

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة 8 ماي 1945 قالة
Université 8 mai 1945 Guelma
Faculté des Sciences de la Nature et de la vie, Science 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 : Sciences biologiques

Spécialité/Option : Santé, Eau et Environnement/ Microbiologie de l'environnement

**Thème : Evaluation de la qualité physicochimique et bactériologique de
quelques émergences thermales dans la région de Guelma**

Présenté par :

Doghmane Widad

Kemouguette Imene

Selatnia Imane

Devant le jury composé de :

Président : Mr Aissaoui Riad M.C.B

Université de Guelma

Examineur : Mme Retem Chahira M.A.A

Université de Guelma

Encadreur : Mr Gueroui Yacine M.A.B

Université de Guelma

Juin 2016

Remerciements

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer nos profonde gratitude, avant tout à Allah le tout puissant qui nous a aidé et nous a donné le courage pour mener à terme ce modeste travail.

Nos remerciements vont également à la commission d'examen : Messieurs :

Aissaoui Riad Maître de conférences B et Mme **Retem Chahira** maitre-assistant A, tout deux enseignants au département de Biologie de l'Université de Guelma et qui nous ont fait l'honneur d'accepter de juger notre travail ; qu'ils soient assurés de nos profonde gratitude.

Nous remercions profondément le seul personne qui nous a été pour un énorme soutien: Monsieur **Gueroui yacine**, maître Assistant B au département de Biologie à l'Université de Guelma, de nous avoir encadré et suivi notre travail de près avec sa rigueur scientifique, ses conseils ainsi que sa gentillesse qui nous a permis de réaliser au mieux ce modeste travail.

Nos remerciements vont également à :

La technicienne et le groupe de laboratoire de Microbiologie de la faculté de SNV et STU pour l'aide qu'ils nous ont apporté dans la réalisation des analyses bactériologiques. Nous les remercier aussi pour leur accueil et pour l'ambiance exceptionnelle.

Nous ne saurions finir sans remercier tous les enseignants (es) du département d'écologie et génie de l'environnement de l'université de Guelma qui ont contribué à nos formation et les responsables des laboratoires du département, surtout Mme. **Houria** et **Mr. Ksouri Samir** qui dans les meilleures conditions ont mis à nos disposition tous le matériel nécessaire «réactifs et instruments» pour réaliser les analyses bactériologiques et physico-chimiques de l'eau ramenée du site.

Enfin, nous exprimons également tous le bonheur du monde à nos collègues de promotion du master Santé, Eau et Environnement.

Je dédie ce modeste travail à :

Celle que dieu m'a aidée à faire, mes plus chers êtres au monde : Ma mère Salima, mon père Djamel, et mon marié Bakri pour leur amour, leur tendresse et pour leur soutien moral et matériel, rien au monde ne pourrait compenser les sacrifices qu'ils ont endurés durant mes années d'études surtout maman qui m'a suivie de l'école maternelle jusqu'à l'université. Que dieu vous garde et vous donne santé et longue vie.

A mes proches pour m'avoir soutenu par leur présence dans le bon comme dans le mauvais mes frères Amine et Mohieddine j'espère que vous trouvez le bon chemin qui vous mènera vers une vie plus gaie et plus sûre que dieu vous protège.

A mes amies :Widad, Rahma, Amina, Bassma.

A toute ma promotion

A tous mes professeurs

A tous ceux qui me sont chers

Imene

Je dédie ce modeste travail à :

Celle que dieu m'a aidée à faire, mes plus chers êtres au monde : Ma mère Hassina , mon père Mohamed, et mon époux Mohamed Amine pour leur amour, leur tendresse et pour leur soutien moral et matériel, rien au monde ne pourrait compenser les sacrifices qu'ils ont endurés durant mes années d'études surtout maman qui m'a suivi de l'école maternelle jusqu'à l'université. Que dieu vous garde et vous donne santé et longue vie.

A mes proches pour m'avoir soutenu par leur présence dans le bon comme dans le mauvais mes frères Zinou et mes sœurs Abir , Nesrine , Faten j'espère que vous trouvez le bon chemin qui vous mènera vers une vie plus gaie et plus sûre que dieu vous protège.

A mes amies :Widad, Imene, Meryem, Ahlem.

A toute ma promotion

A tous mes professeurs

A tous ceux qui me sont chers

Imane

Je dédie ce modeste travail à :

Celle que dieu m'a aidée à faire, mes plus chers êtres au monde : Ma mère Zahia, mon père Mostafa, et mon époux Hamza pour leur amour, leur tendresse et pour leur soutien moral et matériel, rien au monde ne pourrait compenser les sacrifices qu'ils ont endurés durant mes années d'études surtout maman qui m'a suivie de l'école maternelle jusqu'à l'université. Que dieu vous garde et vous donne santé et longue vie.

A mes proches pour m'avoir soutenu par leur présence dans le bon comme dans le mauvais mes frères Amar et Nadir et mes sœurs Mounira, Samira, Rahima j'espère que vous trouvez le bon chemin qui vous mènera vers une vie plus gaie et plus sûre que dieu vous protège.

A mes amies :Imene, Imane, Rahma, Amina, Bassma.

A toute ma promotion

A tous mes professeurs

A tous ceux qui me sont chers

Widad

TABLE DES MATIÈRES	
	Page
Résumé	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction	01
Première partie : étude bibliographique	
Chapitre I : Description de la zone d'étude	
1. Situation géographique.....	03
1.1. Le site d'étude « Hammam Debar (Meskoutine) —Guelma-».....	03
1.2. Le site d'étude « Hammam Ouled Ali Guelma-».....	03
2. Cadre géologique	04
2.1. Les formations lithologiques	04
2.1.1. Les roches moyennement résistantes	04
2.1.2. Les roches tendres	04
2.1.3. Les roches résistantes	04
2.2. Stratigraphie des différentes unités structurales.....	04
2.2.1. Le Quaternaire	04
2.2.2. Le Mio-Pliocène.....	05
2.2.3. La nappe numidienne	05
2.2.4. La nappe des Flyschs.....	05
2.2.5. La nappe ultra –tellienne.....	05
2.2.6. La nappe tellienne	06
2.2.6.1. La nappe tellienne de Hammam Ouled Ali	06
2.2.7. La nappe néritique constantinoise	06
2.2.7.1. A l'Est de hammam Debagh	06
2.2.7.2. A Hammam Ouled Ali	06
3. Cadre biotique	07
3.1. La faune	07
3.2. La flore.....	07
4. climatologie.....	07

4.1. Evolution temporelle des données disponibles entre 1994 et 2014	08
4.1.1. La température	08
4.1.2. Les précipitations	09
4.1.3. L'humidité relative	10
4.1.4. Le vent	11
4.2. Synthèse climatique	11
4.2.1. Diagramme de Bagnlous et Gausсен	11
4.2.2. Climagramme d'EMBERGER	12
Chapitre II : Hydrothérapie	
1. Le rôle de l'eau minérale chaude sur la santé.....	14
2. Hydrothérapie par l'eau minérale chaude.....	14
2.1. Action thermique	14
2.2. Action mécanique.....	15
2.3. Action chimique.....	15
2.4. Action psychique.....	15
3. Les différentes techniques d'hydrothérapie.....	15
3.1. Les soins en Immersion.....	15
3.1.1. Bains Bouillonnants.....	15
3.1.2. Bains de chromothérapie.....	16
3.1.3. Bains de siège ou phlébotone.....	16
3.1.4. Bains Chauds.....	16
3.1.5. Bains Carbo-gazeux.....	16
3.1.6. Bains de boue.....	17
3.1.7. Jets sous-marins.....	17
3.2. Les Douches.....	17
3.2.1. Aspersion à grande puissance.....	17
3.2.2. Douche à Jet basse pression.....	17
3.2.3. Douche à affusion.....	17
3.2.4. Douche Sous-marine.....	17
3.3. Autres Soins d'hydrothérapie.....	18
3.3.1. Cryothérapie.....	18
3.3.2. Hydrojets.....	18
3.3.3. Compresses chaudes et froides.....	18

3.3.4. Bains de vapeur et autres techniques.....	18
3.3.5. Gymnastique douce en piscine.....	19
3.3.6. Hydrothérapie spécifique du côlon.....	19
Deuxième partie : étude expérimentale	
Chapitre III : Matériel et méthodes	
1. Choix des stations de prélèvement	20
2. Méthode de prélèvement	21
2.1. Eau de source jaillissante.....	21
2.2. Eau de source équipée d'un tuyau	21
3. Transport et conservation	22
4. Méthodes d'analyse	22
4.1. Méthodes d'analyse bactériologique	22
4.1.1. Recherche et dénombrement des germes revivifiables	22
4.1.2. Recherche et dénombrement des germes témoins de contamination fécale	24
4.1.2.1. Recherche et dénombrement des coliformes.....	24
4.1.2.2. Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux.....	26
4.1.3. Recherche et dénombrement des spores de bactéries anaérobies sulfito- réducteurs (ASR).....	29
4.1.4. Recherche et isolement des germes pathogènes	31
4.1.4.1. Méthode d'ensemencement sur gélose.....	31
4.1.4.2. Isolement et purification des souches	31
4.1.5. Identification	31
4.1.5.1. Caractéristiques morphologiques.....	31
4.1.5.2. Examen microscopique.....	31
4.1.5.3. Identification biochimique	31
4.2. Etude physico-chimique.....	32
4.2.1. Les mesures in situ.....	33
4.2.2. Les mesures de laboratoire.....	33
4.2.2.a. pH.....	33
4.2.2.b. Les analyses chimiques.....	33
b.1. Dureté ou titre hydrotimétrique (TH).....	33
b.2. Calcium.....	34

b.3. Magnésium.....	34
b.4. Bicarbonates.....	34
b.5. Chlorures.....	35
b.6. Sodium, Potassium.....	36
b.7. Sulfates, Nitrites, Ammonium, Orthophosphates et Silice.....	36
Chapitre IV : Résultats et Discussion	
1. Analyse bactériologique.....	39
Dénombrement des germes revivifiables (22 °C, 37 °C).....	39
1.2. Dénombrement des germes témoins de contamination fécale	39
1.2.1. Dénombrement des coliformes totaux	39
1.2.2. Dénombrement des coliformes fécaux.....	40
1.2.3. Dénombrement des Streptocoques fécaux.....	41
1.3. Dénombrement des spores des bactéries anaérobies sulfito-réductrice.....	42
1.4. Identification des souches bactériennes.....	43
2. Analyses physico-chimiques.....	45
2.1. les mesures in situ.....	45
2.1.a. Température	45
2.1.b. Conductivité électrique (CE)	46
2.2. les mesures de laboratoire.....	47
2.2.a. Potentiel d'hydrogène (pH).....	47
2.2.b. les analyses chimiques.....	47
b.1. TH.....	47
b.2. Calcium (Ca ⁺²)	47
b.3. Magnésium (Mg ⁺²)	48
b.4. Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	49
b.5. Chlorures (Cl ⁻).....	49
b.6. Sodium (Na ⁺). Potassium (K ⁺).....	50
b.7. Sulfates, Nitrites, Ammonium, Orthophosphate et Silice.....	51
2.3. Faciès chimiques des eaux	54

Résumé

L'Algérie est un pays riche par sa diversité écologique et géologique ; il existe ainsi des écosystèmes extrêmes tels que les sebkhas, les sols désertiques et surtout les sources chaudes, exploitées pour leurs bienfaits thérapeutiques. L'évaluation et la caractérisation de ces ressources sont au cœur de la problématique de plusieurs recherches.

Dans présente étude, nous avons étudié les sources thermales de la région de Guelma. Les aspects qualitatifs et quantitatifs sont abordés en s'appuyant sur des approches hydrochimiques et bactériologiques des eaux dans la perspective d'étudier de manière comparative, la qualité des eaux de deux sources thermales bien distinguées à la région de Guelma, la source thermale Hammam Debagh et Hammam Ouled Ali.

Les résultats de l'analyse bactériologique montre une contamination bactérienne variable, notamment d'origine fécale notée à une seule source à Hammam Debagh ; la recherche des germes révèle la présence de quatre espèces dominantes : *Enterobacter cloacae*, *Raoultella ornithinolytica*, *Vibrio vulnificus*, *Burkholderia cepacia*.

Les résultats obtenus par les différentes méthodes physicochimiques montrent une relation entre les différents paramètres étudiés : la température oscille entre 50 °C (Hammam Ouled Ali) et 88.8°C (Hammam Debagh) ; une minéralisation des eaux varie de 1300 µS/cm à 2010 µS/cm. Les teneurs de silice enregistrées sont très élevées, varient de 15 mg/l et 32,5 mg/l. Le faciès chimique dominant pour les eaux thermales de la région de Guelma est sulfaté calcique.

Mots clés : Sources thermales, Hammam Debagh, Hammam OuledAli, Minéralisation, Pollution.

Abstract

Algeria is a country rich in its ecological and geological diversity; thus there are extreme ecosystems such that sebkhas, desert soils and especially the hot springs, exploited for their therapeutic benefits. The evaluation and characterization of these resources are at the heart of the problem of several researches.

In the present study, we have studied the thermal springs in the region of Guelma. The qualitative and quantitative aspects are discussed on the basis of hydrochemical and microbiology approaches of waters in the perspective of study in a comparative way, the quality of waters in two thermal sources well distinguished to the region of Guelma, thermal source of Hammam Debagh and Hammam Ouled Ali.

The results of bacteriological analysis shows a variable contamination, including of fecal origin recorded at a single source in Hammam Debagh ; research of germs reveals the presence of four dominant species: *Enterobacter cloacae*, *Raoultella ornithinolytica*, *Vibrio vulnificus*, *Burkholderia cepacia*.

The results obtained by the different physicochemical methods show a relationship between the different parameters studied: temperature oscillates between 50°C (Hammam Ouled Ali) and 88,8°C (Hammam Debagh); a mineralization of water varies from 1300 µS/cm to 2010 µS/cm. The levels of silica recorded are very high, vary from 15 mg/l and 32.5 mg/l. The chemical facies dominant for the thermal waters in the region of Guelma is calcium sulfate type.

Key words: Thermal springs, Hammam Debagh, Hammam Ouled Ali, Mineralization, Pollution.

ملخص

الجزائر بلد غني في التنوع البيئي والجيولوجي. هناك النظم البيئية القاسية جدا مثل السبخة، التربة الصحراوية وخاصة الينابيع الساخنة، واستغلالها لفوائدها العلاجية. تقييم هذه الموارد هي في قلب مشكلة الابحاث المتعددة.

في هذه الدراسة، درسنا الينابيع الحرارية في منطقة قالمة. الجوانب النوعية والكمية تعالج النهج من خلال الاعتماد على كيمياء المياه وعلم الأحياء المجهرية بهدف الدراسة بطريقة المقارنة بين نوعية المياه من اثنين من الينابيع الساخنة المتميزة جيدا في منطقة قالمة، المنبع الحار حمام دباغ وحمام أولاد علي.

نتائج التحليل البكتيري أظهرت وجود تلوث جرثومي متغير، لاسيما وجود البراز في مصدر واحد في حمام دباغ البحث الجرثومي يكشف عن وجود أربعة من الأنواع السائدة : *Enterobacter cloacae* و *Burkholderia cepacia* و *Vibrio vulnificus* و *Raoultella ornithinolytica*.

النتائج التي تم الحصول عليها بالطرق الفيزيائية المختلفة تبين وجود علاقة بين العناصر المدروسة المختلفة: تتراوح درجة الحرارة من 50 درجة مئوية (حمام أولاد علي) و 88,8 درجة مئوية (حمام دباغ)؛ وتمعدن الماء يختلف 1300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ إلى 2010 $\mu\text{S}/\text{cm}$. محتويات السيليس سجلت ارتفاع محسوس ، تتراوح بين 13 ملغ / لتر و 32.5 ملغ / لتر. السحنة الكيميائية السائدة للمياه الحرارية للمنطقة قالمة هي الكالسيوم-مكبرت.

الكلمات المفتاحية : الينابيع الساخنة، حمام دباغ ، حمام أولاد علي، تمعدن، التلوث.

Liste des abréviations

An : Année

ASR : Anaérobie Sulfito-Réducteurs

BCPL : Bouillon lactose au pourpre de Bromocrésol

°C : Degré Celsius

CE : Conductivité électrique

CF : Coliforme fécaux

Cm : Centimètre

CT : Coliforme totaux

D/C : Double concentration

E. coli : *Escherichia coli*

EDTA : L'acide éthylène diamine tétracétique

E : Est

Fig. : Figure

GN : Gélose nutritive

GNAB : Gélose nutritive alcaline bilié

GT : Germe totaux

h : Heure

Km : Kilomètre

L : Litre

m : Mètre

mm : Millimètre

ml : Millilitre

mn : Minute

N° : Numéro

N : Nord

NPP : Nombre le Plus Probable

OMS : Organisation mondiale de santé

Q2 : Quotient pluviométrique d'Emberger

pH : Potentiel d'hydrogène

S : Source

S/C : Simple concentration

SS : Gélose Salmonella Shigella

ST : Streptocoques fécaux

Tab : Tableau

T : Température

UFC : Unité formatrice colonie

μS : Micro siemens

V : Volume

VF : Viande de foie

LISTE DES FIGURES		
N°		Page
Figure 01.	Situation géographique de la zone d'étude (Google earth, 2016).	03
Figure 02.	Variation de la température: station de Guelma (1994-2014)	09
Figure 03.	Variation des précipitations : station de Guelma (1994-2014)	10
Figure 04.	Variation de l'humidité: station de Guelma (1994-2014)	10
Figure 05.	Variation de la vitesse du vent: station de Guelma (1994-2014)	11
Figure 06.	Diagramme Ombrothermique : station de Guelma (1994-2014)	12
Figure 07.	Climatogramme d'Emberger (Station : de Guelma).	13
Figure 08.	La répartition des échantillons dans la zone d'étude	20
Figure 09.	Présentation des points de prélèvement	22
Figure 10.	Recherche et dénombrement des germes revivifiables	24
Figure 11.	Recherche et dénombrement des coliformes	26
Figure 12.	Recherche et dénombrement des Streptocoque fécaux	28
Figure 13.	Recherche et dénombrement des Spores d'Anaérobies Sulfito-réducteurs (ASR)	30
Figure 14.	Un multi paramètre de type Multi 1970i et GPS photos présent par Doghman , Kemouquette et Slatenia	32
Figure 15.	Variation spatio-temporelle des germes revivifiables	39
Figure 16.	Variation spatio-temporelle des coliformes totaux	40
Figure 17.	Variation spatio-temporelle des coliformes fécaux	40
Figure 18.	Variation spatial des streptocoques fécaux.	41
Figure 19.	Variation spatio-temporelle des ASR	43
Figure 20.	Observation microscopique à immersion	43
Figure 21.	Evolution de la température dans les eaux des sources	46
Figure 22.	Evolution de la conductivité électrique (CE) dans les eaux des sources	46
Figure 23.	Evolution du pH dans les eaux des sources	47
Figure 24.	Evolution du taux de calcium dans eaux des sources	48
Figure 25.	Evolution du taux de magnésium dans eaux des sources	48
Figure 26.	Evolution de bicarbonate dans les eaux des sources	49
Figure 27.	Evolution des chlorures dans eaux des sources	50

Figure 28.	Evolution du taux de sodium dans eaux des sources	50
Figure 29.	Evolution du taux de potassium dans eaux des sources	51
Figure 30.	Evolution du taux de sulfate dans les eaux des sources	51
Figure 31.	Evolution du taux des nitrites dans les eaux et des sources	52
Figure 32.	Evolution du taux d'ammonium dans les eaux des sources	53
Figure 33.	Evolution du taux d'orthophosphate dans les eaux des sources	53
Figure.34.	Evolution du taux de silice dans les eaux des sources	54
Figure.35.	Diagrammes de Piper des eaux des sources thermales,(2016).	55

LISTE DES TABLEAUX		
N°		Page
Tableau 01.	Coordonnées de la station météorologique utilisée dans l'étude du climat de la région.	08
Tableau 02.	Températures moyennes mensuelles en °C (1994-2014).	08
Tableau 03.	Précipitations moyennes mensuelles en °C (1994-2014).	09
Tableau 04.	Présentation des points de prélèvement (Sources)	21
Tableau 05.	Dosage des Sulfates	36
Tableau 06.	Dosage des Nitrites	37
Tableau 07.	Dosage de l'ion Ammonium	37
Tableau 08.	Dosage des Orthophosphates	37
Tableau 09.	Dosage de Silicium	38
Tableau 10.	Origine de la pollution fécale selon le rapport CF/SF (Borrego& Romero, 1982).	42
Tableau 11.	Détermination du rapport coliformes fécaux/streptocoques fécaux	42
Tableau 12.	Caractères macroscopiques et microscopiques des colonies bactériennes isolées de l'eau des sources thermales	44
Tableau13.	Résultats de l'identification par la galerie API 20E	44
Tableau14.	Résultats de l'identification par la galerie API 20 NE	45
Tableau15.	Variation des éléments majeurs des eaux des sources thermales (2016).	55

Résumé

L'Algérie est un pays riche par sa diversité écologique et géologique ; il existe ainsi des écosystèmes extrêmes tels que les sebkhas, les sols désertiques et surtout les sources chaudes, exploitées pour leurs bienfaits thérapeutiques. L'évaluation et la caractérisation de ces ressources sont au cœur de la problématique de plusieurs recherches.

Dans présente étude, nous avons étudié les sources thermales de la région de Guelma. Les aspects qualitatifs et quantitatifs sont abordés en s'appuyant sur des approches hydrochimiques et bactériologiques des eaux dans la perspective d'étudier de manière comparative, la qualité des eaux de deux sources thermales bien distinguées à la région de Guelma, la source thermale Hammam Debagh et Hammam Ouled Ali.

Les résultats de l'analyse bactériologique montre une contamination bactérienne variable, notamment d'origine fécale notée à une seule source à Hammam Debagh ; la recherche des germes révèle la présence de quatre espèces dominantes : *Enterobacter cloacae*, *Raoultella ornithinolytica*, *Vibrio vulnificus*, *Burkholderia cepacia*.

