

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE 8 MAI 1945 GUELMA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET SCIENCES DE LA TERRE ET
DE L'UNIVERS
DEPARTEMENT D'ECOLOGIE ET GENIE DE L'ENVIRONNEMENT



Mémoire de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : BIOLOGIE

Spécialité/Option : Santé, eau et environnement/ Microbiologie de l'environnement.

Thème

Caractérisation physico-chimiques et bactériologiques de quelques sources principales d'approvisionnement en eau potable dans la région de Dahouara (Hammam N'Bail)

Présenté par :

-NECHAKH Fatma

-REFFAD Sabah

-TLIDJANE Amira

Membres du jury :

Président : Mr. MARZOUG A. (M.A.A) Université de Guelma

Examineur : Mr. GUETTAF M. (M.C.B) Université de Guelma

Encadreur : Mr. KACHI S. (M.C.A) Université de Guelma

Juin 2015

Remerciements

Remerciements

Avant tout, louange à Dieu tout puissant de nous avoir accordée la force, le courage et les moyens de pouvoir accomplir ce modeste travail.

C'est avec beaucoup de reconnaissance que nous adressons nos sincères remerciements à l'égard de notre promoteur **Mr KACHI Slimane**, pour avoir suivi et dirigé ce travail, nous le remercions infiniment, pour son aide, ses conseils, ses orientations ainsi que, ses remarques et ses critiques qui nous ont été d'un apport précieux.

Nous remercions Mr : MAATLIA Nour-Eddine, Directeur de S.D.H.D.H pour leur précieuse aide et leur compréhension.

Nous remercions également tous les personnes de l'APC du Dahouara pour leurs informations et leurs encouragements.

Nous exprimons nos plus vifs remerciements à **Mr MARZOUG A.** d'avoir fait l'honneur de présider ce jury et **Mr GUETTAF M.** l'examineur.

Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants du département d'Ecologie et Génie de l'Environnement de l'université de Guelma pour toutes les connaissances qu'ils nous ont fournies.

Nous remercions également dans la même occasion tous nos amies et toutes les personnes ayant contribués de près ou de loin, d'une manière ou d'une autre à la réalisation de ce travail.

Et enfin nous souhaitons une bonne chance et une bonne suite à tous nos collègues de la promotion sortante 2015 du master Santé, Eau et Environnement.

Dédicace

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

***Ma mère et mon père pour leur amour, leur
tendresse, et pour leur soutien moral et matériel***

durant toutes les étapes de ma vie

A mes grands pères

A mes grandes mères

A mes tantes et oncles

A ma chère sœur et ses fils : A.Enour, Amine, et ses

filles: Amina, Yasmine

A mes chers frères et à mon beau frère

Et à mes chères amies.

N.Fatma

Dédicace

Louange à Dieu le Miséricordieux qui m'a éclairé la voix de la science et de la connaissance et par sa grâce j'ai réussi à achever ce travail.

Je dédie ce travail :

A mes parents les plus chers au monde et à mon cœur.

A mon mari que Dieu le protège et le garde.

A mes frères et leurs épouses. A mes sœurs et leurs maris.

A mes tantes et oncles

A mes cousins et cousines

A mon beau-père et ma belle-mère

A mon beau-frère et mes belles-sœurs

A mes chères amies pour leurs soutient moral, leurs affection et leurs encouragement.

A mes neveux, Ahmed, Fatma.Z, Bochra, Meriem, A.Yassine, Taha, Imrane, Ritele, Maymouna, A.El-Malek, Lokmane, A.El-Hai, qui me rappellent que la vie est pleine d'espoir.

Pour finir, je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire, en particulier les enseignants et les étudiants du département de biologie.

R. Sabah

Dédicace

*D'un cœur plein d'amour et de fierté, je dédie ce
modeste travail à mes deux
bougies qui brûlent pour m'éclairer le chemin, à la
personne qui m'est la plus
chère au monde : ma mère qui m'a élevé, éduqué et
sacrifié toutes les belles
années de sa vie pour moi, et à mon père qui n'a jamais
cessé de combattre
pour me voir réussir un jour, que dieu les protège pour
nous.*

*A mes sœurs Imen et Khdidja, ainsi mes frères Yacine et
leur épouse Aicha, Nadhire et leur épouse Farida et
Mouhamed et leur épouse Nawal pour leurs soutient
moral, leurs affection et leurs encouragement, et je
n'oublie pas mon grand père Ibrahim.*

Enfin

*À Toute ma promotion 2ème année master (2014/2015)
et à tous mes enseignants.*

*À toutes les personnes qui m'ont aidé, soutenu et
contribué de près ou de loin à la réalisation de ce
travail (mes aimes A.S).*

T. Amira

Résumé

La région de Dahouara fait partie de la wilaya de Guelma, elle est réputée par ses sources naturelles d'eau dont les plus importantes : Ain Mebarka, Ain Nechma, Ain Zouia, Ain Slalim et Ain Hadjarssa.

Notre travail a pour objectif principal l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de quelques sources d'eau les plus sollicitées par la population locale et passagère de Dahouara.

Concernant les paramètres chimiques analysés, on trouve que le magnésium est le seul élément dont la teneur dépasse les normes recommandées par l'OMS. On note également des teneurs élevées en nitrate au niveau des sources étudiées, traduisant ainsi une contamination dont l'origine est agricole.

Le faciès chimique des eaux des sources étudiées est de type chloruré-sulfaté calcique et magnésien et de même origine.

L'analyse bactériologique a révélé au niveau de toutes les sources la présence des germes indicateurs de contamination fécale. Selon le rapport CF/SF, l'origine de la matière fécale est animale pour Ain Mebarka et mixte à prédominance humaine pour Ain Hdjarsa.

Mots clés : qualité physico-chimique, qualité bactériologique, eaux de source, Dahouara.

Abstract

Dahouara is part of the region of Guelma, it is famous by its natural water springs, the very important are: Ain Mebarka, Ain Nechma, Ain Zouia, Ain Slalim and Ain Hadjarssa.

Our work has as main objective, the study of physico-chemical and bacteriological water quality of some springs that used as water supply for local and passager population.

Regarding to the physico-chemical elements analyzed, we find that magnesium is the only element which its concentration exceeds the standards recommended by WHO.

It also noted high levels of nitrate in water springs, translate contamination from the agriculture activities.

The chemical profile of water sources is calcium and magnesium chlorited-sulfated and it has the same origin.

The bacteriological analysis revealed in all sources the presence of germs that indicated a fecal contamination. According to ratio CF/SF, the origin of fecal matter is animal for Ain Mebarka and mixed with a human predominance for Ain Hdjarsa.

Keywords: physico-chemical quality, bacteriological quality, spring's water, Dahouara.

ملخص

منطقة الدهواره هي جزء من ولاية قالمه، مشهوره بمياه المنابع الطبيعيه حيث الأكثر أهمية هي: عين مباركه، عين نشمه، عين الزويه، عين السلايم و عين هجارسه.

إن الهدف الرئيسي لهذا العمل هو دراسة فيزيوكيميائية وبيكتريولوجية لمياه بلدية الدهواره.

فيما يخص تحليل العناصر الكيميائيه ، وجدنا أن المغنيزيوم هو العنصر الوحيد حيث تركيزه يفوق المعايير الموصى بها من طرف منظمة الصحة العالميه. سجلنا أيضا تراكيز مرتفعه بالنسبة للنترات على مستوى كل المنابع المدروسه، وهذا ما يترجم وجود تلوث مصدره الأنشطة الزراعيه.

الفصيله الكيميائيه السائده لمياه المنابع المدروسه هي للكلور، الكبريت، الكالسيوم والمغنيزيوم و لها نفس المصدر.

التحليل البيكتريولوجيه تكشف وجود جراثيم داله على تلوث برازي على مستوى كل المنابع.

حسب النسبة CF/SF نستنتج أن مصدر المواد البرازيه هو حيواني بالنسبة لعين مباركه و مختلط مع غلبه للمصدر الإنساني بالنسبة لعين هجارسه.

الكلمات المفتاحيه: النوعيه الفيزيوكيميائيه، النوعيه البيكتريولوجيه، مياه المنابع، الدهواره.

