines eaux thermales ne peuvent pas être utilisées par l'homme. La principale raison en est que certaines sources d'eau thermale sont trop chaudes ou que leur structure chimique n'est pas adaptée.

1.2.Définition des eaux thermales :

Bien qu'il n'existe pas de définition universellement acceptée de l'eau thermale en termes scientifiques, il existe de nombreuses définitions différentes de l'eau thermale. Selon une

définition, l'eau thermale est considérée comme "l'eau chauffée à la suite d'une activité géothermique", tandis que selon une autre définition, cette définition varie comme "l'eau de source naturelle dont la température est plus élevée que celle de son environnement". En outre, techniquement, la température de l'eau thermale peut varier. Selon certaines définitions, cette température est égale ou supérieure à 21 °C, selon d'autres elle est égale ou supérieure à 37 °C, et selon d'autres encore elle est égale ou supérieure à 50 °C. En général, les eaux de source naturelles dont la température est comprise entre 20 °C et 50 °C et qui sont chauffées par l'activité géothermique sont considérées comme de l'eau thermale, tandis que la température idéale de l'eau thermale pour l'utilisation se situe entre 40 °C et 44 °C.

Indépendamment de la définition généralement acceptée, l'eau thermale attire l'attention par sa capacité à être une source de guérison pour de nombreuses personnes. Chaque année, des millions de personnes passent des moments agréables en profitant des ressources en eau thermale et certains utilisateurs sont soulagés de certains problèmes de santé. Les eaux thermales, qui ont de nombreuses utilisations allant des applications de thérapie physique aux soins de la peau, contiennent divers minéraux. Ceux-ci vont du sodium au magnésium et les sources d'eau thermale ne contiennent pas toutes les mêmes quantités de minéraux. Dans notre pays, comme dans de nombreuses régions du monde, il existe des ressources d'eau thermale contenant différentes proportions de minéraux. Les utilisateurs passent un moment agréable en utilisant ces eaux thermales et cherchent à guérir leurs problèmes de santé.



Figure 1 : Bains thermaux [2]

1.3. Comment se forment les eaux thermales ?

Les eaux thermales, utilisées depuis des milliers d'années, suscitent de nombreuses questions. Nombreux sont ceux qui s'interrogent sur la formation de ces eaux et sur la manière dont elles atteignent la terre. Tout comme la question "Qu'est-ce que l'eau thermale, que fait-elle ?", la question "Comment l'eau thermale est-elle formée ?" est également une curiosité importante. Les eaux thermales attirent l'attention non seulement par leurs domaines d'utilisation et leurs propriétés, mais aussi par leurs processus de formation. En bref, les eaux thermales sont formées par les eaux de certaines sources souterraines qui remontent à la surface de la terre au fil du temps. Le processus de remontée de ces eaux à la surface prend parfois des centaines d'années. Les eaux thermales sont enrichies en minéraux présents dans le sol et leurs températures augmentent au cours des années de remontée à la surface. Nous profitons ensuite de ces eaux dans les piscines thermales et d'autres parties des installations thermales.

Si l'on examine plus en détail le processus de formation de l'eau thermale, le processus de formation et d'enrichissement de ces eaux en termes de minéraux peut varier en fonction de la source. Des chercheurs ont examiné le fonctionnement et les processus de formation de différentes sources d'eau thermale. Selon leurs recherches, on peut dire que les eaux thermales commencent à émerger lorsque les masses d'eau à la surface de la terre s'infiltrent à travers les fissures dans les couches de la terre et atteignent le sous-sol. Ces masses d'eau atteignent alors les couches chaudes du sous-sol et commencent à se réchauffer. Sous l'effet de cette augmentation soudaine de la température, ces masses d'eau s'évaporent et remontent à la surface. Pendant tout ce processus, ces masses d'eau, qui descendent d'abord de la terre vers le sous-sol, sont chauffées par l'énergie géothermique. En outre, elles intègrent de nombreux minéraux lors de leur remontée vers la terre. Ainsi, l'eau thermale présente à la fois des températures élevées et une forte teneur en minéraux.

Il existe d'autres théories sur la formation des sources thermales et l'origine de la température des eaux thermales. Selon une autre approche, un autre facteur contribuant à la température des eaux thermales est le frottement créé par la circulation de ces eaux dans le sous-sol. Les sources thermales sont le résultat d'actions et de réactions naturelles sur des milliers, voire des millions d'années. Au cours de ce long processus de formation de ces eaux, les eaux thermales créent de l'érosion dans les régions qu'elles traversent au cours de leur descente et de leur remontée sous terre. La température des eaux thermales augmente donc sous l'effet de cette érosion. Cette érosion permet également aux eaux thermales d'absorber et d'incorporer plus efficacement les minéraux. Ces eaux thermales, qui atteignent la surface de la terre en

s'évaporant entre les couches dures de la terre, s'accumulent donc dans certaines zones à forte teneur en minéraux.

L'activité volcanique est parfois observée autour des sources d'eau thermale. En raison de l'activité volcanique, des roches en fusion à haute température se trouvent plus près de la surface de la Terre. Ces roches en fusion, également appelées magma, jouent un rôle majeur dans la formation de l'énergie géothermique et le chauffage des eaux thermales. Grâce à cette couche de magma, qui n'est pas très profonde dans les régions volcaniques, l'eau qui s'est infiltrée dans le sous-sol par des fissures se réchauffe et remonte à la surface. Cependant, la formation d'eau thermale peut être observée même dans des zones sans activité volcanique. En effet, ces roches en fusion commencent à produire leurs effets lorsqu'elles sont suffisamment enfouies dans le sol, même en l'absence d'activité volcanique. Dans ce cas, lorsque l'eau s'infiltré suffisamment sous terre, elle retourne à la terre sous forme d'eau thermale. Dans les régions où l'on n'observe pas d'activité volcanique, la formation d'eau thermale se produit généralement là où il y a des lignes de faille. En effet, dans ces zones, les fissures sont plus nombreuses et permettent à l'eau de s'infiltrer sous terre. Selon la profondeur de l'eau et la structure chimique de la région, les eaux thermales ont des propriétés différentes.

1.4.A quelles fins l'eau thermale est-elle utilisée ?

L'eau thermale, dont on pense qu'elle a de nombreux effets positifs sur l'organisme en raison de sa température élevée et de sa teneur en minéraux, est utilisée dans différents domaines. Tout d'abord, on rencontre souvent l'eau thermale dans les piscines thermales et les stations thermales. Dans ces endroits, les usagers utilisent l'eau thermale pour se détendre et passer un moment agréable. En outre, l'eau thermale a des effets sur des questions telles que les soins de la peau et la thérapie physique.

1.5.Quels sont les minéraux présents dans les eaux thermales ?

Outre les températures élevées, les minéraux contenus dans les eaux thermales constituent un autre facteur important des effets de ces eaux sur l'organisme. Les minéraux sont des substances qui soutiennent de nombreuses fonctions dans le corps et devraient toujours être dans un certain ordre. Lorsque ces substances se trouvent à des niveaux optimaux dans l'organisme, elles peuvent avoir divers effets positifs sur la santé. Lorsque les minéraux sont en quantité trop faible ou trop élevée dans l'organisme, des problèmes de santé peuvent survenir. Les eaux thermales contiennent de nombreux minéraux différents. Le type et la quantité de ces minéraux peuvent varier en fonction de la source d'eau thermale. Par conséquent, les sources

d'eau thermale présentent généralement différents niveaux de ratios de minéraux. En général, on peut citer les minéraux suivants dans les eaux thermales :

- **Le potassium** : Le potassium, l'un des électrolytes importants pour le maintien de la santé du corps, a un effet sur l'équilibre de la pression artérielle et le contrôle des contractions musculaires.
- **Magnésium** : C'est l'un des minéraux les plus importants pour les fonctions physiques. Il présente des avantages tels que la régulation de la glycémie dans l'organisme et un meilleur sommeil.
- **Sodium** : Il s'agit d'un minéral important pour l'équilibre des fluides et des électrolytes dans l'organisme. Les avantages du sodium dans l'organisme comprennent la prévention de la perte d'eau et l'équilibre des ions.
- **Fer** : c'est un minéral que l'on trouve en grande quantité dans le sang. Il joue un rôle dans l'augmentation du taux d'hémoglobine et le traitement de l'anémie.
- **Chlorure** : Il s'agit d'un minéral important pour le maintien de l'équilibre acido-basique dans l'organisme. Il permet aux cellules de mieux absorber les nutriments et l'eau.
- **Calcium** : c'est un minéral qui joue un rôle important dans le développement des os. En plus de contribuer à la santé des os et des dents, il joue également un rôle important dans le contrôle du poids.
- **Sélénium** : il s'agit d'un minéral nécessaire à de nombreux systèmes de l'organisme. Il présente des avantages tels que la régulation des fonctions thyroïdiennes et le soutien du système immunitaire.
- **Lithium** : C'est l'un des minéraux les plus souvent négligés mais importants. Le lithium aide à retenir les autres minéraux dans l'organisme et contribue à la stabilisation de l'humeur.
- **Manganèse** : le manganèse fait partie des minéraux présents dans les eaux thermales. Ce minéral aide le métabolisme à fonctionner de manière plus saine.

2. Le thermalisme en Algérie :

L'Algérie recèle d'énormes potentialités en sources thermales. Il en existe aujourd'hui, selon les statistiques officielles, 160. La découverte de certaines d'entre elles remonte à l'antiquité Très prisée pour leurs vertus thérapeutiques ces sources ont de tout temps suscité l'engouement des populations. Des investissements étatiques et privés ont permis à une cinquantaine de ces sources d'être valorisées par la création de complexes touristiques, des structures d'accueil et activités annexes qui ont contribué au développement local et attiré un

nombre sans cesse croissant de visiteurs. La notoriété d'une dizaine d'entre elles dépasse le contexte local et national puisqu' accueillant également des touristes étrangers

Une étude de 2003, confirme que le patrimoine thermal occupe une place prépondérante avec la diversité des atouts touristiques de l'Algérie avec plus de 200 sources thermales homologuées. Mais seulement, 10% d'entre elles offrent des soins thérapeutiques, suivant les normes universelles, requises. Le reste, soit 90% sont gérées de façon traditionnelle ou laissées à l'abandon, subissant des agressions extérieures multiples, essentiellement la pollution. Le Dr Bertherand (1860) parle de 90 sources et le Dr Hamiot (1911) cite les quelques 77 sources dans son mémoire.

La quasi-totalité du réseau thermal se situe dans la partie nord du pays (**fig. :02**), vu l'existence de l'activité sismique de la terre : chocs des plaques tectoniques africaines et eurasiennes. Certaines sources ont changé d'appellation après 1985. D'autres sont déviées de leur trajectoire ou ont disparu de la surface. La majorité des sources thermales (supérieure à 25 C°) est destinée aux soins de balnéothérapie, hydrothérapie et autres, le reste est orienté, soit, vers des soins complémentaires et autres actes : en neurologie, en urologie, en gastro-entérologie est- ou soit vers le secteur industriel pour la création de société pour l'exploitation des sources d'eaux minérales commercialisées en bouteilles.

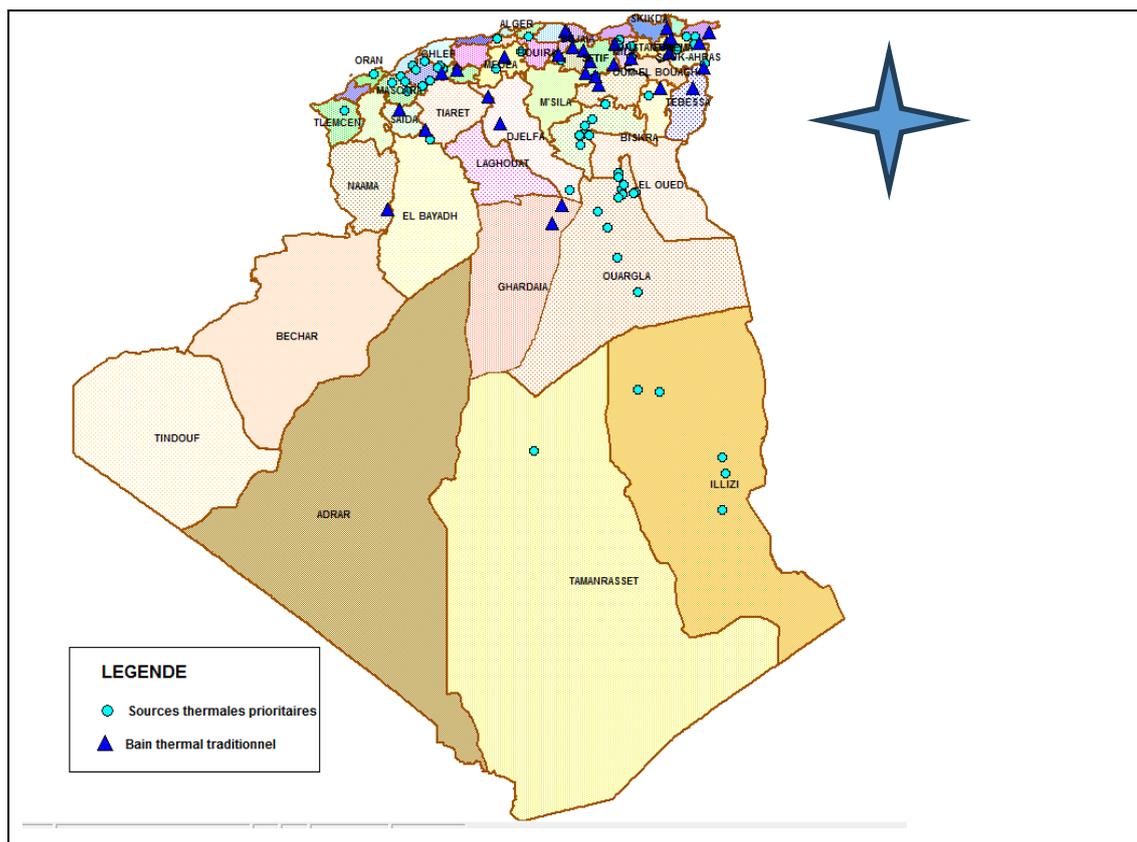


Figure 02 : Carte géographique sur les bains thermaux en Algérie [3]

2.1 Les potentialités en sources et stations thermales en Algérie :

Les Eaux Minérales de l'Algérie (Hanriot 1911) dans lequel sont inventoriées et étudiées plus de soixante sources chaudes. La classification du Professeur Henriot, comme il était d'usage à l'époque, se base uniquement sur l'élément prédominant et non sur l'ensemble des sels minéraux identifiés.

En 1946 la commission consultative d'hydro-climatologie a adopté le plan préparé par les services des Mines de l'Algérie, pour l'équipement rationnel des sources thermo – minérales d'Algérie classées comme suit :

- a) -Sources alcalines : source Leblanc ; Takitount ; Ben Haroun
- b) -Sources bicarbonatées calciques : Hammam Bou Hanifia, Ain NSour , Sdi M'cid, le Hammam, Djebel Lekhal (Ain Tinn).
- c) -Sources sulfatées calciques : Oued Hammimine, Hammam Righa, Ouled Ghalia (Béni Hindel), Hammam Mélouane

d)-Sources chlorurées : Hammam Bou Hadjar, Ain Ouarka, Hammam Bradaa, les Abdellys, Hammam N'Bails (Nador).

e)-Sources sulfurées : Hammam Zaid, Hammam Tassa , Hammam El Biban, Hammam Ben Chiguer, Hammam Béni Guecha.

Tableau1 : Situation géographique et caractéristiques hydro thérapeutiques des différentes stations thermales en Algérie. Source : Ministère du tourisme. Journées d'études du 27 mars 2006 Biskra

Nom de station	Situation géographique	Nature d'eau thermales	Indications thérapeutiques	Techniques de soins pratiquées
Hamman Boughrara EGT Tiemcen	A l'extrême ouest du pays a 150KM d'oran et a 280m d'altitude	Les eaux hyperthermales (45°) -bicarbonatées sodiques -Sulfatées	-Rhumatologie -Dermatologie	- bains simple Bains carbo-gazeux Bains locaux Thermothérapie Electrothérapie Massage a sec
Hamman Bouhdjar EGT. Tiemcen	A 65Km d'Oran A 150m d'altitude	-des eaux chaudes entre 35° 72° - eaux bicarbonatées sodico-calciques -carbo-gazeuses -faiblement radioactive	Rhumatisme dermatologie	Bains simple et locaux -douches générales -massage sous l'eau Kinebalneothérapie en piscine -massage à sec Thermothérapie
Hamman Righa EGT. Hamman Righa Avant 1962	-à 100km au sud-d'Alger A 230m d'altitude	-Un groupe de sources chaudes -bicarbonateées -chlorurées sodico-calciques -carbo- gazeuses -radioactive -sources de Sidi Abdallah Hypothermales (25°) très minéralisée chlorurée sodique, sulfatee calcique et magnésienne.	-la Rhumatologie, -la neurologie, Les affections digestives et métaboliques.	-cure de boisson -la balnéation générale et locale, -bains de vapeur, -douches générales et locales, Massages sous l'eau -la thermothérapie (Infrarouges et applications de paraffine) -l'électrothérapie.
Hamman Righa EGT Hamman Righa Avant 1962	A 100Km au sud-ouest d'Alger A 525m d'altitude	-neuf sources dont le débit total est de 54m ³ /H. les eaux sont sulfatées calciques hyperthermales (54°C de moyenne)	Les indications sont proches de celles de Vittel et de Contrexéville.	-balnéation générale et locale, -douches au jet et affusion, Massages sous l'eau Massothérapie à sec, -électrothérapie, rééducation et enveloppements de paraffine

Nom de station	Situation géographique	Nature d'eau thermales	Indications thérapeutiques	Techniques de soins pratiquées
Hamman Guergour EGT. Est 1987	a 60Km au nord-ouest de Séf A 650m d'altitude A 115km de Béjaia	Les eaux sont hyperthermales (45°C), -sulfatées calciques, -radioactives, -carbo-gazeuses	-les affections Rhumatismales, -dermatologie -phlébologies -Gynécologie	Bains en baignoire -piscine ou en couloir de marche -bains locaux -massages sous l'eau
Hamman Meskhoutine (Guelma) EGT . Annaba 1976	-Dans l'Est Constantinois -à 110km de Constantine A 20km de Guelma -à 320m d'altitude	- neuf sources d'eaux hyperthermales (97°) Bicarbonatées Calciques – chlorurées sodiques -arsenicales, -radioactives, -avec dégagement d'hydrogène sulfuré.	-rhumatologie -infections respiratoires (ORL et bronches)	-bains en baignoires -bains en piscine ou en couloir de marche, -bains locaux , -massages sous l'eau -soins complémentaires (electrothérapie, ultrasons, Infrarouges et cataplasmes de paraffine) Pour l'ORL : -l'inhalation -aérosols, -pulvérisations
Hamman Salihin EGT. Iskra 1976	-aux portes de Biskra , -à 400km au Sud Est d'Alger et 115 km de Batna, -à 120m d'altitude	-des eaux : -sulfatées et chlorurées sodiques, -mésothermales (43°C) -fortement minéralisées.	-Rhumatologie, -dermatologie -gynécologie -L'ORL	-la balnéation -douches -humages et inhalations -s'y adjoignent techniques de physiothérapie et masskinésithérapie

2.2 Type des bains thermaux :

Les piscines thermiques en Algérie, comme dans d'autres parties du globe, peuvent différer selon divers critères tels que la nature chimique de l'eau, la température de l'eau, les équipements et les services offerts. Voici certaines catégories fréquentes de bains thermaux. [4]

1. **Eaux sulfureuses** : Ces bains contiennent une grande quantité de sulfure d'hydrogène et sont fréquemment employés pour soigner les problèmes de peau, les troubles respiratoires et les maladies rhumatismales.
2. **Eaux sulfurées** : Ces bains sont similaires aux eaux sulfureuses, mais renferment moins de sulfure d'hydrogène, ce qui leur confère également des avantages pour la peau, les articulations et les voies respiratoires.

3. **Eaux minérales** : Les minéraux présents dans ces bains sont le calcium, le magnésium, le potassium et le fer. On les utilise fréquemment afin de stimuler la détente, améliorer la circulation sanguine et apaiser les douleurs musculaires.
4. **Bains de boue** : Des bains de boue sont proposés dans certains établissements thermaux, où les visiteurs peuvent se faire envelopper de boue minérale provenant des sources thermiques. On connaît les vertus exfoliantes, hydratantes et apaisantes de ces bains.
5. **Bains d'eau thermale froide** : Certains établissements thermaux offrent également des bains d'eau thermale froide, bien que moins fréquents, qui peuvent être avantageux pour la circulation sanguine, la diminution de l'inflammation et la détente musculaire.
6. **Saunas et hammams** : Outre les bains, de nombreux complexes thermaux proposent également des saunas et des hammams, qui exploitent la chaleur pour favoriser la détente, éliminer les toxines et traiter la peau.

3. La pollution des eaux

3.1 la pollution domestique

Elle provient des utilisations de l'eau par les habitants. On distingue les eaux vannes (eau des toilettes) et les eaux ménagères (eau de lavages) La pollution domestique est surtout organique (graisses, déchets organiques) ; elle peut aussi être chimique (poudre à laver, détergents). Aux eaux usées domestiques traditionnelles s'ajoutent les eaux de pluies et les eaux « collectives » des marchés, des bâtiments scolaires, des hôpitaux.

3.2 la pollution industrielle

La pollution générée par les rejets industriels varie suivant le type d'activité industrielle. Les eaux d'une industrie agro-alimentaire (conserverie de légumes, cave coopérative) véhiculent essentiellement des déchets organiques. Celles provenant d'une tannerie sont chargée de chrome et d'acides et donc c'est une pollution chimique. La pollution physique peut être due au réchauffement de l'eau des centrales thermiques, certains rejets troublent la transparence et l'oxygénation de l'eau ; ils peuvent avoir un effet nocif sur les organismes vivants.