Les résultats obtenus par les différentes méthodes physicochimiques montrent une relation entre les différents paramètres étudiés : la température oscille entre 50 °C (Hammam Ouled Ali) et 88.8°C (Hammam Debagh) ; une minéralisation des eaux varie de 1300 µS/cm à 2010 µS/cm. Les teneurs de silice enregistrées sont très élevées, varient de 15 mg/l et 32,5 mg/l. Le faciès chimique dominant pour les eaux thermales de la région de Guelma est sulfaté calcique.

Mots clés : Sources thermales, Hammam Debagh, Hammam Ouled Ali, Minéralisation, Pollution.

Abstract

Algeria is a country rich in its ecological and geological diversity; thus there are extreme ecosystems such that sebkhas, desert soils and especially the hot springs, exploited for their therapeutic benefits. The evaluation and characterization of these resources are at the heart of the problem of several researches.

In the present study, we have studied the thermal springs in the region of Guelma. The qualitative and quantitative aspects are discussed on the basis of hydrochemical and microbiology approaches of waters in the perspective of study in a comparative way, the quality of waters in two thermal sources well distinguished to the region of Guelma, thermal source of Hammam Debagh and Hammam Ouled Ali.

The results of bacteriological analysis shows a variable contamination, including of fecal origin recorded at a single source in Hammam Debagh ; research of germs reveals the presence of four dominant species: *Enterobacter cloacae*, *Raoultella ornithinolytica*, *Vibrio vulnificus*, *Burkholderia cepacia*.

The results obtained by the different physicochemical methods show a relationship between the different parameters studied: temperature oscillates between 50°C (Hammam Ouled Ali) and 88,8°C (Hammam Debagh); a mineralization of water varies from 1300 µS/cm to 2010 µS/cm. The levels of silica recorded are very high, vary from 15 mg/l and 32.5 mg/l. The chemical facies dominant for the thermal waters in the region of Guelma is calcium sulfate type.

Key words: Thermal springs, Hammam Debagh, Hammam Ouled Ali, Mineralization, Pollution.

ملخص

الجزائر بلد غني في التنوع البيئي والحيولوجي. هناك النظم البيئية القاسية جدا مثل السبخة، التربة الصحراوية وخاصة الينابيع الساخنة، واستغلالها لفوائدها العلاجية. تقييم هذه الموارد هي في قلب مشكلة الابحاث المتعددة.

في هذه الدراسة، درسنا الينابيع الحرارية في منطقة قالمة. الجوانب النوعية والكمية تعالج النهج من خلال الاعتماد على كيمياء المياه وعلم الأحياء المجهرية بهدف الدراسة بطريقة المقارنة بين نوعية المياه من اثنين من الينابيع الساخنة المتميزة جيدا في منطقة قالمة، المنبع الحار حمام دباغ وحمام أولاد علي.

نتائج التحليل البكتيري أظهرت وجود تلوث جرثومي متغير، لاسيما وجود البراز في مصدر واحد في حمام دباغ البحث الجرثومي يكشف عن وجود أربعة من الأنواع السائدة : *Enterobacter cloacae* و *Burkholderia cepacia* و *Vibrio vulnificus* و *Raoultella ornithinolytica*.

النتائج التي تم الحصول عليها بالطرق الفيزيائية المختلفة تبين وجود علاقة بين العناصر المدروسة المختلفة: تتراوح درجة الحرارة من 50 درجة مئوية (حمام أولاد علي) و 88,8 درجة مئوية (حمام دباغ)؛ وتمعدن الماء يختلف 1300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ إلى 2010 $\mu\text{S}/\text{cm}$. محتويات السيليس سجلت ارتفاع محسوس ، تتراوح بين 13 ملغ / لتر و 32.5 ملغ / لتر. السحنة الكيميائية السائدة للمياه الحرارية للمنطقة قالمة هي الكالسيوم-مكبرت.

الكلمات المفتاحية : الينابيع الساخنة، حمام دباغ ، حمام أولاد علي، تمعدن، التلوث.

Introduction

Les sources hydrothermales constituent un environnement remarquable, qui n'a sans doute pas changé absolument au cours des 3,7 milliards d'années qui nous séparent de la formation de l'océan primordial.

L'origine des sources hydrothermales profondes est une conséquence de la dérive des continents. La surface du globe est divisée en sept plaques de croûte terrestre principales rigides et en une série de plaques, plus petites, qui sont en mouvements et s'écartent les unes des autres. Ces plaques sont séparées par des dorsales divisées en de multiples segments séparés par des zones de fracture. La zone de fracture est caractérisée par une très forte activité volcanique. La coulée de lave monte en surface, se refroidit et se solidifie. Ces sites sont le siège des principales manifestations hydrothermales. L'eau de mer s'infiltré dans les fissures et se réchauffe au contact de la roche basaltique en fusion, pouvant atteindre des températures très élevées (jusqu'à 400°C) puis, par d'autres fissures, remonte en surface (Laubier, 1989).

En Algérie et d'après les études réalisées à ce sujet, il existe plus de 240 sources thermales, ce nombre croît régulièrement quand on se déplace vers l'Est. Les plus chaudes sont : Hammam Bouhnifia à l'Ouest avec 68°C, Hammam El Biban au centre avec 80°C et Hammam Debagh à l'Est avec 98°C. 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.

L'objectif de notre travail est l'étude des paramètres physicochimiques et bactériologiques de 4 sources thermales dans la région de Guelma afin de mieux comprendre les ressources et les mécanismes qui conditionnent leur circulation.

Nous avons structuré notre démarche en quatre chapitres interdépendants :

- Le premier et le second purement théoriques rassemblent d'une part des généralités sur la région : climatologie, géologie et une contribution à l'étude de son cadre biotique et d'autre part une description détaillée ;
- Le troisième chapitre est consacré aux méthodes et aux techniques employées pour la réalisation de ce travail ;

- Le quatrième et le dernier chapitre, mentionne sous formes de graphes les différents résultats obtenus au cours de notre étude pratique avec une interprétation. Il est esquissé par une conclusion finale.

Chapitre I:

Description de la

zone d'étude

1. Description de site

La wilaya de Guelma est située au Nord-est de l'Algérie à 60 km environ de la Méditerranée. Elle est limitée au Nord par la wilaya d'Annaba, au Nord-est par la wilaya d'El Tarf, au Sud-est par la wilaya de Souk Ahras et Oum-El Bouagui, à l'Ouest par la wilaya de Constantine et au Nord-Ouest par la wilaya de Skikda. Elle s'étend sur une superficie de 3686,84 Km². La zone d'étude se situe dans la plaine de Guelma ; elle concerne Hammam Debagh et Hammam Ouled Ali.

1.1. Le site d'étude « Hammam Debagh (Meskoutine) Guelma »

La source thermale (Hammam Debagh) est située à 20 Km du chef-lieu de la Wilaya Guelma. Elle se trouve à 320 mètres d'altitude surprenant des collines et montagnes boisées. La source de Hammam Debagh est la plus florissante de l'Algérie et ses eaux sont les plus chaudes. Elle contient neuf sources hyperthermales d'origine volcanique dont la température de l'eau varie entre 90 et 98°C (Ouali, 2008).

1.2. Le site d'étude « Hammam Ouled Ali »

La source thermale (Hammam Ouled Ali) est située à 15 Km à l'Ouest de Guelma, sur la route nationale N° 80 reliant Guelma à Skikda en passant par la commune d'El-Fdjoudj. Les eaux émergent à 57°C de température avec un pH de 7,8.

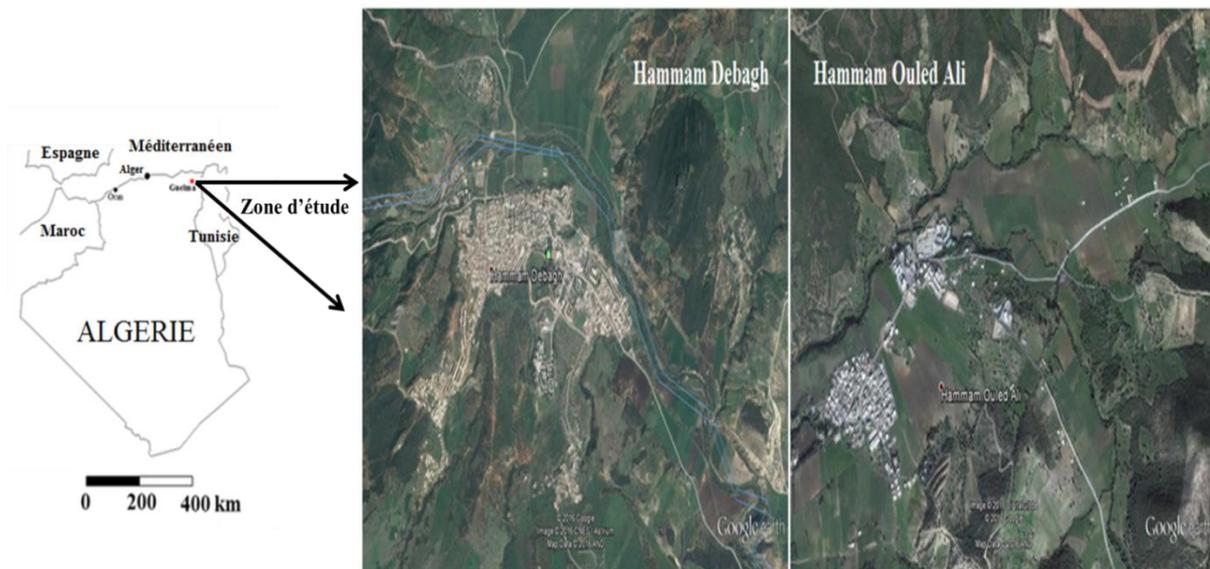


Figure01 : Situation géographique de la zone d'étude (Google earth, 2016).

2. Cadre géologique

2.1. Les formations lithologiques

2.1.1. Les roches moyennement résistantes

Elles correspondent aux roches marno-calcaires de la nappe ultra tellienne. Très peu étendues, elles occupent une superficie réduite de 4,86% qui correspond des collines à pentes moyennes à assez fortes.

2.1.2. Les roches tendres

Elles correspondent aux argiles sous numidiennes, aux marnes et aux marnes schisteuses de la nappe ultra tellienne. Elles se localisent essentiellement sur les versants aux pieds des grès numidiens et dans les vallées des oueds Zenati et Bouhamdene. Ces roches Présentent des pentes moyennes à plus ou moins faibles.

2.1.3. Les roches résistantes

Elles regroupent dans le bassin, les calcaires de la nappe néritique de Constantine, les conglomérats et les grès numidiens. Elles caractérisent les reliefs les plus imposants, avec de fortes pentes. Les calcaires à moindre degré les grès portent les traces de l'action du froids pendant le quaternaire fissurés et par conséquent très perméables.

2.2 .Stratigraphie des différentes unités structurales

D'après (Vila, 1980), on distingue de haut en bas : le quaternaire, le mio-pliocène, la nappe numidienne, les nappes des flyschs, la nappe ultra-tellienne, la nappe tellienne et la nappe néritique constantinoise.

2.2.1. Le Quaternaire

De l'Oust en Est, l'Oued Seybouse a déposé des quantités importantes de matériaux détritiques. De haut en bas, on distingue les terrasses suivantes :

- a. La basse terrasse (d'âge Soltanien) : ce sont essentiellement des limons et cailloux enroulés brun clair ou grisâtres formant des terres arables favorables aux cultures maraîchères et agrumes.
- b. La moyenne terrasse (d'âge Tensifien) : elle est située surtout entre 30 à 50 m d'altitude et constituée de sable et limons et des blocs roulés dans une matrice argileuse de couleur ocre.

- c. La haute terrasse (d'âge Salétien) : ce sont des formations qui présentent un épandage en pente douce vers le Sud. Elles sont constituées de gros galets dans le djebel Zemzouma au Nord et peuvent atteindre les 100 m d'épaisseur. Au Sud ce sont des calcaires lacustres et tufs d'âge Quaternaire ancien à Pliocène supérieur qui occupent de grandes surfaces. Les croûtes calcaires qui apparaissent aussi au centre d'Héliopolis sont parfois tuffacés ou massifs gris à blanc rosé riches en oogones de Charophytes (Vila, 1980).

2.2.2. Le Mio-Pliocène

Ce sont des argiles grises avec intercalations de marno-calcaires et gypse en couches minces. Elles surmontent des argiles et des conglomérats rouges.

La mollasse de Guelma : c'est une épaisse série d'intercalations d'argile marneuse et de grès jaunâtres friables bien développée au Sud de Guelma.

2.2.3. La nappe numidienne

Elle constitue les sommets des reliefs en l'occurrence de Djebel Haouara, Beni Mezline et Mahouna. Elle est marquée par la présence d'un faciès gréseux et argileux (Lahondère, 1987). La base de la série numidienne est représentée par des argiles à Tubotomaculum, (ce sont les argiles sous numidiennes) surmontées par les bancs de grès parfois métriques avec de rares niveaux argileux.

2.2.4. La nappe des Flyschs

Les affleurements sont dispersés à la périphérie des vastes radeaux numidiens qui ceignent la cuvette de Guelma. (Vila 1980) distingue:

- Céno-manien-Turonien : Il est représenté par des niveaux bréchiqes clairs bien classés en bancs à bandes silicifiées blanches.
- Sénonien : C'est une série conglomératique et argileuse d'une cinquantaine de mètres d'épaisseur. Les bancs les plus épais (50 à 60cm) montrent des figures convolutées. Ce sont les faciès les plus méridionaux du flysch.

2.2.5. La nappe ultra –tellienne

Ce terme a été proposé par Durand Delga pour désigner dans la région de Guelma, les séries superposées anormalement au Crétacé néritique constantinois du Djebel Debagh et du

Douar Bouzitoune (Vila, 1980). Ces séries sont définies par le critère simple de dominance des faciès clairs durant tout le Crétacé.

2.2.6. La nappe tellienne

La nappe tellienne correspond au domaine tellien externe constitué de formations paléogènes.

2.2.6.1. La nappe tellienne de Hammam Ouled Ali

Elle affleure au pied du Djebel Bou Sbaa et autour du pointement néritique du Djebel Debagh. Cette unité regroupe tous les terrains situés sur la série néritique constantinoise et la nappe ultra-tellienne du djebel Bou Sbaa (Vila, 1980). Ce regroupement est justifié par une remarquable dominante des teintes noires dans les faciès.

2.2.7. La nappe néritique constantinoise

Les affleurements néritiques dans la région de Guelma, représentent la terminaison orientale du domaine néritique. Ces affleurements sont isolés et de tailles variables (Vila, 1980). Ils apparaissent au sommet oriental du Djebel Debagh, s'effondrent à l'Est sous les nappes précédemment citées pour réapparaître en fenêtres à Hammam Ouled Ali, au Douar Bouzitoune, à la piscine romaine d'Héliopolis et enfin à l'Ouest de la station Nador.

2.2.7.1. A l'Est de Hammam Debagh

On distingue de haut en bas :

- Les niveaux siliceux : ce sont des roches très minéralisées et mal stratifiées résultant d'une silicification au niveau d'une zone de broyage entre les calcaires à silex du sommet du Sénonien supérieur et les calcaires à silex de l'Eocène allochtone tellien.
- Les calcaires massifs organo- détritiques à orbitoïdes cf. Média D'ARCH attribués au Campanien.
- A la base, les dolomites noires épaisses de 250 à 300 m largement cristallines supportent toute la série.

2.2.7.2. A Hammam Ouled Ali

A l'Est de la station thermale, affleure une fenêtre d'une série à faciès carbonatés d'âge sénonien sous les marno-calcaires de la série ultra-tellienne.

3. Cadre biotique

On ne peut pas parler de la végétation en occultant la faune, dès lors que les espèces végétales et animales se regroupent suivant leurs affinités écologiques, précisément en des ensembles structurés appelés (biocénoses). La région de Guelma recèle des écosystèmes différents (Forêt, Oueds, couvert végétal,...), on y trouve une biodiversité significative.

3.1. La faune

La faune dans cette région est très diversifiée, parmi les espèces existantes, on peut citer:

- **Les mammifères** : Loups, Sanglier, Chacal, Renard, Lièvre, Lapin, Gerboise ;
- **Les oiseaux** : Perdrix gambara, Caille des blés, la Tourterelle, Chardonneret (espèce protégée), Moineau, Hibou, Palombe, la Cigogne blanche, l'Héron garde-boeufs, l'Héron cendré,...etc ;
- **Les reptiles** : Tortue, Lézard, Couleuvre.

3.2. La flore

La couverture végétale est représentée par une dominance de peuplements forestiers qui occupent une superficie de 107.704 hectares avec un pourcentage de 28 % de la superficie de la wilaya. Cette étendue de végétation abrite des espèces floristiques représentées essentiellement par : le Chêne liège, le Chêne vert, l'Eucalyptus, le Cyprès, le Pin d'Alep, le Pin Maritime, le Bruyère, l'Arbousier, le Lentisque, le Filaire, le Myrte, le Genet, le Calicotum, et le Ronce (DPAT, 2008).

4. Climatologie

Toute étude hydro climatologique nécessite des renseignements bien précis des différents facteurs qui régissent les variations climatiques. Les mécanismes essentiels du climat algérien sont régis par deux facteurs :

- Les facteurs géographiques : liés à l'altitude et donc l'effet de continentalité.
- Les facteurs météorologiques : liés au front saharien et au front méditerranéen.

Les données climatiques utilisées pour l'analyse sont la température, précipitation, humidité, vent, mesurées au niveau la station météorologique de Guelma situé à Belkhir. La période observée s'étend de (1994 à 2014). Cette période est suffisante pour définir les caractéristiques essentielles du climat.

Tableau 01: Coordonnées de la station météorologique utilisée dans l'étude du climat de la région.

Station	Coordonnées			Paramètres mesurés	Période d'observation
	Latitude	Longitude	Altitude (m)		
Guelma	36°27'23,75" N 7°07'17,35" E	7°28'44,91" E	223	Précipitation température Humidité Vent	1994-2014

4.1. Evolution temporelle des données disponibles entre 1994 et 2014

4.1.1. La température

La température constitue un facteur climatique très important qui joue un rôle dans l'estimation de l'évapotranspiration. En plus, la température influe aussi sur d'autres paramètres tels que l'enneigement et sa durée ainsi que la répartition de la végétation (Louamri, 2013).

Sur une période s'étalant de 1994 à 2014, nous constatons que :

- À l'échelle mensuelle, le mois le plus froid à Guelma est le mois de janvier avec une température de 8,99 °C et le mois le plus chaud est le mois de juillet avec une température de 29,37 °C (Tab. 02 et Fig. 02) (station de Guelma).
- À l'échelle annuelle, les variations thermiques fluctuent entre 16,40 à 21,49 °C (Fig.02)

Tableau02 : Températures moyennes mensuelles en °C (1994-2014).

Station	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Dec
Guelma	8,97	9,59	13,08	16,29	20,86	25,82	29,37	29,22	24,48	20,03	13,98	10

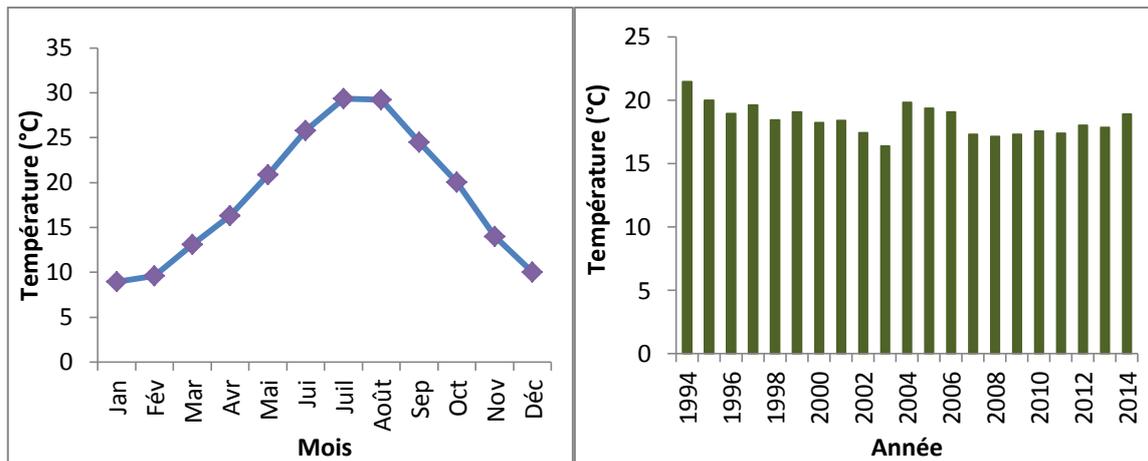


Figure 02: Variation de la température: station de Guelma (1994-2014).

a : moyenne mensuelle

b : interannuelle

4.1.2. Les précipitations

Les précipitations désignent tout type d'eau qui tombe sur la surface de la terre, tant sous forme liquide (bruine, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle), ainsi que les précipitations déposées ou occultes (rosée, gelée blanche, givre,...) (Bounouira, 2007).

D'après les données de la station météorologique de Guelma concernant la période 1994-2014, la répartition mensuelle des précipitations au cours de l'année indique que le mois le plus pluvieux est le mois de décembre avec un taux de précipitation de 83,6 mm. Alors que juillet représente le mois le plus sec des précipitations atteignant les 4,20 mm (Tab. 03, Fig. 03).

Tableau03 : Précipitations moyennes mensuelles en °C (1994-2014).