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction	01
--------------------	----

Chapitre I : Description de la zone d'étude

Situation et description	03
1.1. Limites géographiques de la wilaya.....	03
1.2. Limites géographiques de la zone d'étude	03
2. Relief	04
3. Géologie et lithologie.....	05
3.1. Calcaire et marno-calcaire.....	06
3.2. Marne argileuse et marno-calcaire.....	06
4. Hydrologie.....	06
4.1. Les eaux superficielles	06
4.2. Les eaux souterraines	06
4.2.1. Les sources	06
4.2.2. Les puits.....	06
4.2.3 Les forages.....	07
5. Cadre biotique.....	07
5.1. La faune	07
5.2. La flore	07
6. Industrie.....	07
7. Climat.....	08
7.1. Précipitations moyennes mensuelles.....	08
7.2. Températures moyennes mensuelles.....	08

Chapitre II : Eau et santé

Introduction	10
1. Définition des eaux souterraines.....	10
2. La pollution de l'eau	10
2.1. Définition.....	10
2.2. L'origine de la pollution des eaux	10
2.2.1. La pollution ponctuelle.....	10
2.2.2. La pollution diffuse	11
2.3. Les types de pollution	11
3. Les Conséquences de la pollution sur la santé humaine	11

3.1. Les maladies liées au chimisme de l'eau	12
3.1.1. La méthémoglobinémie	12
3.1.2. L'hypertension artérielle	12
3.1.3. Le fluorose	13
3.1.4. L'Alzheimer	13
3.2. Les maladies à transmission hydriques	13
3.2.1. Définition	13
3.2.2. Les infections bactériennes	13
3.2.2.1. La gastro-entérite	14
➤ L'agent pathogène	15
➤ Transmission	16
➤ Symptômes	16
➤ Diagnostic	16
➤ Traitement	17
➤ Prévention	17
3.2.3. Les infections virales	17
3.2.3.1. L'hépatite A	19
➤ L'agent pathogène	19
➤ Transmission	19
➤ Symptômes	19
➤ Diagnostique	20
➤ Traitement	20
➤ Prévention	20
3.2.4. Les infections parasitaires	21
3.2.4.1. L'amibiase	21
➤ L'agent pathogène	22
➤ Transmission	22
➤ Symptômes	22
➤ Diagnostique	22
➤ Traitement	22
➤ Prévention	22
Chapitre III : Matériels et méthodes	
1. Objectif et choix du site	23
2. Etude physico-chimique	25
2.1. Mode de prélèvement	25
2.2. Méthode d'analyse	25

2.2.1. Les paramètres physiques.....	25
2.2.1.1. La température.....	25
2.2.1.2. Le potentiel d'hydrogène.....	26
2.2.1.3. La conductivité électrique.....	26
2.2.2. Paramètres chimique.....	26
2.2.2.1. L'oxygène dissous (O ₂).....	27
2.2.2.2. Minéralisation globale d'une eau (TDS).....	27
2.2.2.3. Titre hydrotimétrique (dureté totale).....	27
2.2.2.4. Les éléments majeurs.....	27
a) Les chlorures.....	27
b) Le calcium.....	28
c) Le Magnésium.....	28
d) Les sulfates.....	28
e) Les Bicarbonates.....	28
f) le potassium.....	28
2.2.2.5. Les composés azotés.....	28
a) Les nitrates.....	29
b) Les nitrites.....	29
c) L'ammonium.....	29
2.2.2.6. Métaux lourds.....	29
3. Etude bactériologique.....	29
3.1. Échantillonnage.....	30
3.1.1. Matériel d'échantillonnage.....	30
3.1.2. Mode d'échantillonnage.....	30
3.1.3. Transport et conservation des échantillons.....	30
3.2. Méthodes d'analyses.....	31
3.2.1. Recherche et dénombrement des germes totaux.....	31
3.2.2. Recherche et dénombrement des germes témoins de contamination fécale.....	32
3.2.2.1. Recherche et dénombrement des coliformes.....	32
3.2.2.2. Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux.....	35
3.2.3. Recherche et dénombrement des spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrice.....	40
4. Traitement des résultats.....	41
4.1. Faciès chimique.....	41
4.2. Le rapport coliformes fécaux/ streptocoques fécaux (CF/SF).....	41
4.3. Traitement statistique des donnés.....	41

Chapitre VI : Résultats et discussion

Introduction	42
1. Les paramètres physiques.....	42
1.1. La Température (°C)	42
1.2. Le potentiel d'hydrogène.....	42
1.3. La conductivité électrique	43
2. Les paramètres chimiques	44
2.1. L'oxygène dissous (O ₂).....	44
2.2. Minéralisation globale d'une eau (TDS).....	44
2.3. La dureté totale	45
2.4 Les éléments majeurs	45
2.4.1. Les chlorures (Cl ⁻).....	45
2.4.2. Le calcium (Ca ²⁺).....	46
2.4.3. Le magnésium (Mg ²⁺)	47
2.4.4. Les sulfates (SO ₄ ²⁻)	48
2.4.5. Les bicarbonates (HCO ₃ ⁻).....	48
2.4.6. Le potassium (K ⁺)	49
2.5. Les composés azotés	50
2.5.1 Le nitrate (NO ₃ ⁻)	50
2.5.2 Le nitrite (NO ₂ ⁻)	51
2.5.3 L'ammonium (NH ₄ ⁺).....	52
2.6 Métaux lourds	53
3. Faciès chimique	53
3.1. Diagramme de Piper.....	53
3.2. Diagramme de Scholler-Berkaloff.....	54
4. Résultats des dénombrements des micro-organismes dans l'eau	55
4.1. Les germes totaux	55
4.2. Les coliformes totaux.....	57
4.3. Les coliformes fécaux	57
4.4. Les streptocoques fécaux.....	58
4.5. Les anaérobies Sulfito-réducteurs (ASR).....	59
4.6. Le rapport CF/SF	59
5. Analyse statistique en composantes principales.....	60
5.1. Paramètres physico-chimiques	60
5.1.1. Corrélation entre les différents paramètres étudiés.....	60
5.1.2. Application des méthodes d'analyse statistique	61

5.2. Paramètres bactériologiques	62
5.2.1. Application des méthodes d'analyse statistique	62
6. Qualité des eaux de sources.....	64
Conclusion	66

Références bibliographiques

Annexes

Liste des abréviations

Symbole et abréviation	Sens
%	Pourcent.
ANRH	Agence nationale de la ressource hydrique.
ASR	Anaérobies sulfito-réducteurs.
BCPL	Bouillon lactosé au pourpre de bromocrésol.
°C	Degré Celsius.
CF	Coliformes fécaux.
CT	Coliformes totaux.
E.E.U.T.A	Entreprise d'études en urbanisme et techniques Annaba
D/C	Double concentration.
°F	Degré Française.
Fig	Figure.
g/l	Gramme par litre.
h	Heure.
Km²	Kilomètre carré.
L	Litre.
mg/l	Milligramme par litre.
ml	Millilitre.
MTH	Maladies à transmission hydrique.
NPP	Nombre le plus probable.
OMS	Organisation mondiale de santé.
PCA	Plate Count Agar.
S/C	Simple concentration.
S.D.H.D.H	Subdivision directive d'hydraulique de la daïra de Hammam N'baïl.
SF	Streptocoque fécaux.
S	Source.
Tab	Tableau.
TDS	Taux des sels dissous.
UFC	Unité formant colonie.
μS	Micro siemens.
VF	Viande Foie.

Liste des figures

N° de figure	Titre de figure	N° de page
01	Situation de la wilaya de Guelma	03
02	Situation géographique de la commune de Dahouara	04
03	Géomorphologie de la région de Guelma	05
04	Histogramme de la précipitation moyenne mensuelle à la station de Bouchegouf	08
05	Histogramme des températures moyennes mensuelles à la station de Bouchegouf	09
06	Photo de la pollution domestique près d'une source d'eau	11
07	Image de situation des cinq sources étudiées (Google Earth 2015)	23
08	Photos des sources étudiées	24
09	Recherche et dénombrement des germes totaux	33
10	Recherche et dénombrement des coliformes	36
11	Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux	38
12	Recherche et dénombrement des spores des bactéries anaérobies sulfito-réducteurs	40
13	Variation spatiale de la température	42
14	Variation spatiale du potentiel d'Hydrogène	43
15	Variation spatiale de la conductivité électrique	43
16	Variation spatiale de l'oxygène dissous	44
17	Variation spatiale du taux des sels dissous	45
18	Variation spatiale de la dureté totale	46
19	Variation spatiale du chlorure	46
20	Variation spatiale du calcium	47
21	Variation spatiale du magnésium	47
22	Variation spatiale du sulfate	48
23	Variation spatiale du bicarbonate	49
24	Variation spatiale du potassium	49
25	Variation spatiale du nitrate	50
26	Variation spatiale du nitrite	51

27	Variation spatiale du l'ammonium	52
28	Variation spatiale du fer	53
29	Diagramme de Piper des analyses des eaux des sources du Dahouara	54
30	Diagramme de Scholler-Berkaloff des sources du Dahouara	55
31	Evaluation des germes totaux à 37°C	56
32	Evaluation des germes totaux à 22°C	56
33	Evolution du nombre de coliformes totaux	57
34	Evolution du nombre de coliformes fécaux	58
35	Evolution du nombre de Streptocoques fécaux	59
36	Cercle de corrélation des variables dans le plan formé par l'axe F1 et l'axe F2 (les paramètres physicochimiques)	61
37	Projection des individus sur le plan F1-F2	62
38	Cercle de corrélation des variables dans le plan formé par l'axe F1 et l'axe F2 (les paramètres bactériologiques)	63
39	Projection des individus sur le plan F1-F2	63

Liste des tableaux

N ^o de tableau	Titre du tableau	N ^o de page
01	Principales bactéries responsables d'infections d'origine hydrique.	13
02	Principaux Virus pathogènes pouvant être rencontrés dans les eaux naturelles.	18
03	Infections d'origine parasitaire transmises par l'eau.	21
04	Présentation des points des sources étudiées.	25
05	Qualité des eaux en O ₂ dissous (ANRH, 2001).	44
06	Grille de la qualité des eaux en nitrates.	50
07	Grille de la qualité des eaux en nitrites.	51
08	Grille de la qualité des eaux en ammonium.	53
09	Origine de la contamination fécale selon le rapport coliformes fécaux/streptocoques fécaux (CF/SF).	59
10	Matrice de corrélation des paramètres physico-chimiques des sources.	60
11	Confrontation entre les paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux des sources étudiées avec les normes de l'OMS	64
12	Normes des méthodes de dosage des paramètres chimiques	Annexe 01
13	Table de NNP	Annexe 04
14	Normes des paramètres physico-chimiques des eaux potables selon l'OMS	Annexe 05
15	Normes des paramètres bactériologiques des eaux potables selon l'OMS	Annexe 05

Introduction

L'eau est la vie. Il n'y a pas de vie humaine digne sans accès à l'eau de qualité et en quantité suffisante. Elle constitue 70 % du poids du corps humain. Elle est utilisée pour de nombreux usages essentiels: la boisson, les loisirs, la fabrication dans l'industrie, l'irrigation des cultures et l'abreuvement du bétail. Après avoir été captée, traitée, transportée, distribuée et puis consommée, l'eau est rendue à la nature via les égouts et les stations d'épuration, au fond d'un puits perdant ou directement au ruisseau. Après un parcours plus ou moins long, que l'on appelle le cycle de l'eau, nous pourrions la capter de nouveau pour satisfaire nos besoins.