3.3 la pollution accidentelle

Ses origines sont multiples. Certains déversements de produits polluants sont dus à des accidents (camions citernes, bacs endommagés, fuites sur canalisations...). D'autres

surviennent dans des usines, lorsque des quantités importantes de gaz ou de liquides toxiques s'en échappent et sont déssiminées en peu de temps dans la nature.

3.4 la pollution agricole

La concentration des élevages peut entrainer un excédent de déjections animales par rapport à la capacité d'absorption de terres agricoles ; ces déjections sous l'effet du ruissellement de l'eau et de l'infiltration dans le sous-sol, enrichissent les cours d'eau et les nappes souterraines en dérivés azotés et constituent aussi une source de pollution bactériologique. Les engrais chimiques employés en agriculture altèrent la qualité des cours d'eau et des nappes souterraines vers lesquels ils sont entraînés.

3.5 Pollution biologique

Par définition, une pollution biologique est issue du milieu lui-même. C'est par le surdéveloppement de micro-organismes ou de végétaux micro ou macroscopiques qu'un déséquilibre du milieu environnant peut entraîner une mortalité élevée chez les autres organismes présents. Ce surdéveloppement est généralement la conséquence d'une action humaine : enrichissement en nitrates d'un milieu (rejets organiques), développement de virus, de bactéries, modification de la température d'un milieu (rejet d'eau chaude), introduction d'espèces invasives, etc...

3.6 Pollution thermique

Le rejet de la chaleur dans l'environnement constitue de nos jours une forme de pollution physique du milieu naturel susceptible de provoquer de véritables bouleversements biocénotiques car elle agit sur un facteur écologique primordial : la température du milieu. L'augmentation de la température de l'eau réduit la teneur en oxygène et augmente la vitesse de réactivité chimique.

3.7 La pollution des eaux issus des bains thermaux

Les rejets d'eaux thermales issues des bains thermaux déversées pour la plus parts des cas dans des rivières se caractérisent par une température assez élevée qui dépasse les 30°C qui peut modifier grandement les caractères physico-chimiques des cours d'eau dans lesquels elles se rejettent. D'autre part ces eaux pouvaient avoir des effets particuliers sur l'écosystème aquatique selon la nature des minéraux dont elles se chargent dans leur parcours souterrain (**Palissy, 1580 : 39**).

En France Les eaux rejetées et les prélèvements effectués par les établissements thermaux sont soumis à la loi sur l'eau du 3 janvier 1992 modifiée par la loi du 2 février 1995 et les recommandations faites par la circulaire du 11 septembre 2003. Le rejet dans le milieu naturel ne peut se faire qu'après autorisation au titre de la police de l'eau. Une convention de rejet peut être passée entre les établissements thermaux et les stations d'épuration, si elles acceptent de traiter ces eaux.

Les rejets de bains thermaux sont chargés de différents microorganismes, tels les bactéries, les levures, les champignons, les parasites, les virus dans les établissements thermaux, dont les principales caractéristiques figurent dans le tableau 2 ci-après.

Tableau 2 : Microorganismes pathogènes présents dans les rejets d'eaux thermales

(Marie Decker, 2006)

Nature	Nom	Caractéristiques
Bactéries	Coliformes fécaux -	- bacilles gram -, aéro anaérobies facultatifs
	Clostridium	bacilles gram + anaérobies strictes, survie sous forme végétative et sporulée, gélatinase + et hémolytiques pour les pathogènes
	Pseudomonas aeruginosa	- bacille gram -, non fermentaire, aérobie strict, non sporulé, très mobile (cil polaire), opportuniste très pathogène pour les immunodéprimés. - vit à l'état saprophyte dans l'eau et les sols humides - chimio-organohétérotrophe avec possibilité de respiration nitrique - croissance entre 6 et 37°C (température optimale entre 30 et 37°C). - peut survivre 150 jours à -10°C et plusieurs mois dans l'eau en présence d'une quantité minimum de nutriments

	Legionella pneumophila	- bacille gram -, aérobic strict, mobile grâce à un ou plusieurs flagelles - thermophile avec un optimum compris entre 20 et 45°C, inactivation en quelques secondes à partir de 60°C, chimio-organohétérotrophes
	Staphylococcus aureus	- gram -, anaérobic facultatif - chimio-organohétérotrophes, halotolérantes
Champignons	Dermatophytes	
	Aspergillus	champignon filamenteux saprophyte thermophile - produit des spores lors de sa croissance
Levures	Candida albicans	
Parasites	Cryptosporidium	
	Giardia	- protozoaire flagellé
	Amibes	- protozoaire, vit en eaux douces ou salées, se déplace par des flagelles ou de multiples déformations du cytosquelette appelés pseudopodes
Virus	Papillomavirus, Adénovirus	

4. La problématique de l'irrigation en Algérie

Pour un territoire de 238 millions d'ha et une surface agricole totale (SAT) de 42,4 millions d'ha, la surface agricole utile (SAU) est estimée à 8,4 millions d'ha, pour une population de plus de 33 millions. Les conditions climatiques difficiles, particulièrement le manque de précipitations et leur mauvaise répartition dans l'espace et dans le temps font que les cultures pluviales ne peuvent se pratiquer sans grands problèmes que dans les zones recevant un minimum de 450 mm de pluie/an et qui représentent 4,8 millions d'ha seulement. Le reste, soit

3,6 millions d'ha nécessitent une irrigation intégrale ou à défaut une irrigation de complément. Ce qui montre clairement l'importance de l'irrigation dans le développement de la production agricole.

L'irrigation dans nos périmètres irrigués, aussi bien sur les anciens que sur les nouveaux constituent un moyen d'intensification, de régularisation et d'accroissement de la production agricole pour répondre à la demande intérieure croissante en denrées alimentaires. L'irrigation dans les grands périmètres irrigués rencontre des difficultés importantes. Sur les vingt Six (26) périmètres d'irrigation en exploitation occupant une superficie totale équipée de 206 924 ha. Moins de 165 000 ha soit 80% sont irrigables. Cependant 48 000 ha représentant 23,20% de la superficie équipée totale ont été réellement en moyenne irrigués ces cinq dernières années. Leur gestion est assurée par l'Office national de l'Irrigation et du drainage et 07 offices de Wilaya dont plusieurs sont en cessation d'activité (**Boumerdes, Béjaïa, Saïda...**).

Les principales raisons de la faiblesse de l'irrigation est le manque de la ressource en eau, vétusté des infrastructures hydrauliques des périmètres irrigués et la mauvaise performance des unités de gestion liés à plusieurs facteurs. Le mauvais fonctionnement des périmètres irrigués n'est pas seulement le résultat des carences techniques au niveau de la conception des réseaux d'irrigation, mais que la plus part des problèmes proviennent de faiblesses dans l'organisation et la gestion des périmètres.

Les mesures les plus souvent envisagées pour y remédier se sont souvent révélées incomplètes et ont aboutis à l'échec, en grande partie parce que les questions d'organisation et de gestion n'avaient pas été analysées d'une manière détaillée et systématique. On a eu tendance jusqu'ici à appréhender les problèmes de la gestion de l'eau à deux niveaux : soit au sommet au niveau du ministère des ressources en eau, de l'agence de bassin hydrographiques ; soit à la base au niveau de la gestion de l'eau à la parcelle et dans les conditions du petit hydraulique. La gestion de l'irrigation au niveau des périmètres n'a, par contre, guère reçu d'attention.

4.1-Problématique de la politique hydro agricole en Algérie (Avant la création de l'ONID)

En Algérie les périmètres d'irrigation sont répartis en deux catégories : les Grands Périmètres Irrigués (GPI) d'une part et la Petite et Moyenne Hydraulique (PMH) d'autre part. La gestion et exploitation et l'entretien des réseaux d'irrigation des GPI étaient confiés aux Offices des Périmètres d'Irrigation (OPI), quatre (05) OPI Nationaux et Sept (07) OPI de wilaya (Département). Les déséquilibres budgétaires des gestionnaires des périmètres ont entraîné un

retard important de maintenance des infrastructures qui entretient le cercle vicieux : maintenance insuffisante => dégradation de la qualité du service de l'eau => insatisfaction du client => niveau de recouvrement insuffisant => insuffisance budgétaire => maintenance insuffisante.

4.2 Nouvelle politique

Pour faire face à ces défis, une nouvelle politique de l'eau a été mise en place par le ministère de ressources en eaux, basée sur des principes nouveaux de gestion intégrée, participative, économique et écologique. Cette nouvelle politique s'est concrétisée notamment par la création de l'Office National de l'Irrigation et du Drainage (ONID) en tant qu'outil privilégié du secteur pour la relance du programme de développement hydraulique agricole et l'utilisation rationnelle du facteur eau élément de base de la production agricole et de la multiplication des rendements. (**Office National de l'Irrigation et du Drainage, Athéna 2013**)

4.3. Les types d'irrigation :

Actuellement, l'irrigation est beaucoup plus courante que la Fert irrigation, ce qui fait qu'il y a trois modes principaux :

4.3.1 Irrigation gravitaire ou irrigation de surface :

Le mode d'irrigation le plus ancien est celui qui ne nécessite pas de pression. Il est néanmoins essentiel de procéder à un profilage du terrain et d'avoir une grande disponibilité en eau. Ce mode peut être utilisé à plusieurs reprises dans une stratégie de production tout au long du cycle végétatif. Ses apports en eau sont extrêmement élevés.

4.3.2 Irrigation par aspersion :

Le contrôle du volume de l'eau fournie est indéniablement plus efficace que dans le cas de la submersion, en fin de compte, il **existe deux méthodes différentes :**

4.3.2.1 Irrigation sur frondaison :

L'avantage de ce genre d'arrosage est qu'il peut également servir à combattre les gelées de printemps, mais il existe également des risques d'éclatement des baies en raison d'une humectation externe ou d'une hydratation interne.

4.3.2.2 Irrigations sous frondaison :

Parmi les méthodes utilisées depuis une période plus récente, celle des micro-asperseurs est probablement plus efficace que les sprinklers au sol ou les tuyaux percés.

4.3.3 Irrigation localisée :

La Fert irrigation peut être utilisée pour la plupart des plantes fruitières grâce à cette irrigation.

Ce mode est généralement recommandé en raison de son prix.

Les goutteurs peuvent être placés au-dessus d'un trou dans le sol (tuyaux, fibres végétales) afin de positionner l'apport d'eau à mi- profondeur, ce qui permet de réduire encore davantage les pertes par évaporation et d'encourager l'enracinement profond au détriment de l'enracinement superficiel, ce qui permet de le mieux valoriser.

(TIERCELIN et VIDAL, 2006).

4 .4. Les eaux thermales intégrées à l'agriculture

A l'instar des pays qui souffrent de manque de ressources hydrauliques, comme la Tunisie (Ben Mohamed, 2003) et l'Algérie (Ouali et al., 2006), ont exploité l'eau géothermale pour l'irrigation après son refroidissement (PNUD/TUN, 1991). Les sources naturelles d'eau géothermale du Sud tunisien et algérien ont servi depuis des millénaires à l'irrigation des oasis (Baccouche, 1988). Cependant, l'utilisation intensive de ces eaux pour l'irrigation des serres remonte à une vingtaine d'années seulement.

4.4.1 Irrigation des serres

Une fois que l'eau thermale a été utilisée pour le chauffage, elle est collectée dans des bassins en béton en vue d'une utilisation ultérieure pour l'irrigation. Ces bassins doivent être de grande taille pour stocker toute l'eau refroidie jusqu'à ce qu'elle soit utilisée pour l'irrigation. Dans certains projets, les agriculteurs utilisent des bassins très petits et très simples avec des revêtements en plastique, qui sont moins chers et très pratiques. Leurs dimensions varient de 40 à 80 m . En général, ces étangs sont utilisés pour l'irrigation d'un champ ouvert à proximité des serres. Le besoin en eau d'irrigation pendant la période d'irrigation d'une zone de plein champ à proximité de serres. Les besoins en eau d'irrigation pendant la période de croissance sont très faibles (0,6 L/s/ha) par rapport au chauffage. Les agriculteurs utilisent un système local dans lequel l'eau circule à l'intérieur d'une canalisation perforée posée sur le sol. La composition

chimique de l'eau géothermique utilisée pour l'irrigation doit être surveillée de près afin d'éviter les effets néfastes sur les plantes en raison de la salinité élevée (**Ben Mohamed, 2002**).

Chapitre 02
Matériel et Méthodes

1. Choix des sites d'étude :

Car notre sujet porte sur la dépendance à l'eau chaude dans le domaine de l'agriculture.

Il est donc nécessaire de viser spécifiquement les régions qui renferment de l'eau chaude en Algérie. Notre utilisation spécifique s'est basée sur l'eau chaude découverte dans l'état de Guelma-Hammam DEBBAGH. Les trois bassins thermaux, qui seront décrits ci-dessous, doivent donc être étudiés en plus de ceux-ci. C'est la confluence de l'eau des bains et de deux stations d'oued qui participent à l'irrigation.

2. Description des sites d'études :

A une altitude de 287 m, la commune de Hammam Debagh est située, entre 36° 30' 16" Nord, 7° 26' 28", Est à 20 kilomètres à l'ouest de Guelma et à 4 km sur le côté droit de la route Nationale Guelma – Constantine (figure 3). Elle abrite la station thermale de Hammam Meskhoutine, qui appartient aux eaux hyperthermales, La température de l'eau de Hammam Debagh n'est dépassée au niveau planétaire que par celle des geysers d'Islande. Elle atteint effectivement une température de 97 °C, son débit est de 1 650 litres par seconde : près de 100 000 litres par minute. L'eau a forgé au cours des millénaires une majestueuse cascade en calcaire, riche en couleurs et en formes. Ce Hammam a été construit par les turcs. Cette station comprend plusieurs griffons hyperthermaux, et nous tiendrons compte surtout la description de l'émergence de cascade.

► Morphologie et allure des griffons

- Source bien localisée avec des griffons secondaires.
- L'eau sort jaillissante et en cascade.
- Présence de dépôts des tufs ou de travertins.

► Aménagement et usage

- Source captée et utilisée depuis longtemps.
- Usage : cure thermique et irrigation.

► Régime

- Débit constant et permanent.

- Le débit mesuré dans ChebatAïoun est égal à 70 l/s (selon ANRH d'Annaba, 1969).
- Plusieurs émergences sont visibles, dont le débit total est très important.

► **Caractères organoleptiques des eaux**

- Odeur : œufs pourris.
- Couleur : incolore.
- Dégagement d'Hydrogène sulfuré (H₂S) (d'après DIB.H, 2004).

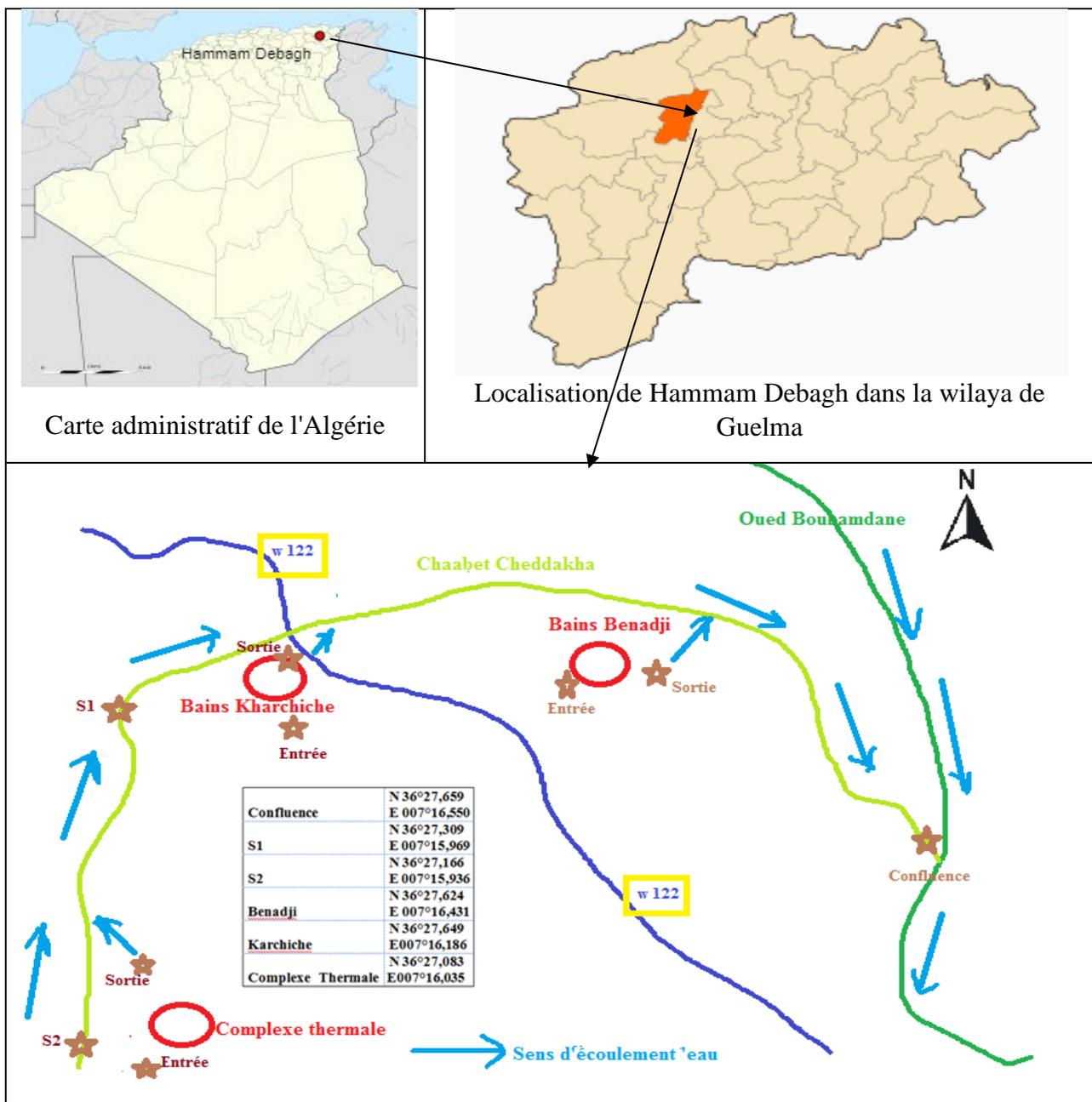


Figure 3 : Carte de localisation des points de prélèvement

2.1. Cadre géologique local

2.1.1 Aperçu d'ensemble

La région de Hammam Debagh appartient au Tell-Nappe épi tellienne d'après (Kieken, livre à la mémoire de P. Fallo, tome I-SGF). Ces nappes résultent d'une poussée vers le Sud de la chaîne du Djebel Debar, du Grar et du Kef-Hahouner où affleure un substratum formé de calcaires crétacés. C'est sur celui-ci qu'ont été charriées les nappes dites telliennes, constituées de marnes noires ou grises intercalées de bancs calcaires appartenant au Crétacé et au Tertiaire. Une autre nappe, dite du Flysch Crétacé, recouvre indifféremment les nappes telliennes ou le Crétacé "autochtone". Elle est composée de schistes noirs et de puissants bancs de grès, localement de poudingues. La structure régionale a une direction Est-Ouest, et présente des fractures aussi bien parallèles à l'allure générale que perpendiculaires à celle-ci. Plusieurs de ces fractures sont le siège d'une circulation géothermale.

2.1.2 Litho stratigraphie de la zone de Hammam Debagh

Les principales entités stratigraphiques de la région sont (Figure 4) :

2.1.3 Le Crétacé Autochtone

Les affleurements se rencontrent en particulier au Djebel Debar et au Djebel Taya. On trouve :

- Des calcaires massifs cristallins (Néocomien).
- Des calcaires et calcaires cristallins (Barrémien).
- Des calcaires cristallins massifs.
- Et enfin des calcaires compacts à orbitolines (Aptien).

2.1.4 La série des Nappes Telliennes

On trouve :

- Des marnes schisteuses gris noir, feuilletées assez friables,
- Des marnes calcaires gris blanc ;
- Des calcaires marneux blanchâtres.

2.1.5 La série du Flysch- Crétacé

On trouve :

- Des schistes gris noir verdâtres, parfois carbonatés.
- Des schistes gris noir minces intercalations gréseuses.
- Des schistes à grains de quartz, particulièrement altérable.
- Des grès friables gris blancs à jaunes, peu cimentés.
- Des grès conglomératiques et quartzitiques, en gros bancs.

2.2 Dépôts de grès Psammétique rouges et verts

On les trouve en affleurement en rive gauche de la cuvette, et ils relèvent probablement de l'Eocène.

2.3 Dépôts des terrasses

On trouve quatre niveaux distincts dont les niveaux de base à proximité du barrage. Ces terrasses correspondent à des dépôts relativement récents caractérisés par une épaisseur variable de graves sableuses qui reposent sous des silts argileux. Ces terrains peuvent contenir des argiles surtout vers leur base, par remontées des produits d'altération des marnes.