Station	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juit	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Guelma	87,76	73,75	62,08	53,90	45,18	16,16	4,20	11,4	41,80	39,10	62,55	83,60

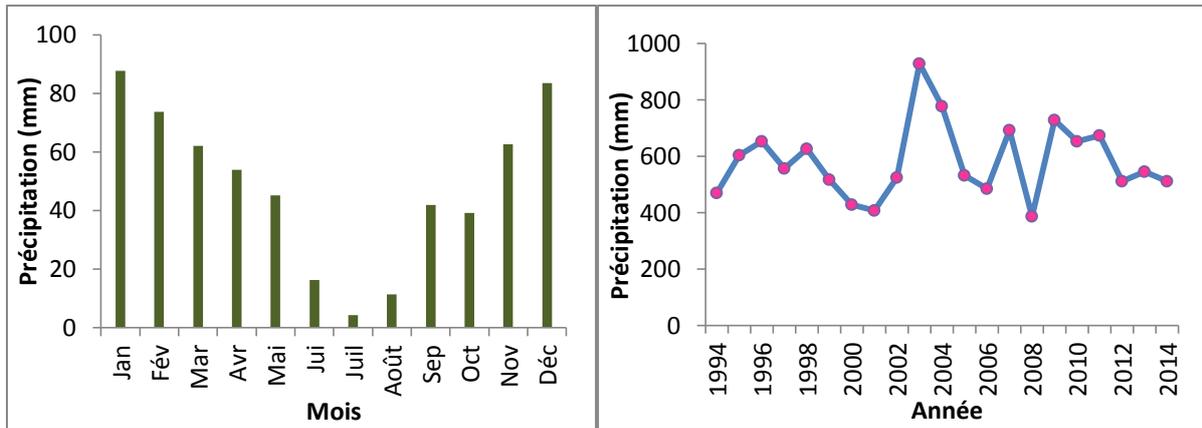


Figure03 : Variation des précipitations : station de Guelma (1994-2014).

a : moyenne mensuelle

b : interannuelle

L'analyse de la courbe des variations inter annuelles des précipitations (Fig. 03) montre que, sur la période 1994-2014, l'année 2003 est la plus pluvieuse avec un maximum de 928,8 mm/an (station de Guelma). En revanche, l'année la plus sèche est l'année 2008 des précipitations ne dépassant pas les 380,6 mm/an (station de Guelma).

4.1.3. L'humidité relative

L'humidité représente un facteur important conditionnant l'évaporation. À l'échelle mensuelle, l'humidité atteint un maximum de 76,72% le mois de janvier et un minimum de 55,57% le mois de juillet (Fig. 04). On remarque également, à l'échelle interannuelle, l'année 2000 a été caractérisée par un pourcentage de 65,46% d'humidité, alors que cette dernière a été de 72,6% en 2007 (Fig. 04).

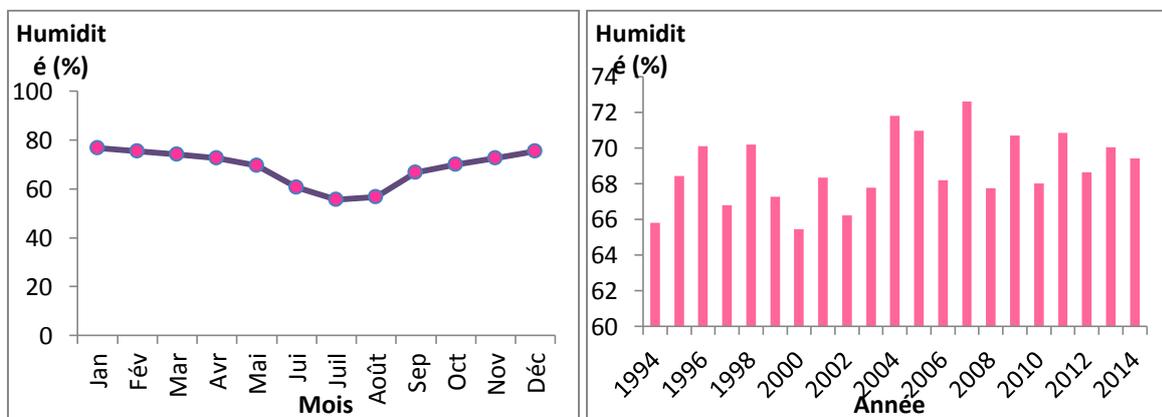


Figure 04: Variation de l'humidité: station de Guelma (1994-2014).

a : moyenne mensuelle

b : interannuelle

4.1.4. Le vent

Le vent est un élément important dans la détermination du régime pluvieux, de l'évaporation et par conséquent du climat. La variation de la vitesse moyenne du vent durant la période d'observation est assez constante, elle fluctue dans un intervalle de 1,4 à 1,91 m/s. Cependant, la valeur maximale a été prise en note en 2010 avec 2,03m/s (Fig.05).

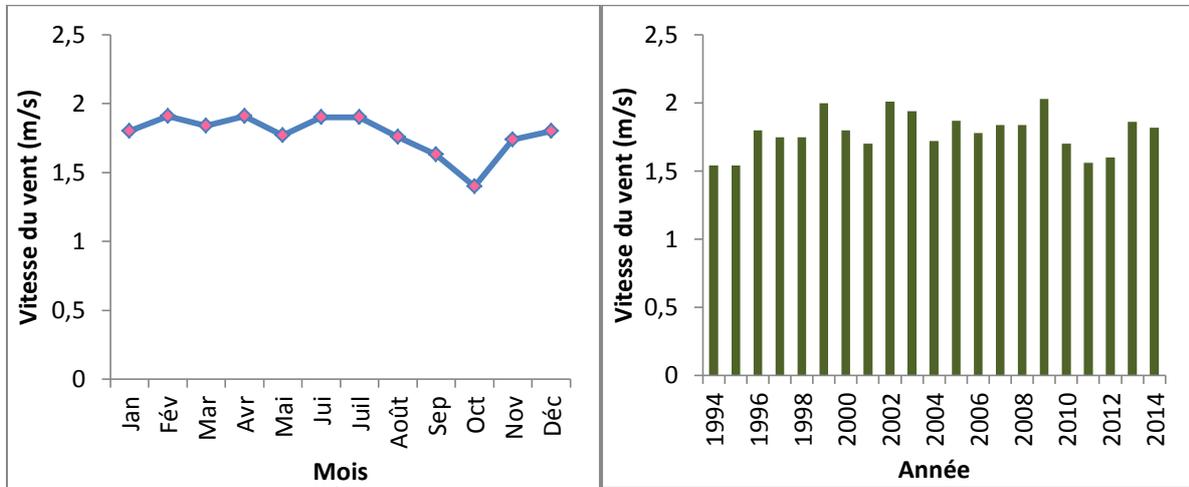


Figure 05: Variation de la vitesse du vent: station de Guelma (1994-2014).

a : moyenne mensuelle

b : interannuelle

4.2. Synthèse climatique

Pour déterminer le type de climat, nous avons utilisé deux méthodes, qui chacune va renseigner sur les caractéristiques du climat régional, il s'agit de Climagramme d'EMBERGER, et du diagramme Ombrothermique de Gausсен.

4.2.1. Diagramme de Bagnouls et Gausсен

Les travaux de Bagnouls et Gausсен constituent l'une des plus importantes tentatives visant à mettre en relation le couvert végétal et les données climatiques. Le bilan hydrique annuel étant considéré comme déterminant pour la végétation, il importe de connaître la longueur de la saison sèche. Par définition sera biologiquement sec tout mois dont le total des précipitations P (mm) est égal ou inférieur au double de la température mensuelle moyenne exprimée en degré centigrade ($P \leq 2T$) (Bagnouls & Gausсен, 1953).

Selon le diagramme (Fig. 06), on peut dire que Guelma a une période froide et humide s'étalant sur sept mois (mi-octobre à avril) et une autre chaude et sèche qui s'étale sur cinq mois, (mai à septembre).

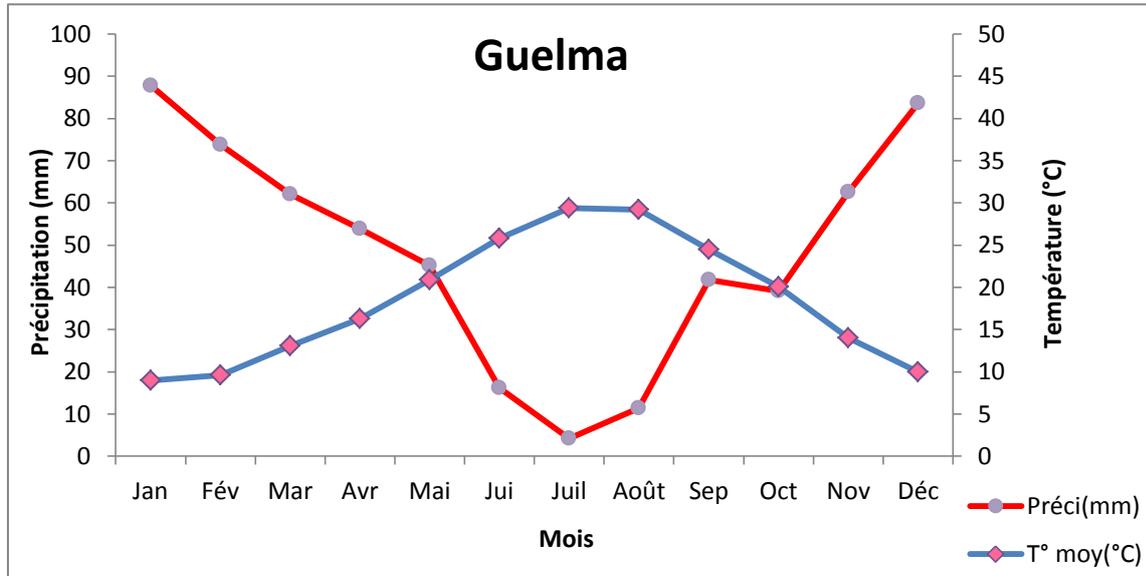


Figure06 : Diagramme Ombrothermique : station de Guelma (1994-2014).

4.2.2. Climagramme d'EMBERGER

Le quotient pluviothermique " Q_2 " d'EMBERGER correspond à une expression synthétique subdivisant le climat méditerranéen en cinq étages bioclimatiques, et capable de rendre compte de la sécheresse. Il est calculé à l'aide de la moyenne annuelle des précipitations (P en mm) et des températures. Pour cette dernière, elles sont prises en considération d'une part la moyenne des minimums du mois le plus froid " m ", et d'autre part la moyenne des maximums du mois le plus chaud " M " :

$$Q_2 = P \cdot 1000 / \frac{(M + m) \cdot (M - m)}{2}$$

M : Température maximale du mois le plus chaud (°K).

m : Température minimale du mois le plus froid (°K).

P : Précipitation moyenne annuelle.

La région de Guelma présente un $Q_2 = 63,99$, ce qui correspond à l'étage bioclimatique semi-aride (Fig. 07).

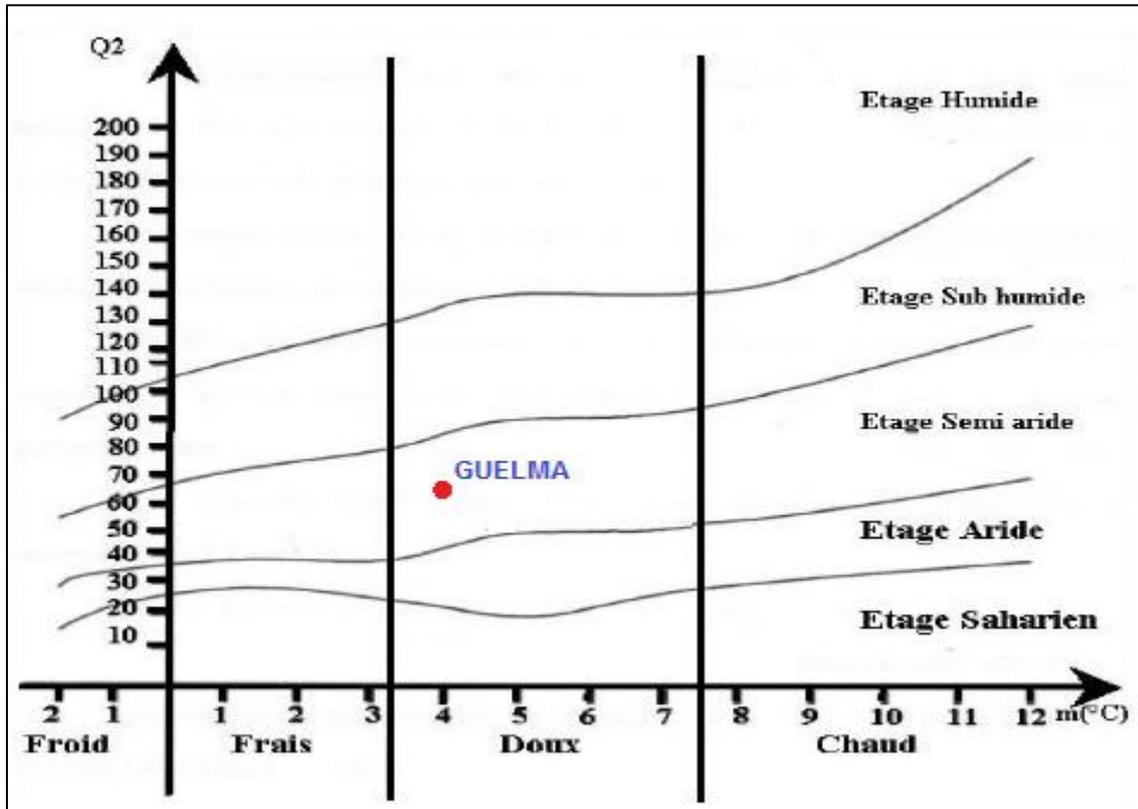


Figure07 :Climagramme d'Emberger (Station : de Guelma).

Chapitre II :

Hydrothérapie

1. Le rôle de l'eau minérale chaude sur la santé

Les avantages de la recherche de la santé de l'eau chaude pour les patients atteints des maladies diverses (rhumatisme, les os et les maladies de la peau...etc.) sont avérés, mais de nombreux experts estiment que le bénéfice du traitement avec de l'eau chaude nécessaire pour rester sur des périodes de plus d'une demi-heure et visiter périodiquement la convergence de 4-6 fois par an.

Le soufre de l'eau minérale chaude contribue à éliminer la douleur ; il y compris l'hospitalisation des maladies du système nerveux, en particulier l'arthrite, les inflammations des nerfs chroniques, les maladies du système locomoteur et les maladies du squelette, ainsi que l'hospitalisation de certaines maladies de la peau (la cellulite), certaines maladies respiratoires, cardiaques et articulaires.

L'anion de manganèse dans l'eau aide à diminuer le niveau de sucre dans le sang des diabétiques, il est utile dans les cas d'ostéoporose car ces eaux contiennent les éléments minéraux phosphore, ce qui constitue une importance dans les cas de fractures osseuses et en cas d'un manque de la vitamine D. C et élément contribue aussi à réduire la pression artérielle et de réguler le rythme cardiaque.

L'élément de magnésium trouvé dans l'eau chaude aide à guérir les cas de l'athérosclérose et la crise cardiaque. Il possède un rôle important dans le renforcement des traitements d'insuline et dans le traitement de l'asthme en partenaire avec le groupement de calcium. Le zinc aide à améliorer l'immunité du corps et faciliter la fonction du foie, le pancréas et le traitement des infections de la peau. Le cuivre est nécessaire dans les cas d'anémie et de l'arthrite. La silice est un des oligoéléments essentiels à une activité directe sur la peau. Il aurait de plus un rôle dans la cicatrisation cutanée.

2. Hydrothérapie par l'eau minérale chaude

2.1. Action thermique

Des bains dans une source chaude sont considérés comme une excellente thérapie à cause de tous leurs bienfaits. Le contenu minéral spécifique de la source offre des avantages uniques, permettant de nettoyer la peau et le corps en entier.

Les sources chaudes équilibrent et harmonisent notre corps et notre esprit tout à fait naturellement. L'eau chaude ayant une meilleure capacité de dissolution, elle peut porter plus d'éléments dissous qui sont souvent très chargées en minéraux, du simple calcium au lithium, parfois même du radium.

Les bains de vapeur ont également pour effet d'ouvrir les pores de la peau et évacuer une partie des déchets de l'organisme. Parmi ceux-ci ; les produits chimiques absorbés par l'air, l'eau ou les aliments, de même que les résidus toxiques de certains processus métaboliques. Cette détoxification se traduit par un bien-être général, elle est également utile dans le traitement de divers problèmes cutanés.

2.2. Action mécanique

L'eau chaude aide à mobiliser activement les articulations détériorées et drainer les membres inférieurs. Elle constitue une véritable pressothérapie qui aidera à la résorption d'œdèmes. Plusieurs types de massages peuvent être pratiqués sous des jets d'eau (apaisants ou stimulants), ce qui en multiplie d'autant le plaisir, et peut-être les bienfaits.

2.3. Action chimique

Quant aux minéraux, dont certains sont indispensables à la santé (calcium, potassium, magnésium, l'iode, ...etc.), on s'accorde à penser qu'ils procurent des effets bénéfiques en pénétrant dans le sang au cours des traitements. Les orientations thérapeutiques des différents instituts thermaux dépendent justement de la composition minérale de l'eau à laquelle ils ont accès.

2.4. Action psychique

Finalement, les bienfaits d'une séance dans un bain flottant sont assez limités en regard de l'hydrothérapie, mais les adeptes apprécient particulièrement la détente qu'on y expérimenté.

3. Les différentes techniques d'hydrothérapie

3.1. Les soins en Immersion

3.1.1. Bains Bouillonnants

Les jets propulseurs de bulles, dont certaines baignoires sont équipées, agissent de façon plus ou moins énergique pour apporter aux utilisateurs les bienfaits d'une séance d'hydrothérapie à domicile. Suivant la pression et la taille des bulles, on obtiendra des résultats différents. Pour se décontracter, combattre les insomnies, activer la circulation sanguine, détendre les muscles où bien tonifier la peau, on utilisera une pression réduite. Au contraire, on augmentera la pression si l'on souhaite éliminer les toxines en stimulant la

circulation sanguine, apaiser les douleurs du dos, réduire les tensions musculaires et combattre les méfaits de l'arthrite.

3.1.2. Bains de chromothérapie

La chromothérapie utilise la couleur pour détendre et relaxer. Les couleurs ont des longueurs d'onde qui exercent une influence physique, psychique et émotionnelle sur toutes les parties du corps qui répondent et réagissent aux vibrations lumineuses d'une couleur en particulier.

3.1.3. Bains de siège ou phlébotone

Il existe des baignoires adaptées à ce genre de bain. En effet, la pratique des bains de siège nécessite l'utilisation de deux baignoires. L'une, remplie d'eau froide, l'autre d'eau chaude. Le patient doit s'asseoir dans la baignoire d'eau chaude en gardant les genoux hors de l'eau et tremper les pieds dans la baignoire d'eau froide. Au bout de deux à trois minutes, le patient inverse sa position. Il doit répéter l'opération plusieurs fois de suite. Cette méthode d'hydrothérapie est préconisée dans le soulagement des congestions abdominales, pour soulager les hémorroïdes, les cystites et pour apporter une stimulation au foie et aux reins.

3.1.4. Bains Chauds

Le bain chaud est un bain dont on élève la température à 38 °C. On peut y adjoindre des plantes, des huiles essentielles et des sels, c'est ce que préconisent le plus souvent les naturopathes. Cependant, il convient de ne pas en abuser car ils peuvent provoquer une fatigue intense de l'organisme. De plus, les personnes atteintes de certaines maladies telles que le diabète, problèmes cardiaques, hypertension, ...etc., doivent être renoncé à ce type de traitement. Il est conseillé de toujours consulter son médecin traitant avant d'entamer toute thérapie afin qu'il puisse vérifier qu'il n'y a aucune contre-indication.

3.1.5. Bains Carbo-gazeux

Le bain carbo-gazeux sert à la diffusion de microbulles de gaz carbonique (CO₂) sous pression dans un bain général chaud(36 à 38 °C) pendant 10 ou 15 minutes. Le gaz carbonique induit une vasodilatation du lit capillaire sous-cutané. Associée à l'effet de massage des microbulles, cette action induit une diminution mesurable de la pression artérielle. Historiquement, il semble que ce soin possède un effet antalgique sur le goutteux.

3.1.6. Bains de boue

On utilise également des algues en cataplasmes car leurs propriétés ne manquent pas d'intérêt. La pratique des bains de boues possède plusieurs propriétés à savoir la décontraction des muscles, la diminution des inflammations et la stimulation de la circulation sanguine ...etc.

3.1.7. Jets sous-marins

Sous le contrôle d'un kinésithérapeute, en effectuant des mouvements devant des jets sortant des parois verticales et réglables en puissance et en direction pendant 12mn. Ce type de soin aide à l'assouplissement des articulations.

3.2. Les Douches

3.2.1. Aspersion à grande puissance

Agrippés à une barre, les patients sont soumis à une aspersion qui consiste à recevoir de puissants jets d'eau sur tout le corps. Les résultats que l'on attend de cette pratique d'hydrothérapie sont appréciés des asthmatiques mais aussi des migraineux. En outre, ces soins apportent les mêmes bienfaits que les autres pratiques d'hydrothérapie.

3.2.2. Douche à Jet basse pression

Il existe aussi des douches à basse pression dites "baveuses", délassantes et sédatives. Le soin se termine en général par un jet froid, sur les membres inférieurs en particulier pendant 7min. Le jet n'est jamais dirigé sur les zones sensibles du corps.

3.2.3. Douche à affusion

Allongé sous une pluie fine d'eau chaude, tous les bénéfices et la douceur d'un effet sédatif et relaxant.

3.2.4. Douche Sous-marine

Ce soin en baignoire allie les bienfaits d'un bain chaud et d'un massage ce qui aide à stimuler la circulation sanguine. Il a un effet antalgique et décontractant.

3.3. Autres Soins d'hydrothérapie

3.3.1. Cryothérapie

La cryothérapie permet d'insensibiliser les parties superficielles des zones du corps touchées par des lésions, comme une foulure par exemple. Bains, jets d'eau froide, compresses froides et massages avec de la glace sont les techniques utilisées dans cette discipline. Les principaux effets de la cryothérapie sont la diminution des spasmes musculaires, la réduction de gonflements post-traumatiques, l'accroissement de la mobilité en cas de douleur et la réduction des douleurs grâce au ralentissement des impulsions nerveuses.