En effet, la croissance démographique accompagnée d'une urbanisation rapide qui cause de nombreuses perturbations pour les milieux naturels, l'industrialisation, l'utilisation non rationnelle des engrais et pesticides et le manque de sensibilisation de la population envers la protection de l'environnement, conduisent autant à un déséquilibre de l'écosystème et génèrent des éléments polluants qui peuvent affecter la qualité physico-chimique et biologique de nos ressources en eau. L'UNICEF estime qu'environ 60% de la mortalité infantile dans le monde sont attribuées à des maladies infectieuses ou parasitaires liées à l'eau, les plus fréquentes étant les gastro-entérites.

La commune de Dahouara est alimentée principalement en eau potable par les eaux de la source de Beldjoudi qui sont distribuées à partir d'un château d'eau. Elle est connue par son richesse en sources d'eau. Actuellement, elle constitue un pôle d'approvisionnement en eau potable pour les communes voisines par les citernes mobiles.

Ainsi, l'objectif de ce travail est de faire un diagnostic général sur la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de certaines sources, et ceci dans le but d'apprécier sa qualité sur la santé publique.

Afin de réaliser cette étude et atteindre nos objectifs, nous avons structuré notre travail 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 les différents types de pollution et leurs conséquences sur la santé humaine (maladies à transmission hydriques et les maladies liées au chimisme d'eau).

Introduction

- Le troisième chapitre est consacré aux méthodes et aux techniques employées pour la réalisation de ce travail: Analyses bactériologiques (recherche et dénombrement de microorganismes) et physico-chimiques de l'eau.

-Le quatrième chapitre inclut les résultats et leurs interprétations. Il est esquissé par une conclusion finale.

1. Situation et description

1.1. Limites géographiques de la wilaya de Guelma

La wilaya de Guelma se situe au Nord-Est du pays et constitue, du point de vue géographique, un point de rencontre, voire un carrefour entre les pôles industriels du Nord (Annaba-Skikda) et les centres d'échange au Sud (Oum-El-Bouaghi et Tebessa), outre la proximité du territoire Tunisien à l'Est (fig.1). Sur une superficie de 3686,84 Km² et abrite une population (estimée à fin 2009) de 494079 habitants dont 25 % sont concentrés au niveau du chef lieu de wilaya. La densité moyenne de cette population est de 132 Hab. /Km². La wilaya de Guelma créée en 1974, comprend 10 daïras et 34 communes. [1]



Figure n°1 : situation de la wilaya de Guelma. [2]

1.2. Limites géographiques de la zone d'étude

Dahouara est une commune Algérienne, située au Sud-est de la wilaya de Guelma, à 45 Km de chef lieu de la wilaya, à 10 Km de la route nationale N°16 et 77 Km de la frontière Tunisienne. La commune appartient à daïra de Hammam N'Bail, s'étend sur une superficie de 68 Km², compte 7888 habitants depuis le dernier recensement de la population (estimée à fin 2011), limitée par :

Nord : la commune de Hammam N' Bail et Oued Cheham.

Sud : la commune de Hannancha (wilaya de Souk-Ahras).

Est : la commune d'Oued Cheham.

Ouest : la commune de Hammam N' Bail, (fig.2).

Située à 395 mètres d'altitude, la commune de Dahouara a pour coordonnées géographiques

Latitude : 36°21'6" nord, Longitude : 7°43'58" est. [3]



Figure n°2 : Situation géographique de la commune de Dahouara. [4]

2. Relief

La géographie de la wilaya se caractérise par un relief diversifié dont on retient essentiellement une importante couverture forestière et le passage de la Seybouse qui constitue le principal cours d'eau. Ce relief se décompose comme suit :

- Montagnes : 37,82 %.
- Plaines et plateaux: 27,22 %.
- Collines et piémonts: 26,29 %.
- Autres: 8,67 %.

Le relief montagneux prédominant entoure trois dépressions importantes: la dépression de Tamlouka au Sud, celle de Guelma au centre et la dépression de Bouchegouf au Nord-Est (fig.3). (Benmarce, 2007 in Aouissi, 2010).

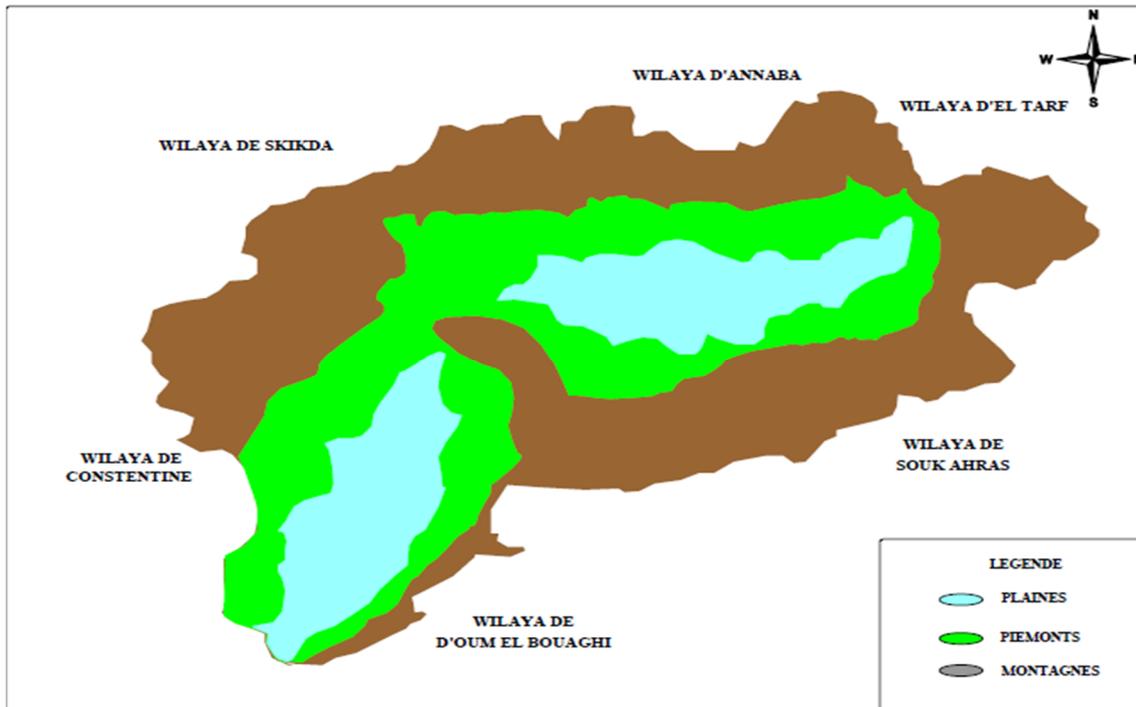


Figure n°3 : Géomorphologie de la région de Guelma. (Benmarce, 2007 in Aouissi, 2010).

La région étudiée se trouve enclavée dans une région montagneuse, dont on trouve deux types de montagnes :

- Les montagnes rocheuses: tel que Djebel L'Ourase (mechta El-Besbassa), Djebel El-Kodsse (mechta Zoubia à mechta Doukhane Bouguerra), Safyat Aoulad Chikhe (mechta Kaf El-Biadhe) et Safyat Issa (mechta Djnanne Touile)...etc.
- Les montagnes forestières: Djebel El-Askri (Dahouara), Djebel El-Tagtag (mechta Ome L'Aroug) et Djebel Zouia (mechta Zouia)...etc.

2. Géologie et lithologie

D'après la carte géologique de la région de Souk-Ahras à l'échelle 1/50 000, la géologie est caractérisée par une formation mixte de marno-calcaire, au marno-argileuse et de calcaire aggloméré.

3.1. Calcaire et marno-calcaire

La formation en question couvre la partie Nord et Nord-Est de l'aire d'étude sous forme de calcaire en banquette fissurée à d'endroit associé à des marno-calcaire couleurs grise à noirâtre de l'éocène supérieur. (E.E.U.T.A, 1999).

3.2. Marne argileuse et marno-calcaire

Cette formation occupe toute la partie Sud de l'aire d'étude par une composition confuse et mélangée marne-argile-calcaire-conglomérat cailloutis et sable argileux tous font partie du miocène moyen et supérieur. (E.E.U.T.A, 1999).

4. Hydrologie

La région de Dahouara se présente en relief en accidenté qui donne naissance d'une part à un tissu hydrographique, le tout bute vers du bassin versant (37 Km²). Ces tissus sont des sources hydriques (oueds, chaabet et sources d'eau potable) qui sont constituées par deux types des eaux superficielles et souterraines.