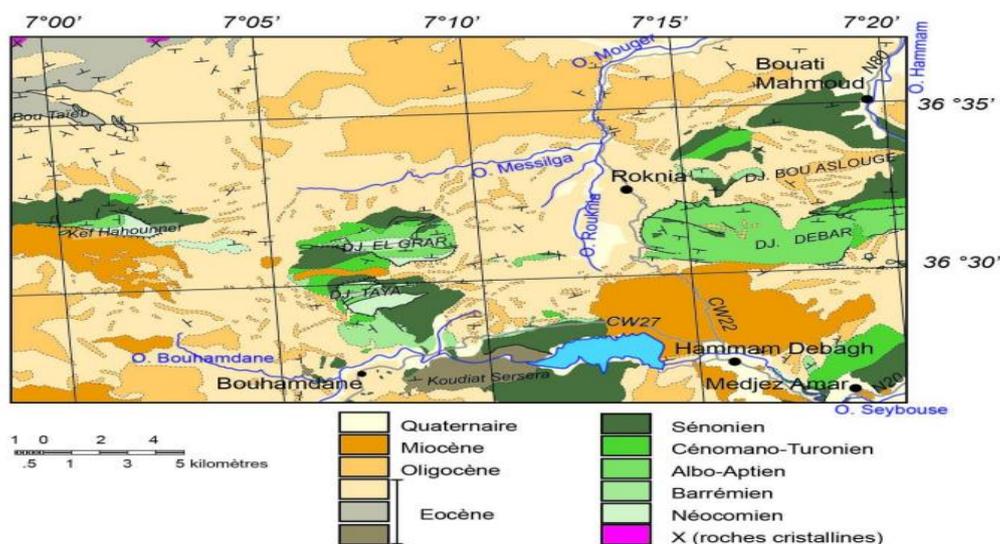


Figure 4 : Carte géologique simplifiée de Hammam Debagh (d'après la carte publiée en 1937 par le service géologique de l'Algérie [5])

Les sources thermales se trouvent dans un bassin miocène. - Elles émergent dans des travertins quaternaires déposés par les eaux chaudes. Les eaux jaillissent à la faveur d'une faille N 20° E. (Dib Hania, 2008)

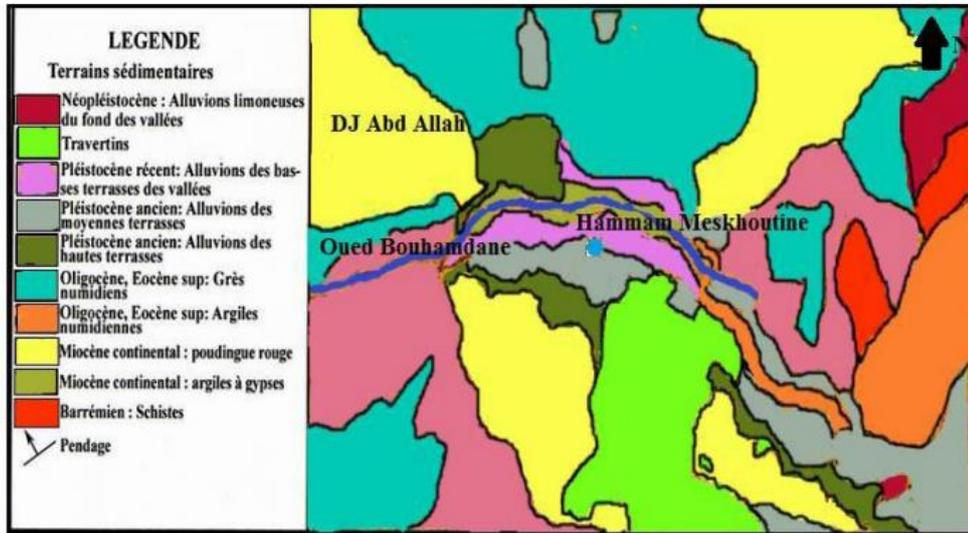


Figure 5 : Carte géologique de la source thermique du Hammam Meskhoutine (Guelma), (P. Deleau, 1938)

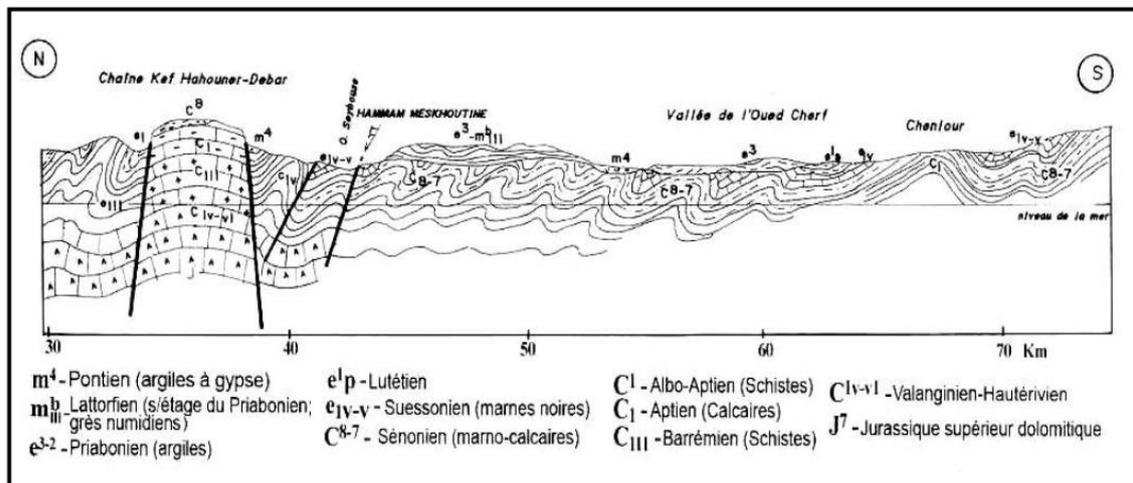


Figure 6 : Coupe géologique de la source thermique du Hammam Meskhoutine (d'après Deleau, 1938).

2.4 Présentation des sites thermaux étudiés

Pour étudier les sources thermales de la région Hammam Debagh, nous avons choisi trois catégories de points représentatifs (**figure 3**). La première est d'échantillonner l'eau de sources à l'entrée des différents bains (Ben nadji entrée, Kharchiche entrée et Complexe entrée), la deuxième catégorie concerne l'eau usée issue des trois bains ((Ben nadji sortie, Kharchiche sortie et Complexe sortie) et la troisième a porté sur l'eau de Chaabet Cheddakha qui traverse le village de haut en bas et qui reçoit à la fois l'eau thermale avant et après son utilisation (**Confluence, S1 et S2**).

2.5 Campagne de prélèvement d'eau

Les prélèvements d'eau ont été effectués, mensuellement, lors de trois campagnes février, mars. Et avril Au total 27 échantillons ont été prélevés (trois échantillons pour chaque point) dans des flacons en polyéthylène. Avant le prélèvement, les flacons sont rincés trois fois par l'eau du point de prélèvement puis remplis jusqu'au débordement puis renfermés d'une manière à éviter l'entrée de l'air à l'intérieur du flacon. Les échantillons sont ensuite conservés à l'abri de la lumière jusqu'au moment de l'analyse. Les coordonnées des points de prélèvement ont été prise in-situ à l'aide d'un GPS de type Garmin - **GPS MAP 62 S (photo III.1)**.

3. Echantillonnage

La collecte d'un échantillon d'eau est une tâche complexe qui nécessite une grande attention car elle influence les résultats de l'analyse et leur interprétation qui en découlera. (**Benaouira, 2017**)

Au cours de chacun des trois voyages que nous avons faits dans le cadre de cette étude, nous... Nous prélevons à chaque fois un échantillon à la source des mares, à l'endroit où elles sont jetées après usage, et à la vallée qui traverse toutes les mares et à la zone où elles se rejoignent pour une utilisation agricole.

Réaliser des études physiques et chimiques.

a. Méthode de prélèvement :

On a employé des bouteilles en plastique d'un litre et demi pour les analyses physico-chimiques, qui doivent être propres et préalablement rincées avec de l'eau à prélever.



Figure.07 : l'échantillon dans glacière

b. Enregistrement et étiquetage des échantillons

On doit étiqueter les échantillons prélevés de manière précise en indiquant la date, l'heure, les conditions météorologiques, un numéro et toutes les circonstances anormales (**Light Food, 2002**).

c. Transport et conservation

Lors du transport, il est important d'éviter la prolifération de micro-organismes ou au contraire la destruction de l'échantillon. Afin d'y parvenir, il est nécessaire de préserver l'échantillon de la température et de la lumière en utilisant une glacière remplie de sacs de glace. L'échantillon est conservé à une température inférieure ou égale à +4°C. (**Merzoug, 2009**).

4. Mesure in-situ

En raison de la rapidité excessive des réactions, des changements significatifs ont été observés.

Il est possible de les réaliser en quelques minutes, l'analyse sur place devant être réalisée dans les 5 jours.

Quelques minutes après le prélèvement. (**Rodier, 2009**).

Les mesures de pH, de salinité et d'oxygène ont été enregistrées pour chaque point de prélèvement.

Le TDS, la température et la conductivité peuvent être mesurés à l'aide d'un multi-paramètre de type.

HI-9829 multi paramètre:



Figure.08 : HI-9829 multi paramètre

L'eau contient tous les éléments chimiques essentiels, tels que les chlorures, le calcium, le magnésium, le sulfate, le carbonate, le sodium et le potassium. On a également mesuré les autres composants tels que la matière organique, la matière en suspension et la conductivité de l'eau. La température, le pH et le résidu sec ont également été mesurés.

a. -Détermination de la température

La température de l'eau joue un rôle crucial dans le milieu aquatique car elle influence presque toutes les réactions physico-chimiques et biologiques.

On l'a mesurée sur les lieux de prélèvement en utilisant un thermomètre. La température, exprimée en degrés Celsius ($^{\circ}\text{C}$), est visible immédiatement après une immersion de 10 minutes dans l'échantillon. (**Derwich et al., 2010**).

b. Détermination du pH

La concentration des protons H^+ présents dans l'eau est évaluée par ce paramètre, ce qui indique l'acidité ou l'alcalinité de l'eau sur une échelle logarithmique allant de 0 à 14. (**Gouaidia, 2008**).

Le pH joue un rôle dans la majorité des processus chimiques et biologiques présents dans les eaux.

En règle générale, les pH inférieurs à 5,5 ou supérieurs à 9 peuvent influencer le milieu récepteur, avec des valeurs allant de 6 à 8,5 dans les eaux nature (**Derwich et al, 2010**).

c. Détermination de la conductivité électrique (CE)

La mesure de la résistance électrique de la solution permet de déterminer la conductivité. On applique un courant entre deux électrodes plongées dans l'échantillon, et on utilise la baisse du courant causée par la résistance de la solution pour déterminer la conductivité par centimètre.

L'électro conductivité d'une eau correspond à la conductivité d'une colonne d'eau située entre deux électrodes métalliques ayant une surface de 1 cm² et séparées l'une de l'autre de 1 cm.

Le siemens par mètre (S/m) est utilisé comme unité de conductivité. 1 $\mu\text{S}/\text{cm} = 104 \text{ ms}/\text{m}$ (Rodier et al, 2005).

5. Analyse au laboratoire**5.1. Analyse physico-chimique**

L'eau contient tous les éléments chimiques essentiels, tels que les chlorures, le calcium, le magnésium, le sulfate, le carbonate, le sodium et le potassium. On a également mesuré les autres composants tels que la matière organique, la matière en suspension et la conductivité de l'eau. La température, le pH et le résidu sec ont également été mesurés.

5.2. Préparation des solutions**5.2.1. EDTA**

- Peser sur une de précision 3.725 grammes de sels d EDTA
- Verser le dans un bicher de 1 litre contenant de l'eau distille
- Agiter le mélange bien sur un agitateur pendant 10 minutes
- Mettre la solution dans une bouteille en plastique

5.2.2. TAMPON AMONIALCAL

- Préparer sous baute en pourtant le masque à gaz et des lunettes de sécurité
- 1 litre d'eau distille
- 570 ml d'ammoniaque
- 67.5 grammes de chlorure d'ammonium
- 05 grammes de sels d EDTA

5.2.3. SOLUTION NAOH

- 80 grammes d NAOH
- 1 litres d'eau distille
- Mettre sur agitateur pendant 10 minutes

5.2.4. SOLUTION AGNO₃

- Il suffit de dissoudre 16.987 g dans un litre d'eau distillée

5.2.5. SOLUTION DACID SULFIRIQUE H₂SO₄ Normalité 0.02

- 1 litre d'eau distillée
- 0.6 ml de H₂SO₄ pur

5.3. Demande biochimique en oxygène (DBO5)

Il s'agit de la consommation d'oxygène par les bactéries afin de décomposer la matière organique biodégradable présente dans les eaux. La détermination de la DBO5 se fait en incubant un échantillon d'eau à 20°C pendant 5 jours, à l'abri de l'air. (Djehaichia, 2020) La mesure de la DBO5 a été réalisée en utilisant un DBO mètre de type Oxytope WTW

- Insérer l'échantillon dans le flacon. Il faut le remplir avec soin.
- Évaluer précisément la quantité d'échantillon saturé en oxygène désirée.
- Placer le collier magnétique dans le récipient.
- Ajouter le godet en caoutchouc au goulot du flacon.
- Incorporer deux pastilles de soude dans le godet en caoutchouc en utilisant une pince.
- Appliquer directement l'OxyTop sur le flacon échantillon.
- Commencer la mesure en appuyant simultanément sur M et S (2 secondes) jusqu'à ce que l'afficheur affiche 00.

Le flacon de mesure doit être maintenu à une température de 20C pendant une période de 5 jours. Dès l'atteinte de la température de mesure. La mesure automatique de la consommation d'oxygène est lancée par l'OxyTop.

- L'échantillon est constamment agité pendant une période de 5 jours. L'OxyTop enregistre une valeur automatiquement toutes les 24 heures sur une période de 5 jours. Afin de déterminer la valeur.



Figure 09 : L'OxyTop

5.4. Demande chimique en oxygène (DCO)

On a mis en marche le réacteur DCO et on l'a préchauffé à 150 °C. Il y avait un bouclier de sécurité devant le réacteur. Les bouchons d'un flacon contenant du réactif de digestion DCO ont été retirés afin de les ajuster à la plage adéquate. L'angle du flacon a été maintenu à 45°, et 2,0 ml de l'échantillon ont été injectés dans le flacon. Le récipient était fermé de manière hermétique et l'extérieur du récipient de DCO était nettoyé et essuyé avec une serviette en papier. Le contenu du flacon a été mélangé en le tournant doucement à plusieurs reprises, puis il a été placé dans le réacteur de DCO préchauffé.

On a chauffé le flacon pendant 2 heures. On a arrêté le réacteur et on a attendu environ 20 minutes pour que le flacon soit refroidi à 120 °C. Tous les flacons ont été retournés à plusieurs reprises pendant qu'ils étaient encore chauds. On a placé le flacon dans un porte-flacon et on l'a refroidi à température ambiante.

- On appelle demande chimique en oxygène (DCO) l'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique biodégradable et non biodégradable dans l'eau.

Au cours de cette étude de qualité de l'eau, on a employé un agent oxydant puissant tel que le dichromate de potassium ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) afin d'oxyder la matière organique présente dans l'échantillon. L'acide sulfurique est indispensable et a joué le rôle de catalyseur pour terminer la réaction. Il ne faut que quelques heures pour obtenir le résultat du test DCO. Suite à l'incorporation de l'échantillon (2 ml) et des

réactifs dans le flacon, la solution a été chauffée pendant deux heures dans le réacteur DCO afin d'accroître la vitesse de la réaction. Après que tout le réactif s'est bien mélangé à l'échantillon, le réactif a été ajouté.

Après 2 heures, la matière organique a été oxydée et la couleur de la solution a été changée de couleur marron clair à vert clair ce qui signifie que le $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ a été réduit en Cr^{3+} .

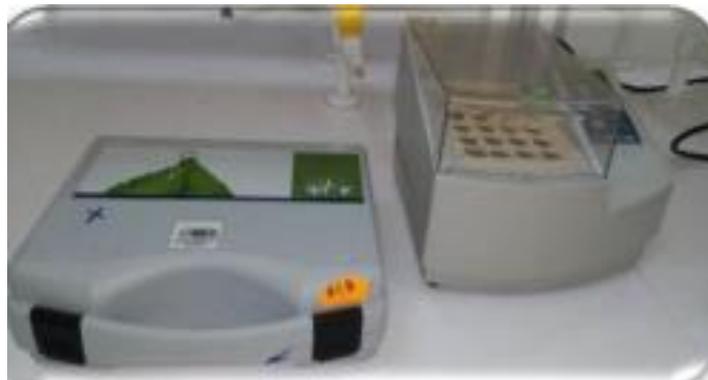


Figure.10 : Réacteur à droite et photomètre de mesure à gauche

5.5. Mesure de dureté totale de l'eau (TH) (Ca^{2+} . Mg^{2+} . Cl^- .TAC (HCO_3^-))

Selon Rodier (2009), on évalue la dureté totale de l'eau (TH), les ions calcium, magnésium, bicarbonates et chlorures en utilisant la méthode volumétrique par titrimétrie. Le processus de fonctionnement

❖ Réactifs

- Indicateur coloré : noir d'Eriochrome T (N.E.T).
- Solution d'EDTA (0,2 N)
- Solution tampon : (250 ml solution d'ammoniac à 1 mol/l + 250 ml d'une solution

5.5.1. La dureté totale (TH)

- 50 ml d'eau d'échantillon
- 4 ml trompons ammoniacal
- Quelques grains de noir urochrome
- Violet vert le bleu

- En va titrait avec l EDTA
- **TH:**
 - $TH = 1000 \times \frac{CxV1}{V2}$ (még/l)
- Où :
- C (concentrations d'EDTA) = 0,013
- V₁ : Volume d'EDTA versé
- V₂ : Volume d'échantillon = 50 ml.



Figure 11 : les étapes d'analyse de TH sur l'eau

5.5.2. Chlorure d'ammonium

L'acide hypochloreux et/ou l'ion hypochlorite présents dans l'échantillon réagissent immédiatement avec le DPD (N, N -d'éthyle-p-phenylène – diamine) en même temps que le chlore présent dans l'échantillon pour donner une coloration rouge proportionnelle à la concentration du chlore.

Une solution titrée de nitrate d'argent est utilisée pour mesurer les chlorures en milieu neutre en présence de chromate de potassium. La réaction se termine par l'apparition de la couleur rouge caractéristique du chromate d'argent.

❖ Réactifs

- Solution de chromate de potassium à 10%.
- Solution de nitrate d'argent 0,1 N

❖ Mode opératoire :

- 25 ml d'échantillon
- 2-3 goutte de chromate de potassium
- Titrer avec la solution d'AGNO₃.

- JAUNE vert le VIOLET
- Cl⁻ :
- $Cl^- = V \times 10 \times 3.55 \text{ mg/l}$
- Où :
- V : Volume d'AgNO₃ versé



Figure 12 : les étapes d'analyse de chlorure d'ammonium sur l'eau

5.5.3. Alcalinité (TA-TAC)

L'alcalinité se calcule en neutralisant un volume d'eau donné par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré.

Note: Le titre alcalimétrique (TA) évalue la quantité d'alcalins libres et de carbonates alcalins caustiques présents dans l'eau. Le titre alcalimétrique complet (TAC) représente la quantité d'alcalins libres, de carbonates et de bicarbonates présents dans l'eau. (Berne Et Cordonnier, 1991).

❖ Mode opératoire :

- 100ml d'échantillon
- 2-3 gouttes de méthyl orange
- Titrait avec l'Acid sulfurique (H₂SO₄)
- Bleu vert le rouge orange

❖ Expression des résultats

$$TA = VTA \text{ (ml)} \quad TAC = VTAC \text{ (ml)} - 0,5$$



Figure 13 : les étapes d'analyse de (TA-TAC) sur l'eau

5.5.4. Calcium

L'acide éthylène diamine tétra étique (EDTA) est utilisé comme solution titrant. Il est possible de réaliser ce titrage en utilisant un indicateur coloré de fin de réaction et une solution tampon qui maintient le pH de la solution entre 9 et 10.

❖ Réactifs

- Murexide.
- Solution d'EDTA (0,02N).
- Solution de NaOH (2N)

❖ Mode opératoire :

- 50 ml d'échantillon
- 2 ml de solution d'NaOH
- Quelques grains de murexide
- Agiter le contenu à la main
- Titrer avec la solution d'EDTA
- ROUGE vert le VIOLET

• Calcium :

$$\bullet \text{Ca}^{+2} = \frac{N \times V_1 \times E_g \text{Ca}^{+2} \times 1000}{V_2} \text{ (mg/l)}$$

- Où :
- N (normalité d'EDTA) = 0,02
- V₁ : Volume d'EDTA versé
- E_g Ca⁺² = 20.
- V₂ : Volume d'échantillon = 50 ml.



Figure 14 : les étapes d'analyse de calcium sur l'eau

5.6. Mesure des éléments nutritifs et des sulfates (NO₂.NO₃.NH₄.PO₄.SO₄) :

5.6.1. Nitrites (mg/l) NO₂ :

❖ Mode opératoire :

- 5 ML échantillon préparé (15-25 °C) pipeter dans une éprouvette
- Ajouter 1 micro cuillère bleue arasée (dans le bouchon du flacon NO₂-1 et agiter vigoureusement jusqu'à dissolution total du réactif
 - Le ph doit être compris entre 2.0 et 2.5
- Vérifier l'aide de bandelettes indicatrices de ph MQuant ajuster le ph si nécessaire avec de l'hydroxyde de sodium en solution ou de l'acide sulfurique
- Laisser reposer 10 minutes (temps de réaction), puis introduire l'échantillon dans la cuve et mesurer dans le photomètre
 - Pour la mesure dans la cuve de 50 mm le volume de l'échantillon ainsi que la quantité de réactif NO₂-1 doivent être doublés. Ou bien, on peut utiliser la cuve semi-micro art.173502.il est recommandé de mesurer contre un échantillon
 - Remarque concernant la mesure :
 - Selon le type de photomètre .il est nécessaire de préparer un échantillon à blanc
- Les cuves utilisées pour la mesure photométrique doivent être propres.
- Les essuyer le cas échéant avec un chiffon sec et propre

- Les troubles éventuels se développent après la réaction donnent des résultats trop élevés
- Le PH de la solution à mesurer doit être compris entre 2.0 et 2.5
- La couleur de la solution à mesurer reste stable pendant un minimum de 60 minutes passé le temps de réaction indiqué plus haut.