3.3.2. Hydrojets

Allongé sur le dos sur un matelas d'eau chaude, ce soin relaxant consiste en un massage de tout le corps, effectué par le mouvement ondulatoire de l'eau chaude sous le matelas (soin sec).

3.3.3. Compresses chaudes et froides

Une autre thérapie offre des soulagements intéressants dans les problèmes de sinus et de renforcer les défenses immunitaires. Il s'agit d'applications de compresses humides et chaudes que l'on conserve une vingtaine de minutes. Afin de ne pas perdre trop rapidement les bienfaits de cette chaleur, le patient est soigneusement enveloppé dans des couvertures. Lorsque les vingt minutes sont écoulées, on change les compresses chaudes que l'on remplace alors par des compresses froides. Les vertus de ce traitement sont dues au fait que le corps réagit à ces changements de température.

3.3.4. Bains de vapeur et autres techniques

Pour nettoyer la peau en profondeur, la tonifier, de se débarrasser de ses impuretés ou simplement pour se détendre, on peut prendre des bains de vapeur dans des caissons d'où seule la tête dépasse. Ces stations sont suivies soit d'une douche, soit d'un bain froid. Les personnes pouvant le supporter choisiront la chaleur sèche des saunas. Le hammam, lui, génère de la vapeur chaude. Il vaut mieux ne souffrir d'aucuns troubles cardiaques pour s'a donné à ce type d'hydrothérapie.

3.3.5. Gymnastique douce en piscine

L'état d'apesanteur corporelle permet une meilleure amplitude articulaire, facilite le mouvement et accentue la décontraction. C'est un bassin de marche pour les soins de phlébologie, les jambes lourdes en particulier, où le parcours est organisé dans 50cm d'eau fraîche à 18°C, animé d'un courant contraire, sur un sol variable et un lit de galets destiné à exercer un massage de la plante des pieds. L'alternance du chaud-vasodilatateur et du froid-vasoconstricteur constitue une vraie gymnastique pour les veines. Elle favorise et améliore la circulation sanguine au niveau des jambes.

3.3.6. Hydrothérapie spécifique du côlon

Afin de débarrasser le gros intestin de ses déchets les plus vieux, certains thérapeutes pratiquent une irrigation du côlon avec de l'eau purifiée. Ils pensent résoudre la plupart des problèmes de constipations, maux de tête et la mauvaise haleine dus à l'accumulation de toxines provenant de ces déchets. Si cette pratique est souvent appréciée des patients, elle est rarement recommandée par les médecins qui craignent que cette irrigation élimine les bactéries utiles à la bonne santé de l'intestin. Ils ne sont pas favorables non plus à la présence d'une trop grande quantité d'eau dans le gros intestin, car cela peut créer un bouleversement dans l'équilibre électrolytique et se révéler finalement plus nuisible que profitable. L'hydrothérapie du côlon est une pratique très ancienne qui remonte à l'antiquité et qui était déjà connue plus particulièrement des égyptiens et des chinois.

En conclusion, le recours à l'hydrothérapie peut être simple ou complexe, dépendamment de l'usage qu'on en fait. Le naturopathe, pour sa part, recommandera à son patient des techniques d'hydrothérapie simples, adaptées aux besoins de ce dernier. Plus souvent qu'autrement, c'est l'hydrothérapie chaude qui sera recommandée. Le praticien qui voudra se spécialiser d'avantage en hydrothérapie, devra compléter sa formation auprès de spécialistes en la matière.

Chapitre III :

Matériel et

méthodes

1. Choix des stations de prélèvement

Pour contribuer à l'étude de l'évolution de la qualité bactériologique et physico-chimique des eaux des sources thermales de la région de Guelma, nous avons choisis quatre points de prélèvement (S1, S2, S3, S4), qui sont localisés à Hammam Ouled Ali et Hammam Debagh (Fig.08, Fig.09). Pour cette étude, 2 prélèvements sont effectués, le premier dans le mois de février 2016 et le deuxième dans le mois d'avril 2016 (Tab. 04).

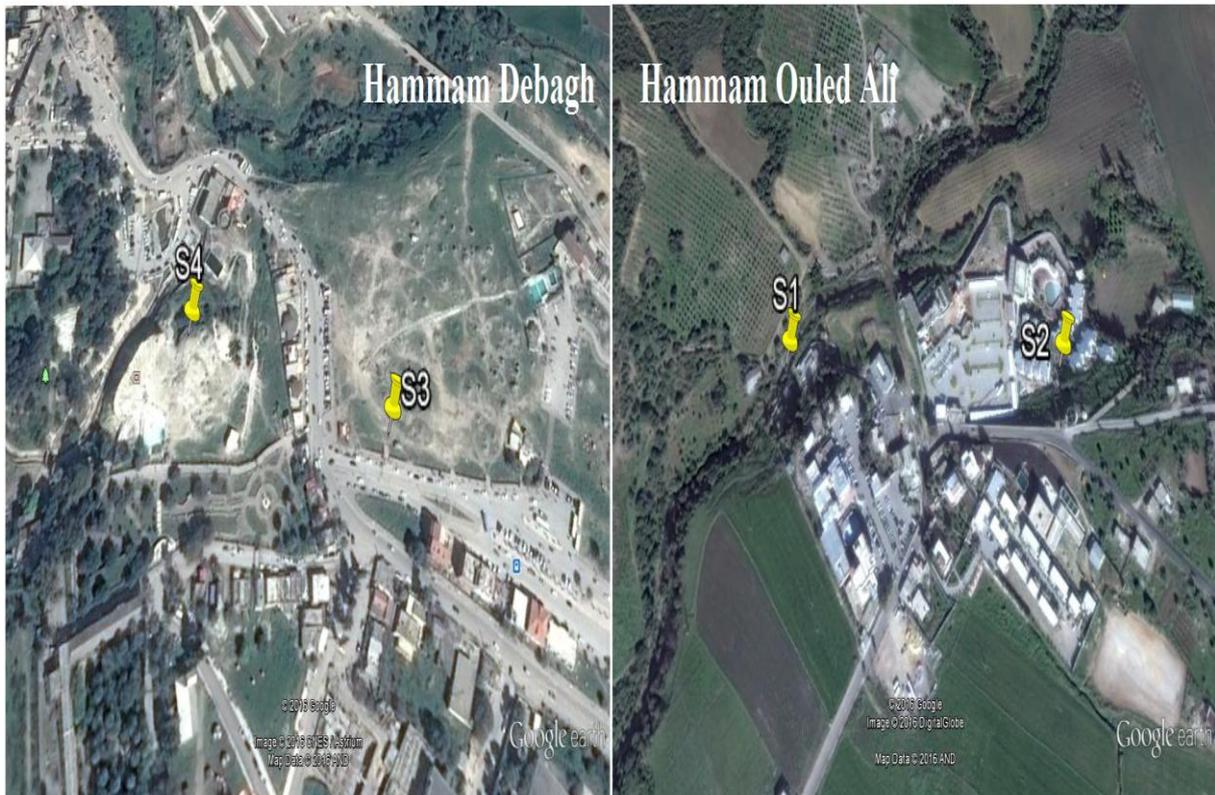


Figure 08 : La répartition des échantillons dans la zone d'étude (Google earth, 2016).

Tableau 04 : Présentation des points de prélèvement.

Points de prélèvement	Date de prélèvements		Localisation GPS	Type d'analyses à effectuées
S1	16-02-2016	9 :00	Latitude : 36°34'31.08"N Longitude : 7°22'52.39"E Altitude : 228 m	Bactériologiques et Physico-chimiques
	05-04-2016	8 :30		
S2	16-02-2016	9 :13	Latitude : 36°34'30.83"N Longitude : 7°23'6.74"E Altitude : 236 m	
	05-04-2016	8 :45		
S3	16-02-2016	10 :00	Latitude : 36°27'34.65"N Longitude : 7°16'18.17"E Altitude : 304 m	
	05-04-2016	9 :20		
S4	16-02-2016	10 :10	Latitude : 36°27'36.26"N Longitude : 7°16'11.27"E Altitude : 297 m	
	05-04-2016	9 :30		

2. Méthode de prélèvement

Les prélèvements pour l'analyse bactériologique nécessitent de nombreuses précautions de façon à ne pas contaminer l'échantillon lors de sa prise. Il faut utiliser de préférence des flacons en verre stériles de 250 ml munis d'un bouchon en métal pour les analyses bactériologiques et des flacons en plastiques de 1,5 L pour effectuer les analyses physicochimiques. Le mode de prélèvement varie suivant l'origine de l'eau à analyser.

2.1. Eau de source jaillissante: le prélèvement est effectué le plus près possible de l'émergence, nous débouchons le flacon et nous le plaçons dans une position où l'ouverture tournée dans la direction d'où provient le flux puis nous rebouchons soigneusement (Thierrin *et al.*, 2001).

2.2. Eau de source équipée d'un tuyau : l'eau est recueillie directement dans le flacon. Il ne doit, en aucun cas, avant le prélèvement, débarrasser le goulot de ses éventuels dépôts de calcaire ou d'algue. Le goulot d'une eau courante ne contamine pas l'échantillon (effet "autonettoyant" du jet) (Thierrin *et al.*, 2001).

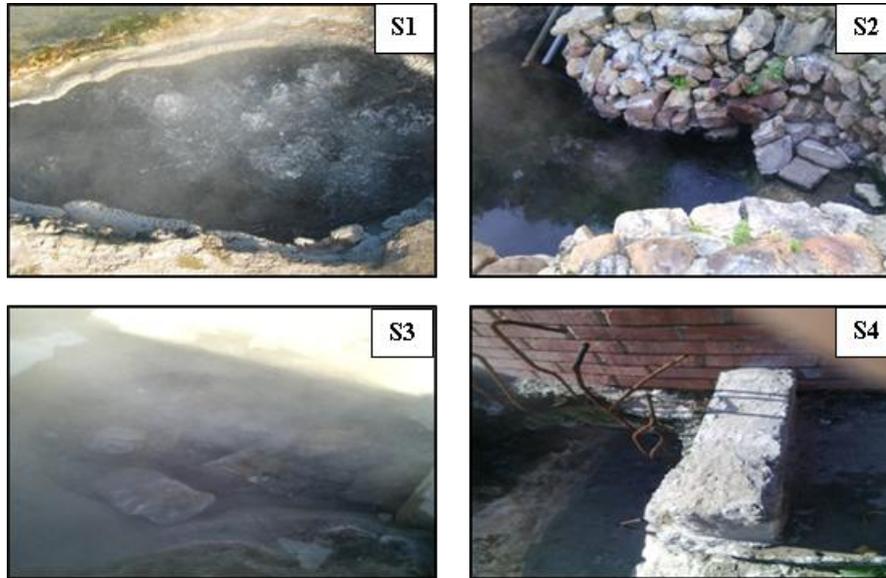


Figure09 : Présentation des points de prélèvement (photos présent par Doghman, Kemouguette et Selatnia, 2016).

3. Transport et conservation

L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension, etc.). D'une façon générale, le transport à la température de 4 °C et à l'obscurité dans des emballages isothermes permet d'assurer une conservation satisfaisante (Rodier, 2009).

Toute la partie expérimentale a été effectuée au niveau de laboratoire de microbiologie de la faculté SNV STU et le laboratoire de Génie civile et hydraulique de l'université de 8 Mai 1945 de Guelma.

4. Méthodes d'analyse

4.1. Méthodes d'analyse bactériologique

4.1.1. Recherche et dénombrement des germes revivifiables

La recherche et le dénombrement des germes revivifiables se réalisent à deux températures différentes afin de cibler à la fois les microorganismes à tendance psychrophiles soit à 22°C et ceux mésophiles soit à 37°C (Rejsek, 2002).

Mode opératoire

- A partir de l'eau à analyser (solution mère), porter aseptiquement 1 ml en double dans le fond de deux boîtes de Pétri vides.
- Numérotées et préparées à cet usage comme l'indique la figure 10.
- Compléter en suite avec environ 15 à 20 ml de gélose TGEA fondue, maintenue à 45°C.
- Agiter doucement par un mouvement circulaire et de va-et-vient en forme "8" pour assurer un mélange homogène de l'eau et de la gélose, sans faire de bulles d'air et sans mouiller les bords de la boîte.
- Le milieu doit être coulé 10 minutes au plus tard après reproduction de l'eau à analyser, laisser solidifier sur la palliasse, puis rajouter une deuxième couche d'environ 5 ml de la même gélose pour éviter toute contamination.
- Retourner les boîtes et incuber le premier à 37°C pendant 48 heures et le second à 22°C pendant 72 heures.

Lecture

Après incubation, une première lecture se fait à 24 heures, puis une deuxième lecture à 48 heures et une autre lecture à 72 heures.

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

Dénombrement

Il s'agit de dénombrer toutes les colonies, en tenant compte des deux remarques suivantes ; dénombrer les boîtes contenant entre 15 et 300 colonies et les résultats sont exprimés en UFC de microorganismes revivifiables par ml d'eau à analyser à 22°C et 37°C.

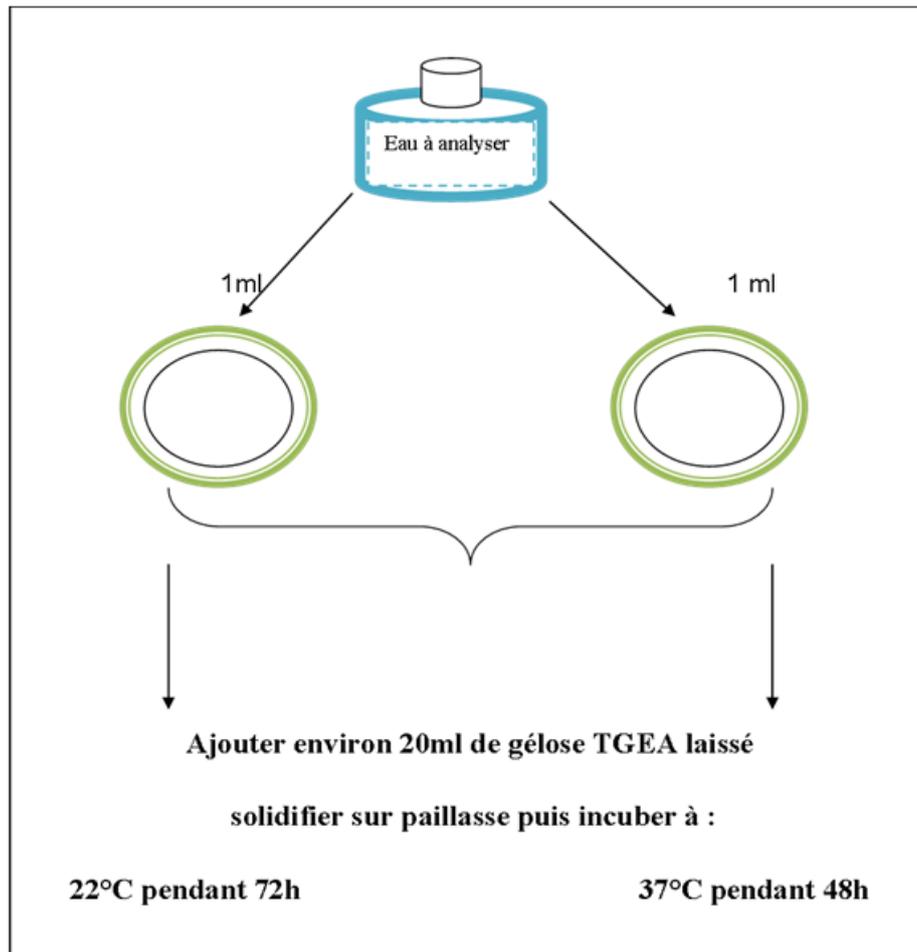


Figure 10 : Dénombrement des microorganismes revivifiables à 22 et à 37°C.

4.1.2. Recherche et dénombrement des germes témoins de contamination fécale

4.1.2.1. Recherche et dénombrement des coliformes

Le terme « coliforme » correspond à des organismes en bâtonnets, non sporogènes, Gram négatifs, oxydase négatifs, facultativement anaérobies, capables de croître en présence de sels biliaires ou d'autres agents de surface possédant des activités inhibitrices de croissance similaires, et capables de fermenter le lactose (et le mannitol) en 48 heures, à des températures de 35 à 37 °C.

La colimétrie consiste à déceler et dénombrer les germes coliformes dont les coliformes fécaux, "notamment d'origine fécale". Elle se réalise en deux étapes :

- La recherche présomptive des coliformes.
- La recherche confirmative des coliformes thermo tolérants et *E.coli*.

Mode opératoire

a. Test présomptif

Pour ce test, on utilise le milieu BCPL en D/C et S/C, les tubes sont munis de cloche de Durham pour déceler le dégagement éventuel de gaz dans le milieu

A partir de l'eau à analyser, porter aseptiquement:

-50 ml dans un flacon contenant 50 ml de milieu BCPL D/C.

-5 fois 10 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL D/C.

-5 fois 1 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL S/C (Fig.11).

- Chassez l'air éventuellement présent dans les cloches de Durham et mélanger bien le milieu et l'inoculum. L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 heures (Labres, 2006).

- Les tubes présentant un aspect trouble de couleur jaune et du gaz dans la cloche, sont considérés comme positif autrement dit pouvant contenir des coliformes totaux.

- Noter le nombre de tubes positifs dans chaque série et se reporter à la table de Mac Grady (Méthode 1.5.5) pour obtenir le nombre de coliformes totaux présents dans 100 ml d'eau à analyser.

b. Test confirmatif

Le terme de « coliformes fécaux » ou de « coliformes thermo-tolérants » correspond à des coliformes qui présentent les mêmes propriétés (caractéristiques des coliformes) après incubation à la température de 44 °C. Le terme « *E. coli* » correspond à des coliformes thermo tolérants qui produisent de l'indole à partir du tryptophane et ont les caractères biochimiques propres à cette espèce. Le test de confirmation consiste à déceler la présence des coliformes thermo tolérants parmi lesquels on y trouve *E.coli*.

L'incubation se fait à 44°C pendant 24 à 48 heures. Dans les tubes montrant un trouble et un dégagement gazeux dans la cloche de Durham, ajouter quelques gouttes de réactif Kovacks. Une réaction considérée positive correspond à la formation d'anneau rouge à la surface de tube autrement dit présence de coliformes fécaux (*E. coli*). Noter le nombre des tubes positifs et exprimer le résultat selon la table de Mac Grady (Méthode 1.5.5) pour déterminer le (N.P.P) de coliformes fécaux par 100 ml d'échantillon.

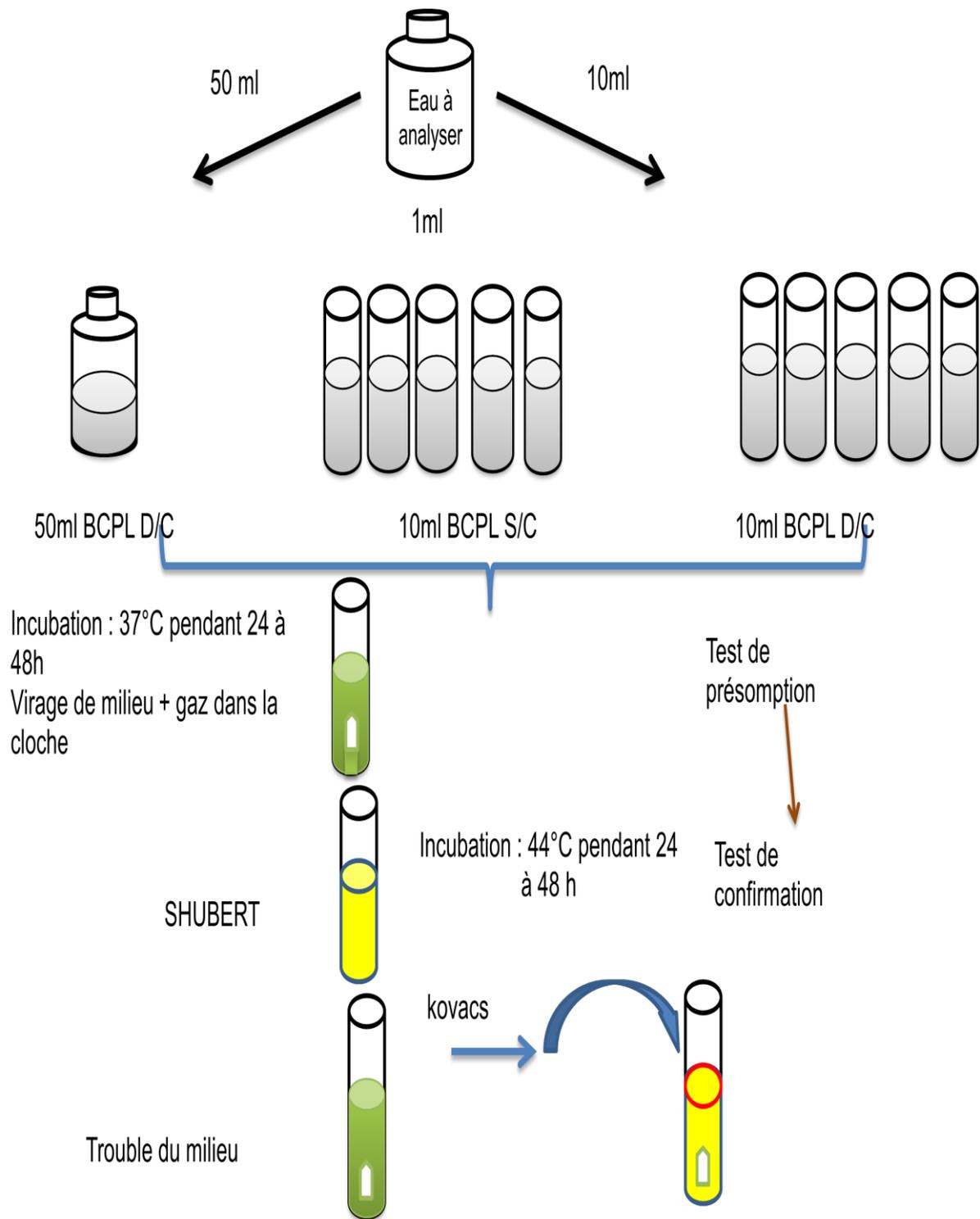


Figure 11 : Recherche et dénombrement des coliformes totaux et les coliformes.