4.1. Les eaux superficielles

Oued El-Ghirène, Oued Sekkaka, Oued R'Baiba et Oued El-Hassba qui alimentent Oued Ranem qui est par leur tour draine Oued El-Maleh vers Oued Syebouse.

4.2. Les eaux souterraines

4.2.1. Les sources

Il y'a 61 sources, dont l'ensemble sont captées. Le débit de ces sources généralement varie entre 0,1 à 3 l/s et sont utilisées en approvisionnement en eau potable. (S.D.H.D.H, 2015).

La plus importante est la source de Beldjoudi avec un débit de 6 l/s, elle est située à la partie Sud de l'agglomération de Dahouara, qu'est captée pour la distribution de l'eau potable vers les habitants de la commune.

4.2.2. Les puits

A travers la superficie de la zone d'étude, il existe un nombre limité des puits, près de 8, dont le rôle est limité uniquement à satisfaire les besoins domestiques et l'irrigation de quelques surfaces agricoles. (S.D.H.D.H, 2015).

4.2.3. Les forages

D'après le service de la subdivision directive d'hydraulique de la daïra de Hammam N'bail, on a dénombré un seul forage (source de Ain M'Ghaya), ce forage est utilisé pour l'alimentation de la commune de Hammam N'Bails en eau potable, leur débit est de 12 l/s. (S.D.H.D.H, 2015).

5. Cadre biotique

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

5.1. La faune

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

- **Les mammifères** : sauvages, comme les sangliers, chacals, renards, lapins et porc piqués, et domestiques, comme les bovins, les ovins et les caprins.
- **Les oiseaux** : la tourterelle, chardonneret (espèce protégée), moineau, hibou, palombe, la cigogne blanche, le héron garde-bœufs, le héron cendré.
- **Les reptiles** : tortue, lézard, couleuvre.

5.2. La flore

La couverture végétale est représentée par un peuplement forestiers qui abrite des espèces floristiques représentées essentiellement par : le chêne liège, l'eucalyptus, le cyprès, le pin d'alep. D'autre part la commune présente des richesses en arbres fruitées comme l'olive, le grenade, la figue barbarie et la figue qui couvre les besoins d'environ huit wilayas. On n'oublier pas l'agriculture des céréales (orge et blé).

6. Industrie

Les activités industrielles sont absentes au niveau de cette région, à l'exception de l'usine de Besbassa des eaux minérales, qui commence le fonctionnement en Aout 2014.

7. Climat

Le climat joue un rôle important dans la direction des cours d'eau, et dans l'alimentation éventuelle des nappes souterraines, dans les mécanismes de pollution l'infiltration efficace et le ruissellement des eaux entraînent de manière très différente les polluants que ce soit d'origine organique ou chimique en profondeur.

Les sources étudiées dans la région de Dahouara sont alimentées principalement par l'infiltration des eaux de pluie.

Vu l'inexistence de station météorologique propre à la région de Dahouara, et comme la station de Bouchegouf est la plus proche, on a jugé utile d'utiliser les données de cette station, située à Bouchegouf qui couvre une période de 21 ans allant de 1985 à 2006.

7.1. Précipitations moyennes mensuelles

La figure n°4 montre les variations de la distribution des précipitations d'un mois à un autre, avec un maximum de 88.10 mm au cours du mois de décembre, et un minimum de 3.17 mm au cours du mois de juillet.

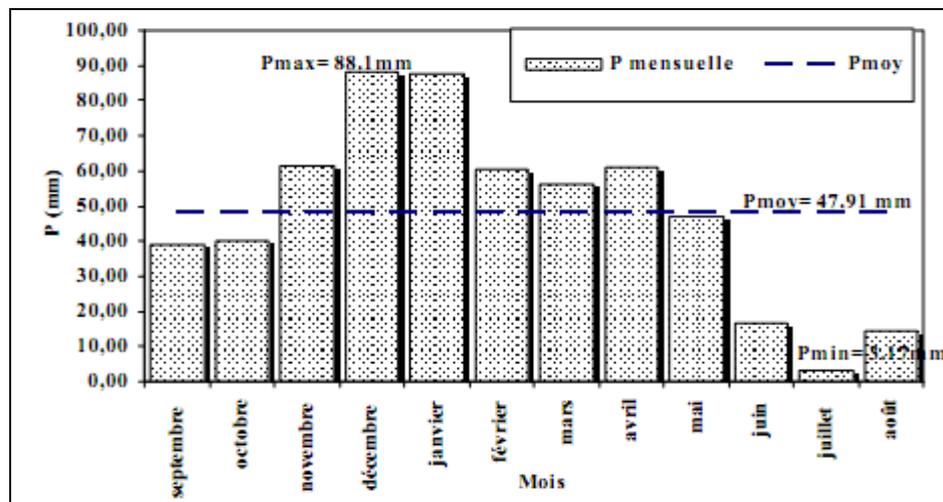


Figure n°4 : Histogramme de la précipitation moyenne mensuelle à la station de Bouchegouf (1985-2006).

7.2. Températures moyennes mensuelles

L'historgramme des températures moyennes mensuelles montre que le mois le plus chaud est le mois d'août (27.74°C) alors que le mois le plus froid est le mois de janvier (10.04°C), (fig.5).

La température moyenne annuelle observée sur une période de 21 ans pour la station de Bouchegouf est 18.13°C.

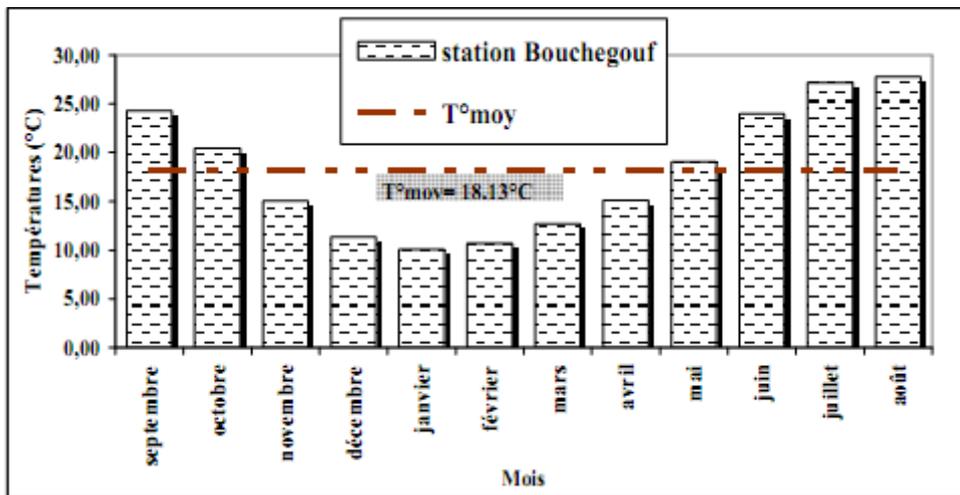


Figure n° 5 : Histogramme des températures moyennes mensuelles à la station de Bouchegouf (1985-2006).

Donc la région de Dahouara jouit d'un climat subhumide qui se caractérise par un été chaud et sec et un hiver frais et à précipitation pluviales considérables. Cette région se classe parmi les régions les plus arrosées de la wilaya de Guelma.

Introduction

Les eaux souterraines peuvent servir à l'alimentation en eau potable. Elles sont généralement de bonne qualité. Mais dans nos jours elles sont menacées par la pollution, donc elles peuvent être la cause de plusieurs maladies.

La consommation d'une eau potable, facteur déterminant dans la prévention des maladies liées à l'eau, doit bénéficier d'une attention particulière. En effet, l'eau destinée à la consommation humaine ne doit contenir ni substances chimiques dangereuses, ni germes nocifs pour la santé.

1. Définition des eaux souterraines

Les eaux souterraines, ou nappes phréatiques, se localisent dans des formations appelées aquifères. Les aquifères sont formés de roche poreuses et perméables.

L'aquifère, également appelé réservoir, permet l'écoulement de la nappe d'eau souterraine et le captage de l'eau. La partie inférieure du réservoir doit être imperméable pour retenir l'eau et permettre la constitution d'une réserve.

2. La pollution de l'eau

L'eau est une substance unique parce qu'elle se renouvelle et se nettoie naturellement en permettant au polluants de s'infiltrer (par le processus de sédimentation) ou de se détruire, en diluant les polluants au point qu'ils aient des concentrations qui ne sont pas nuisibles. Cependant, ce processus naturel prend du temps et devient très difficile lorsqu'il y a une quantité importante de polluants qui sont ajoutés à l'eau. Les gens utilisent de plus en plus des matières qui polluent nos sources d'eau potable.

2.1. L'origine de la pollution des eaux

La pollution des eaux de surface et des nappes souterraines a deux origines.

2.1.1. La pollution ponctuelle qui est due à des rejets directs dans le milieu. Elle peut être accidentelle (fuites, accidents de stockage, débordement de cuve, mauvaise gestion des fonds de cuve, pulvérisation en bout de champ,...etc.), provenir du déversement direct de certaines unités d'élevages intensifs ou des agro-industries, du rejet des eaux de drainage à l'aval des terres irriguées.

2.1.2. La pollution diffuse qui est consécutive à de mauvaises conditions d'épandage et causée par le ruissellement et le lessivage (lixiviation) des terres agricoles.

2.2. Les types de pollution

Plusieurs types de pollution sont distingués en fonction de la source de la pollution:

- **Pollution domestique** engendrée par les rejets liquides et solides urbains; (pollution par le milieu rural) (fig.6).