❖ **Expression des résultats NO₂**

$$\text{NO}_2^- = \text{NO}_2\text{-N} \times 3.3$$

5.6.2. Nitrates (mg/l) NO₃ :

Les nitrates peuvent être produits par toutes les formes d'azote par un processus d'oxydation biologique. Afin de découvrir la méthode de détermination, consultez-le § "anions".

Il y a différents indicateurs de pollution organique pour les composés carbonés. Les composés carbonés peuvent provenir de diverses sources telles que les activités humaines, industrielles, agricoles et naturelles.

❖ **Réactifs**

- Solution de salicylate de sodium à 0,5 % (à renouveler tous les 24 h).
- Solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 30 %.
- Acide sulfurique (H₂SO₄) concentré.
- Solution d'hydroxyde de sodium et de tartrate double de sodium et de potassium, préparé comme suit : On pèse 400 g de NaOH et 60 g de tartrate double de sodium et de potassium pour 1 L d'eau distillée et on Laisse refroidir avant de compléter à 1 L. La solution est conservée dans un flacon de polyéthylène.
- Solution mère d'azote d'origine nitrique à 1000 mg/L. On pèse 0,722 g de KNO₃ pour 1 L d'eau distillée. On ajoute 1 ml de chloroforme.
- Solution fille d'azote nitrique à 0,005 mg/L. On prélève 1ml de la solution mère qu'on amène à 50 ml d'eau distillée.
- Solution mère d'azote d'origine nitrique à 1000 mg/L. On pèse 0,722 g de KNO₃ pour 1 L d'eau distillée. On ajoute 1 ml de chloroforme. - Solution fille d'azote nitrique à 0,005 mg/L. On prélève 1ml de la solution mère qu'on amène à 50 ml d'eau distillée.

❖ Etablissement de la courbe d'étalonnage

Numéro de standard	T	I	II	III	IV
Solution fille d'azote nitrique à (0,005 mg/l (ml)	0	1	2	5	10
eau distillée (ml)	10	9	8	5	0
Solution de salicylate de Na (ml)	1	1	1	1	1
Correspondance en mg/l d'azote nitrique	0	0,5	1	2,5	5

Tableau 03 : Préparation des solutions étalons pour NO₃⁻

❖ Mode opératoire

- On prend 10 ml de l'échantillon à analyser. Puis on ajoute 2 à 3 goutte de NaOH à 30 % et 1 ml de salicylate de sodium.
- On évapore à sec au bain marie ou à l'étuve 75-88 °C. (Ne pas surcharger ni surchauffer très longtemps) et on laisse refroidir. - Dans une deuxième étape, on reprend le résidu avec 2 ml H₂SO₄ on laisse reposer 10 min.
- Puis en ajoute 15 ml d'eau distillée et 15 ml de la solution d'Hydroxyde de sodium et le tartrate double de sodium et de potassium qui développe la couleur jaune.
- Enfin, la solution est dosée au spectrophotomètre à 415 nm.

❖ Expression des résultats

En se référant à la courbe d'étalonnage, on exprime les concentrations des NO₃⁻ des échantillons en milligramme par litre d'eau.

5.6.3 Azote ammoniacal selon la norme : unité : mg/l NH₄

L'azote ammoniacal (NH₄) présent dans une eau est le signe d'une dégradation partielle de la matière organique. Une première approche consiste à utiliser une réaction colorée et à effectuer un dosage en spectrophotométrie d'absorption moléculaire. Pour les eaux de consommation et les eaux de rivières, elle permet de réguler des concentrations faibles.

Dans les eaux industrielles ou résiduaires, une autre méthode de dosage permet de mesurer des concentrations plus élevées en utilisant un dosage volumétrique après avoir été entraîné à la vapeur en milieu basique. La suite de l'analyse consiste en un dosage titrimétrique à l'aide d'un acide titré.

❖ **Mode opératoire :**

- 5 ml Echantillon préparé (20-30°C) pipeter dans une éprouvette
- Réactif NH4-1 (20-30 °C) 0.60 ml ajouter a la pipette et mélanger
- Réactif NH4-2 1 micro cuiller (dans le bouchon du flacon NH4-2 ajouter et agiter vigoureusement jusqu'à dissolution totale du réactif
- Laisser reposer 5 minutes (temps de réaction A)
- Réactif NH4-3 ajouter 4 gouttes et mélanger
- Laisser reposer 5 minutes (temps de réaction B). Puis introduire l'échantillon dans la cuve et mesurer dans le photomètre

❖ **Remarque concernant la mesure :**

- Selon le type de potomètre, il est nécessaire de préparer un échantillon à blanc (comme l'échantillon à mesurer, mais avec de l'eau distillée à la place de l'échantillon)
- Les cuves utilisées pour la mesure photométrique doivent être propres les essuyer le cas échéant avec un chiffon sec et propre.
- Les troubles éventuels se développent après la réaction donnent des résultats trop élevés
- Les échantillon exempts d'ammonium virent au jaune après addition du réactif NH4-3
- Le ph de solution à mesurer doit être env. 12.5
- La couleur de la solution à mesurer reste stable pendant un minimum de 60 minutes passé le temps de réaction B indiqué plus haut.
- A des concentration d'ammonium supérieures à 100mg/l, d'autres produits des réactions se forment et on obtient des résultats trop faibles. Dans ce cas, il est conseillé d'effectuer un contrôle de plausibilité des résultats par la dilution de l'échantillon.
- $\text{NH}_4^+ = \text{NH}_4\text{-N} \times 1.3$

5.6.4. Ortho phosphates (mg/l) PO₄,❖ **Mode opératoire :**

- Echantillon préparé (10-40°C) pipeter dans une éprouvette
- Réactif PO₄ 1.2 ml ajouter à la pipette et mélanger
- Introduire l'échantillon dans la cuve et mesurer dans le photomètre

❖ Remarque concernant la mesure

- Remarques concernant la mesure :
- De photomètre, il est nécessaire de préparer un échantillon à blanc (comme l'échantillon à mesurer, mais avec de l'eau distillée à la place de l'échantillon).
- Les cuves utilisées pour la mesure photométrique doivent être propres. Les essuyer le cas échéant avec un chiffon sec et propre.
- Les troubles éventuels se développant après la réaction donnent des résultats trop élevés.
- Le pH de la solution à mesurer doit être compris entre 0,5 et 1,0.
- La couleur de la solution à mesurer reste stable pendant un minimum de 60 min

$$\text{❖ } \text{PO}_4^- = \text{PO}_4\text{-P} \times 3.07$$

5.6.5. Sulfates (SO₄⁻²) :

❖ Principe

Les sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique à l'état de sulfate de baryum. Les suspensions homogènes sont mesurées au spectromètre. $\text{BaCl}_2 + \text{SO}_4^{-2} \rightarrow \text{BaSO}_4 + 2\text{Cl}^-$

❖ Réactifs

Solution mère de sulfates de sodium à 1000 mg/L : On pèse 1,47 g de Na₂SO₄ pour 1L d'eau distillée. Solution stabilisante : 60 ml d'acide chlorhydrique

- 200 ml d'éthanol
- 150 g du chlorure de sodium
- Eau distillée q.s.p 1000 ml. Solution de chlorure de baryum : 150 g du chlorure de baryum
- 5 ml d'acide chlorhydrique
- Eau distillée q.s.p 1000 ml.

❖ Matériel

L'instrument de mesure utilisé est un spectrophotomètre de marque PhotoLab Spektral-WTW

❖ **Etablissement de la courbe d'étalonnage**

Numéro des fioles	T	I	II	III	IV
Solution mère à 1g/l	0	1	2	3	5
Q.S.P(ml)	100	100	100	100	100
Solution stabilisante (ml)	5	5	5	5	5
Solution de chlorure de baryum	2	2	2	2	2
Agitation pendant 1 minute					
Correspondance en mg/l de SO₄⁻²	0	10	20	30	50

Tableau 04 : solutions étalons pour SO₄⁻²

❖ **Mode opératoire**

On prend 20ml d'eau à analyser puis en complète à 100 ml d'eau distillée. On ajoute 5 ml de la solution stabilisante, et 2 ml de chlorure de baryum ; en agite énergiquement pendant 1 min. Enfin, on lit l'absorbance au spectrophotomètre à $\lambda=420\text{nm}$

❖ **Expression des résultats**

La courbe donne directement la teneur des sulfates exprimée en milligramme de SO₄⁻² par litre d'eau.

5.7. Mesure de sodium et de potassium

a) Principe

La photométrie à flamme repose sur le fait que les composés des métaux alcalins et alcalino-terreux peuvent être dissociés thermiquement dans une flamme et que la plupart des atomes produits sont excités à un haut niveau d'énergie. Lorsque ces atomes retournent à l'état initial, ils émettent des radiations dans le spectre visible. Chaque atome émet une radiation à une longueur d'onde spécifique de cet élément (PFP7).

b) Matériel

L'appareil utilisé est un photomètre à flamme d'émission de marque PFP7 à lecture digitale directe,



Figure 15 : Photomètre à flamme PFP

c) Réactifs

❖ Solution étalon chlorure de sodium

0,634 g de chlorure de sodium l'eau distillé dans une fiole jaugée de 500 ml.

❖ Solution étalon chlorure de potassium

Nous avons opéré de la même façon qui pour le sodium en utilisant 0,477 g de chlorure de potassium Kcal au lieu de NaCl.

d) Mode opératoire

Les instructions du constructeur ont été suivies pour la mise en œuvre de l'appareil le détail des opérations de démarrage (débits de gaz et conditions de flamme), la stabilisation de l'appareillage, les conditions de mesure, de rinçage (système aspiration/nébulisation) et arrêt (jenway PFP7).

❖ Le dosage des éléments Na⁺ et K⁺ se fait comme suit :

La sélection de la longueur d'onde propre à l'élément (589 nm pour le sodium et 766 nm pour le potassium)

Ajustement de la largeur de fente et de la gamme de sensibilité

Réglage des pressions et des débits des gaz

Mesure les intensités d'émission en aspirant les différents étalons suivis des échantillons.

➤ REMARQUES

Si l'échantillon contient des matières en suspension, un filtrage est nécessaire pour éviter l'encrassement capillaire et du brûleur. Pour le stockage des solutions :

On évite la lumière.

Les solutions sont gardées à une température à 25 °C

Les flacons en verre sont à éviter.

e) Etablissement des courbes d'étalonnage

1) Elément Sodium

Tableau05– Préparation des solutions étalons pour le dosage du sodium

Na		Concentration	10	20	30	40	60
		Absorbance	25	41	56	63	84

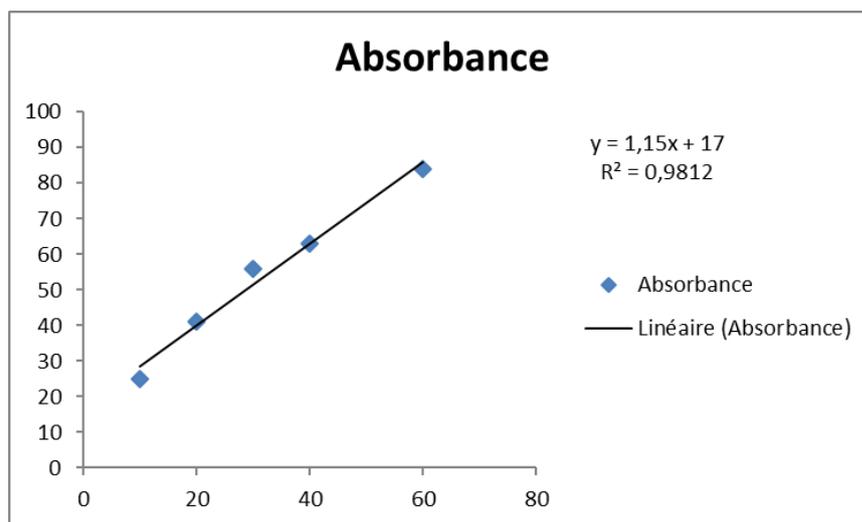


Figure16 : Courbe d'étalonnage de l'élément sodium

2) Elément Potassium

Tableau 06– Préparation des solutions étalons pour le dosage du potassium

K		Concentration	5	10	15	20	25
		Absorbance	8	16	23	29	35

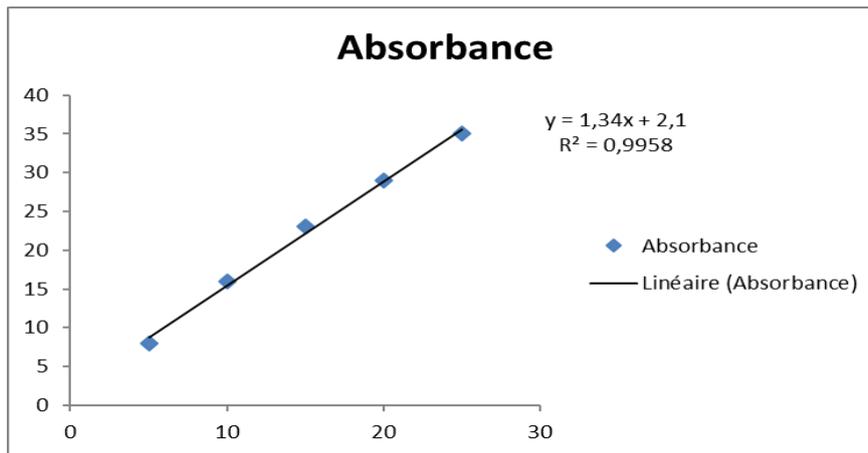


Figure17 : Courbe d'étalonnage de l'élément potassium

f) Expression des résultats

La courbe donne directement les teneurs de sodium et de potassium exprimée en milligramme de chaque ion Na⁺ et K⁺ par litre d'eau.

5.8. MES

1. Principe :

L'eau est filtrée et le poids de matières retenues par le filtre est déterminé par pesée différentielle.

2. Matériel :

Disporalon sous vide ou sous pression (rampe).

-membranes de filtration.

Etuve réglable.

3. MODE OPERATOIRE :

- Mettre les membranes filtrantes dans une étuve à 105c pendant 20 mn.
- Laisser refroidir dans le dessiccateur.
- Ensuite les peser soit P₁ : poids des membranes avant filtration.
- Placer les membranes dans la rampe à filtration et faire passer 200 ml d'eau à analyser à travers
- Rendre les membranes à l'étuve (105c) afin de les sécher pendant 20mn.
- Les laisser refroidir au dessiccateur puis les peser une 2 fois soit P₂ poids des membranes après filtration.

❖ Expression des résultats :

(12P)

$$\text{MES (Mg/L)} = (p_1 - p_2) \times 5 \times 1000$$

P_1 : poids des membranes avant filtration.

P_a : poids des membranes après filtration.

6. Application des indices de qualité de l'eau d'irrigation et des techniques statistiques multi variées

La qualité de l'eau d'irrigation se rapporte principalement à la composition physico-chimique de l'eau, ou plus précisément à la composition minérale de l'eau et à la présence de substances solides ou organiques dans l'eau. Les propriétés chimiques et physiques (turbidité, présence d'algues, etc.) D'autre part la qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation est un paramètre essentiel pour le rendement des cultures, le maintien de la productivité du sol et la protection de l'environnement. Ainsi les propriétés physiques et chimiques du sol, telles que sa structure (stabilité des agrégats) et sa perméabilité, sont très sensibles aux type d'ions potentiellement échangeables présents dans les eaux d'irrigation.

6.1 L'indice de la qualité de l'eau (IQE)

L'indice de la qualité de l'eau (IQE) est un critère d'évaluation appliqué pour interpréter la qualité générale des eaux d'irrigation échantillonnées à un endroit particulier. Il quantifie différents paramètres de l'eau en une seule valeur pour faciliter l'interprétation de sa qualité (Tyagi et al. 2013). Il existe des quantités considérables de méthodes WQI utilisées dans d'autres pays après la WQI pionnière développée par Horton (1965) aux États-Unis. Dans cette.

Il indique le rôle de chaque paramètre sur la qualité globale de l'eau. L'IQE a été estimé sur la base de 6 paramètres sélectionnés avec un poids (W_i) attribué à chaque paramètre dans l'ordre de 1 à 5 (tableau 3) (Meireles et al. 2010). Le SO_4^{2-} et le Cl^- ont reçu 5 car les deux paramètres sont très importants pour l'évaluation de la qualité de l'eau tandis que le magnésium (Mg^{2+}) étant moins nocif, un poids minimum a été attribué. Le poids relatif (W_i) est calculé pour chaque paramètre en utilisant l'équation suivante (1).

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (1)$$

Où,

W_i : poids relatif,

w_i : poids attribué,

n : nombre de paramètres

Un autre Q_i (échelle d'évaluation de la qualité) de chaque paramètre est calculé comme standard donné par BIS et a été multiplié par 100 comme indiqué dans l'équation (2).

$$Q_i = \left(\frac{C_i}{S_i} \right) \times 100$$

Où,

C_i : concentration du paramètre particulier en mg L⁻¹, et S_i : concentration standard telle que donnée par BIS en mg L⁻¹ (BIS2012) pour le paramètre spécifique

WQI (4), a été estimée en calculant le premier sous-indice (SI_i) par l'équation (3) pour le nombre de paramètres chimiques (n)

$$SI_i = W_i \times Q_i \quad (3)$$

$$WQI = \sum SI_{i=n} \quad (4)$$

Où,

W_i : poids relatif du i ème paramètre, Q_i : échelle d'évaluation de la qualité du i ème paramètre,

Tableau 7 : Valeurs des poids et poids relative des paramètres.

Paramètres	Norme (OMS 2017)	Poids (wi)	Poids relatif (Wi)
pH	7.5	3	0.133
CE	1500	3	0.100
TDS	100	3	0.133
Na ⁺	200	2	0.066
K ⁺	30	1	0.066
Ca ⁺	200	2	0.066
Mg ⁺	150	2	0.066
Cl ⁻	250	5	0.100
So ₄ ⁻	250	5	0.100
NO ₃	50	4	0.166
		Σwi= 30	

6.2 Taux d'absorption de sodium (SAR) :

Le sodium est l'un des actions les plus étudiés, en raison de ses effets toxiques sur les cultures et de ses effets bien connus sur la texture des sols. Une concentration élevée de sodium disperse les particules colloïdales du sol, ce qui rend le sol dur et résistant à la diffusion de l'eau. La pression osmotique dans le sol s'accumule alors et provoque des complications dans l'absorption de l'eau par les racines des plantes (**Richards, 1954**). Le SAR est exprimé par la formule 7 (**Raghunath, 1987**), où les valeurs de Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ sont en méq/l.

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (7)$$

(Raghunath (1987); meq L⁻¹)

6.3 Pourcentage de sodium soluble : SSP

La présence de sodium (Na^+) dans l'eau d'irrigation réagit avec le sol pour réduire la perméabilité et ses utilisations répétées rendent le sol imperméable, tandis que le sodium élevé conduit au développement de sols alcalins. Une forte saturation en sodium entraîne également une carence en calcium. L'irrigation fréquente avec de l'eau à haute teneur en sodium (Na^+) pendant une durée considérable rend le sol plastique et collant à l'état humide et forme des mottes et de la croûte à l'état de séchage. En revanche, la présence de sels de calcium ou de magnésium dans l'eau d'irrigation retarde l'effet néfaste du sodium en augmentant la perméabilité des sols (Lal and Arnold 1985) et (Asaduzzaman 1985). Le SSP est défini par l'équation suivante : (Todd., 1995).

$$\%Na = \frac{Na^+ + K^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+} \times 100 \quad (\text{Todd (1995); meq L}^{-1}) \quad (6)$$

6.4 Indice de Kelly : KI

Selon l'indice de Kelly (KI), les eaux sont classées à des fins d'irrigation. Le sodium mesuré par rapport au calcium et au magnésium est pris en compte pour le calcul de ce paramètre (Nag, 2014). Un rapport de Kelley (KR) de plus d'un indique un niveau excessif de sodium dans les eaux (Deshpande et Aher, 2012). Le KR est défini par l'équation suivante :

$$KI = \frac{Na^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+}} \quad (\text{given by Kelly, 1951}). \quad (11)$$

6.5 Indice de perméabilité : PI

Problème de perméabilité liée à la qualité de l'eau se produit lorsque le taux d'infiltration d'eau dans et à travers le sol est réduit par l'effet de sels spécifiques ou le manque de sels dans l'eau à tel point que la culture n'est pas suffisamment approvisionnée en eau et le rendement est réduit. En outre, les carbonates et les bicarbonates peut également affecter la perméabilité du sol et doit être évalué. Le négatif l'influence du sodium sur la perméabilité du sol a été de nombreuses années. Mais dans de nombreux cas, l'évaluation du sodium l'influence seule a prouvé être

dans l'erreur essentiellement. **(Rhoades and Merrill 1976)**. L'indice de perméabilité est donné par la formule suivante :

$$PI = \frac{Na^+ + \sqrt{HCO_3^-}}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+} \times 100 \quad (10)$$

(Doneen, (1964); meq L⁻¹)

Chapitre 03

Résultats et Discussions

1. Paramètres physico-chimiques

1.1. La température de l'eau

La température parfois élevée des eaux thermo minérales dépend de plusieurs facteurs qui sont successivement : Les réactions chimiques exothermiques, La désintégration des minéraux radioactifs, Le gradient géothermique ou Les mouvements de l'écorce terrestre

L'analyse des résultats montre que les eaux thermales de Hammam Debagh ont des températures qui varient de 71°C (complexe entrée) à 23°C (station S1 au niveau de Châabet Cheddakha), avec un *écart-type* de 1.025°C et une moyenne de 39.96°C supérieure à la valeur limite impérative de 25°C (**Jordap**) pour les eaux douces superficielles destinées à l'irrigation. Si nous regardons la figure 18, nous remarquons qu'environ 90 % des valeurs de la température de l'eau enregistrées dans diverses stations dépassent la valeur autorisée. Ces eaux ortho thermales (température comprise entre 37°C et 45°C) selon la classification de Verdeil (1982), proviennent directement de plus de 10 sources thermales, dont la moitié est située au-dessus du plateau de la cascade. La température de l'eau est de 97 degrés Celsius. C'est la deuxième eau la plus chaude du monde après Geysir en Islande. Les sources thermales coulent le long du versant oriental de Châabet Cheddakha, s'étendant sur une distance de 6 km, depuis les hauteurs de la zone Skhouna dans la commune de Houari Boumediene jusqu'à l'embouchure du Châabet avec l'Oued Bouhamdane.