4.1.2.2. Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux

Les Streptocoques fécaux sont dénombrés en milieu liquide à l'aide de deux bouillons de culture (milieu de Rothe et le milieu Eva Litsky). Cette méthode fait appel à deux tests consécutifs à savoir: test de présomption suivi du test de confirmation.

Mode opératoire

a. Test présomptif

A partir de l'eau à analyser bien homogénéisée,ensemencer :

-50 ml dans un flacon contenant 50 ml de milieu Rothe D/C.

-5 fois 10 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu Rothe D/C.

-5 fois 1 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu Rothe S/C (Fig.12).

-Incuber les tubes à 37°C pendant 24 à 48 heures. Les tubes présentant un trouble microbien pendant cette période seront considérés comme susceptibles de contenir un streptocoque fécal, ils seront obligatoirement soumis au test confirmatif.

-Noter le nombre de tubes positifs dans chaque série (Lebres, 2006).

b. Test confirmatif

A partir des tubes de bouillon positif, ensemencer 2 ou 3 gouttes dans un bouillon à l'éthyle violet et acide de sodium (Eva – Litsky). Incuber les tubes à 37°C pendant 24 heures (Fig.12). Considérés comme positif les tubes pour lesquels nous observons un trouble due au développement bactérien, avec ou sans dépôt violet. Compter les tubes positifs dans chaque série et se reporter à la table de Mac Grady (Méthode 1.5.5) pour obtenir le nombre de streptocoques fécaux présent dans 100 ml d'eau à analyser.

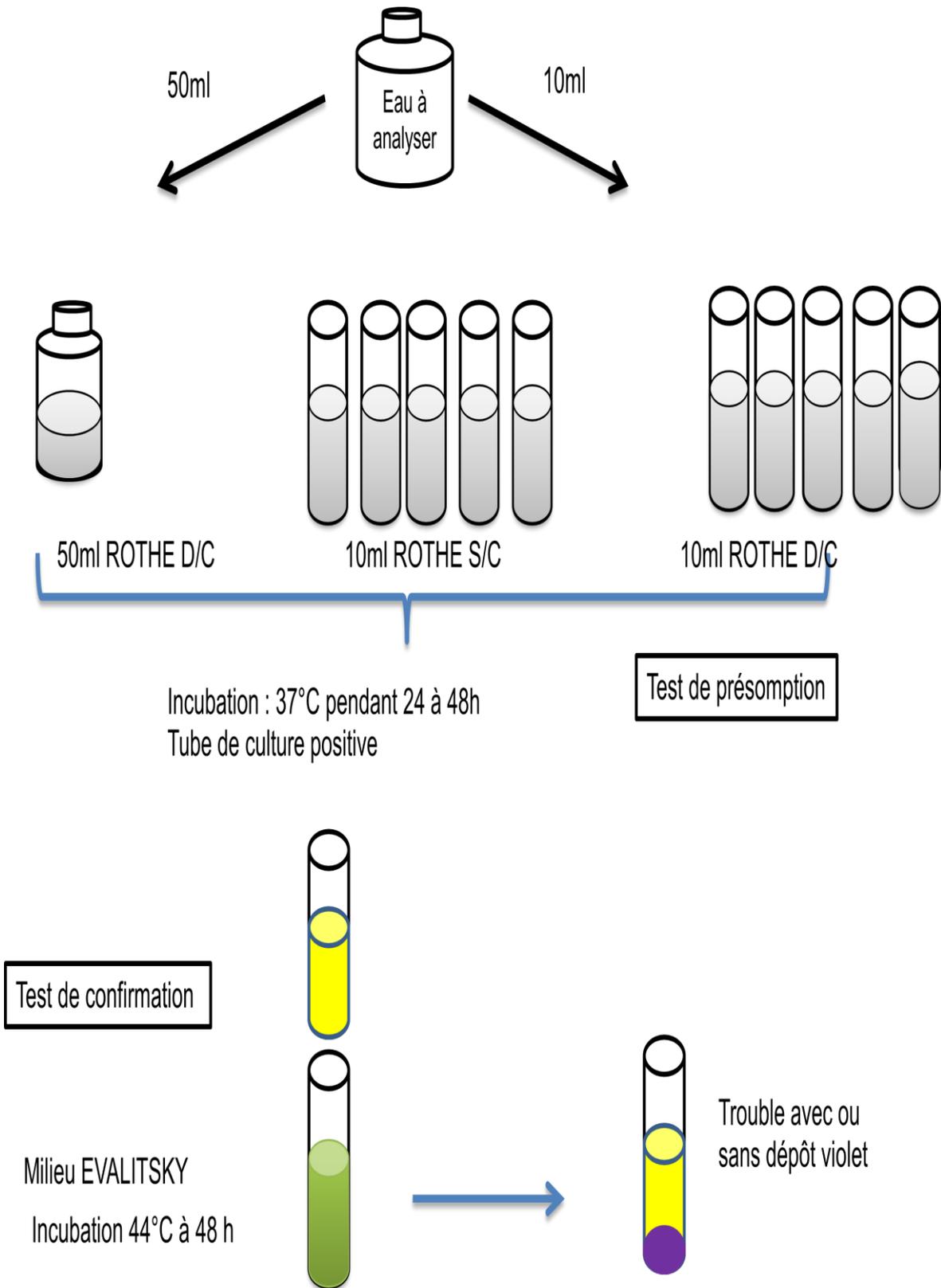


Figure 12 : Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux.

4.1.3. Recherche et dénombrement des spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrice

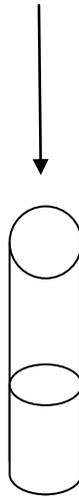
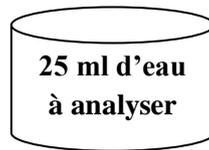
Les anaérobies sulfito-réducteurs (ASR) se présentent sous forme de bactéries Gram⁺, se développant en 24 à 48 heures sur une gélose viande foie (VF) en donnant des colonies typiques réduisant le sulfite de sodium (Na^2SO_3) qui se trouve dans le milieu, en sulfure qui en présence de Fe^{+2} donne FeS (sulfure de fer) de couleur noire (Fig.13). Les spores des ASR constituent généralement des indices de contamination ancienne (Rejsek, 2002).

Mode opératoire

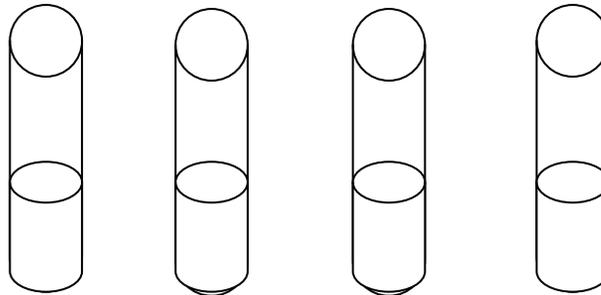
- Après l'avoir homogénéiser soigneusement, introduire 25 ml d'eau à analyser dans un tube stérile et placer celui-ci dans un bain d'eau à 80°C pendant 10 minutes dans le but de détruire toutes les formes végétatives des ASR éventuellement présentes.
- Refroidir rapidement sous l'eau de robinet.
- Répartir ensuite le contenu de ce tube, dans 4 tubes stériles, à raison de 5 ml par tube.
- Couler dans chacun d'eux 20 ml de gélose VF, fondue puis refroidir à $45 \pm 1^\circ\text{C}$, additionnée 1 ml de la solution de sulfite de sodium et 4 gouttes de la solution d'alun de fer.
- Mélanger doucement sans incorporer de bulles d'air.
- Laisser solidifier sur la paillasse pendant 30 minutes environ, puis incubé à 37°C pendant 24 à 48 h (Lebres, 2006).

Lecture et expression des résultats

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



Chauffage à 80°C pendant 10 minutes, refroidir rapidement
Répartir à raison de 5 ml par tube dans 4 tubes.



Ajouter 20 ml de gélose VF fondue puis refroidie à $45 \pm 1^\circ\text{C}$
Laisser solidifier puis incuber à 37°C pendant 24 à 48h.

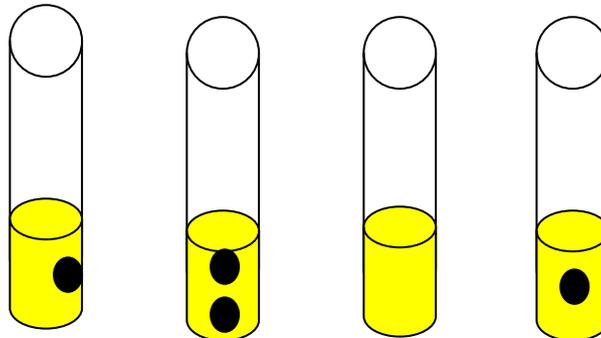


Figure 13 : Recherche et dénombrement des germes anaérobies sulfite réducteurs.

4.1.4. Recherche et isolement des germes pathogènes

4.1.4.1. Méthode d'ensemencement sur gélose

Les géloses employées sont : GN, colombia, Hektoen, Salmenelles-Schigelles (SS), Chapman, GNAB. L'ensemencement par stries sur boîtes de Pétri est pratiqué le plus souvent dans un but d'isolement. L'inoculum est prélevé directement à partir de l'eau à analyser est déposé sur un point périphérique de la gélose puis disséminé par stries sur toute la surface. Les boîtes sont codées puis incubées à 37°C pendant 24 à 48 heures.

4.1.4.2. Isolement et purification des souches

Sur les géloses colombia, Hektoen, Chapman, GN, GNAB, qui sont mises en culture, nous avons choisi les colonies suspects ou désirées et les repiqué dans des nouvelles boîtes gélosés afin de vérifier la pureté des souches. Ces milieux gélosés sont ensemencés par stries et incubés à 37°C pendant 24 heures.

4.1.5. Identification

4.1.5.1. Caractéristiques morphologiques

Dans les conditions données, chaque espèce bactérienne développe une colonie de taille, de forme, de couleur et de consistance caractéristiques (Singleton, 1999). Nous avons noté pour chaque type des colonies distinctes les caractéristiques suivants: (diamètre, contour, élévation, couleur, surface, odeur, consistance).

4.1.5.2. Examen microscopique

a) Examen microscopique à l'état frais

L'état frais permet d'observer des bactéries vivantes et apporte des renseignements sur la morphologie, le mode de groupement, la mobilité et la quantité approximative de bactéries par champ microscopique (Delarras *et al.*, 2003).

b) Examen microscopique après coloration de Gram

A partir des colonies suspectes isolées sur les milieux de cultures précédents, nous avons réalisé une coloration Gram.

4.1.5.3. Identification biochimique

a) Test oxydase

Le test consiste à mettre en évidence la capacité que possède la bactérie à oxyder un réactif incolore (la NN-diméthyl-paraphénylène diamine) en un dérivé rose violacé.

b) Test catalase

La catalase est une enzyme qui dégage l'eau oxygène (issus de la voie respiratoire oxydative directe) en eau et oxygène libre qui se dégage sous forme gazeuse selon la réaction suivante:



c) Galerie biochimique

Actuellement les tests biochimiques d'identification sont effectués plus souvent sur des automates. Les systèmes « bioMérieux » utilisent des cartes plastiques renfermant des microcupules, chaque cupule contenant un substrat spécifique déshydraté. Nous avons procédé à l'identification par la galerie API 20 E, qui permet de différencier les espèces de la famille des *enterobacteriaceae*, la galerie API 20 NE pour les espèces qui n'appartiennent pas à la famille des *enterobacteriaceae* et la galerie API Staph pour les espèces appartenant à la famille des Staphylocoques. Son principe consiste à incuber dans les micro-cupules à l'aide d'une pipette pasteur, une suspension bactérienne homogène. L'incubation se fait à 37 °C pendant 24h et se traduit par les virages colorés spontanés ou révélés par l'addition de réactifs. L'identification se fait selon le profil numérique à l'aide du catalogue analytique de chaque système API.

4.2. Analyse physicochimique

Le matériel utilisé sur le terrain regroupe : un appareil photo numérique, GPS et un multi paramètre de type Multi 1970i qui mesure les paramètres physiques à savoir : le pH, la conductivité, l'oxygène dissous. Il donne les premiers indicateurs sur la qualité des eaux.



Figure 14 : Un multi paramètre de type Multi 1970i et GPS (photos présent par Doghman ,Kemouquette et Selatnia, 2016).

4.2.1. Les mesures in situ

Certains paramètres physicochimiques ont été mesurés directement sur site au niveau de chaque point de prélèvement. Ces paramètres sont :

- a) La température (°C) ;
- b) L'oxygène dissous (en mg/l) ;
- c) La conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ;

4.2.2. Les mesures de laboratoire

a. pH

Il est mesuré à l'aide d'un pH mètre muni d'une électrode préalablement étalonné avec des solutions tampon.

b. Les analyses chimiques

Il est à noter qu'on a pratiqué des dilutions sur tous les échantillons prélevés avant chaque mesure et elles sont prises en considération lors des calculs des concentrations de tous les éléments chimiques.

b.1. Dureté ou titre hydrotimétrique (TH)

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion hydrogène. Dans la plupart des cas la dureté est surtout due aux ions calcium et magnésium (Rodier, 2009).

➤ Mode opératoire

Elle est obtenue par la méthode complexométrique par titrage à l'EDTA en présence d'un indicateur coloré (noir ériochrome T à 0,5 %) et dans un milieu tamponné pH = 10. Introduire 50 ml d'eau à analyser dans une fiole conique de 250 ml, ajouter 4 ml de solution tampon de chlorure d'ammonium et trois gouttes de solution de noir ériochrome T. La solution se colore en rouge foncé ou violet, le pH doit être de 10. En maintenant une agitation, verser la solution d'EDTA rapidement au début puis goutte à goutte lorsque la solution commence à virer au bleu. Vérifier que la coloration change plus par l'addition d'une goutte supplémentaire d'EDTA.

La concentration totale en calcium et magnésium, exprimée en milliéquivalents par litre, est donnée par l'expression

$$1\ 000 \times \frac{c \times v_1}{v_2}$$

Où :

c = Concentration en milliéquivalents par litre de la solution d'EDTA ;

v_1 = Volume en mL de la solution d'EDTA ;

v_2 = Volume d'échantillon.

b.2. Calcium

Le calcium est dosé par complexométrie par titrage à l'EDTA en présence d'un indicateur colorée (Murexide) et une solution d'hydroxyde de sodium 2 N (Rodier, 2009).

➤ **Mode opératoire**

Dans une fiole conique de 250 ml, introduire successivement :

- 50 ml d'eau à analyser ;
- 2 ml de la solution d'hydroxyde de sodium ;
- 0,2 g indicateur (Murexide).

Ajouter la quantité de solution d'EDTA nécessaire pour avoir un virage au bleu. Soit V le volume versé et f le rapport entre le titre ainsi mesuré de la solution d'EDTA et le titre théorique (0,01 M). La teneur en calcium est égale à :

$$\text{Ca (mg/l)} = \frac{V \times f \times 0,4008 \times 1000}{50}$$

b.3. Magnésium

La différence entre la dureté totale et la dureté calcique donne directement la dureté magnésienne de l'eau analysée (Rodier, 2009).

$$\text{TH} = \text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$$

b.4. Bicarbonates

Le dosage des bicarbonates est réalisé par titrimétrie, on a fait agir une solution de concentration connue d'acide sulfurique H_2SO_4 sur un volume précis d'échantillons (100

ml) en présence de l'orange de méthyle comme indicateur ; la réaction qui se produit est due à la neutralisation des ions de bicarbonate par les ions H⁺ de l'acide sulfurique(Rodier, 2009).

➤ **Mode opératoire**

- Détermination du TA (titre alcalimétrique):prélever 100 ml d'eau à analyser dans une fiole conique. Ajouter 1 à 2 gouttes de solution alcoolique de phénol phtaléine. Une coloration rose doit alors se développer. Dans le cas contraire le TA est nul, verser ensuite doucement l'acide chlorhydrique ou sulfurique 0,02 N dans la fiole à l'aide d'une burette, en agitant constamment, et ceci jusqu'à décoloration complète de la solution.

Détermination du TAC(titre alcalimétrique complet) :utiliser l'échantillon traité précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas eu de coloration. Ajouter 2 gouttes de solution de rouge de méthyle et titrer de nouveau avec le même acide jusqu'à disparition de la coloration bleu verdâtre et apparition de la couleur rose.

$\frac{V}{5}$: exprime le titre alcalimétrique complet (TAC) en milliéquivalents par litre.

$$[\text{HCO}_3^-] = \text{TAC} \times 61 \text{ en mg/l}$$

b.5. Chlorures

Les chlorures sont déterminés par volumétrie selon la méthode de Mohr, en faisant précipiter le chlorure d'argent par réaction des ions chlorures avec les nitrates d'argent et en présence d'une solution de chromate de potassium K₂CrO₄ à 10 % comme un indicateur(Rodier, 2009).

➤ **Mode opératoire**

Introduire 100 ml d'eau à analyser (préalablement filtrée si nécessaire).Ajouter 2 à 3 gouttes d'acide nitrique pur puis une pincée de carbonate de chaux et 3 gouttes de solution de chromate de potassium à 10 %.Verser alors au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre, qui doit persister 1 à 3 minutes.

Pour une prise d'essai de 100 ml :

$$V \times 10 \times 3,55 \text{ donne la teneur en chlorures, exprimée en mg/l.}$$

b.6. Sodium, Potassium

Les teneurs de sodium et potassium sont déterminées par spectrophotométrie d'émission de flamme JENWEY-PEP7.

Cette méthode consiste à exciter l'atome à l'aide de la flamme (source d'énergie) afin que l'électron de valence atteigne le niveau d'énergie supérieur. Une fois la longueur d'onde sélectionnée, l'élément peut être analysé.

b.7. Sulfates, Nitrites, Ammonium, Orthophosphates et Silice

Les sulfates et les nutriments : nitrites, ammonium et orthophosphate ainsi que la silice sont déterminés par une méthode colorimétrique à l'aide d'un coffret test spectroquant, la lecture est faite à l'aide d'un spectrophotomètre adapté. Les modes opératoires sont illustrés dans les tableaux suivants :

Tableau 05 : Dosage des Sulfates.

Echantillon préparé (15 - 40 °C)	2,5 ml	Pipeter dans un tube à essai.
Réactif SO₄⁻¹	2 gouttes	Ajouter et mélanger.
Réactif SO₄⁻²	1 micro-cuillère	Ajouter boucher le tube et mélanger.
Chauffer le tube pendant 5 minutes à 40 °C au bain-marie (temps de réaction A) en agitant de temps en temps.		
Réactif SO₄⁻³	2,5 ml	Ajouter à la pipette, boucher le tube et mélanger.
Filtrer le contenu du tube par un filtre rond dans un second tube à essai avec bouchon fileté : filtrat.		
Réactif SO₄⁻⁴	4 gouttes	Ajouter au filtrat, boucher le tube et mélanger.
Chauffer le tube pendant 7 minutes à 40 °C au bain-marie (temps de réaction B) en agitant de temps en temps.		
Introduire l'échantillon dans une cuve de 10 mm et mesurer dans le photomètre.		

Tableau 06 : Dosage des Nitrites.

Echantillon préparé (15 - 25 °C)	5,0 ml	Pipeter dans un tube à essai.
Réactif NO₂⁻¹	1 micro-cuillère	Ajouter et agiter vigoureusement jusqu'à dissolution totale du réactif.
Laisser reposer 10 minutes (temps de réaction), puis introduire l'échantillon dans la cuve et mesurer dans le photomètre.		

Tableau 07 : Dosage de l'ion Ammonium.

Echantillon préparé (20 - 30 °C)	5,0 ml	Pipeter dans un tube à essai.
Réactif NH₄⁻¹ (20 - 30 °C)	0,60 ml	Ajouter à la pipette et mélanger.
Réactif NH₄⁻²	1 micro-cuillère	Ajouter et agiter vigoureusement jusqu'à dissolution totale du réactif.
Laisser reposer 5 minutes (temps de réaction A).		
Réactif NH₄⁻³	4 gouttes	Ajouter et mélanger.
Laisser reposer 5 minutes (temps de réaction B), puis introduire l'échantillon dans la cuve et mesurer dans le photomètre.		

Tableau 08 : Dosage des Orthophosphates.

Echantillon préparé (10 - 35 °C)	5,0 ml	Pipeter dans un tube à essai.
Réactif PO₄⁻¹	5 gouttes	Ajouter et mélanger.
Réactif PO₄⁻²	1 micro-cuillère	Ajouter et agiter vigoureusement jusqu'à dissolution totale du réactif.
Laisser reposer 5 minutes (temps de réaction), puis introduire l'échantillon dans la cuve et mesurer dans le photomètre.		

Tableau 09 : Dosage de Silicium.

Echantillon préparé (20 - 40 °C)	5,0 ml	Pipeter dans un tube à essai.
Réactif Si-1	3 gouttes	Ajouter et mélanger.
Laisser reposer 3 minutes (temps de réaction A).		
Réactif Si-2	3 gouttes	Ajouter et mélanger.
Réactif Si-3	0,50 ml	Ajouter à la pipette et mélanger.
Laisser reposer 10 minutes (temps de réaction B), puis introduire l'échantillon dans la cuve et mesurer dans le photomètre.		

Chapitre IV :

Résultats et

Discussion

1. Analyse bactériologique

Les résultats des dénombrements des germes totaux (GT), coliformes totaux (CT), coliformes fécaux (CF), streptocoques fécaux (SF) et les anaérobies sulfito-réducteurs (ASR) concernant les quatre points d'eau choisis dans cette étude sont représentés ci-dessous graphiquement.

1.1. Dénombrement des germes revivifiables (22 °C, 37 °C)

Les résultats obtenus durant toute la période d'étude montrent des valeurs faibles de la flore mésophile aérobie totale pour tous les sites, elles ne dépassent pas 15 UFC/ml respectivement pour les GT à 22 °C et les GT à 37 °C. Ceci peut être expliqué qu'une grande partie de ces bactéries, dans les environnements naturels, ne se développent pas sur les milieux de culture et à des températures habituellement utilisées pour l'isolement au laboratoire.