Figure n°6 : photo de la pollution domestique près d'une source d'eau (Photo prise par nous-mêmes, 2015).

- **Pollution industrielle** générée par les effluents d'eaux usées industrielles (eaux de refroidissement des centrales thermiques, rejets des unités agro-industrielles, eaux de lavage) et les divers produits toxiques industriels.

- **Pollution agricole** au sein du domaine hydro-agricole qui serait due aux apports massifs et pas toujours parfaitement dosés des engrais et potentiellement des pesticides, à l'irrigation par des eaux de qualité physico-chimique médiocres, à la mauvaise gestion des eaux de drainage et aux effluents d'élevage.

- **Pollution naturelle** induite par le contact des eaux souterraines avec les formations salifères.

3. Les conséquences de la pollution de l'eau sur la santé humaine

Les conséquences de la pollution de l'eau sur la santé humaine sont diverses, mais le lien entre pollution et santé est toujours très difficile à faire, car il existe énormément de paramètres qui entrent en jeu. Selon l'OMS, environ 4 millions d'enfants meurent chaque année de la diarrhée causée par l'infection hydrique.

3.1. Les maladies liées au chimisme de l'eau

3.1.1. La méthémoglobinémie

Il y a généralement des nitrates dans l'eau de surface et dans certaines eaux souterraines. Leur quantité a augmenté progressivement au cours des trente dernières années à cause de l'emploi excessif d'engrais dans l'agriculture et de l'eau usée domestique et industrielle. Les engrais et les eaux usées contiennent des composés azotés, qui peuvent se transformer en nitrates. En eux-mêmes, les nitrates ne sont ni nocifs ni toxiques. Ils sont d'ailleurs présents naturellement en quantités parfois importantes dans la plupart des aliments.

Malheureusement, des bactéries qui se trouvent dans notre estomac et nos intestins transforment les nitrates en nitrites, et ceux-ci sont mauvais pour la santé. Ils diminuent la capacité de notre sang à transporter l'oxygène nécessaire à notre corps. Ces nitrites, dans le sang, transforment les hémoglobines en méthémoglobine non fonctionnelle, ce qui provoque une sorte d'asphyxie due à une modification du système de transport de l'oxygène dans le sang ; c'est le syndrome des "enfants bleus", la méthémoglobinémie.

3.1.2. L'hypertension artérielle

Un excès de sodium n'est pas bon pour la tension artérielle, le cœur et les artères.

A cet égard une étude épidémiologique a montré qu'une eau contenant 107 mg de sodium par litre conduisait chez les adolescents d'une école américaine à une augmentation significative de la tension sanguine. Par ailleurs de nombreuses études, parfois contradictoires, permettent néanmoins de penser que le sodium, à la consommation élevée, a pour effet d'augmenter la pression artérielle. Cela dit, le lien entre le sodium et l'hypertension artérielle semblerait désormais bien établi. Depuis 1990, plusieurs études ont tenté de mettre en évidence la relation entre sodium et certains arrêts cardiaques. (Roland, 2010).

3.1.3. Le fluorose

Les sels de fluor protègent nos dents en rendant l'émail plus résistant. Mais un excès de fluor a des effets négatifs et provoque par exemple des taches noires sur les dents. A des doses trop élevées, il peut même y avoir des malformations des dents et du squelette. On appelle cela la fluorose. C'est le revers de la médaille.

3.1.4. L'Alzheimer

Certaines études ont fait état de la possibilité de lien de cause à effet entre l'absorption d'aluminium et la maladie d'Alzheimer. En grandes quantités, l'aluminium est effectivement toxique pour le système nerveux, surtout lorsqu'il se présente sous une forme élémentaire (non composée).

3.2. Les maladies à transmission hydriques

3.2.1. Définition

Les maladies à transmission hydrique (MTH) recouvrent un large éventail de manifestations pathologiques d'origine bactérienne, parasitaire ou virale dont l'élément commun est le mode de contamination l'eau. (Kreisel, 1991).

3.2.2 Les infections bactériennes

Le tableau n°1 présente les principales bactéries pathogènes rencontrées dans les infections bactériennes d'origine hydrique.

Tableau n°1: Principales bactéries responsables d'infections d'origine hydrique. (Rejsek, 2002).

Bactéries	Maladies induites	Indication de la recherche
<i>Aeromonas</i>	Gastro-entérite syndrome cholériforme.	
<i>Clostridium perfringens</i>	Gastro-entérite.	Contamination fécale peu spécifique.
<i>Enterococcus</i>		Contamination fécale.

<i>Escherichia coli</i> entérototoxiques et entéroinvasifs	Gastro-entérite et autre maladies.	Contamination fécale.
<i>Campylobacter jejuni</i> ou <i>coli</i>	Gastro-entérite.	
<i>Legionella pneumophila</i>	Pneumopathie, fièvre.	
<i>Leptospira</i>	Leptospirose ictéro- hémorragique.	Maladie professionnelle.
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Infection cutanée, pus.	Contamination de proximité.
<i>Salmonella typhi</i> et <i>paratyphi A</i>	Fièvres typhoïde et paratyphoïdes.	
<i>Salmonella</i>	Gastro-entérite.	
<i>Shigella dysenteriae</i>	Dysenterie bacillaire.	
<i>Shigella</i>	Gastro-entérite.	
<i>Staphylococcus aureus</i>	Infection cutanée.	Contamination de proximité.
<i>Vibrio</i>	Cholera, gastro-entérite, infection cutanée.	
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Gastro-entérite.	

3.2.2.1 La gastro-entérite

Une gastro-entérite est une infection inflammatoire caractérisée par l'émission brutale et fréquente de selles liquides et abondantes (diarrhée). [5]

La gastroentérite est provoquée par de nombreux virus, bactéries ou autres micro-organismes qui contaminent la nourriture ou l'eau. L'intensité des symptômes varie selon la cause. [6]

➤ L'agent pathogène

Exemple : *Escherichia coli*

C'est une bactérie saprophyte du tube digestif de l'homme et des animaux qu'elle envahit des premières heures de la vie. Elle se multiplie par milliards dans les matières fécales. Leur extrême

abondance et leur résistance dans l'eau sont telles que des bactéries ont été retenue comme germes-tests de contamination fécale des eaux. (Roland, 2010).

L'espèce *E. coli* se présente sous forme d'un bacille Gram négatif, le plus souvent mobile par cils péritriches (dans 70% des cas), gazogène lorsqu'il fermente les glucides, avec une température optimale de croissance située à 37°C. (Leminor et Veron, 1989).

L'existence de diarrhées à *E. coli* est connue depuis 1940. Ces diarrhées sont dues à des souches de sérotypes particuliers qui provoquent soit des cas sporadiques, soit des petites épidémies. Les différents syndromes cliniques sont dus à des *E. coli* différents dont nous préciserons plus loin le support de la virulence. On reconnaît aujourd'hui 4 types de souches responsables de diarrhées :

- Les souches entéro-pathogènes

Elles étaient responsables, dans les années 50, de diarrhées infantiles graves ou toxiques survenant par épidémies dans des crèches ou des maternités.

Ces souches encore appelées *E. coli* G.E.I. (des gastro-entérites infantiles) sont plus rarement rencontrées aujourd'hui, elles sont alors isolées de cas sporadiques.

- Les souches entéro-toxinogènes

Elles sont responsables de diarrhées très liquides survenant dans les pays en développement. Ces diarrhées s'observent principalement chez les voyageurs (Turista). Elles sont souvent épidémiques chez les enfants de ces pays.

- Les souches entéro-invasives

Elles sont isolées de syndromes dysentériques tant chez l'adulte que chez l'enfant.

La présence de leucocytes dans les selles est le témoignage du processus invasif.

- Les souches entéro-hémorragiques

Ces souches ont été décrites en Amérique du Nord où elles ont été responsables d'épidémies de diarrhée aqueuse puis hémorragique. Elles appartiennent à un sérotype particulier O₁₅₇. Un produit alimentaire contaminé peut être à l'origine de la diffusion de l'épidémie. Ces souches sont aussi responsables du syndrome hémolytique-urémique. (Avril et al ,1992).

➤ **Transmission**

La gastroentérite se contracte par l'une ou l'autre des deux voies suivantes :

- Par intoxication alimentaire : La consommation d'aliments ou d'eau contaminés par des germes peut causer la gastroentérite.
- Par le contact avec les selles ou les vomissements de personnes victimes d'une gastroentérite infectieuse. [6]

➤ **Symptômes**

Les symptômes que présentent les patients concernés sont :

- Une perte d'appétit.
- Des crampes abdominales.
- Des nausées et des vomissements qui apparaissent brutalement.
- Une diarrhée très aqueuse.
- Une légère fièvre (38 °C).
- Des maux de tête. [6]

➤ **Diagnostic**

Il repose sur l'isolement de la bactérie au site d'infection.

- Au niveau du laboratoire de routine, on peut cependant repérer des souches entéro hémorragiques grâce à des milieux sélectifs permettant de reconnaître les souches ne fermentant pas le sorbitol et des antisérums reconnaissant l'antigène O₁₅₇.
- Les laboratoires spécialisés peuvent caractériser les facteurs de pathogénicité, soit par des méthodes phénotypiques (caractérisation des adhésines, des toxines), soit par des méthodes génotypiques (détection des gènes d'intérêt par hybridation avec des sondes spécifiques ou par PCR). (Nauciel et *al*, 2008).