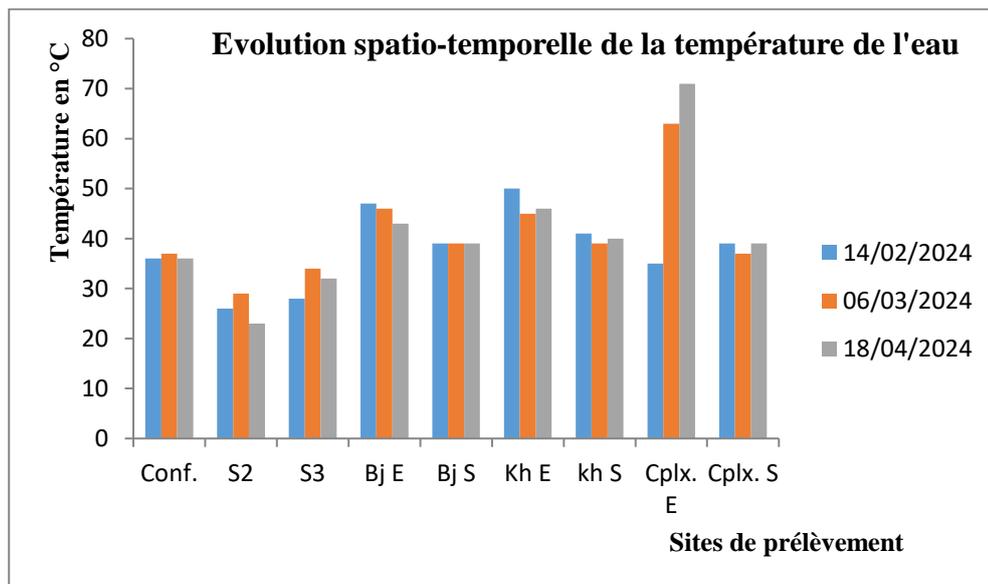


Figure 18 : Evolution spatio-temporelle de la température des eaux thermales de H. Debagh

1.2. Le pH de l'eau

Le pH de l'eau dépend de la nature lithologique du terrain traversé, il intervient dans la détermination des conditions de gisement de l'eau ainsi dans le domaine de son utilisation. Dans les eaux thermales de Hammam Debagh, le pH varie de 8,2 à 7,47 (figure 19), avec une valeur moyenne de 7.82 et un *écart-type* de 0.023. Ces valeurs indiquent que les eaux sont légèrement alcalines et tendent vers la neutralité. Le pH moyen est conforme à la valeur guide de 6.5-8.5 (**Jordap**) pour les eaux usées utilisées pour l'irrigation. A L'embouchure Châabet Cheddakha, la valeur moyenne du pH est de l'ordre de 7.96. Michard (**1977**) et plus tard Michard et Fouillac (**1980**), ont démontré la raison de la variation du pH avec la température, pour l'ensemble des eaux sulfurées sodiques pyrénéennes. Si son débit est suffisamment important, l'eau thermale est supposée évoluer dans un système fermé lors de sa remontée vers la surface, sans mélange ni interaction eau - roche. L'abaissement de température qui s'ensuit entraîne une modification de la répartition des espèces chimiques et en particulier un nouvel équilibre des différents couples acido-basiques contenus dans l'eau. Pour une zone d'émergence donnée, mais également parmi plusieurs zones thermales, on peut constater une augmentation du pH lorsque la température diminue.

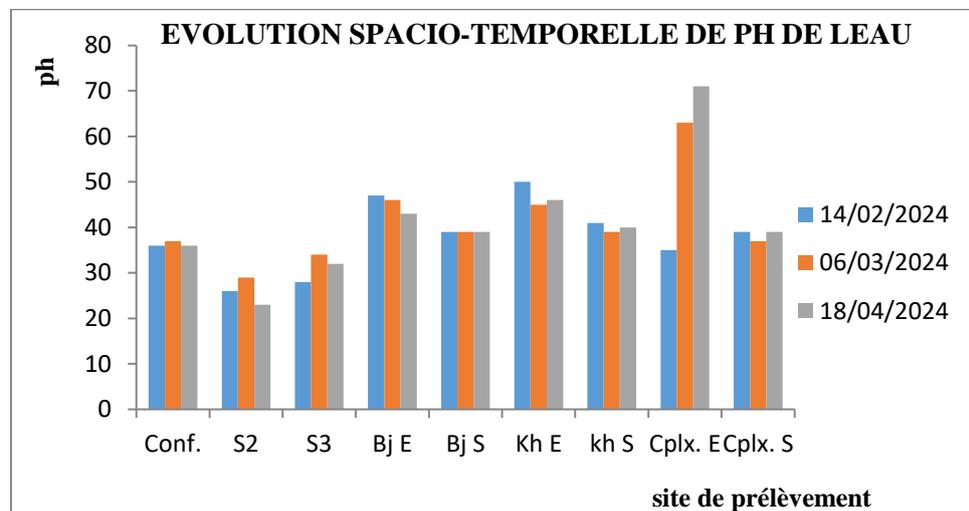


Figure.19 : Evolution spatio-temporelle du pH de l'eau

1.3.L'oxygène dissous :

L'oxygène dissous est une mesure de la quantité d'oxygène gazeux contenue dans l'eau. Indispensable au maintien de la vie dans l'eau, son suivi est primordial. Les teneurs en oxygène dissous enregistrées aux niveaux des différents sites de prélèvement durant la période d'étude fluctuent entre un maximum de 6.76 mg/l dans le site de Ben nadji entrée

et un minimum de 0.98 mg/l dans la confluence de chaabat Cheddakha avec l'oued Bouhamdane (figure 20). La moyenne enregistrée était de l'ordre de 4.02 mg/l avec un *écart-type* de 0.202. La concentration en oxygène dissous dans l'eau résulte de paramètres physiques (température, salinité, mélange de la masse d'eau), chimiques et biologiques : échanges à l'interface terre-eau (gain ou perte), diffusion et mélanges au sein de la masse d'eau, photo-oxydation (perte), respiration des organismes aquatiques (perte), nitrification (perte), photosynthèse (gain). En son absence ou en dessous de certaines concentrations, des conséquences pouvant aller jusqu'à la mort des espèces vivantes sont observées. Les faibles teneurs d'oxygène dissous enregistrées durant la présente étude peuvent s'expliquer par la température de l'eau assez élevée d'une part et d'autre part la soumission de ces eaux à des apports nutritifs ou organiques d'origine anthropique (tourisme/domestique, et urbaines,...) ou situées dans des zones d'accumulation de matières organiques. Deux niveaux critiques à partir desquels des effets sur la faune sont observés ont été mis en évidence (Guillaud & Souchu, 2001 dans Aminot & Kérouel, 2004).

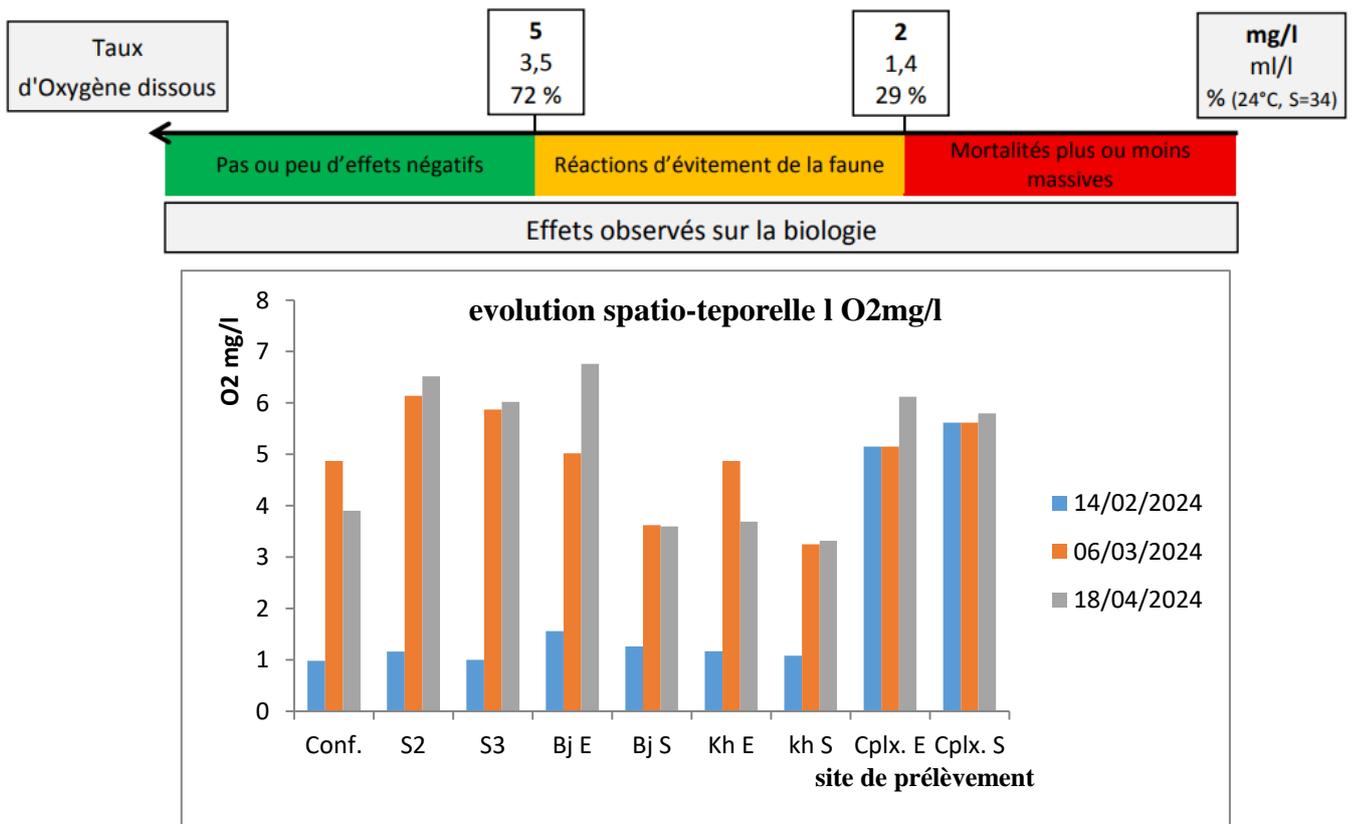


Figure.20 : Evolution spatio-temporelle de l'oxygène dissous dans l'eau

1.4. Le total des solides dissous TDS

Les valeurs de TDS (figure 21), qui tiennent compte des taux de minéraux présents dans l'eau, sont remarquablement plus considérables. Ces valeurs oscillent entre un maximum de 1566 à la station S1 au niveau de chaabet Cheddakha qui traverse l'agglomération de Hammam Debagh et 898 comme valeur minimale dans la station S2. Une moyenne de 1109.17 avec un *écart-type* de 18.28 sont enregistrés pour ce paramètre. Nos valeurs, qui dépassent la norme préconisée pour les eaux d'irrigation (600 mg/l), semblent moins élevées en comparaison avec celles prélevées dans les eaux thermales de la wilaya de Saida par **(Lakhdari F Et Bouaicha K, 2016)** dans trois sites qui sont Hammam Rabbi (2937.6 mg/l), Sidi aissa (1891.8 mg/l) et Ain skhouna (1215 mg/l)

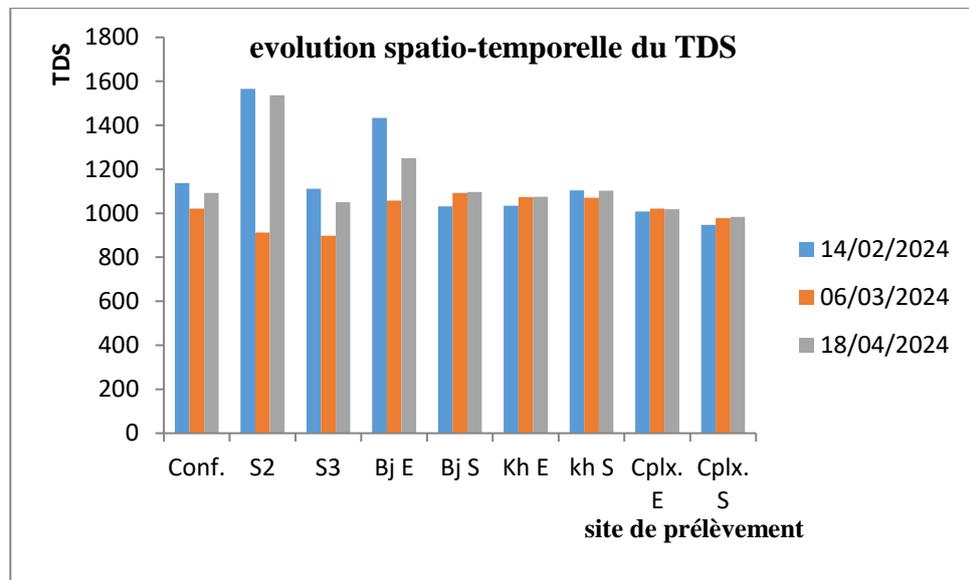


Figure.21 : Evolution spatio-temporelle du total des solides dissous TDS dans l'eau

1.5. La salinité de l'eau

Par définition la salinité est la quantité de sel dissout par kilo d'eau de mer. Elle s'exprime en PSU (Practical Salinity Unit) qui vaut 1 g de sel de Na^+Cl^- par kg d'eau de mer. La salinité varie entre un maximum à la station S1 de 1,62 et un minimum de 0.91 au niveau de S2 (figure 22) et ne dépasse pas la norme de 3%. Hsissou et al. (1996), Gouaidia et al. (2005 et 2006) et Kallergis (2005) ont montré que la salinité des eaux est contrôlée par les chlorures, le sodium et les sulfates. Les niveaux de chlorure et de sulfates retrouvés dans les échantillons de l'étude sont bas par comparaison aux valeurs normales. nos valeurs, toujours comparées avec celles de **(LAKHDARI F Et BOUAICHA K, 2016)**, semblent très proches de Hammam Rabbi (1.2), Sidi aissa (1.8) et Ain skhouna (1.1).

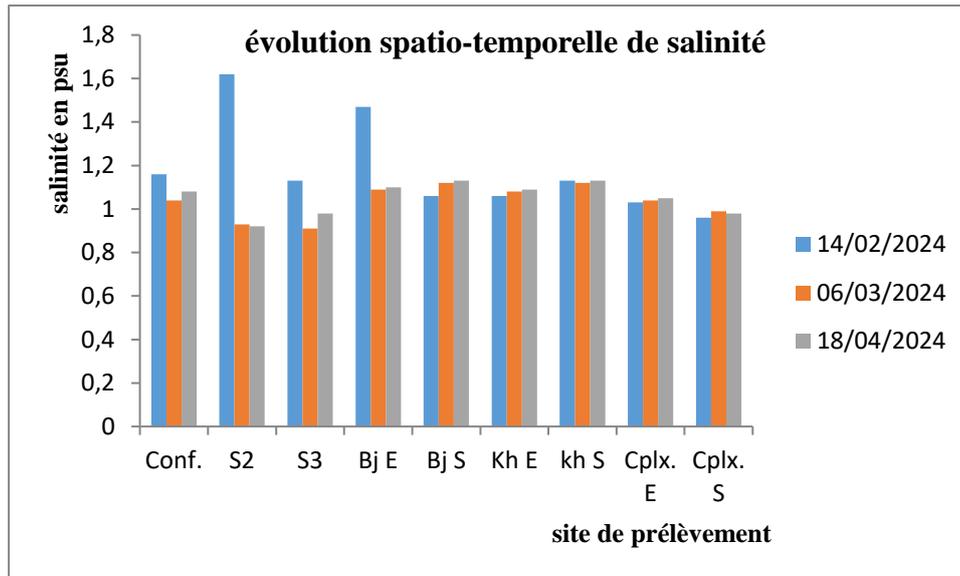


Figure.22 : Evolution spatio-temporelle de la salinité de l'eau

1.6.La demande biologique en oxygène DBO5

La DBO₅ exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation des matières organiques, avec le concours des microorganismes, dans des conditions données et sur une période fixée à cinq jours. La DBO constitue un bon indicateur de la pollution de l'eau. La DBO est une mesure indirecte de la matière organique biodégradable dans l'eau. Donc ce paramètre physico-chimique permet la détection de cette matière polluante. Les valeurs de la DBO₅ enregistrées durant la période d'étude au niveau des différents sites ont pour moyenne 13.86. Et *écart-type* 1.24 selon la figure 9, le maximum est observé au niveau de la station du bain thermique Kharchiche à la sortie 44 mg/l, tandis que le minimum est mesuré dans le même site mais à l'entrée 3 mg/l.

Par ailleurs, la concentration en oxygène dissous est fonction de l'utilisation de l'oxygène par l'activité des microorganismes et les processus d'oxydation et de dégradation de la matière organique présente dans l'eau (IBGE, 2005).

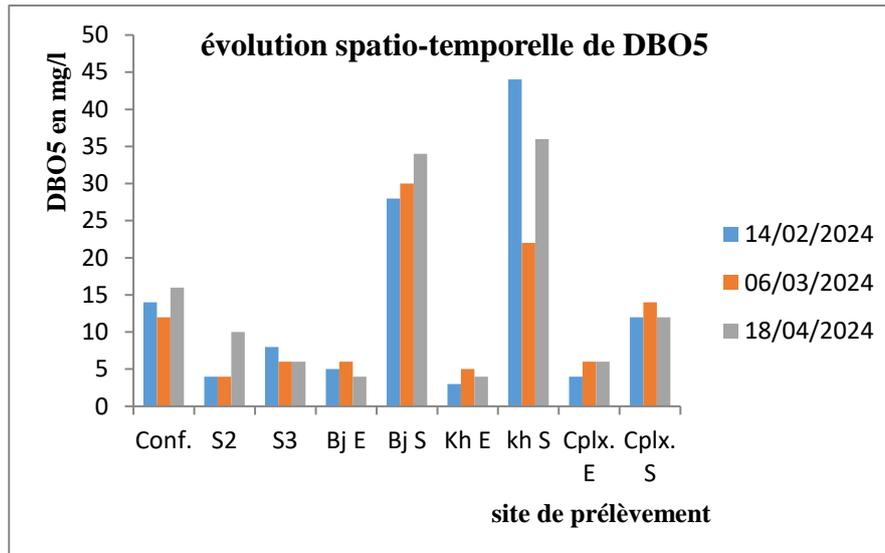


Figure.23 : Evolution spatio-temporelle de la demande biologique en oxygène DBO5

1.7. Les nitrites de l'eau en mg/l

Les nitrites et les nitrates sont des composés intermédiaires du processus de nitrification ou de dénitrification. Ils sont associés du fait que la transformation de l'un en l'autre s'opère par des bactéries (nitrobacters) du sol et de l'eau. Les nitrates proviennent de l'oxydation complète de l'azote organique sous l'action de bactéries nitrifiantes et les nitrites de l'oxydation incomplète sous l'action des Nitrosomonas. Les valeurs obtenues pour les nitrites semblent être faibles. Les teneurs enregistrées pour cet élément varient de 3.215 mg/l comme maximum à l'entrée du complexe et 0.165 mg/l à l'entrée du bain de Kharchiche. De toutes les façons, les teneurs moyennes en nitrites 0.87 mg/l, elles ont été très faibles dans les eaux des différents sites de prélèvement (figure 24), ce qui témoigne de l'absence de toute source de pollution. De plus, les teneurs en cet élément restent très inférieures aux valeurs maximales admissibles par les normes algérienne, françaises ou par l'O.M.S. Sachant que la région d'étude est située dans une région agricole et touristique, les faibles teneurs en ces éléments justifient les origines très profondes de leurs eaux.