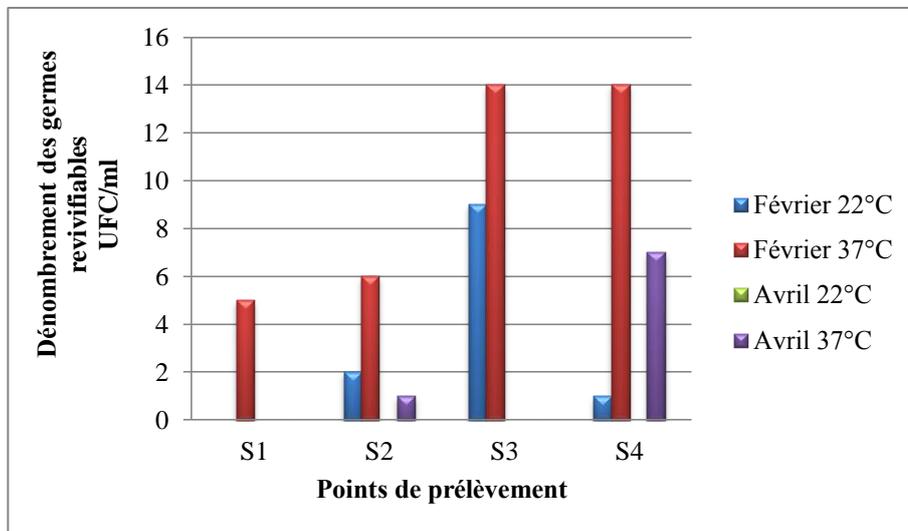


Figure 15 : Variation spatio-temporelle des germes revivifiables.

1.2. Dénombrement des germes témoins de contamination fécale

1.2.1. Dénombrement des coliformes totaux

Les coliformes constituent avec les Streptocoques fécaux le groupe de bactéries le plus fréquemment utilisé pour l'examen bactériologique de l'eau. Ils sont recherchés dans l'eau comme témoins de contamination fécale (Poole et Hoberson, 1979 ; Gaujous, 1995). Les résultats obtenus varient de 0 à 43 CT/100 ml valeur maximale notée au mois

d'Avril, et qui dépasse les normes de potabilité (10 CT/100 ml) exigées par l'O.M.S (2004) (Fig.16).

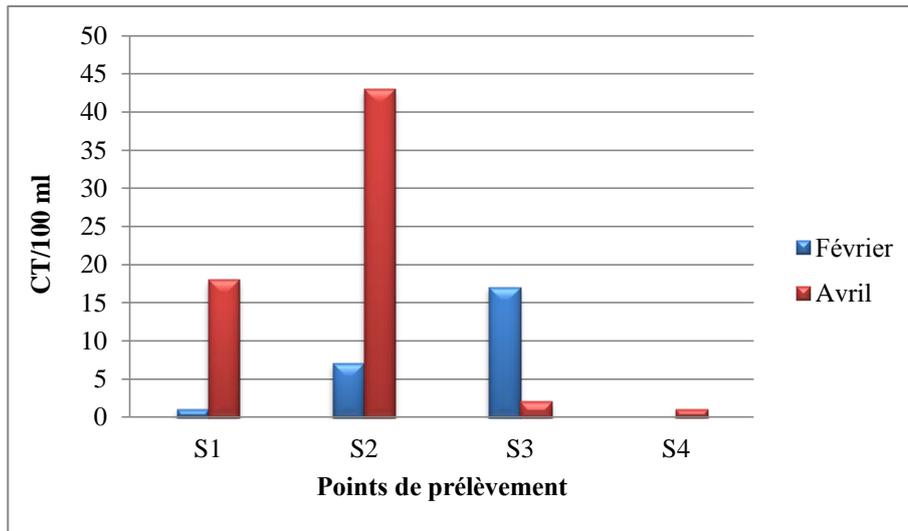


Figure 16 : Variation spatio-temporelle des coliformes totaux.

1.2.2. Dénombrement des coliformes fécaux

Les résultats obtenus montrent que le nombre de coliformes fécaux dans les eaux analysées dépasse la norme de (0 CF/100 ml) l'OMS (2004). La variation de la charge bactérienne en coliformes fécaux, fluctue entre 1 et 17 CF/100 ml. (Fig.17).

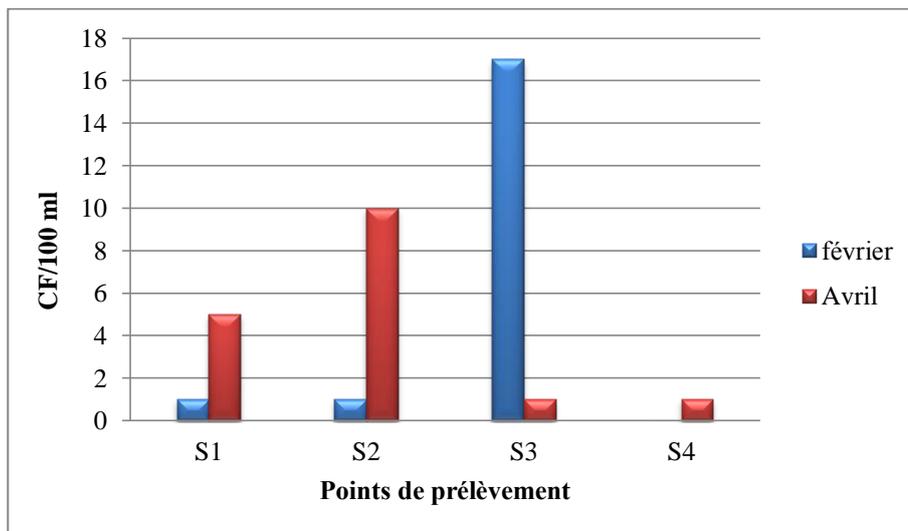


Figure 17 : Variation spatio-temporelle des coliformes fécaux.

1.2.3. Dénombrement des Streptocoques fécaux

Les streptocoques fécaux sont considérés comme des indicateurs spécifiques de contamination fécale. Ils se multiplient rarement dans l'environnement et résistent mieux aux conditions défavorables que les coliformes (Gantzer *et al.*, 1998). Les concentrations de ces bactéries fécales sont variables, allant de 1 SF/100 ml à 54 SF/100 ml. Plus de la moitié (50 %) des échantillons analysés montrent des valeurs supérieures aux normes de potabilité (0 SF/100 ml). L'examen de la figure 18 montre une légère fluctuation de la charge bactérienne entre les mois avec un maximum de 54 SF/100 ml enregistré au mois de Février au niveau de S3.

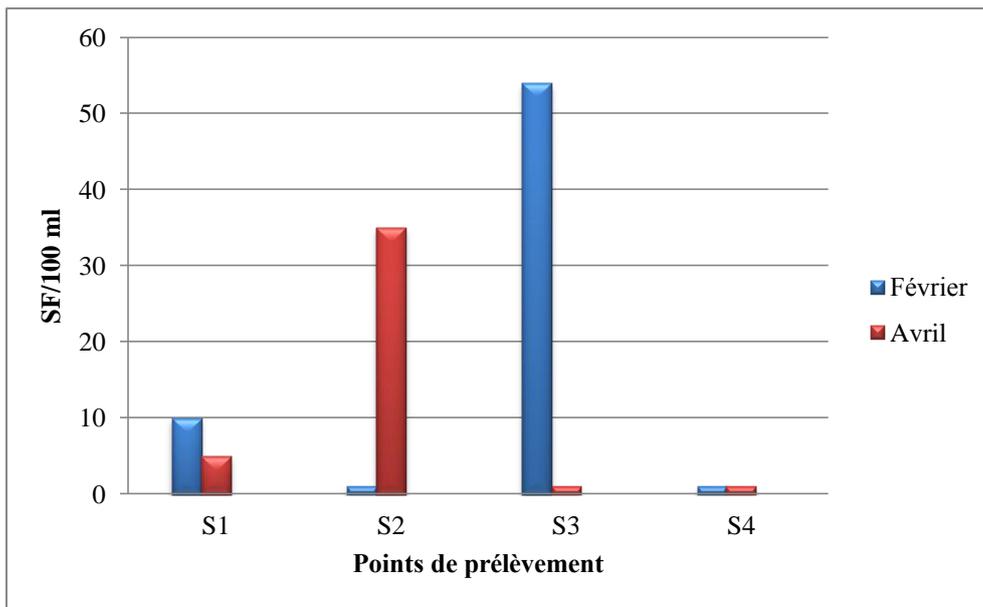


Figure 18 : Variation spatial des streptocoques fécaux.

- **Interprétation des résultats des coliformes et streptocoques**

Pendant et après des précipitations, des bactéries dangereuses peuvent pénétrer dans les nappes phréatiques. Ces eaux vont pénétrer par des fissures à partir de terrains poreux, ruisselées sur des zones souterraines puis fin remontées: on parle de cycle hydrogéologique. Donc La contamination par les coliformes et les *Streptocoques* peut provenir soit d'une infiltration d'eau de surface soit d'une eau restée stagnante ou bien encore de la présence d'une source de matières fécales.

➤ **Détermination de l'origine de la contamination fécale**

Pour déterminer l'origine de la contamination fécale, on fait un calcul mathématique du rapport quantitatif des coliformes fécaux sur les streptocoques fécaux (CF/SF). Ce rapport CF/SF a été utilisé en 1969 par Geldreich et Kenner où un ratio supérieur à 4 ($CF/SF > 4$) indique une origine humaine, tandis qu'une valeur plus petite que 0,7 ($CF/SF < 0,7$) montre une origine animale de la pollution (Tab.10).

Tableau 10 : Origine de la pollution fécale selon le rapport CF/SF (Borrego&Romero, 1982).

Rapport CF/SF	Source de Contamination
$R < 0.7$	Principalement ou entièrement d'origine animale
$0.7 < R < 1$	Mixte à prédominance animale
$1 < R < 2$	Origine incertaine
$2 < R < 4$	Mixte à prédominance humaine
$R > 4$	Source exclusivement humaine

L'analyse du tableau 11 montre que 37,5 % des échantillons analysés ont un rapport CF/SF inférieur à 0,7. Ceci explique bien que l'origine de la contamination des eaux thermales de la région de Guelma est strictement animale. D'autre part, 62,5% des échantillons montrent une contamination d'origine incertaine.

Tableau 11: Détermination du rapport coliformes fécaux/streptocoques fécaux.

Points de prélèvement	Février 2016	Avril 2016
S1	0,14	1
S2	1	1,42
S3	0,48	1
S4	0	1

1.3. Dénombrement des spores des bactéries anaérobies sulfite-réductrice

Les spores des ASR constituent généralement des indices de contamination ancienne. Les résultats obtenus montrent que la minorité des échantillons analysés ont des valeurs supérieures aux normes de potabilité (0 ASR/20 ml). Les concentrations varient de 0 à 15 ASR/20 ml. La figure 19 révèle des fluctuations concentrées au niveau du S3.

La recherche des ASR a révélé que cette région est considérée comme une zone polluée. Cette pollution dans une eau naturelle nous fait penser à une contamination fécale et, en l'absence de bactéries Coliformes, à une contamination déjà ancienne.

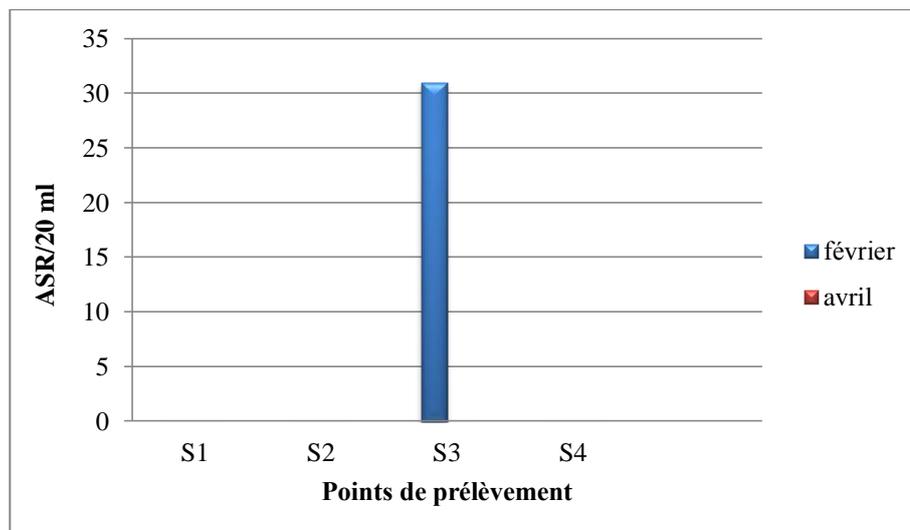


Figure 19 : Variation spatio-temporelle des ASR.

1.4. Identification des souches bactériennes

Les germes pathogènes comme *Salmonella* ainsi que le *Vibrio* et d'autres ont été systématiquement recherchés au niveau de toutes les stations.

Le repiquage utilisé dont le but de purifier les souches, nous a permis de distinguer les caractères des colonies sur leurs milieux d'isolement. Cependant, l'examen cytologique nous a révélé que les Bacilles Gram (-) sont plus représentés par rapport aux Cocci Gram (+) qui demeurent faiblement représentés (Fig.20, Tab. 12).

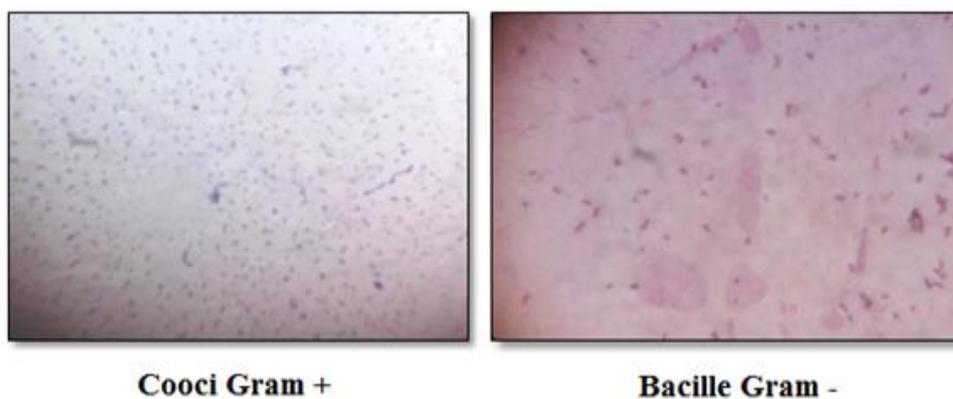


Figure 20 : Observation microscopique à immersion.

Tableau 12 : Caractères macroscopiques et microscopiques des colonies bactériennes isolées de l'eau des sources thermales.

Observation microscopique des colonies	Observation macroscopique des colonies	Culture
Absence des colonies	Absence des colonies	Gélose Chapman
Absence des colonies	Absence des colonies	Gélose Cétrimide
Bacille à Gram-	Bombé, à contour régulier, lisse, transparente, muqueuse, 1mm de diamètre.	GNAB
Bacille à Gram-	Circulaire, ondulés, Bombée, lisse, à contour régulier, de couleur beige.	Gélose Hektoen
Bacille à Gram-	Bombés, de petites tailles, muqueuse, de couleur rose.	Gélose SS
Cocci à Gram+	Bombés, de petites tailles, crémeuse, à contour irrégulier, transparente légèrement blanchâtre.	Gélose Colombia

L'étude biochimique réalisée par trois types du système bioMérieux (API 20 E, API 20 NE, API Streptocoque) nous a permis d'identifier 09 espèces bactériennes (Tab.13, Tab.14) dont 04 appartenant à la famille des Enterobacteriaceae.

Nous constatons une présence majoritaire de quatre espèces : *Enterobacter cloacae*, *Raoultella ornithinolytica*, *Vibrio vulnificus*, *Burkholderia cepacia*.

Tableau 13 : Résultats de l'identification par la galerie API 20E.

Espèces bactériennes identifiées	Code	Points de prélèvement
<i>Leclerciaa decarboxylata</i>	1064173	S1
<i>Pantoea spp2</i>	1266573	S3
<i>Enterobacter cloacae</i>	7377553	S1, S2, S3, S4
<i>Raoultella ornithinolytica</i>	7350773	S1
<i>Raoultella ornithinolytica</i>	7354773	S1, S2, S3, S4
<i>Raoultella ornithinolytica</i>	7351773	S3, S4

Tableau 14 : Résultats de l'identification par la galerie API 20NE.

Espèces bactériennes identifiées	Code	Points de prélèvement
<i>Vibrio vulnificus</i>	1570441	S1, S2, S3, S4
<i>Burkholderia cepacia</i>	5777777	S1, S2, S3, S4
<i>Aeromonas hydrophila</i>	4777775	S3
<i>Chryseobacterium indoligenes</i>	6730475	S1, S2

Pour les germes pathogènes, nous avons pu à identifier sept espèces pathogènes: *Raoultella ornithinolytica*, *Enterobacter cloacae*, *Chryseobacterium indoligenes*, *Aeromonas hydrophila*, *Burkholderia cepacia*, *Vibrio vulnificus*, *Pantoea spp2*. La présence de ces bactéries avec des concentrations assez importantes peut être considérée comme un risque sanitaire.

Le test effectué sur l'API Strep nous a permis d'identifier une seule espèce : *Enterococcus avium* considérés comme non pathogènes.

2. Analyses physico-chimiques

2.1. Résultats des analyses in situ

2.1. a. Température

Elle joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique des bactéries et dans l'évaporation des eaux. Elle varie en fonction de la température extérieure (l'air), des saisons, de la nature géologique et de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol. Au niveau de tous les points de prélèvement, les taux de la température oscillent entre 50 et 88.8°C (Fig21). Ces températures sont des températures très chaudes et indiquent une origine profonde de l'eau étudiée.

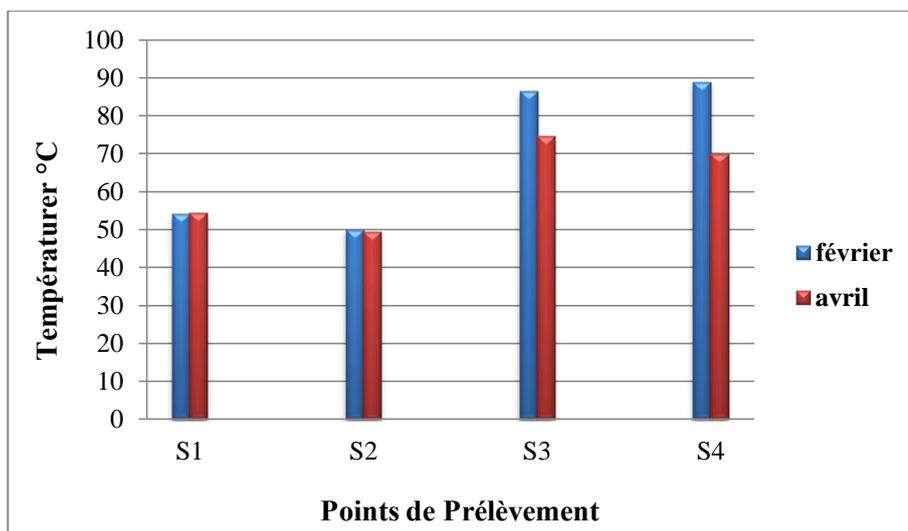


Figure 21 : Evolution de la température dans les eaux des sources.

2.1.b. Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique permet d'avoir une idée sur la salinité de l'eau. Une conductivité élevée traduit soit des pH anormaux, soit une minéralisation élevée (Rodier, 2005). La figure 22 nous expose que les valeurs de la conductivité dans les points d'eau sont élevées par rapport à la norme recommandée pour les eaux potables. La valeur maximale est alors enregistrée au niveau du point (S3) avec $2010 \mu\text{S}/\text{cm}$. Ces fortes valeurs sont dues probablement à la dissolution des formations gypseuses qui existent au niveau de la nappe (Kherici, 1993).

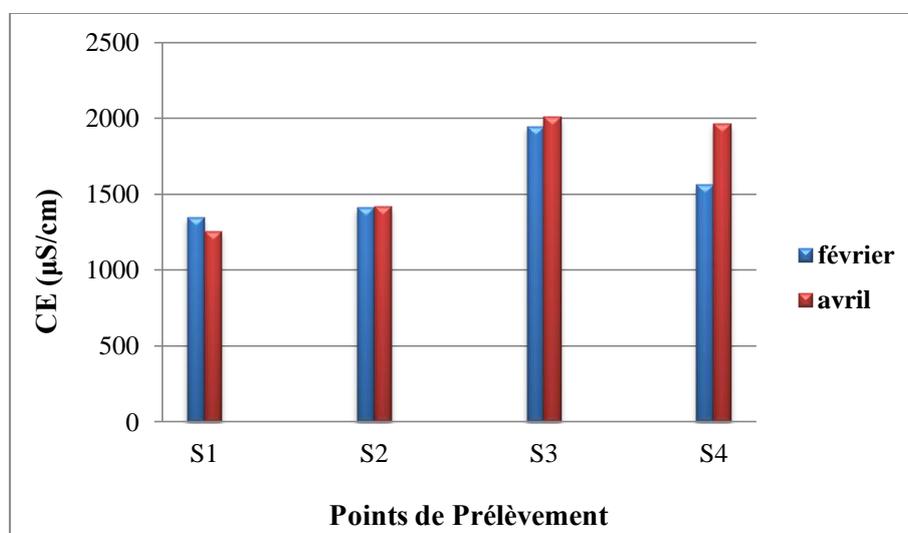


Figure 22 : Evolution de la conductivité électrique (CE) dans les eaux des sources.

2.2. Les mesures de laboratoire

2.2.a. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés. Il donne une indication sur l'acidité ou l'alcalinité d'une eau. Du point de vue sanitaire, un pH élevé peut provoquer un problème de corrosion alors qu'un pH faible peut modifier le goût de l'eau.