➤ Traitement

Le traitement curatif d'une diarrhée aiguë est avant tout un traitement symptomatique par la réhydratation. La diarrhée des voyageurs peut être prévenue par des mesures d'hygiène ou par la prise d'antibiotiques pour certains. Les fluorquinolones ou le cotrimoxazole sont utilisés à titre curatif. (Avril et *al* 1992).

➤ Prévention

- **Mesures préventives de base** : Pour prévenir la contamination de personne à personne :

- Laver les mains et les vêtements.
- Nettoyer tout objet souillé par la diarrhée ou les vomissements avec un javellisant.
- Ne pas partager d'ustensiles ou de nourriture avec une personne qui a la gastroentérite.

- **Pour prévenir l'intoxication alimentaire** :

- Bien cuire les aliments, surtout la viande rouge, la volaille et les œufs.
- Rincer à l'eau du robinet les fruits et légumes qui sont consommés frais.
- Ne pas cuisiner sur une surface qui est entrée en contact avec de la viande ou de la volaille crue.
- Manger des produits laitiers pasteurisés de préférence.

- **Mesures pour prévenir les complications** :

- Bien se réhydrater afin de remplacer les liquides perdus. [6]

3.2.3. Les infections virales

Les virus responsables d'infections hydriques sont excrétés dans les selles d'individus infectés. Le tableau n°2 présente les principaux virus identifiés responsables de pathologies liées à l'ingestion d'eau ou au contact avec une eau contaminée. (Rejsek, 2002).

Tableau n°2: Principaux Virus pathogènes pouvant être rencontrés dans les eaux naturelles.
(Rejsek, 2002).

Famille	Genre	Espèce	Maladies provoquées	Contamination
Picornaviride	Entérovirus	Virus de la poliomyélite	Poliomyélite, paralysie, méningite.	ingestion
		Virus coxsackie A	Méningite, infection respiratoire.	ingestion
		Virus coxsackie B	Myocardite, éruption cutanée.	ingestion
		Échovirus	Méningite, infection respiratoire	ingestion
		Virus de l'hépatite A	Hépatite infectieuse.	ingestion
Reoviridae	Rotavirus	Rotavirus humains	Gastro-entérite.	ingestion
Caliciviridae	Calicivirs	Calicivirs humains	Gastro-entérite.	ingestion
		Virus de Norwalk	Gastro-entérite.	
		Virus de l'hépatite E	Hépatite infectieuse.	ingestion
		Astrovirus	Gastro-entérite.	ingestion
Adenoviridae	Mastadéno-virus	Adénovirus	Gastro-entérite, pharyngite, conjonctive.	Ingestion et contact
Coronaviride	coronavirus	Coronavirus humains	Entérocolite.	ingestion

		Coronavirus like	Gastro-entérite.	ingestion
Papovaviridae	Papilloma-virus	Papillomavirus humains	Verrues.	Contact

3.2.3.1. L'hépatite A

L'hépatite A est l'hépatite virale la plus répandue au monde avec des zones de haute endémicité en Afrique et dans l'Asie du Sud-est. Elle est bénigne dans près de 99 % des cas. L'hépatite A survient habituellement au cours de l'enfance ou chez l'adulte jeune (50 % des cas avant l'âge de 30 ans). Elle peut réaliser de petites épidémies dans des collectivités (crèche, école, institution d'enfants handicapés). [7]

➤ L'agent pathogène

Le virus de l'hépatite A fait partie des *picornavirus*, eux-mêmes inclus parmi les *entérovirus*. Il s'agit d'un virus non enveloppé, détruit par le chauffage (autoclavage 20 min à 120 °C). Le génome est un ARN linéaire simple brin à polarité positive de 7 500 nucléotides. [7]

➤ Transmission

La transmission, interhumaine, est essentiellement fécale-orale, avec un large réservoir de virus dans le tiers Monde. Un risque particulier est lié à la consommation de coquillages et de crudités souillées. (Huriaux, 2008).

➤ Symptômes

L'hépatite A est le plus souvent asymptomatique (90 % des cas) et est pratiquement toujours bénigne. La plupart des personnes qui sont infectées par le virus de l'hépatite A ont des symptômes de la grippe :

- fatigue.
- fièvre.
- mal de tête. Alors que d'autres ont :
- des maux de ventre.
- de la diarrhée.

- une jaunisse (la peau ou les yeux jaunes) environ un mois après que le virus ait pénétré l'organisme.
- En plus de la jaunisse (appelée aussi « ictère »), l'urine peut devenir très foncée et les selles très pâles (comme de l'argile). [7]

➤ **Diagnostic**

Le diagnostic d'hépatite A repose sur la détection dans le sérum d'anticorps spécifiques de classe IgM par technique ELISA. (Huraux 2008)

➤ **Traitement**

Les hépatites A et E guérissent d'elles-mêmes sans aucun traitement. Un traitement de support peut être prescrit pour soulager vos symptômes pendant que votre système immunitaire élimine le virus.

Après une exposition connue au virus de l'hépatite A, l'administration d'une dose d'immunoglobulines durant les 14 premiers jours peut aider à prévenir ou à tout le moins à atténuer la maladie. [7]

➤ **Prévention**

▪ **Vaccination**

Le vaccin utilisé s'appelle " Havrix 1440 " dont la vaccination comporte une injection intramusculaire dans la région deltoïde avec un rappel à 6 mois puis tous les 10 ans. Le taux de séroconversion est de 100 % au 21 jour.

Pour les nourrissons au-dessus de 1 an et les enfants jusqu'à 15 ans, on utilise le vaccin " Havrix 360" avec 2 injections à un mois d'intervalle, un rappel 6 à 12 mois après la primo vaccination, puis un rappel tous les 10 ans. [7]

3.2.4. Les infections parasitaires

On distingue deux types différents d'organismes impliqués dans les infections parasitaires, (Tab.3).

- **Les protozoaires** : organismes unicellulaires eucaryotes dont plusieurs sont des agents d'épidémies hydriques.
- **Les helminthes** : organismes pluricellulaires de types vers.

Tableau n°3: Infections d'origine parasitaire transmises par l'eau. (Rejsek, 2002).

Type d'organisme	Nom	Maladie	Type de contamination
Protozoaire	Amibe	Amibiase	Ingestion des kystes
	<i>Cryptosporidium parvum</i>	Gastro-entérite.	Ingestion
	<i>Giardia lamblia</i> et <i>Giardia intestinalis</i>	Gastro-entérite.	Ingestion des kystes
	<i>Plasmodium</i>	Paludisme	Piqûre d'anophèle
	<i>Trypanosome</i>	Maladie du sommeil	Piqûre par glossine
Helminthe	<i>Anguillule</i>	Anguillulose	Contact ou Ingestion
	<i>Ankylostoma duodénale</i>	Ankylostosome	Contact
	<i>Fasciola hepatica</i>	Douve du foie	Ingestion
	<i>Schistosoma</i>	Bilharziose	Contact
	Filaires	Filariose	Ingestion
	Ver de guinée	dracunculose	Ingestion de crustacés

3.2.4.1. L'amibiase

Il est maintenant admis que 2 espèces d'*Entamoeba* infectent l'homme, la première *E.dispar* n'est pas pathogène tandis que la seconde, *histolytica* est responsable de l'amibiase

(dysenterie amibienne). Ce parasite très commun est endémique sous les climats chauds ou les conditions sanitaires et l'hygiène individuelle sont mauvaises. L'infection est fait par ingestion de kystes matures. (Prescott et *al.*, 2003).

➤ **L'agent pathogène**

Entamoeba histolytica est une amibe anaérobie spécifique de l'Homme. Il s'agit d'un protozoaire, constitué d'une seule cellule mobile. Celle-ci peut s'entourer d'une fine coque pour former un kyste amibien de quelques microns à quelques dizaines de microns de diamètre. [8]

➤ **Symptômes**

Les symptômes d'amibiase sont très variables allant d'une infection asymptomatique à une dysenterie fulgurante, des diarrhées épuisantes accompagnées de sang et de mucus, une appendicite et des abcès dans le foie, les poumons ou le cerveau. (Prescott et *al.* 2003).

➤ **Diagnostic**

Le diagnostic de laboratoire repose sur la mise en évidence les trophozoïtes dans les selles Chaudes et fraîches et de kystes dans des échantillons normaux de selles. Le test sérologique doit également être réalisé. (Prescott et *al.* 2003).

➤ **Traitement**

La thérapie de l'amibiase est complexe et dépend du lieu de l'infection et de la condition de l'hôte :

- Un porteur asymptomatique de kystes doit toujours être traité (à l'iodoquinol ou la paromycine) parce qu'il représente le réservoir le plus important du parasite dans la population.
- L'amibiase intestinale symptomatique, les traitements de choix sont à base de métronidazole ou d'iodoquinol. (Prescott et *al.* 2003).

➤ **Prévention**

La prévention et le contrôle de l'amibiase consistent à éviter l'eau ou la nourriture qui peut être contaminé par les selles humaines. (Prescott et *al.* 2003).

1. Objectif et choix du site

Pour contribuer à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux des sources de la région de Dahouara, nous avons choisis cinq sources d'approvisionnement en eau potable (tab.4).

La plus part de ces sources étudiées sont situées sur le principal axe routier (route départementale N° 19) et dans des agglomérations (fig.7). Ils sont donc à usage quotidien d'où la nécessité d'un suivi rigoureux de leur qualité chimique et bactériologique. Une campagne d'échantillonnage a été réalisée pendant le mois de février 2015.