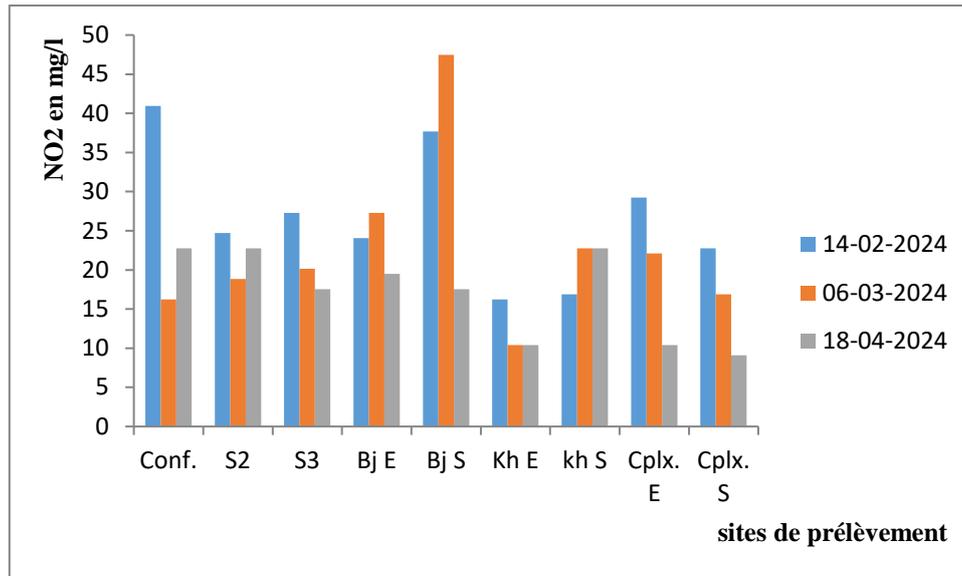


Figure 24 : Evolution spatio-temporelle des nitrites des eaux thermales de H. Debagh

1.8. Les nitrates de l'eau en mg/l

Ils constituent le composé final du cycle d'oxydation de l'azote. Leur toxicité pour l'homme réside dans le fait qu'ils se transforment facilement en nitrites par dénitrification. Les valeurs de nitrates enregistrées dans la zone d'étude (figure 25) fluctuent entre un maximum de 8.61 mg/l à l'entrée du bain Kharchiche et un minimum de 0.265 mg/l au site S2 au niveau de chaabet Cheddakha. Ainsi la teneur moyenne obtenue pour cet élément était de l'ordre de 1.70 mg/l avec un écart-type de 0.2 et qui demeure très éloignée en dessous de la norme algérienne prescrite pour l'irrigation 50 mg/l. Nos valeurs ont été comparées avec celles obtenues par **(Boudoukha, A. & Athamena, M. 2012)** dans leur étude sur les eaux thermales de l'ensemble Sud sétifien comportant six sites et qui varient à leur tour de 0.48 à 1.9 mg/l. Par ailleurs, le circuit des eaux thermales est généralement assez long, aussi les eaux

Thermales sont généralement exemptes de contaminants tels que les nitrates et les produits xénobiotiques.

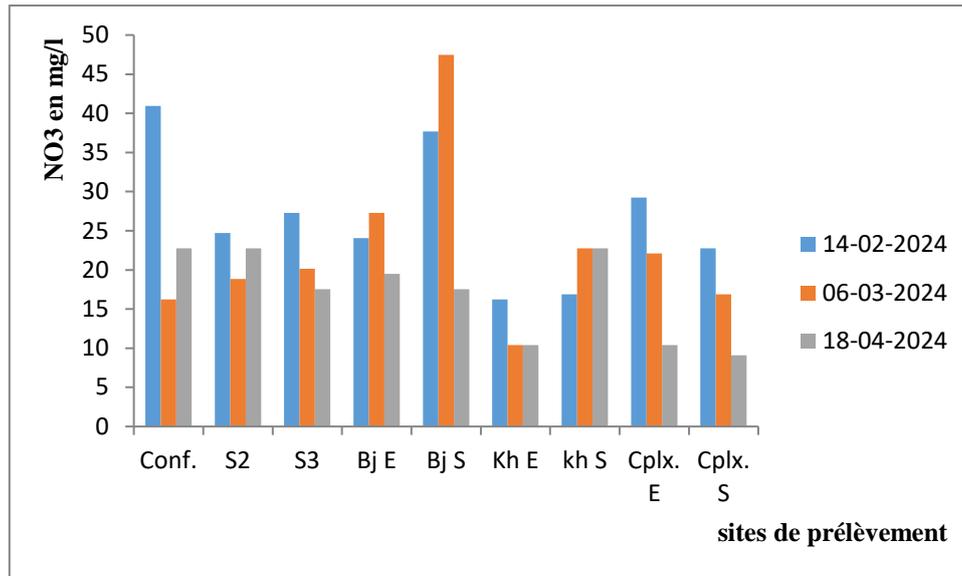


Figure 25 : Evolution spatio-temporelle des nitrates des eaux thermales de H. Debagh

1.9.L'azote ammoniacal (NH_4^+) de l'eau en mg/l

L'azote ammoniacal se présente sous la forme toxique NH_4^+ . Sa présence dans les eaux traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique, l'azote ammoniacal se transforme assez rapidement en nitrites et nitrates par oxydation. Les teneurs obtenues pour le NH_4 fluctuent entre un maximum de 5.23 mg/l au point de la confluence de chaabet Cheddakha avec l'oued Bouhamdane et un minimum de 0.182 mg/l à la sortie du complexe thermale. La valeur moyenne de 1.92 ± 0.17 mg/l semble être significativement supérieure à la valeur norme qui est de l'ordre de 0.5 mg/l. Nos valeurs sont également comparées avec celles obtenues par **(Lakhdari F & Bouaicha K, 2016)** pour les sites de la wilaya de Saida : Hammam Rabbi, Sidi aissa et Ain skhouna qui sont respectivement 0.023, 0.02 et 0.037 mg/l.

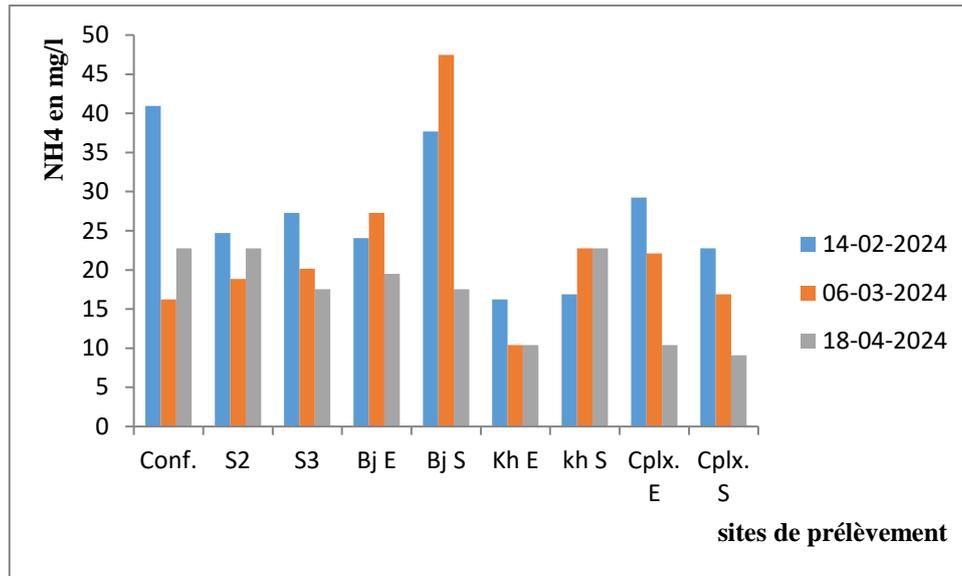


Figure 26 : Evolution spatio-temporelle d'azote ammoniacal (NH_4^+) des eaux thermales de H. Debagh

1.10. Les phosphates de l'eau en mg/l

Ils peuvent avoir pour origine la dégradation de la matière organique. Le lessivage des terrains agricoles. Et les rejets industriels. Ils sont responsables de l'accélération du phénomène d'eutrophisation des eaux superficielles (**Rodier et Coli, 2005**). - L'évolution temporelle des orthophosphates des neuf sites révèle des teneurs assez élevées dans les eaux thermales qui oscillent entre un maximum de 12.15 mg/l à la sortie du bain Kharchiche et un minimum de 4.36 mg/l à l'entrée du bain de Benadji. Une augmentation des teneurs dans le point de confluence en aval a été enregistrée également au cours des mois mars et avril, ceci pourrait être lié au lessivage des sols causés par les crues (**El Addouli J, 2010**) ou aussi aux origines urbaines (composant des détergents). Nos résultats ont été comparés avec celles obtenues par (**Boulatrous B & Bounneche A, 2021**) dans leurs travaux de master sur quatre sources thermales Beni Haroune, Beni Guécha, Oueled achour et Zone Zouaoui et qui sont respectivement de l'ordre de 0.06, 0.11, 0.02 et 0.02 mg/l.

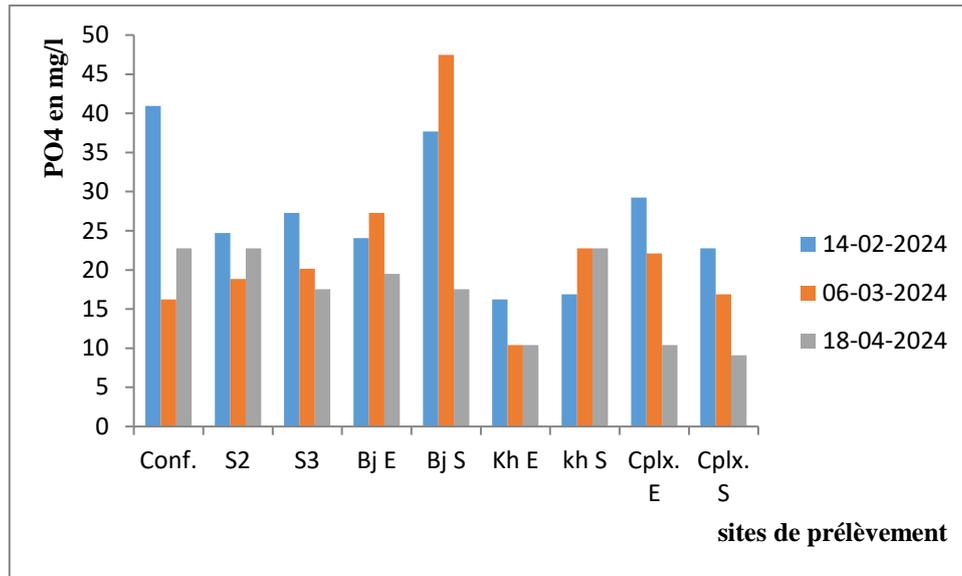


Figure 27 : Evolution spatio-temporelle des phosphates des eaux thermales de H. Debagh

1.11. Le titre hydrotimétrique (dureté totale) TH en °f

Dans la nature, le calcaire se trouve surtout sous forme de roche minérale, mais se dissout facilement dans l'eau, conférant à celle-ci une certaine "dureté". Cette caractéristique, qui équivaut à la teneur en calcium et en magnésium dissout dans l'eau, s'exprime en degrés français (°fH) ou en ppm m/V (ou mg/L) de CaCO_3 (HELLAL S, 2017). Elle résulte de la présence de cations bivalents (surtout le calcium Ca^{2+} et le magnésium Mg^{2+}). Une eau est dite douce lorsqu'elle est peu chargée en calcium et magnésium la somme des deux cations constitue le titre hydrométrique (TH) (Belmiloud M, 2013). Les teneurs de la dureté totale, enregistrées pour la présente étude, sont exprimées en degré français ($1^\circ\text{f} = 10 \text{ mg/l de } \text{CaCO}_3 = 4 \text{ mg/l de calcium ou à } 2,4 \text{ mg/l de magnésium}$), elles varient entre un maximum de 47.45°f à la sortie du bain Benadji et 9.1°f à la sortie du complexe thermale. La moyenne obtenue pour ce paramètre ($22.45 \pm 1.005^\circ\text{f}$) paraît être très élevée et permet de qualifier ces eaux dans la classe des eaux dures ($20^\circ\text{f} < \text{TH} < 30^\circ\text{f}$). Cette dureté très élevée nous laisse réfléchir que les eaux thermales de Hammam Debagh eaux peuvent être en contact avec des formations rocheuses contenant des cations (Mg^{2+} , Ca^{2+} , etc.) responsables de la dureté. En général, une eau dure n'est pas souhaitable pour l'usage domestique car elle réduit de beaucoup l'efficacité des savons. Par contre, en agriculture, une eau dure aide le sol à conserver une bonne structure par les ponts calciques. A contre partie, le calcium et le magnésium sont les deux principaux éléments qui causent des problèmes d'eau incrustante et qui peuvent progressivement obstrués les goutteurs par des dépôts calcaires.

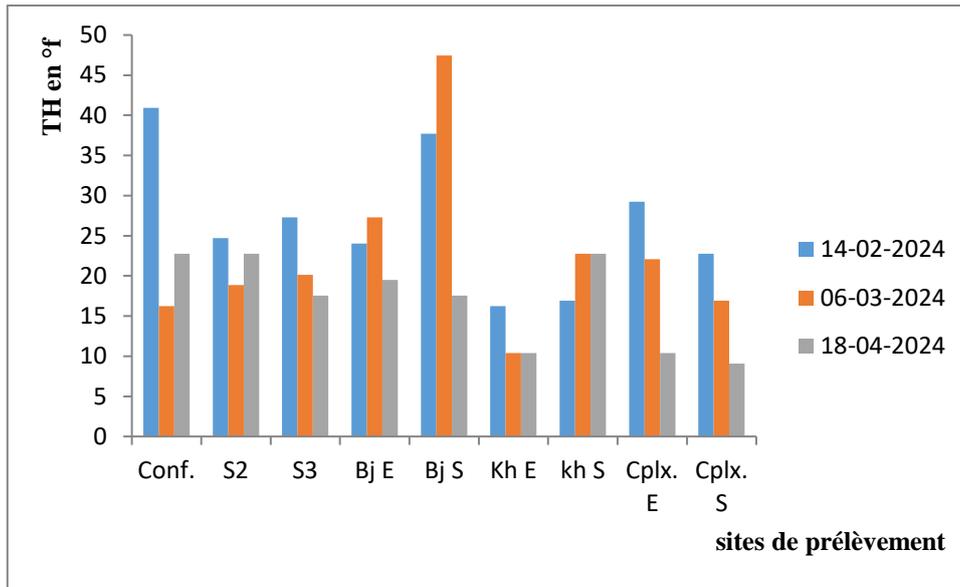


Figure 28 : Evolution spatio-temporelle de la dureté totale des eaux thermales de H. Debagh

2. Analyses des données par logiciels

Afin d'analyser ces données et de tirer le maximum d'informations en un temps réduit, il a été nécessaire d'utiliser des outils et des méthodes efficaces et rapides. Le logiciel DIAGRAMMES (Figure 29) développé par Roland SIMLER du laboratoire d'hydrogéologie d'Avignon est le principal outil utilisé. Il s'agit d'un logiciel libre d'hydrochimie qui simplifie l'utilisation des analyses d'eau. Ces fonctions sont diverses et exhaustives, voici quelques-unes d'entre elles :

- Les graphiques : - Piper-Stiff-Schoeller-Berkalov-Binaire-Korjinski-Rose des vents
- Les mesures effectuées : - balances ioniques - niveaux de cations - dureté - concentrations d'anions
- saturation (calcite, dolomite, aragonite, gypse) La totalité des fonctionnalités n'a pas été exploitée, mais ce logiciel se révèle être facile à utiliser. Ainsi, les graphiques de PIPER, WILCOX et de RICHARDS ont été créés en utilisant

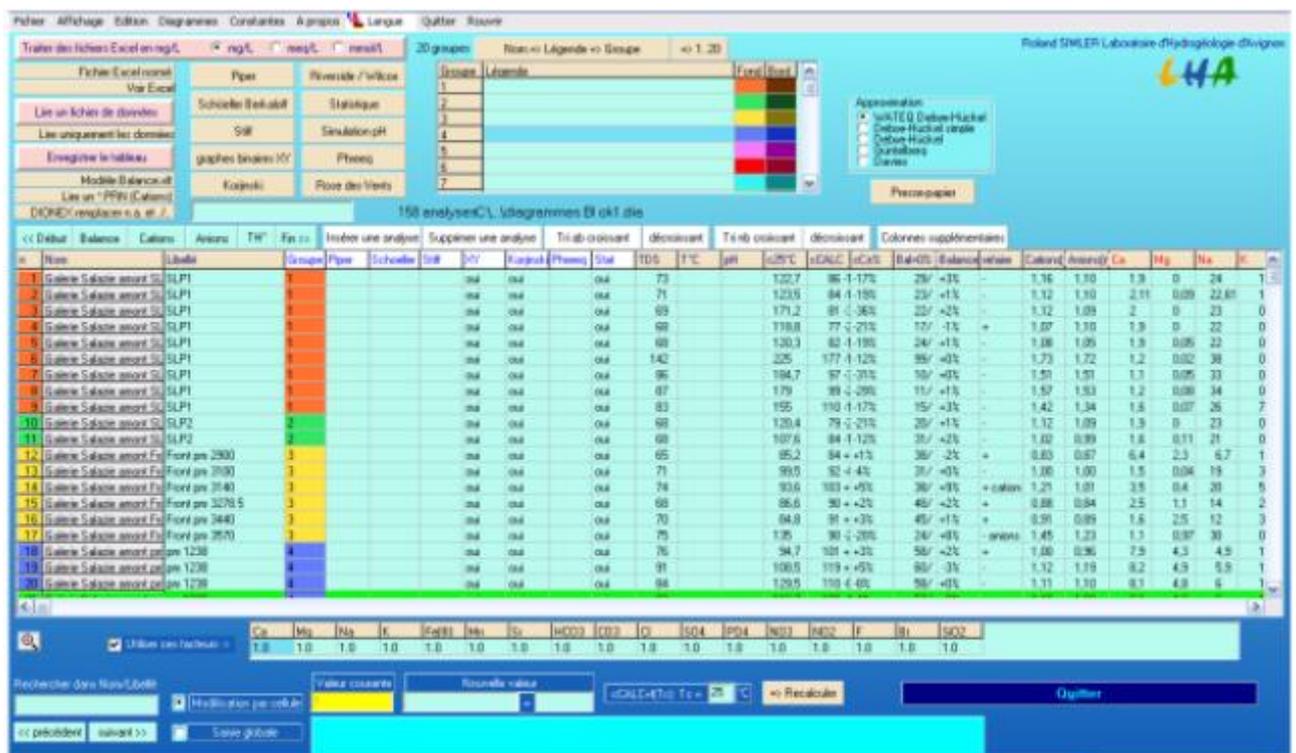


Figure 29. Interface de commande du logiciel Diagramme

1. Classification chimique des eaux thermales destinée à l'irrigation

2.1.1. Diagramme de Piper

Les données dans le champ triangulaire ont montré qu'il était dominant par Ca^{2+} suivi de Na^+ et K^+ . Mais dans le cas des anions, HCO_3^- était le type dominant suivi de Cl^- . Parmi les principaux cations, il a été observé que Ca^{2+} et Mg^{2+} étaient profondément présents dans les échantillons d'eau en tant qu'indicateurs de la dureté de l'eau. Le faciès est dû à la nature lithologique des formations traversées par les eaux (des formations calcaires et les argiles pour le magnésium). La comparaison des moyennes et des écart-types des éléments chimiques majeurs, pour les 27 échantillons des eaux prélevées, montre que les bicarbonates (Moy = 1306.66 mg/l) et le sodium (Moy = 280.8 mg/l) ainsi que le calcium (Moy = 194.89 mg/l) ont des valeurs moyennes prédominantes comparativement aux autres éléments majeurs, ce qui confirme la prédominance des deux faciès Bicarbonatée calcique et magnésienne et Bicarbonatée sodique et potassique ou sulfatée sodique

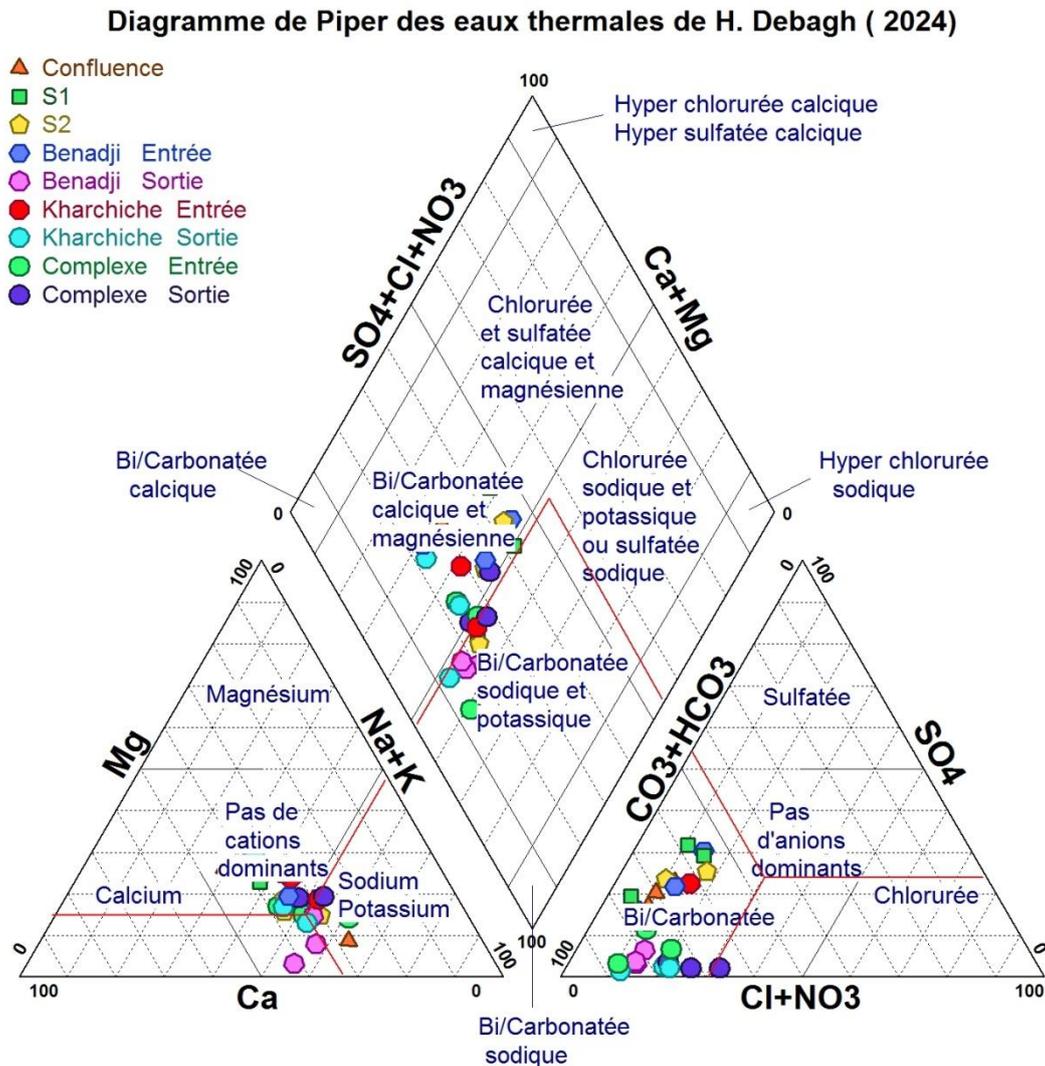


Figure 30 : Diagramme de Piper montrant les faciès hydrochimiques des eaux thermales de Hammam Debagh durant la période de (Fev, mars et avril 2024)

2.1.2. Classification des eaux destinées à l'irrigation selon le Diagramme de Wilcox

Wilcox, (1995) avait tracé un graphique entre Na% et EC pour comprendre leur effet combiné sur la qualité de l'eau d'irrigation et classé en cinq classes comme représenté sur la figure 31. Il est clair d'après le graphique que la majorité des échantillons étaient dans la classe médiocre. En général, ces eaux sont fortement minéralisées pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.