La figure 23 nous montre que le pH des eaux des sources étudiées est situé dans la fourchette des normes de potabilité ($6,5 < \text{pH} < 9$) durant toute la période d'étude mais avec des valeurs beaucoup plus intercalées entre 6,51 et 7,87.

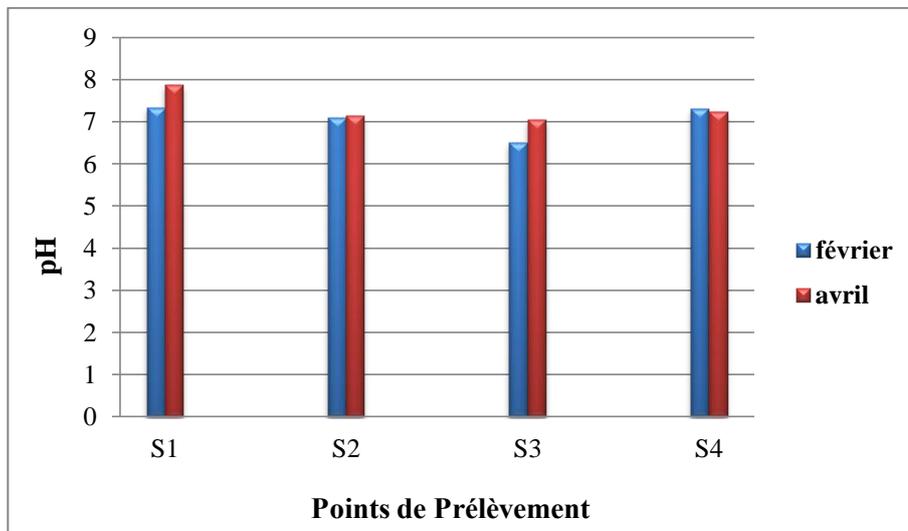


Figure 23 : Evolution du pH dans les eaux des sources.

2.2.b. Les analyses chimiques

b.1. TH

b.2. Calcium (Ca^{+2})

Le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables. Le calcium est un autre élément qui constitue la dureté de l'eau et sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés. Les normes algériennes préconisent une concentration de 200 mg/l comme concentration maximale. Pour l'eau étudiée les valeurs de calcium trouvées sont comprises entre 136 et 196 mg/l. Ces résultats sont assez élevées mais conformes aux normes Algériennes. Sauf au niveau de S1 avec une valeur maximale de

212mg/l observé. La présence de cet élément dans les eaux a pour origine la dissolution des formations carbonatées et gypseuses.

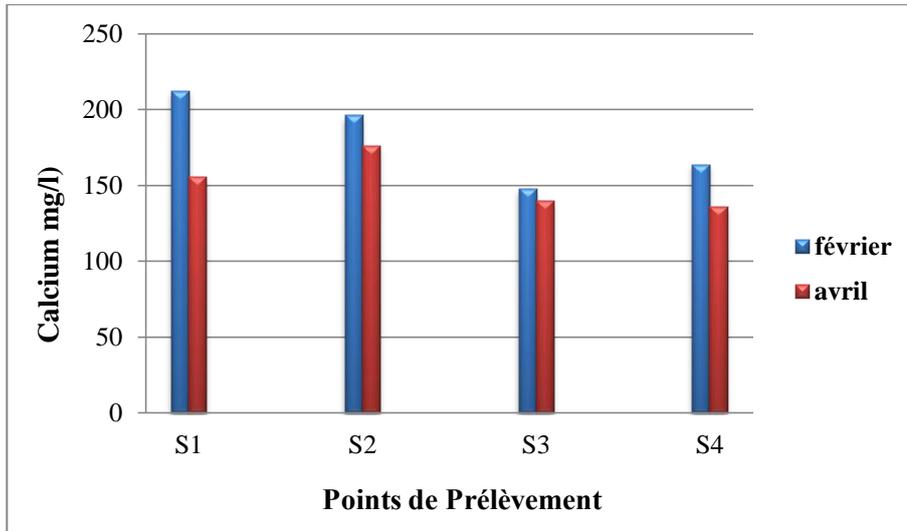


Figure24 : Evolution du taux de calcium dans eaux des sources.

b. 3. Magnésium (Mg^{+2})

D'après les résultats des analyses de Mg^{+2} (Fig.25) nous remarquons que la plupart des échantillons ont des teneurs supérieures à 50 mg/l qui sont les teneuses maximales admissibles par l'OMS. Les cations Mg^{+2} ont la même origine et la même provenance que celle du Ca^{+2} (dissolution des formations carbonatées).

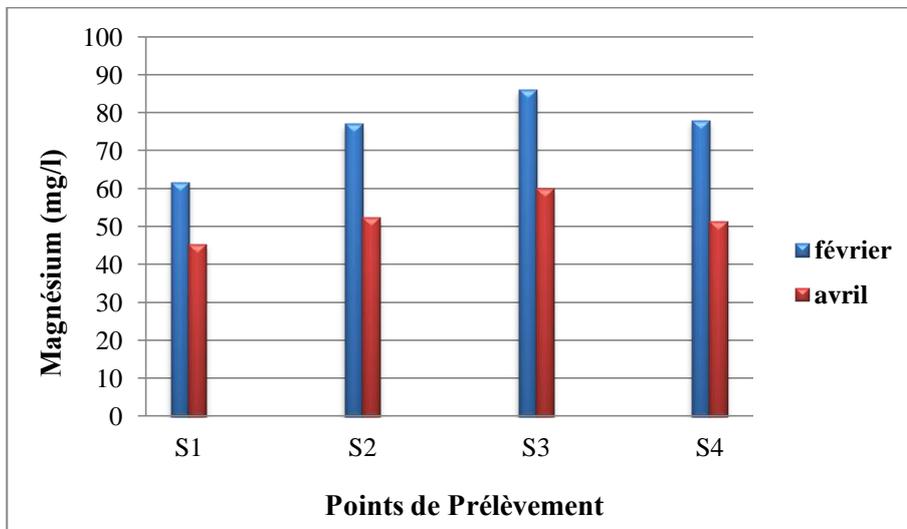


Figure25 : Evolution du taux de magnésium dans eaux des sources.

b.4. Bicarbonates (HCO_3^-)

La teneur des bicarbonates dans l'eau dépend des terrains traversés (RODIER J., 2005). Les normes algériennes ne fixent aucune valeur pour ce paramètre, puisque, quel que soit les teneurs en bicarbonate dans les eaux de consommation, la potabilité n'est pas affectée. Les teneurs sont très variables. Elles varient entre 115.4 mg/l (minimum observé) au niveau du point (S1) et 183 mg/l au niveau point (S2) (maximum observé). Cette teneur confirme son origine bicarbonatée.

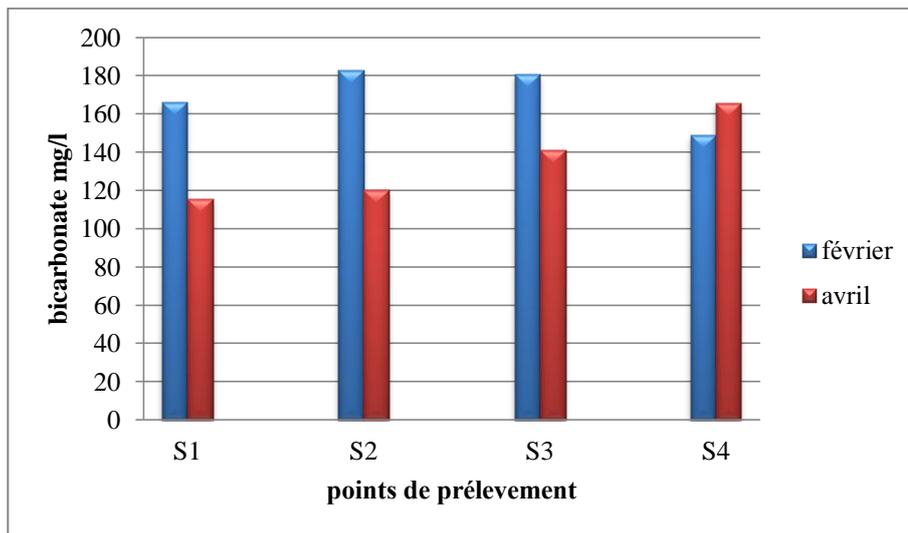


Figure 26 : Evolution de bicarbonate dans les eaux des sources.

b.5. Chlorures (Cl^-)

L'eau contient presque toujours des chlorures mais en proportions très variables. Leur teneur augmente généralement avec le degré de minéralisation de l'eau. Les teneurs calculées sont supérieures à la norme de potabilité requises par l'OMS (250 mg/l) dans la majorité des points de prélèvement (Fig.27). Sauf pour les sources (S3) et (S4) qui exhibent les plus faibles teneurs de 207 mg/l et 171 mg/l respectivement. Mais ces teneurs restent conformes aux normes de notre pays qui fixe une concentration maximale admissible de 500 mg/l. Ces ions chlorures proviennent des formations argileuses présentes dans la région.

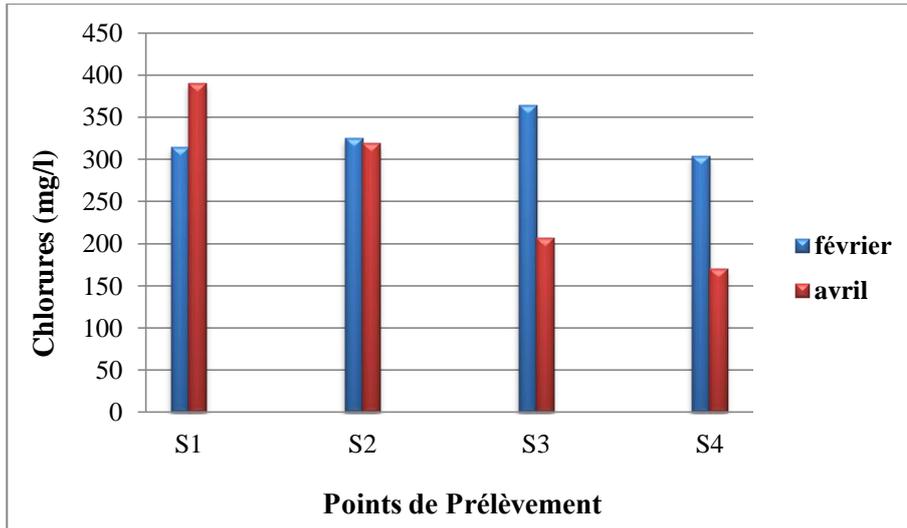


Figure27 : Evolution des chlorures dans eaux des sources.

b.6. Sodium (Na^+).Potassium (K^+)

- **Sodium (Na^+)**

Les taux de Sodium dans tous les échantillons ne dépassent pas les normes requises par l'OMS 200 mg/ml, mais ils contiennent des teneurs considérables en Na^+ (Fig.28).

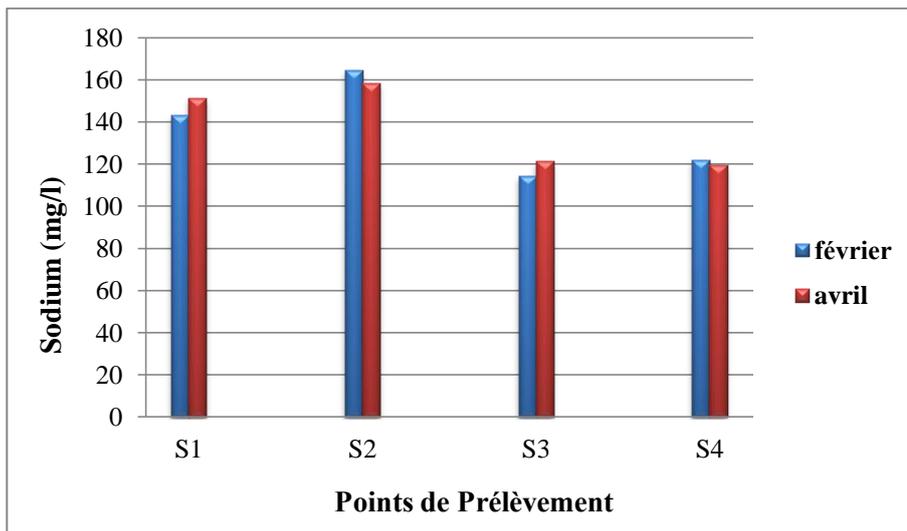


Figure28 : Evolution du taux de sodium dans eaux des sources.

- **Potassium (K^+)**

Le potassium peut provenir soit de l'altération des formations silicatées (gneiss, schiste), soit des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK). Les teneurs sont très variables pour les sources mais dans l'ensemble elles sont fortes et supérieures à la limite de potabilité (12 mg/l). La teneur maximale est dosée au niveau de

la source (S4) (35.11 mg/l) et les teneurs minimales sont observées au niveau de la source (S2) (10.21 mg/l) et ceci durant toute la période de notre étude (Fig.29).

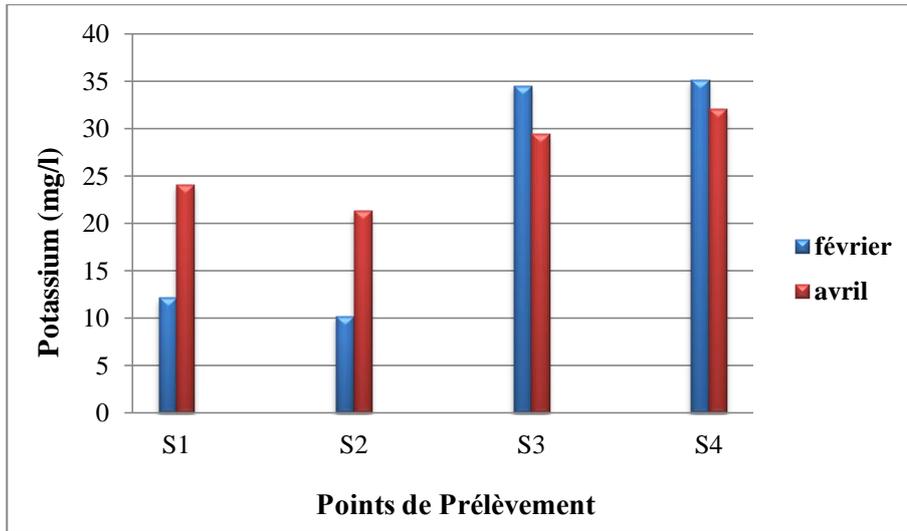


Figure29 : Evolution du taux de potassium dans eaux des sources

b.7. Sulfates, Nitrites, Ammonium, Orthophosphate et Silice

- sulfates (SO_4^{-2})

La concentration maximale fixée par l’OMS est de 250 mg/l. Des fortes concentrations en sulfates provoquent des troubles gastro-intestinaux et peuvent donner un goût désagréable à l’eau. Les concentrations moyennes des sulfates dans les points prélevés sont dans l’ensemble supérieures à la norme, (Fig.30). La présence de cet élément dans l’eau est liée à la dissolution des formations gypseuses.

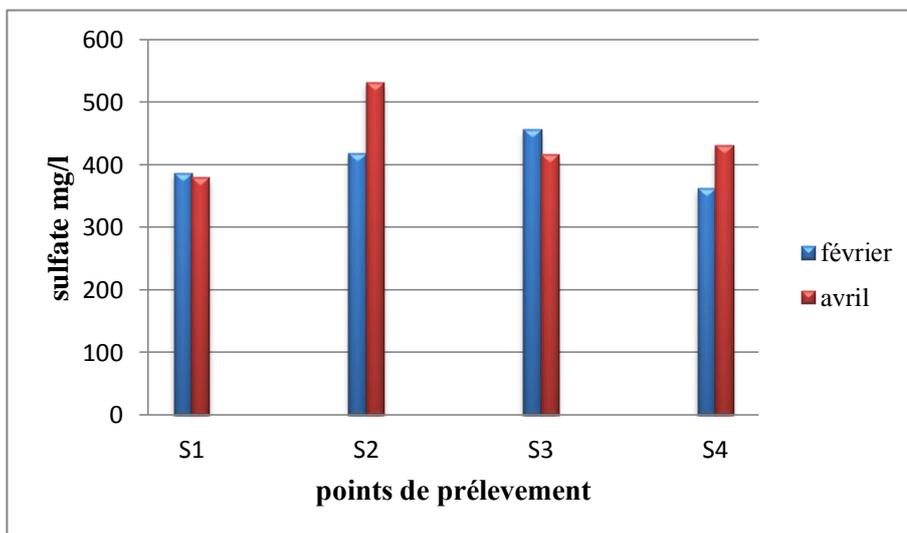


Figure 30 : Evolution du taux de sulfate dans les eaux des sources

- **Nitrites (NO_2^-)**

Considéré comme un élément toxique, le NO_2^- est la forme la moins stable dans le cycle de l'azote. Il est issu de la réduction de l'ammonium NH_4^+ . Son origine est liée à l'agriculture et aux rejets urbains et industriels. La figure 31 nous montre que les teneurs en nitrites sont peu importantes. Les valeurs moyennes des sources ne dépassent pas les normes requises par l'OMS 3 mg / l.

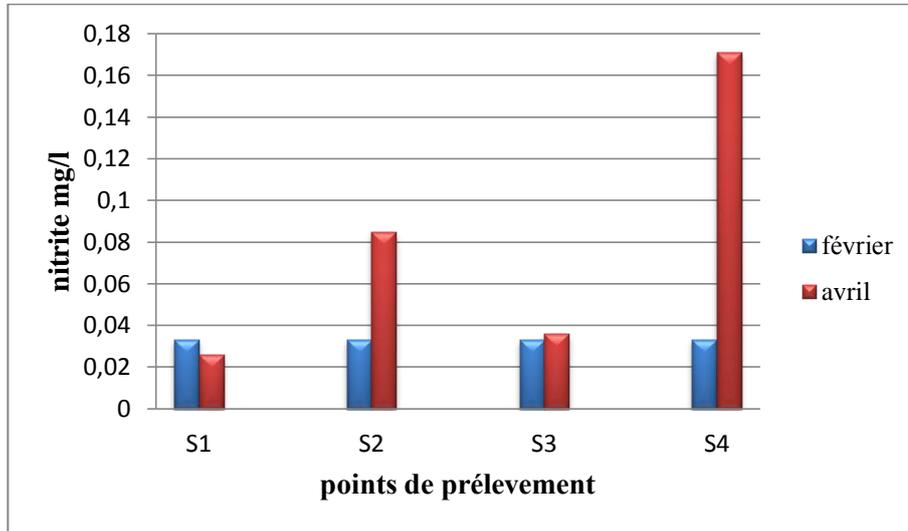


Figure 31 : Evolution du taux des nitrites dans les eaux et des sources.

- **Ammonium (NH_4^+)**

L'ammonium est la forme d'azote la plus toxique. Sa présence dans l'eau est liée soit aux rejets urbains et industriels, soit à la réduction des formes azotées (nitrates et nitrites) en conditions réduites. (Pourriot&Meybek 1995) ont considérés que les eaux naturelles présentent une teneur de l'ordre de 0,0015 mg/l en NH_4^+ mais d'une manière générale une eau bien oxygénée ne contient que des traces d'ammoniaque. Les valeurs moyennes des teneurs en NH_4^+ calculés durant toute notre étude sont très variables par rapport aux normes décrites par l'OMS (0,5 mg/l). Elles varient entre 0.169 mg/l (minimum observé) au niveau du point (S1) et 0.949 mg/l au niveau point (S3) (maximum observé). (Fig.32)

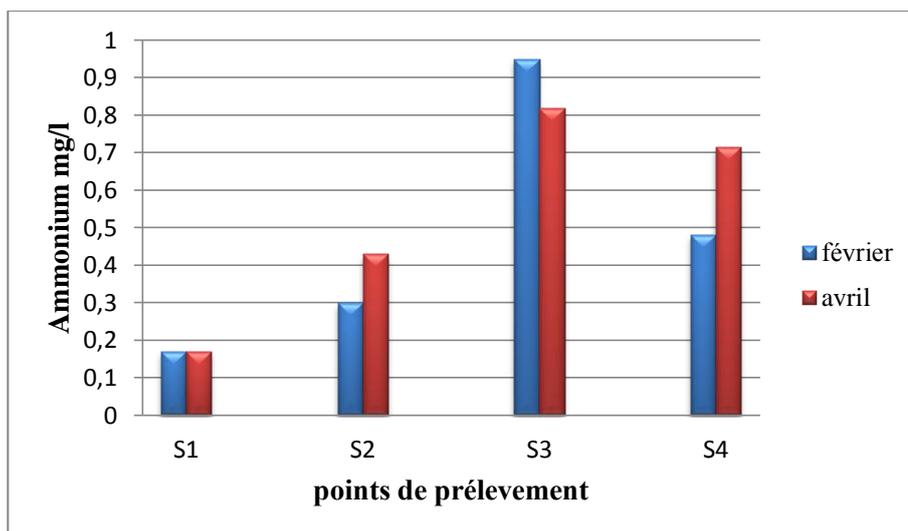


Figure 32 : Evolution du taux d'ammonium dans les eaux des sources

- **L'ortho phosphate (PO_4)**

L'origine des phosphates dans les eaux est le plus souvent liée aux rejets urbains et à la dissolution des engrais chimiques (NPK). Les résultats des orthophosphates (Fig.33) nous montrent que leurs concentrations dans les eaux des sources sont inférieures à la norme 5 mg/l décrite par l'OMS pour les eaux destinées à la consommation humaine.