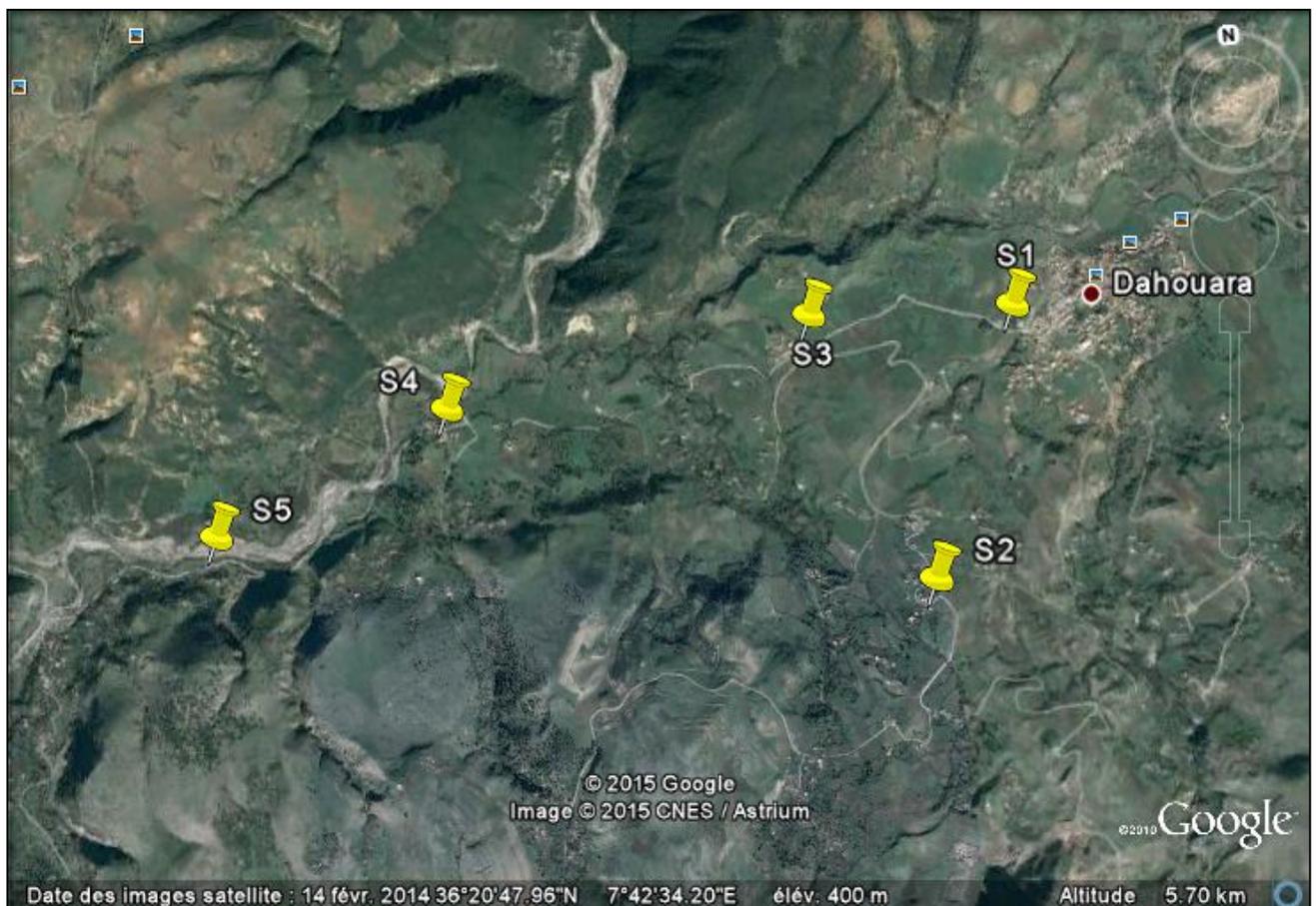


Figure n°7 : Image de situation des cinq sources étudiées (Google Earth 2015).



S 1: Ain Mebarka



S 2: Ain Nechma 2



S 3: Ain Zouia



S 4: Ain Slalim 2



S 5: Ain Hdjarsa

Figure n°8 : Photos des sources étudiées (prise par nous-mêmes, 2015).

Tableau n°4 : Présentation des sources étudiées.

Sources	Débit l/s	Coordonnées	Usage
Ain Mebarka (S1)	2.5	36°21.032 N, 07°43.684 E	- alimentation en eau potable
Ain Nechma 2 (S2)	2.5	36°20.399 N, 07°43.316 E	-alimentation en eau potable et irrigation
Ain Zouia (S3)	0.5	36°21.068 N, 07°43.044 E	-alimentation en eau potable et irrigation
Ain Slalim 2 (S4)	4.77	36°21.068 N, 07°41.877 E	-alimentation en eau potable et irrigation
Ain Hdjarsa (S5)	0.4	36°20.654 N, 07°41.115 E	-alimentation en eau potable et irrigation

2. Etude physico-chimique

Les caractéristiques physico-chimiques des eaux des sources dépendent d'un certain nombre de facteurs tels que la composition chimique et minéralogique des terrains traversés, la structure géologique, les conditions d'écoulement et les conditions physico-chimiques locales.

2.1. Mode de prélèvement

Les techniques des prélèvements sont variables en fonction du but recherché et de la nature de l'eau à analyser. Dans notre cas, comme l'eau est de source équipée d'un tuyau, pendant l'échantillonnage, l'eau a été recueillie directement dans des flacons propres de type bouteille d'eau minérale de 1.5 l, qui doit être rincé 2 à 3fois avec l'eau a échantillonnée.

2.2. Méthodes d'analyse

2.2.1. Les paramètres physiques

Les paramètres physiques de l'eau des sources mesurées in situ sont :

2.2.1.1. La température

La température est le paramètre le plus important dans les analyses de l'eau. Elle a une

influence directe sur le comportement de différentes substances contenues dans l'eau et a une grande influence sur l'activité biologique (Roux, 1987). La température de l'eau est un facteur important car elle joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique et dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels. La température de l'eau est mesurée sur le terrain à l'aide d'un multi paramètre. (Rodier, 2005).

Nous lisons directement la température qui s'est affichée sur l'écran exprimée en degré Celsius (°C).

2.2.1.2. Le potentiel d'hydrogène

Le potentiel d'hydrogène, plus connu sous le nom de pH est la valeur qui détermine si une substance est acide, neutre ou de base, il est calculé à partir du nombre d'ions hydrogène présents. Le pH d'une solution aqueuse varie de 0 à 14. D'une façon générale, le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés, il varie habituellement entre 7,2 et 7,6 (Rodier, 1996). Il joue un rôle primordial dans les processus biologique qui exigent des limites très étroites de pH. (Zeddouri, 2003).

Nous avons mesuré le pH par un multi paramètre de type Hanna, qui donne directement la valeur du pH de l'échantillon.

2.2.1.3. La conductivité électrique

L'eau pure est peu conductrice du courant électrique car elle ne contient que très peu de particules chargées électriquement (ions), susceptibles de se déplacer dans un champ électrique. L'unité de la conductivité est le micro-siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

La conductivité traduit la minéralisation totale de l'eau. Sa valeur varie en fonction de la température. (Rodier, 1996).

La mesure est effectuée sur le terrain par un multi-paramètre, que nous plongeons l'électrode de l'appareil dans l'eau à analyser. La valeur de conductivité s'affiche directement en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

2.2.2. Paramètres chimiques

Les analyses chimiques (dosage des paramètres) sont réalisées au niveau du laboratoire de contrôle de qualité et de conformité (Ghouat à Ain M'lila), les normes des méthodes sont présentées dans l'annexe (1).

2.2.2.1. L'oxygène dissous (O_2)

L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'eau car il conditionne la vie des microorganismes aquatiques et le fonctionnement de cet écosystème en général. La diminution de sa teneur génère un milieu favorable à la fermentation et aux dégagements d'odeurs. (Rodier, 1984).

Comme c'est le cas pour tous les gaz atmosphériques, la solubilité, ou la saturation, de l'oxygène varie avec la température, la pression et la salinité. (Amino, 1983)

La mesure de l'oxygène dissous a été réalisée sur terrain à l'aide d'un multi paramètre et les résultats sont exprimés en mg /l.

2.2.2.2. Minéralisation globale d'une eau (TDS)

La minéralisation est fonction de la géologie des terrains traversés. D'une façon générale, elle est plus élevée dans les eaux souterraines que dans les eaux superficielles. Les eaux très minéralisées, du fait de leur teneur en sodium, en magnésium, en chlorures, en hydrogénocarbonates, semblent mieux contribuer à l'homéostasie de l'homme et surtout de l'enfant ; cependant, elles peuvent poser des problèmes endocriniens très complexes.

Il a été déterminé à l'aide d'un multi paramètre.

2.2.2.3. Titre hydrotimétrique (dureté totale)

La dureté totale d'une eau est produite par les sels de calcium et de magnésium qu'elle contient. On distingue une dureté carbonatée qui correspond à la teneur en carbonates et bicarbonates de Ca^{2+} et Mg^{2+} et une dureté non carbonatée produite par les autres sels. La dureté est mesurée par le titre hydrotimétrique exprimé en °F (degré français); 1 °F correspond à 10 mg de carbonate de calcium dans 1 litre d'eau. Elle résulte principalement du contact des eaux souterraines avec les formations rocheuses.

La dureté d'une eau naturelle dépend de la structure géologique des sols traversés.