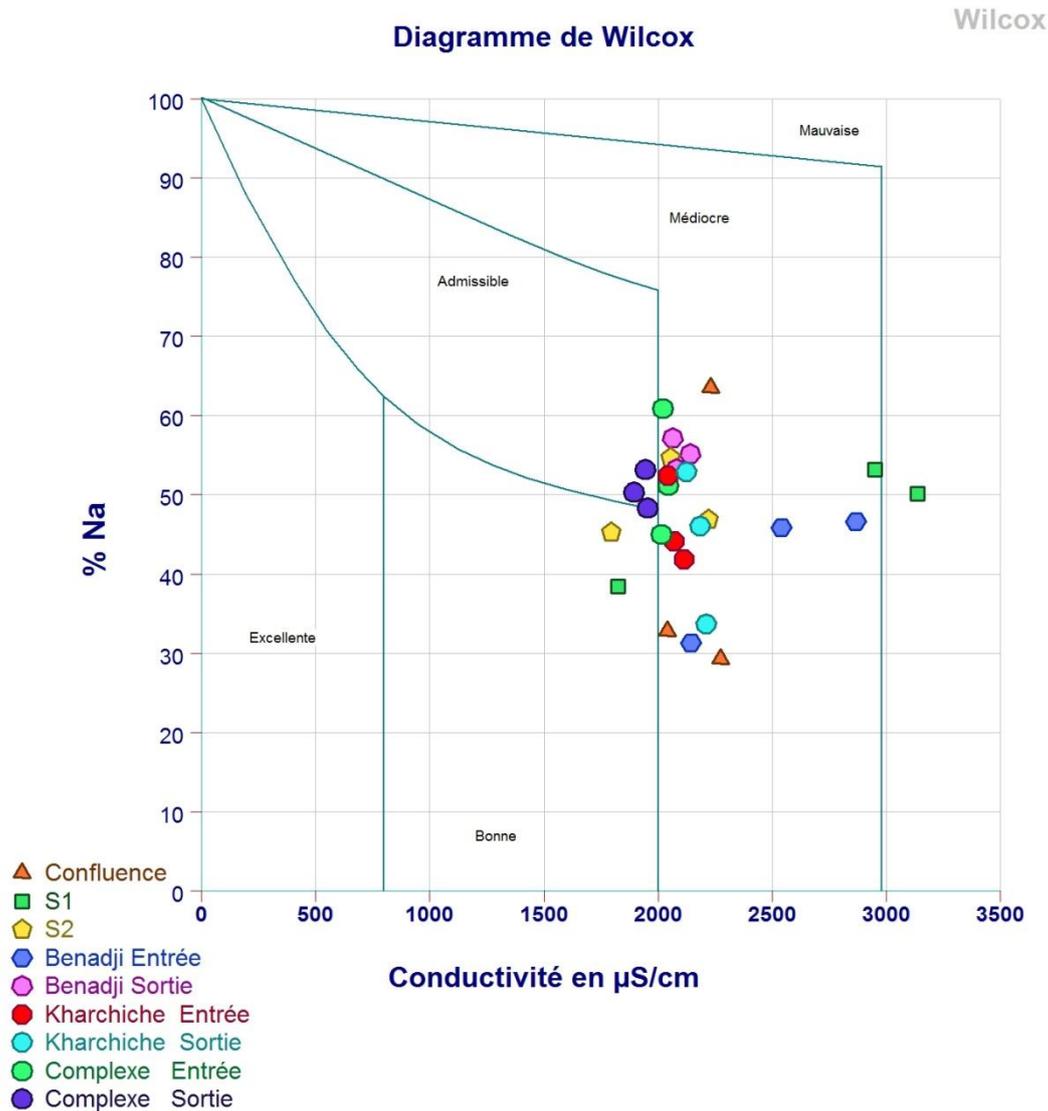


Figure 31 - Diagramme de classification des eaux d'irrigation (Wilcox 1955)

2.1.3. Classification des eaux destinées à l'irrigation selon le Diagramme de Richards

Ce diagramme de Richards propose quatre classes du SAR en fonction quatre classes de salinité exprimée par la conductivité électrique. En tenant compte de cette classification et après avoir reporté tous les points des différents sites sur le diagramme de Richards (1954) (figure 32), selon la conductivité électrique (CE) et la valeur de SAR, on a pu dégager la présence de trois classes C3S1, C3S2 et C4S2. La classe C3S1 et C3S2 désignent des eaux utilisables sans contrôle particulier pour l'irrigation de cultures moyennement tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés ou de bonne perméabilité. La classe C4S2, quant à elle, caractérise une fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés. Ces eaux ont des valeurs moyennes de la CE de $2203.68\mu\text{S}/\text{cm}$.

D'après Bremond et Vuichard (1973), au-delà de 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ l'eau est difficilement utilisable pour l'irrigation. Selon la FAO (1985), ces valeurs sont dans l'intervalle de restriction légère à modérée pour la qualité des eaux d'irrigation. Toute fois la qualité d'une eau d'irrigation ne peut être établie qu'en fonction du sol qui la reçoit et la culture à pratiquer (Rodier et al, 2005).

L'utilisation de l'eau d'irrigation saline a des effets néfastes sur les relations sol-eau-plante, parfois restreignant sévèrement l'activité physiologique normale et la capacité de production des cultures. Ces eaux d'irrigation restent utilisables avec certaines mesures de précautions comme le mélange des eaux d'irrigation avec une source moins salée, le lessivage des sels avec une augmentation de la dose d'irrigation ce qui permet lessivage des sels, l'installation des réseaux de drainages évacué les eaux, l'apport de la matière organique, la mises en cultures des plantes résistantes aux sels.

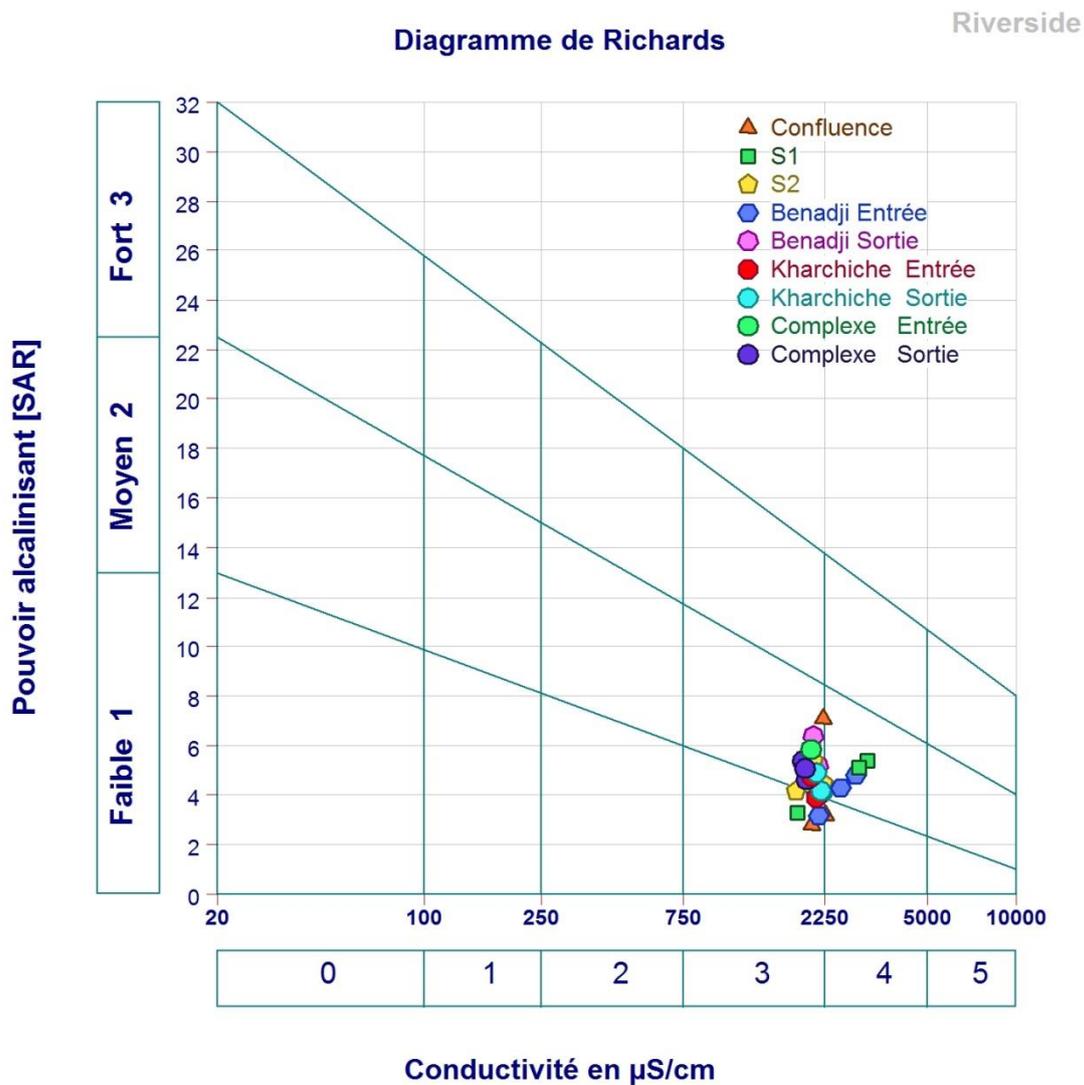


Figure 32 - Diagramme de classification des eaux d'irrigation (Richards, 1954)

3. Évaluation de la qualité de l'eau basée sur le calcul des indices

Mise à part les échantillons prélevés dans sites de prélèvement situés dans la Chaabet Cheddakha, Conf., S1 et S2, Qui ont enregistré des teneurs acceptables et ont été casés dans le niveau de restriction modéré pour ce paramètre IQE (figure 33), le reste des échantillons ont pris place dans le niveau de forte restriction. Ceci s'explique par la variation de la pluviométrie et du débit du Chaabet entre les différents mois de l'étude. Les concentrations élevées de la conductivité, le calcium et le sodium sont la cause des valeurs importante de l'indice IQE dans cette région



Figure 33 : Evolution spatio-temporelle de l'Indice de la Qualité de l'Eau IQE des différents sites

3.1 Pourcentage de sodium (%Na)

Le sodium fait partie des substances les plus désagréables présentes dans l'eau d'irrigation. Ce facteur est responsable de la détérioration de la roche et du sol, des infiltrations

d'eau de mer, des eaux traitées et des systèmes d'irrigation. Le principal souci avec une quantité importante de sodium réside dans son impact sur la perméabilité du sol et l'infiltration de l'eau. Le sodium agit comme un substitut du calcium et du magnésium qui sont adsorbés sur les particules d'argile et qui entraîne la dispersion des particules du sol. Ainsi, les agrégats du sol se brisent, ce qui entraîne un sol dur et compact lorsqu'il est sec et excessivement imperméable à l'eau. Les sols sableux peuvent être moins perméables que les sols plus lourds lorsqu'ils sont irrigués.

Le pourcentage de sodium varie entre 30 dans le point de confluence pendant le mois de février, et 65 dans le même site durant le mois d'avril. La figure 34 montre que 74.07 % ont été trouvés dans la catégorie admissible, et 18.51 % dans la catégorie bonne. Seuls 7.40 % du total des échantillons étaient dans la catégorie douteuse et jugés inapproprié pour l'irrigation. L'eau avec une CE et un pourcentage de Na⁺ élevés réduisent l'activité osmotique de la plante et restreignent par la suite l'absorption d'eau et de nutriments du sol. Lorsque ces sols sont soumis à l'irrigation avec des eaux riches en sodium (Na) échangeable, ce dernier peut se substituer aux ions alcalino-terreux des argiles et défloculer ces dernières, entraînant leur imperméabilisation (**Ayers and Westcot, 1994**).

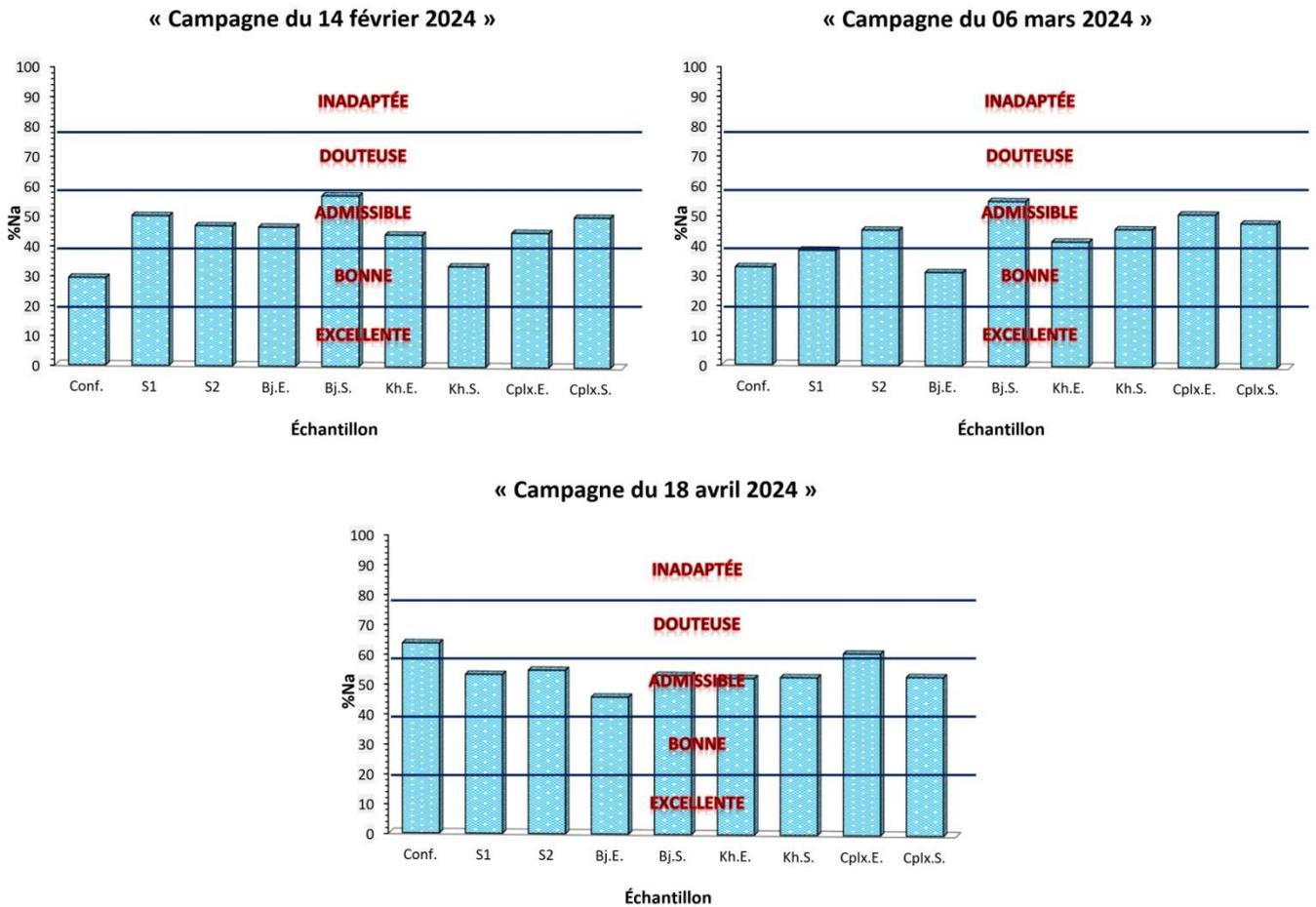


Figure 34 : Evolution spatio-temporelle du pourcentage de sodium (%Na) des différents sites

3.2 Le rapport de Kelly (KI)

Le rapport de Kelly (Kelly 1951) est défini comme le rapport Na^+ contre Ca^{2+} et Mg^{2+} . Pour le présent cas, il a été utilisé pour évaluer l'adéquation de l'eau pour l'irrigation. Sur la base de KI, 55.55 % des échantillons d'eau de la région d'étude ($kr < 1$) se sont révélés appropriés, les 44.44 % restants ne convenant pas à l'irrigation ($kr > 1$) (figure 35). Un rapport de Kelley (KR) de plus d'un indique un niveau excessif de sodium dans les eaux (Deshpande et Aher, 2012)

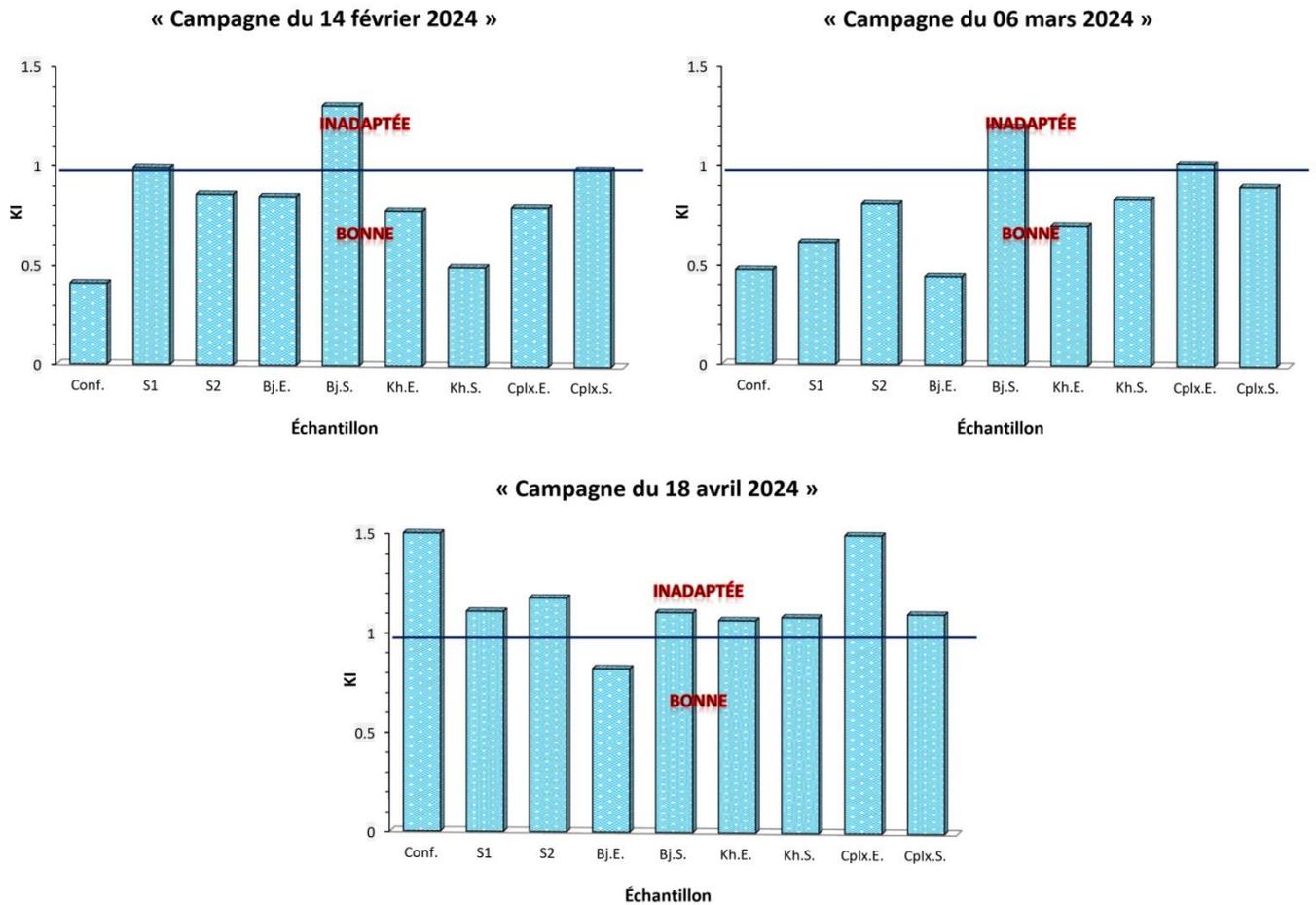


Figure 35 : Evolution spatio-temporelle de l'Indice de Kelly des différents sites

3.2 Indice de Perméabilité (PI)

La forte concentration de Ca^{2+} , Mg^{2+} , et Na^+ dans l'eau affecte la perméabilité du sol (Singh et al., 2020). Par conséquent, ces anions et cations ont été utilisés pour estimer l'indice de perméabilité de l'eau. Selon la classification de Doneen (1964), la classe I indique que l'eau d'irrigation est perméable à 100 %, la classe II désigne l'eau est marginalement appropriée pour l'irrigation et la classe III indique que l'eau n'est pas appropriée pour l'irrigation. D'après les valeurs de PI, la majorité de l'échantillon (96 %) appartenait à la classe II qui a été décrite comme bonne pour l'irrigation (figure 36). Aucun échantillon n'était dans la catégorie Classe III. En outre, les carbonates et les bicarbonates peut également affecter la perméabilité du sol et doit être évalué.