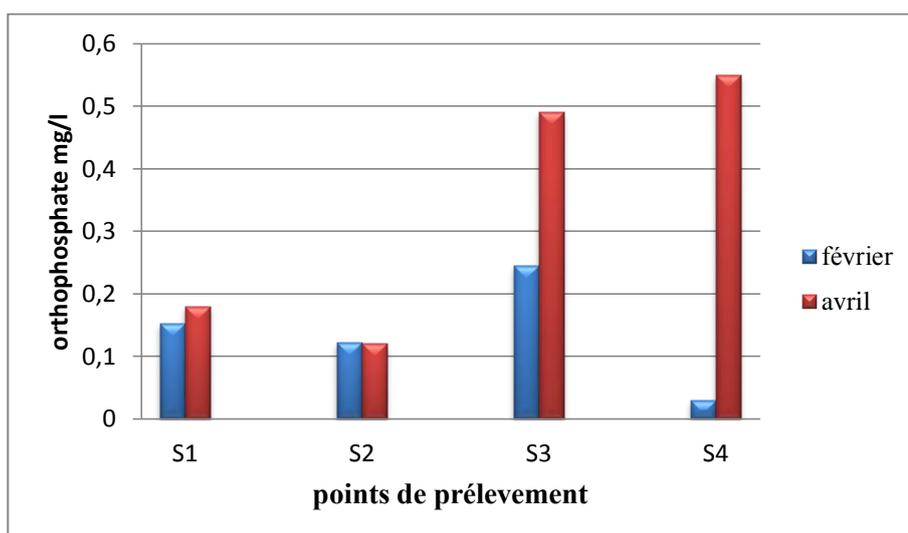


Figure 33 : Evolution du taux d'orthophosphate dans les eaux des sources.

- **Silice**

La silice dans la nature se trouve sous forme SiO_2 , d'origine naturelle liée aux formations silicatées (sables et grès) ainsi que les silicates en provenance de

roches métamorphiques et magmatiques. Les composés siliceux représentent environ 28 % de la lithosphère. Combinée à de nombreux minéraux, la silice forme des silicates. La dégradation de ces produits est à l'origine de la silice naturelle dans l'eau. La silice soluble dans les eaux naturelles est généralement sous forme H_4SiO_4 (ou $Si(OH)_4$).

D'après les résultats des analyses de silice (Fig.34) nous remarquons que tous les échantillons ont des teneurs très élevées supérieures à 10 mg/l normes maximales admissibles par l'OMS. L'origine de ces teneurs élevées peut être liée à l'influence des roches magmatiques.

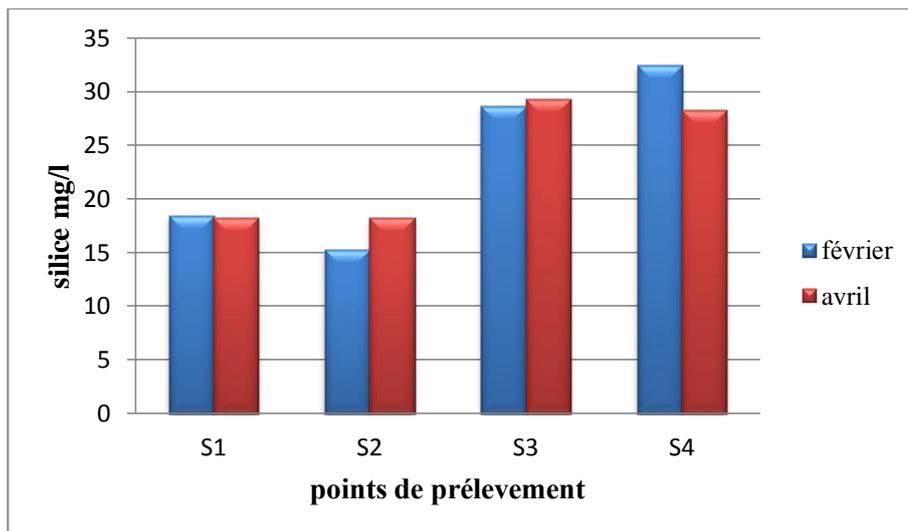


Figure 34 : Evolution du taux de silice dans les eaux des sources.

2.3. Faciès chimiques des eaux

La représentation de la composition des eaux sur le diagramme de Piper, appelle les commentaires suivants (Fig.35):

- Sur le triangle des anions, les eaux se répartissent sur le pôle sulfaté.
- Sur le triangle des cations, la plupart des eaux se rapprochent du pôle calcique.

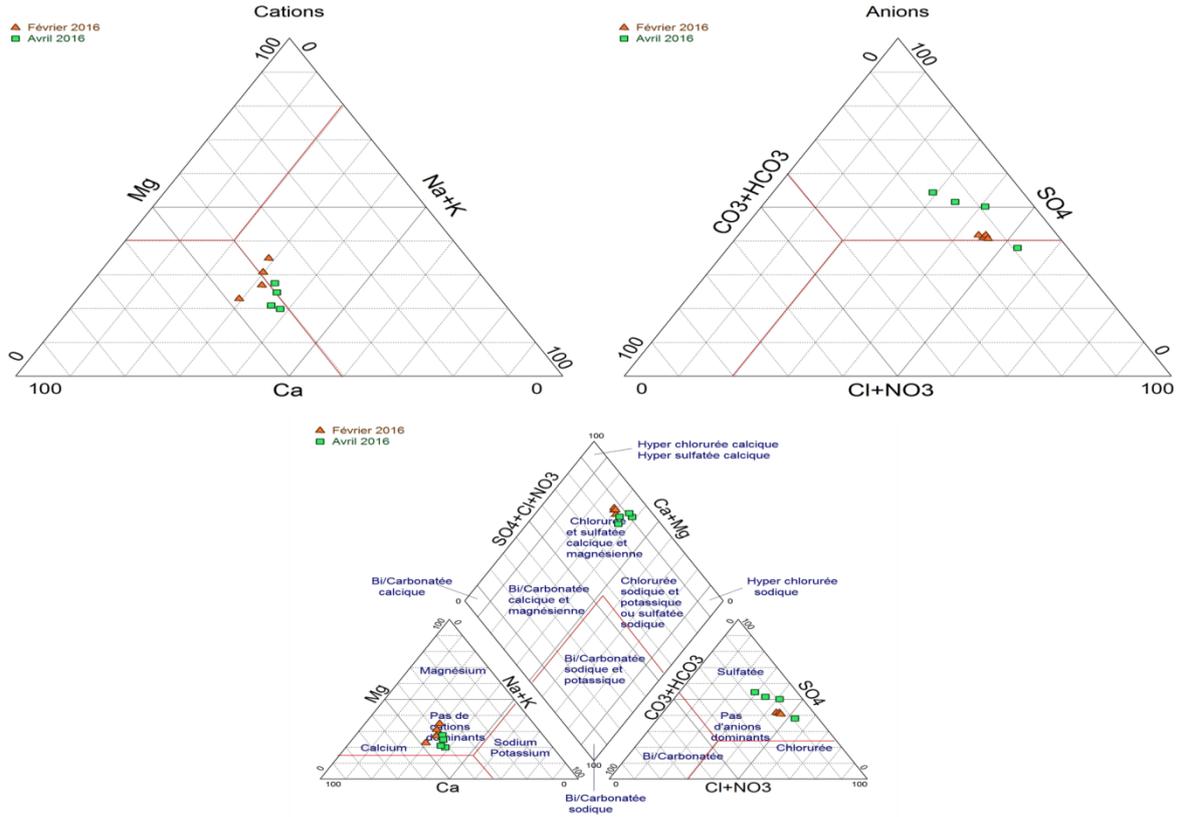


Figure 35 : Diagrammes de Piper des eaux des sources thermales,(2016).

Dans le losange, les eaux des sources thermales de la région de Guelma présentent un faciès chimique sulfaté calcique.

La comparaison des moyennes et des écart-types des éléments chimiques majeurs, pour les 08 échantillons des eaux prélevées (Tab.15), montre que les sulfates et les chlorures ainsi que le calcium ont des valeurs moyennes prédominantes comparativement aux autres éléments majeurs, ce qui confirme la prédominance du faciès chloruré sulfaté calcique.

Tableau15: Variation des éléments majeurs des eaux des sources thermales (2016).

Paramètres	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
Moyenne (mg/l)	166	63,98	136,77	24,86	152,78	299,38	422,91
Ecart-type (mg/l)	27,04	14,72	19,78	9,72	25,81	74,47	53,22
Minimum (mg/l)	136	45,32	114,33	10,21	115,4	171	363
Maximum (mg/l)	212	86,08	164,5	35,11	183	390,5	532

Conclusion

Conclusion

Cette étude a été menée dans le but de déterminer la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau de certaines sources thermale de la région de Guelma (Nord-Est de l'Algérie).

La région d'étude correspond à une dépression d'une surface moyenne de 122 km² à valeur de bassin allongé d'Est en Ouest, remplie des formations mio-pliocène et quaternaires. Ces formations sont constituées essentiellement d'alluvions (graviers, limons, travertins) perméables et offrent par conséquent un intérêt hydrogéologique.

La région obéit à un climat méditerranéen, semi-aride, caractérisée par deux saisons distinctes, l'une sèche et chaude et l'autre pluvieuse et froide. Les températures moyennes oscillent entre 8,79 °C durant le mois de janvier et 29,37 °C pendant le mois d'août. Elle reçoit une précipitation annuelle de plus de 500 mm.

Du point de vue bactériologique, les résultats obtenus dans les quatre points d'eau à travers les dénombrements réalisés le long de nos campagnes de prélèvement nous exposent une contamination des sources par les germes indicateurs de contamination fécale ce qui pourrait constituer un risque pour la santé des baigneurs. En effet, l'évolution des abondances des différents groupes a montré des variations spatiale et temporelle très marquées avec des concentrations bactériennes minimales notées durant la période d'étude. L'examen qualitatif des germes isolés en utilisant des différentes techniques biochimiques a permis l'identification de 09 espèces différentes parmi lesquelles on trouve des germes pathogènes ce qui constitue un risque sanitaire qui n'est pas rassurant du tout.

Du point de vue physico-chimique, une différence notable des taux et des teneurs mesurées de chaque paramètre étudié. Dans la majorité des cas elles répondent aux normes de l'OMS alors que des fois elles dépassent les normes, tel que: la conductivité, les sulfates, qui sont souvent liés à la formation géologique et aux caractéristiques climatiques de la région. Le faciès chimique dominant pour les eaux thermales de la région de Guelma est le sulfaté calcique.

A la lumière de ces résultats, les ressources en eau thermale de la région de Guelma concernés par notre étude sont menacées par la pollution engendrée par le développement urbain, notamment, l'infiltration des eaux des rejets domestiques des agglomérations avoisinantes, des ordures ménagères, du réseau routier et des activités agricoles.

En recommandation, et pour améliorer la qualité des eaux des sources nous proposons les solutions suivantes :

- Mettre en place un système d'évacuation correcte des eaux usées.
- Eviter les infiltrations des rejets domestiques, faire recours à des transferts par canalisations vers les stations d'épuration, ou vers des lagunes pour un traitement microbiologique.

Références

Bibliographiques

Références Bibliographiques

- **Bagnouls F. et Gaussen H. (1953)** : Saison sèche et indice thermique xérothermique. Doc. Carte product. Végét ,sér . Généralités, 3(1), 47 p.
- **Borrego A.F. et Romero P. (1982)** : Study of the microbiological pollution of a Malaga littoral area II. Relation schip between fecal coliforms and fecal streptococci. VIè journée étude pollutions, Cannes, France, 561-569.
- **Bounouira H. (2007)** : Etude des qualités chimiques et géochimiques du bassin versant du Bouregreg. Thèse de Doctorat, Université d'Ibn Tofail, Maroc. 272p.
- **Delarras C. et Trebaol B. (2003)** : Surveillance Sanitaire Et Microbiologique Des Eaux: Réglementation - Prélèvements - Analyses. *TEC & DOC*. 269p.
- **D.P.A.T. (2008)** : Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire : Rapport interne, monographie de la wilaya de Guelma. 36p.
- **Gantzer C., Lucena F., Schwartzbrod L. and Jofre J. (1998)** : Virologie. Volume 2, numéro 2. 117p.
- **Kherici N. (1993)** : Vulnérabilité à La Pollution Chimique Des Eaux Souterraines D'un Système De Nappe Superposée En Milieu Industriel Et Agricole (Annaba-la Mafragh) Nord-Est Algérien. Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar. Annaba. 170p.
- **Lahondere, J.C., (1987)** : Les séries ultra-telliennes de l'Algérie Nord-Orientale et les formations Environnantes dans leurs cadres structuraux. Thèse doctorat d'état, Université de Toulouse, France.
- **Laubier L. (1989)** : Ecosystèmes benthiques profonds et chimiosynthèse bactérienne: sources hydrothermales et suintements froids. In: Denis. M. (ed.) Océanologie, actualités et prospective. Centre d'Océanologie de Marseille Publications, Marseille, p. 61-96.
- **Lebres E. (2006)** : Cours D'hygiène Et De Microbiologie Des Eaux (Manuel De Travaux Pratiques Des Eaux). *Institut Pasteur d'Algérie*. 60p.
- **Louamri A. (2013)** : Le bassin-versant de la Seybouse (Algérie orientale): Hydrologie et aménagement des eaux. Thèse de Doctorat, Université de Constantine 1, Algérie. 300p.

- **O.M.S. (1994)** : Organisation Mondiale de la Santé : Protection et amélioration de la qualité de l'eau. 2^{ème} édition. Volume 1. Genève:18.
- **O.M.S. (2004)** : Organisation Mondiale de la Santé : Guidelines for drinking water quality. Vol.1. Recommendation, 3rd edn. World Health Organization, Geneva.
- **Ouali S. (2008)** : Les sources Thermales en Algérie. Recherche et Développement.
- **Poole N.J. et Hoberson P.N. (1979)** : Water pollution and its prevention. Microbial Ecology. 226-245.
- **Pourriot R. et Meybeck, M. (1995)** : Limnologie générale. Collection d'écologie 25, Masson, Paris 956 p. ISBN 2-225-84687-1.
- **Rejesk F. (2002)** : Analyse Des Eaux ; Aspects Réglementaires Et Techniques. *Sceren*. Paris. 360p.
- **Rodier J. (2005)** : L'analyse De L'eau ; Eaux Naturelles, Eaux Résiduelles, Eaux De Mer. 8^{ème} édition. Dunod. 1383 p.
- **Rodier J. (2009)** : L'Analyse de l'eau. 9^{ème} édition. Dunod, Paris. 1511p.
- **Singleton P. (1999)** : Bactériologie. 4^{ème} édition. *Dunod*. 542p.
- **Thierrin J., Steffen P., Cornaz S., Vualaz F-D., Balderer W., Looser M., Zpbrit J. et Zumstein J. (2001)** : Guide Pratique De L'échantillonnage Des Eaux Souterraines. *Société Suisse D'Hydrogéologie*. 57p.
- **Vila, J.M., 1980** : La chaine alpine de l'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens.

Annexes

Annexe 01 : La composition des milieux de culture.

1. Milieux liquides

1.1. Bouillon lactose au pourpre de bromocrésol (BCPL)

Double concentration (D/C)

L'extrait de viande de bœuf.....	2 g
Pourpre de bromocrésol.....	0,06 g
Peptone	14 g
Lactose.....	10 g
Eau distillée.....	1000 ml
pH	6,9 +/- 0,2

Autoclaver pendant 15 minutes à 120 °C

Simple concentration (S/C)

L'extrait de viande de bœuf.....	1 g
Peptone de caseine	7 g
Lactose.....	5 g
Pourpre de bromocrésol 1%	0,03 g
Eau distillée.....	1000 ml
pH.....	6,9 +/- 0,2

Autoclaver pendant 20 minutes à 120°C

1.2. Milieu de Schubert

Tryptone	10 g
Peptone.....	10 g
Acide Glutanique	0.2 g
Tryptophane.....	0.2 g
Sulfate de Magnésium.....	0.7 g
Sulfate d'Ammonium.....	0.4 g
Chlorure de Sodium.....	2 g
Citrate de Sodium.....	0.5 g
Mannitol.....	7.5 g
Eau distillée.....	1000 ml
pH.....	7,6

1.3. Milieu de Rothe

Double concentration (D/C)

Peptone de caseine	40 g
Extrait de viande.....	3 g
Glucose	8 g
Chlorure de sodium.....	8 g
Phosphate dipotassique	5.4 g
Phosphate mono potassique.....	5.4 g
Azide de sodium.....	0.4 g
Eau distillée.....	1000 ml
pH.....	9,6 +/- 0,1

Autoclavage pendant 20 min à 120 °C

Simple concentration (S/C)

Peptone de caseine.....	20 g
Extrait de viande	1.5 g
Glucose	4 g
Chlorure de sodium.....	4 g
Phosphate dipotassique	2.7 g
Phosphate mono potassique	2.7 g
Azide de sodium.....	0.2 g
Eau distillée.....	1000 ml
pH.....	9,6 +/- 0,1

Autoclavage pendant 20 min à 120°C

1.4. Milieu d'Eva Litsky

Tryptone.....	20 g
Glucose.....	5 g
Chlorure de sodium.....	5 g
Phosphate mono potassique.....	2.7 g
Azide de sodium	0.3 g
Solution d'éthyle violet.....	5 g
Eau distillée	1000 ml
pH	6,8 à 7

Autoclavage pendant 20 min à 120 °C

1.5. Milieu Sélénite Cystéine

Tryptone.....	5 g
Lactose	4 g
Phosphate disodique.....	10 g
Hydrogénosélénite de sodium	4 g
L-cystine.....	10 g
pH.....	7 +/- 0,2

2. Milieux solides

Gélose Viande foie

Base viande foie.....	20 g
Glucose.....	0.75 g
Amidon.....	0.75 g
Sulfite de sodium	1.2 g
Carbonate de sodium.....	0.67 g
Agar agar	11 g
Eau distillée	1000 ml

Dissoudre les constituants, répartir en tubes ou en flacons, Autoclave (15 min à 120°C)

Annexe 02 : La composition des réactifs utilisés.

1. Réactif TDA : Pour la recherche du tryptophane désaminase.

Perchlorure de fer.....	3.4 g
Eau distillée.....	1000 ml

2. Réactif IND : Pour la recherche d'indole.

Paradiméthyllaminobenzaldéhyde.....	5 g
Alcool isoamylique.....	75 ml
HCL 37%.....	25 ml

3. Réactif de VogesProskauer (VP) : Pour la recherche de l'acétoïne.

VP1 :

Hydroxyde de potassium.....	40 g
Eau distillée.....	1000 ml

VP2 :

Alpha naphthol.....	6 g
Ethanol.....	100 ml

4. RéactifKowacks : La mise en évidence de la production d'indole.

Butanol-1.....	50 – 70 %
Eau	10 – 30 %
Acide Hydrochlorique.....	10 – 25 %
Diméthylamino-p-Benzaldéhyde.....	0 – 20 %

Annexe 03 : Table NPP.

Nombre de tube donnant une réaction positive			Nombre caractéristique dans 100 ml	Limites de confiance	
1 X 50 ml	5 X 10 ml	5 X 1 ml		Inférieure	Supérieure
0	0	0	<1	<0,5	4
0	0	1	1	<0,5	6
0	0	2	2	<0,5	4
0	1	0	1	<0,5	6
0	1	1	2	<0,5	8
0	1	2	3	<0,5	6
0	2	0	2	<0,5	8
0	2	1	3	<0,5	11
0	2	2	4	<0,5	8
0	3	0	3	<0,5	13
0	3	1	5	<0,5	13
0	4	0	5	<0,5	4
1	0	0	1	<0,5	8
1	0	1	3	<0,5	11
1	0	2	4	<0,5	15
1	0	3	6	<0,5	15
1	1	0	3	<0,5	8
1	1	1	5	<0,5	13
1	1	2	7	1	17
1	1	3	9	2	21
1	2	0	5	<0,5	13
1	2	1	7	1	17
1	2	2	10	3	23
1	2	3	12	3	28
1	3	0	8	2	19
1	3	1	11	3	26
1	3	2	14	4	34
1	3	3	18	5	53
1	3	4	21	6	66
1	4	0	13	4	31
1	4	1	17	5	47
1	4	2	22	7	59
1	4	3	28	9	85
1	4	4	35	12	100
1	4	5	43	15	120
1	5	0	24	8	75
1	5	1	35	12	100
1	5	2	54	18	140
1	5	3	92	27	220
1	5	4	160	39	450
1	5	5	>240		

Annexe 04 : Normes de potabilité de l'eau.

Paramètres microbiologiques	Unités	Valeurs limites		
		Algérie (1)	France (2)	OMS (3)
Germes aérobies revivifiables à 22 °C et à 37 °C	UFC/ml	/	/	/
Coliformes totaux	CT/100 ml	/	/	10
Coliformes fécaux	CF/100 ml	0	0	0
Streptocoques fécaux	SF/100 ml	0	0	0

(1) : Selon le décret du 22 mars 2011 (J.O.R.A.), Algérie.

(2) : Selon l'arrêté du 11 janvier 2007 (J.O.R.F.), France.

(3) : Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S.), 2004.

Annexe 05 : Normes de potabilité de l'eau.

Paramètres	Unités	Valeurs maximales admissibles		
		Algérie (1)	France (2)	OMS (3)
Température 25	°C	25	25	/
Concentration en ions hydrogène	Unité pH	≥ 6,5 et ≤ 9	≥ 6,5 et ≤ 9	≥ 6,5 et ≤ 8,5
Conductivité	μS/cm à 20 °C	/	≥ 180 et ≤ 1000	400
TDS	mg/l	/	/	< 600
Dureté totale (TH)	Degré français °F	200 (mg/l en CaCO ₃)	15	10
Calcium	mg/l en CaCO ₃	200	100	/
Magnésium	mg/l de Mg ²⁺	/	50	/
Sodium	mg/l	200	200	200
Potassium	mg/l	12	12	12
Alcalinité	mg/l en CaCO ₃	500	/	/
Chlorures	mg/l	500	250	250
Sulfates	mg/l	400	250	250
Nitrates	mg/l de NO ₃ ⁻	50	50	50
Nitrites	mg/l NO ₂ ⁻	0,2	0,1	3
Ammonium	mg/l	0,5	0,1	0,5
Phosphore	mg/l	5	/	5
Fluorures	mg/l	1,5	1,5	1,5
Silices	mg/l	/	/	≤ 10

(1) : Selon le décret du 22 mars 2011 (J.O.R.A.), Algérie.

(2) : Selon l'arrêté du 11 janvier 2007 (J.O.R.F.), France.

(3) : Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S.), 2004.