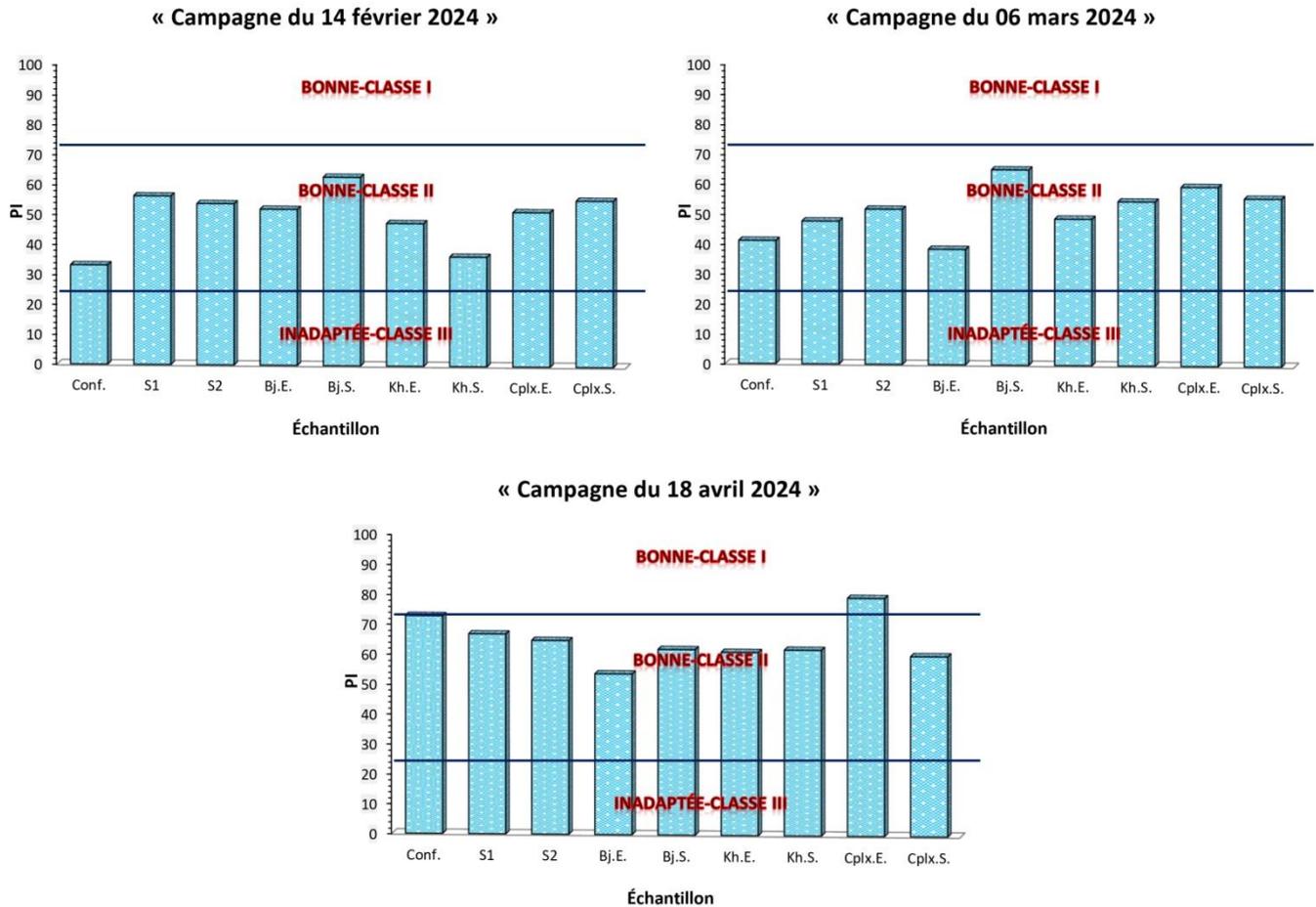


Figure 36: Evolution spatio-temporelle de l'Indice de Perméabilité (PI) des différents sites

3.3 Rapport d'Adsorption de Sodium SAR

Les principaux facteurs qui peuvent dégrader la qualité des eaux destinées à l'irrigation se résument donc à la concentration en sels dissous, exprimés par le résidu sec ou la conductivité électrique, la salinité potentielle, la concentration relative en sodium et la quantité des éléments toxiques (Bore et Chlore) présents dans l'eau. Pour le sodium, il a été reconnu que sa concentration dans les eaux d'irrigation a une influence sur la perméabilité et l'infiltration des sols. La présence de Na^+ a des effets néfastes sur la structure des sols par défloculation de l'argile. Cet effet est interprété par différents auteurs en calculant plusieurs paramètres tels que le SAR ou RAS.

Le SAR des échantillons prélevés se situe entre 3 et 8, comme le montre la figure 37. Tous les échantillons prélevés étaient d'excellente qualité et n'ont entraîné aucun risque alcalin. Toutes les valeurs SAR se situaient à l'intérieur de S1, ce qui implique un faible risque de sodium (USSS, 1954).

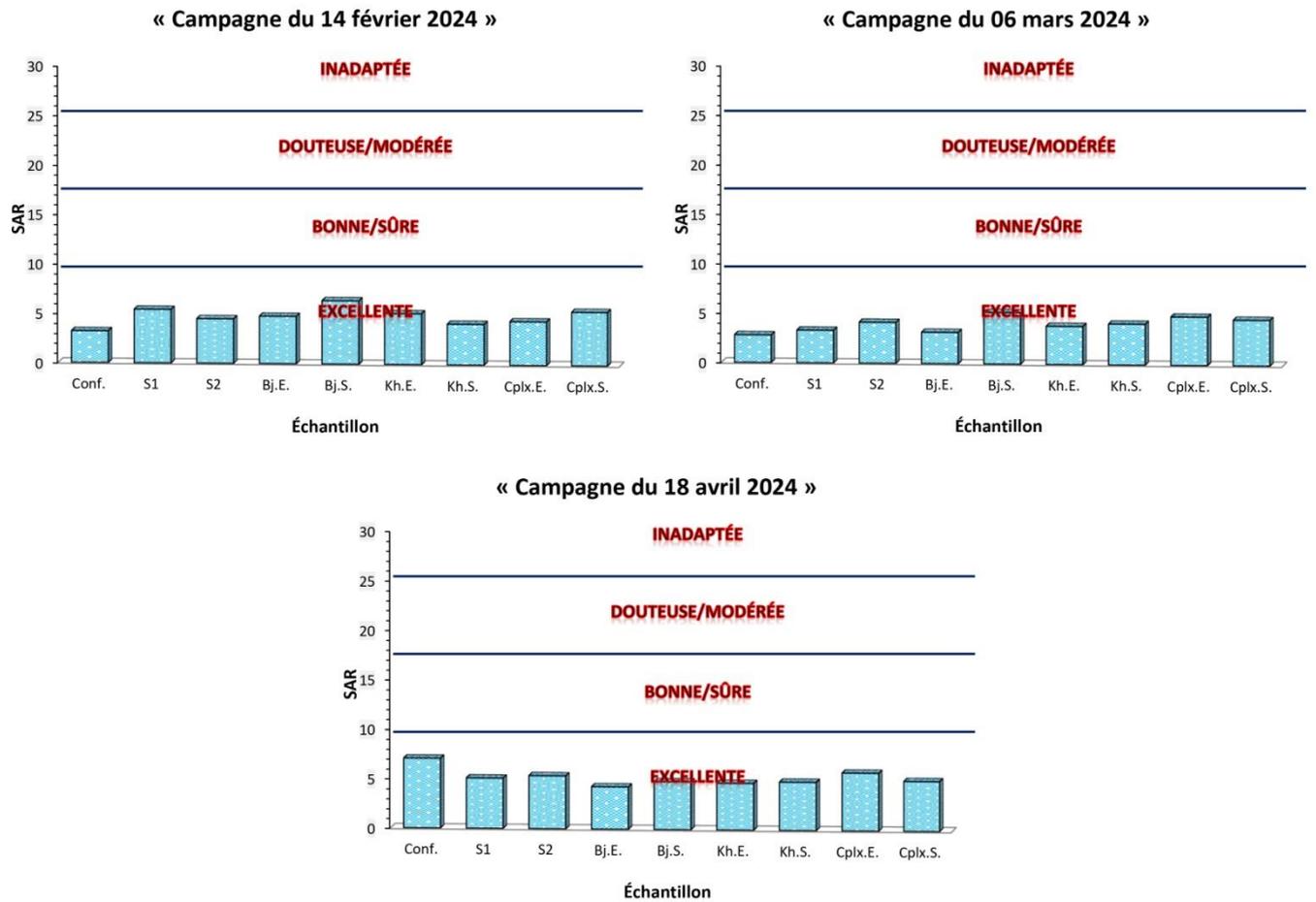


Figure 37 : Evolution spatio-temporelle de l'Indice d'adsorption de sodium (SAR) des différents sites

L'étude de l'eau thermale de Hammam Debagh, nous a permis de contribuer à la connaissance de la nature et la qualité de cette eau et son utilisation. Les différentes analyses effectuées sur les échantillons d'eau, ont permis de dégager le comportement des certains paramètres descriptifs de la qualité physico-chimique des eaux. La pluparts des teneurs des éléments dissous dans l'eau étudiée sont très élevées et dépassent largement les normes. Les excès en sodium, chlorure et bicarbonates suggèrent la présence à la fois de formations carbonatées et des séries salines à base de chlorures de sodium (NaCl) dans le sous-sol de la région.

Les valeurs élevées de sulfates sont observées dans les sites les plus pollués : S1, S2 et confluence qui se situent au niveau de Chaabet Cheddakha. Certain auteurs (**Delisle et al., 1977**), ont étudié les sulfates et ont constaté que les valeurs élevées de ce paramètre peuvent être observées dans les cours d'eau polluée, au niveau des zones de rejets industriels (industrie minière, fonderie, usines de pate et papier, usines de textile, tanneries...). Ces fortes teneurs peuvent être dues aussi aux activités agricoles.

La dureté totale de l'eau dans la région d'étude est considérée comme très élevée en raison de l'abondance de Ca^{2+} (96 - 396 mg L^{-1}) et de Mg^{2+} (8.28 - 185.04 mg L^{-1}) dans l'eau. La minéralisation des eaux des sources thermales est déterminée surtout par la nature chimique et minéralogique des sédiments qu'elles traversent. Les sources thermales les plus minéralisées sont en relation directe avec les sédiments gypso-salins du Trias si répandu en Algérie.

Les éléments nutritifs tels que les nitrates, nitrites, azote ammoniacale et orthophosphate ont enregistrées des teneurs faibles en dessous de la norme pour la totalité des échantillons.

L'approche hydro chimique selon le diagramme de Piper montre l'existence de deux faciès importants :

- Bicarbonatée calcique et magnésienne
- Bicarbonatée sodique et potassique ou sulfatée sodique

L'origine des faciès peut être due à la présence du volcanisme récent au voisinage des Hammams.

La classification de ces eaux sur la base du pourcentage de sodium en fonction de la conductivité traduit par le diagramme de Wilcox a permis de mettre la plupart des échantillons dans la catégorie médiocre inappropriée à l'irrigation.

L'évaluation de la qualité des eaux thermales qui se rejettent dans le réseau hydrographique exploité en irrigation a été réalisée à l'aide de différentes méthodes d'indice telles que, WQI, SSP, PI, KR et SAR ; Il est conclu à partir de la présente étude que la plupart des échantillons d'eau thermale de Hammam Debagh avaient un IQE compris entre 13.09 et 63.43 avec une moyenne de 50.48 ± 11.70 et se situent dans la catégorie de forte restriction, ce qui était pratiquement inappropriés à l'irrigation. Des indicateurs de qualité pour l'irrigation tels que %Na, KR et PI ont indiqué que la plupart des échantillons d'eau étaient dans la catégorie admissible à inappropriée en raison de la concentration élevée d'ions Ca^{2+} , Mg^{2+} , sodium et HCO^{3-} dans l'eau, à l'exception du SAR qui était dans la catégorie excellente. Ainsi, si une eau thermale

Souterraine est utilisée pour l'irrigation sans aucune gestion, elle augmentera la teneur en sel du sol et diminuera le rendement des cultures.

À partir de nos résultats, il est suggéré de construire un modèle d'agriculture approprié qui aidera à maintenir la santé des sols et de l'eau. De telles études sont très utiles pour l'analyse intégrée de l'indice de salinité du sol et la cartographie à l'aide d'images spatiales. Cependant Cette étude reste incomplète et pour une étude plus détaillée de ces sources, nous recommandons :

- Une étude de la qualité microbiologique doit s'imposer avant de les orienter définitivement à une utilisation d'irrigation ;
- Des analyses plus détaillées (éléments traces, isotopes...) des eaux pour connaître la qualité exacte des eaux ;
- Un suivi continu de la chimie et du débit des sources pour connaître leur variation en fonction des pluies ;
- Utiliser plus de diagrammes et de rapports caractéristiques spécifiques aux eaux thermo minérales.

- " Meireles,A.C.M., Andrade,E.M.D., Chaves,L.C.G., Frischkorn, H.,Crisostomo, LA. (2010) A New Proposal Of The Classification Of Irrigation Water. *Revista Ciência Agronômica*, 41,349- 57.
- " Asaduzzaman, M. (1985). *Handbook Of Groundwater And Wells."* *Handbook Of Groundwater And Wells.* "
- "Baccouche, M. (1988). Influence De Différents Systèmes De Chauffage Géothermique Sur La Distribution Des Températures Et Sur La Croissance Et Le Développement Du Melon Et De Tomate Sous Abris Plastiques. *Mémoire De Fin D'Etudes De Cycle De Spécialisation*. INAT Tunis, ; 80 Pages. "
- Benaouira. F, (2017). Evaluation De La Qualité Physico-Chimique Et Bactériologique Des Eaux Usées Epurées Destinées A L'irrigation (Cas De La Station D'épuration De M'silla). Mémoire De Master Académique. P: 27.
- Ben Mohamed M., 2002 - The Utilization Of Geothermal Energy In Agriculture In Kebili Region, Southern Tunisia. Crda Kebili, 4200 - Tunisia.
- Ben Mohamed M., 2003 - Geothermal Resource Development In Agriculture In Kebili Region, South Tunisia. *Revue Geothermics*. European Geothermal Conference (EGC 2003). Ed. Elsevier, 32, 4-6, Pp. 505-511.
- Berne F. Et Cordonnier J., (1991) : Traitement Des Eaux. Edition : Tec. P 6-14.
- Bertherand, Émile-Louis (Dr). Des Sources Thermales Et Minérales De l'Algérie, Au Point De Vue De L'emplacement Des Centres De Population A Créer, Par Le Dr É. Bertherand, 18753.
- Delisle C.E., Schmidt. J.W, 1977: The Effect Of Sulphur On Water And Aquatic Life In Canada. Sulphur And Its Inorganic Derivatives In The Canadian Environment, NRCC, N°15015, Centre National Des Recherches Du Canada, Ottawa.
- Deshpande S.M. And Aher K.R.2012. Evaluation Of Groundwater Quality And Its Suitability For Drinking And Agriculture Use In Parts Of Vaijapur, District Aurangabad, MS, India, *Research Journal Of Chemical Sciences* ISSN 2231-606X Vol. 2(1), 25-31.
- Derwich E. Et Al. (2010) : Caractérisation Physico-Chimique Des Eaux De La Nappe Alluviale Du Haut Sebou En Aval De Sa Confluence Avec Oued Fès. *Journal Larhyss*, N°8, P 101- 112.
- Djehaichia. R, Chebata. B, (2020). Suivi De Fonctionnement De La Station D'épuration De La Ville De Guelma. Mémoire De Master En Microbiologie Appliquée En Université 8 Mai 1945 Guelma. P :13 -14.

- DIB.H, 2004. Le Thermalisme De L'extrême Est Algérien : Guelma, Souk Ahras, Skikda Et Tarf. 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. P, 5, 6,7, 8, 63,55.
- DIB.H, 2008. Guide Pratique Des Sources Thermales De l'Est Algérien. Publication Du Service Géologique National.
- Doneen, L.D. (1964) Water Quality For Agriculture. Department Of Irrigation, University Of California, Davis, 48 P.
- Extrait De La Carte Géologique De Hammam Meskhoutine Au 1/50 000, (Feuille N°53). (In KHITHER F.2018).
- Gouaidia L., (2008) : Influence De La Lithologie Et Des Conditions Climatiques Sur La Variation Des Paramètres Physico-Chimiques Des Eaux D'une Nappe En Zone Semi-Aride, Cas De La Nappe De Meskiana Nord-Est Algérien. Th: Sc.: Annaba. P 130
- Guide pratique des sources thermales de l'Est Algérien, H. Dib.
- Hanriot M ; 1911 : Eaux Minérales De l'Algérie. Editeurs : Dunod H Et Pinat E 47 Et 49 Quai Des grands Augustins- Paris : 400p.
- <http://djerrab-geologie-guelma.emonsite.com>
- Hydro-Ecologie Université 8 Mai 1945 Guelma. P : 27.
- Khither F.2018. Caractérisation Hydrochimique De Quelques Sources Thermales De La Wilaya De Guelma Nord-Est Algérien. Encadrement D'un Mémoire De Master D'état En Hydrogéologie Géothermie. Faculté Des Sciences De La Nature Et De La Vie Et Sciences De La Terre Et De L'univers. Université 8 Mai 1945 Guelma. P.71.
- Kieken M., - Traits Essentiels De La Géologie Algérienne, Livre A La Mémoire De P. Fallot, Tome I- SGF.
- LAKEHAL, 2013 Chef Département De L'exploitation, Entretien Et Maintenance Des Périmètres D'irrigation ONID)
- Lal, D. And J. Arnold (1985). "Tracing Quartz Through The Environment." Proceedings Of The Indian Academy Of Sciences-Earth And Planetary Sciences 94(1): 1-5.
- Marie DECKER ; 2006 : Prévention Des Risques Sanitaires En Secteur Thermale: Développement D'une Démarche D'analyse Des Risques Permettant De Sécuriser La Gestion Des Produits Thermaux. Mémoire De Master- Ecole Nationale De La Santé Publique- France : 51p.

- Marie DECKER - Mémoire De l'École Nationale De La Santé Publique – 2006.
- Merzoug, S., (2009). Etude De La Qualité Microbiologique Et Physicochimique De L'eau De L'écosystème Lacustre Garaet Hadj-Taher Benazzouz, (Skikda). Mémoire De Magister En Hydro-Ecologie Université 8 Mai 1945 Guelma. P:27.
- Of The Baby." New England Journal Of Medicine 333(23) : 1517-1521.
- Ouali S., Khallaf A. Et Baddari K., 2006 - Etude Géothermique Du Sud De l'Algérie. Revue Des Energies Renouvelables, 9, 4, Pp. 297-306.
- Palissy, B. (1580). Discours Admirables, De La Nature Des Eaux Et Fontaines, Tant Naturelles Qu'artificielles, Des Metaux, Des Sels Et Salines, Des Pierres, Des Terres, Du Feux Et Des Emaux. Avec Plusieurs Autres Excellents Secrets Des Choses Naturelles. Plus Un Traite De La Marne, Fortutile Et Nécessaire Pour Ceux Qui Se Mellent De L'agriculture. Le Tout Dresse Par Dialogues, Esquels Sont Introduits La Théorique Et La Pratique. Paris, Martin Le Jeune, 361 P. + 23 P.
- PNUD/TUN 1991 - Les Documents Techniques De L'utilisation De La Géothermie Dans Le Chauffage Des Cultures Sous Serres : Ministère De l'Agriculture – Tunisie, DG/PA Rapport De Synthèse, 8, Pp. 499-542.
- Raghunath HM (1987) Groundwater, Second. Wilely Easteren Ltd., New Delhi, Pp 344–369.
- Rhoades, J. And D. Merrill (1976). "Supervisory Soil Scientist And Physicist US Salinity Laboratory." FAO Soils Bulletin (31).
- Richards, L.A. (1954) U.S.D.A. Handbook No. 60.
- RODIER J., BAZIN C., BROUTIN J. P., CHAMBON P., CHAMPSAUR H. et RODI L., (2005) : Analyse de l'eau, eaux naturelle, eaux résiduaires et eau de mer ; chimie, physicochimie, microbiologie, biologie. DUNOD 8 ème Edition. Paris.
- Rodier J., (2009). Analyse de l'eau. 9ème édition, Dunod, Paris 1526 .
- Tyagi, S., Sharma, B., Singh, P., Dobhal, R. (2013): "Water Quality Assessment In Terms Of Water Quality Index", American Journal Of Water Resources, 1(3), 34–38. Doi: 10.12691/Ajwr-1-3-3.
- Wilcox, A. J., C. R. Weinberg, Et Al. (1995). "Timing Of Sexual Intercourse In Relation To Ovulation- Effects On The Probability Of Conception, Survival Of The Pregnancy, And Sex.

[1] : <https://guelma.mta.gov.dz/en/zone-of-hammam-debagh/>

[2]: https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Hammam_Essalihine.

[3]:<https://www.vitaminesdz.com/fr/Algerie/thermalisme-thermes-hammams-66-Annuaire-1.html>.

[4]: <https://www.officiel-thermalisme.com>

[5]: <http://djerrab-geologie-guelma.emonsite.com>