2.2.2.4. Les éléments majeurs

a) Les chlorures

Les chlorures sont répandues dans la nature, on les trouve sous forme de Na Cl, KCl ou Ca Cl₂.

b) Le calcium

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches sous forme des carbonates, composant majeurs de la dureté de l'eau et qui est généralement l'élément dominant des eaux potables. La présence des ions de calcium dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles, soit la dissolution de formations gypseuses CaSO_4 et la dissolution des formations carbonatées CaCO_3 .

c) Le Magnésium

Le magnésium est l'un des éléments le plus répandu dans la nature; il constitue environ 2,1% de l'écorce terrestre. La plus part de ses sels sont très solubles dans l'eau (Rodier, 1996). Ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomites). (Debieche, 2002).

Il est classé comme élément significatif de la dureté de l'eau.

d) Les sulfates

La concentration en ions de sulfates des eaux naturelles est très variable. Dans les terrains ne contenant pas une proportion importante de sulfates minéraux, elle peut attendre 30 à 50 mg/l, mais ce chiffre être largement dépassé et peut atteindre jusqu'à 300 mg/l dans les zones contenant du gypse ou lorsque le temps de contact avec la roche est très élevé. (Rodier, 2009).

e) Les Bicarbonates

Les concentrations en bicarbonates dans les eaux naturelles dépendent essentiellement de : la température ambiante, du pH de l'eau, de la concentration en gaz carbonique dissous et de la lithologie.

f) Le potassium

Le potassium provient de l'altération des roches silicatées, des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK, à base d'Azote, Potasse et Phosphore).

2.2.2.5. Les composés azotés

L'azote est un élément indispensable à l'édification de la cellule vivante. Il est utilisé comme indicateur majeur de la pollution organique. Il se présente sous deux formes : organique (protéines, acides aminés,... etc.) et minéral (ammonium, nitrites, nitrates,...etc.).

Les formes d'azote étudiées sont : l'azote ammoniacal (NH_4^+), les nitrates (NO_3^-) et les nitrites (NO_2^-).

a) Les nitrates

Ils jouent un rôle important comme engrais, car ils constituent le principal aliment azoté des plantes, dont ils favorisent la croissance. Toutes les eaux naturelles contiennent normalement des nitrates à des doses variant selon les saisons. Les ions nitrates se forment naturellement dans le cycle de l'azote.

b) Les nitrites

Les nitrites constituent une étape importante dans la métabolisation des composés azotés. Ils s'insèrent dans le cycle d'azote entre l'ammoniaque et les nitrates. Leur présence est due, soit à l'oxydation bactérienne de l'ammoniaque, soit à la réduction des nitrates. Ils ne représentent qu'un stade intermédiaire et sont facilement oxydés en nitrates, leur présence dans les eaux naturelles est faible. Une eau contenant des nitrites est à considérer comme suspecte car cette présence est souvent liée à une détérioration de qualité microbiologique. (Rejesk, 2002).

c. l'ammonium

L'ion ammonium représente la forme ionisée de l'azote ammoniacal, sa présence dans les eaux profondes résulte le plus souvent de la décomposition anaérobie de matières organiques azotées. On les trouve souvent à des teneurs variant entre 0,1 à 0,2 mg/l. (Detay, 1993).

2.2.2.6. Métaux lourds

Parmi les métaux lourds on a dosé le fer. Il peut se rencontrer dans l'eau sous différentes formes. Dans les conditions habituelles, c'est-à-dire pour un pH variant entre 4,5 et 9, le fer soluble présent est généralement à l'état ferreux. Si le milieu est réducteur comme dans beaucoup d'eaux souterraines, le fer ferreux peut atteindre des teneurs élevées. (Rodier, 2009).

3. Etude bactériologique

L'objectif de l'analyse bactériologique d'une eau n'est pas d'effectuer un inventaire de toutes les espèces présentes, mais de rechercher soit celles qui sont susceptibles d'être pathogènes soit, ce qui est souvent plus aisé, celles qui les accompagnent et qui sont en plus grand nombre souvent présentes dans l'intestin des mammifères et sont par leur présence indicatrices d'une contamination fécale et donc des maladies associées à la contamination fécale. On peut noter que l'absence de contamination fécale ne laisse en rien présager l'absence d'espèce potentiellement pathogène. (Rodier, 2009).

La totalité de nos analyses bactériologiques ont été réalisées au niveau du laboratoire pédagogique de Microbiologie de faculté de SNV et STU de l'université du 08 mai 1945 de Guelma.

3.1. Échantillonnage

La qualité du rapport final rédigé par un laboratoire sera influencée par la qualité de l'échantillon prélevé et soumis à l'analyse.

3.1.1. Matériel d'échantillonnage

Pour faciliter les prélèvements et éviter tout type de contamination, il est souhaitable d'utiliser des flacons en verre d'une contenance égale à 500 ml.

Les verreries destinées aux prélèvements d'eau doit être munis d'un nettoyage avec un détergent puis rinçage avec l'eau propre (eau douce), puis un rinçage final avec l'eau distillée. (Lightfoot, 2002; Guiraud, 1998).

Les verreries lavée sont ensuite stérilisé soit :

- A la chaleur sèche (four Pasteur) à une température comprise entre 170 et 175°C, pendant au moins 1h.
- A la chaleur humide (autoclave) en le maintenant à une température de 121°C, pendant au moins 20 min.

3.1.2. Mode d'échantillonnage

L'eau est recueillie directement dans le flacon. Il ne doit, en aucun cas, avant le prélèvement, débarrasser le goulot de son éventuel dépôt de calcaire ou d'algue. Le goulot d'une eau courante ne contamine pas l'échantillon. (Thierrin et *al*, 2001).

3.1.3. Transport et conservation des échantillons

Les flacons doivent être soigneusement étiquetés et transmis sans retard au laboratoire, il est important de procéder à l'analyse dans un délai très court, inférieur à 8 heures. La teneur des échantillons en certains micro-organismes (coliformes) peut se modifier rapidement. Si le transport doit dépasser une heure, il faut utiliser une boîte isotherme munie d'éléments réfrigérants. (Guiraud, 1998).

3.2. Méthodes d'analyses

3.2.1. Recherche et dénombrement des germes totaux

Les bactéries revivifiables ou germes totaux sont des bactéries aérobies, c'est-à-dire qu'elles ont besoin d'oxygène pour se développer, telles que les moisissures et les levures.

La recherche des micro-organismes aérobies non pathogènes dits « revivifiables » permet de dénombrer les bactéries se développant dans des conditions habituelles de culture et représentant la teneur moyenne en bactéries d'une ressource naturelle.

La recherche et le dénombrement des ces germes totaux 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 37°C. (Rejsek ,2002).

➤ **Mode Opératoire**

A partir de l'eau à analyser, porter aseptiquement 1 ml en double dans deux boîtes de Pétri vides, numérotées et préparées à cet usage comme l'indique le schéma ci-après (fig.9).

Compléter ensuite avec environ 20 ml de gélose PCA fondue puis refroidie à $45 \pm 2^\circ\text{C}$. Le temps qui s'écoule entre le moment où l'on a distribué l'inoculum dans la boîte et celui où le milieu est coulé ne doit pas excéder 15 minutes.

Faire ensuite des mouvements circulaires et de va-et-vient en forme de « 8 » sur une surface horizontale pour permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose.

Laisser solidifier les boîtes sur la paille, puis rajouter une deuxième couche d'environ 5 ml de la même gélose.

Les boîtes seront partagées en deux séries distinctes :

- La première série sera incubée à $22 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 68 ± 4 heures.
- La seconde série sera incubée à $36 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 44 ± 4 heures.

Les boîtes doivent être incubées couvercle en bas.

➤ **Lecture**

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

- Première lecture à 24 heures.

- Deuxième lecture à 48 heures.
- Troisième lecture à 72 heures.

➤ **Dénombrement**

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

- Ne dénombrer que les boîtes contenant entre 15 et 300 colonies.

Le résultat sera exprimé par millilitre d'eau à analyser à 22°C et à 37°C. (Labres et *al*, 2008).

3.2.2. Recherche et dénombrement des germes témoins de contamination fécale

3.2.2.1. Recherche et dénombrement des coliformes

a) Les coliformes totaux

Les coliformes sont des bacilles à Gram négatif, non sporulés, aérobies ou anaérobies capable de se multiplier en présence de sels biliaires et capable de fermenter le lactose, avec une production d'acide et de gaz en 48h à une température de 35-37°C.

b) Les Coliformes fécaux

Les coliformes fécaux, ou coliformes thermo-tolérants, sont un sous-groupe des coliformes totaux capable de fermenter le lactose à une température de 44°C. L'espèce la plus fréquemment associée à ce groupe bactérien est *Escherichia coli* (*E. coli*). (Roux, 2003). Les coliformes fécaux sont des bactéries utilisées comme indicateur de la pollution microbiologique d'une eau. Ces bactéries proviennent des matières fécales produites par l'homme et les animaux à sang chaud.

La recherche et le dénombrement des coliformes et l'identification d'*E. coli* ont été effectués par la méthode de nombre le plus probable (NPP) appelée aussi la colimétrie.

➤ **Mode opératoire**

La recherche et le dénombrement des bactéries coliformes, coliformes thermo-tolérants et des *Escherichia coli* dans les eaux, en milieu liquide par la technique du NPP, se fait en deux étapes consécutives :

- Le test de présomption: réservé à la recherche des coliformes.

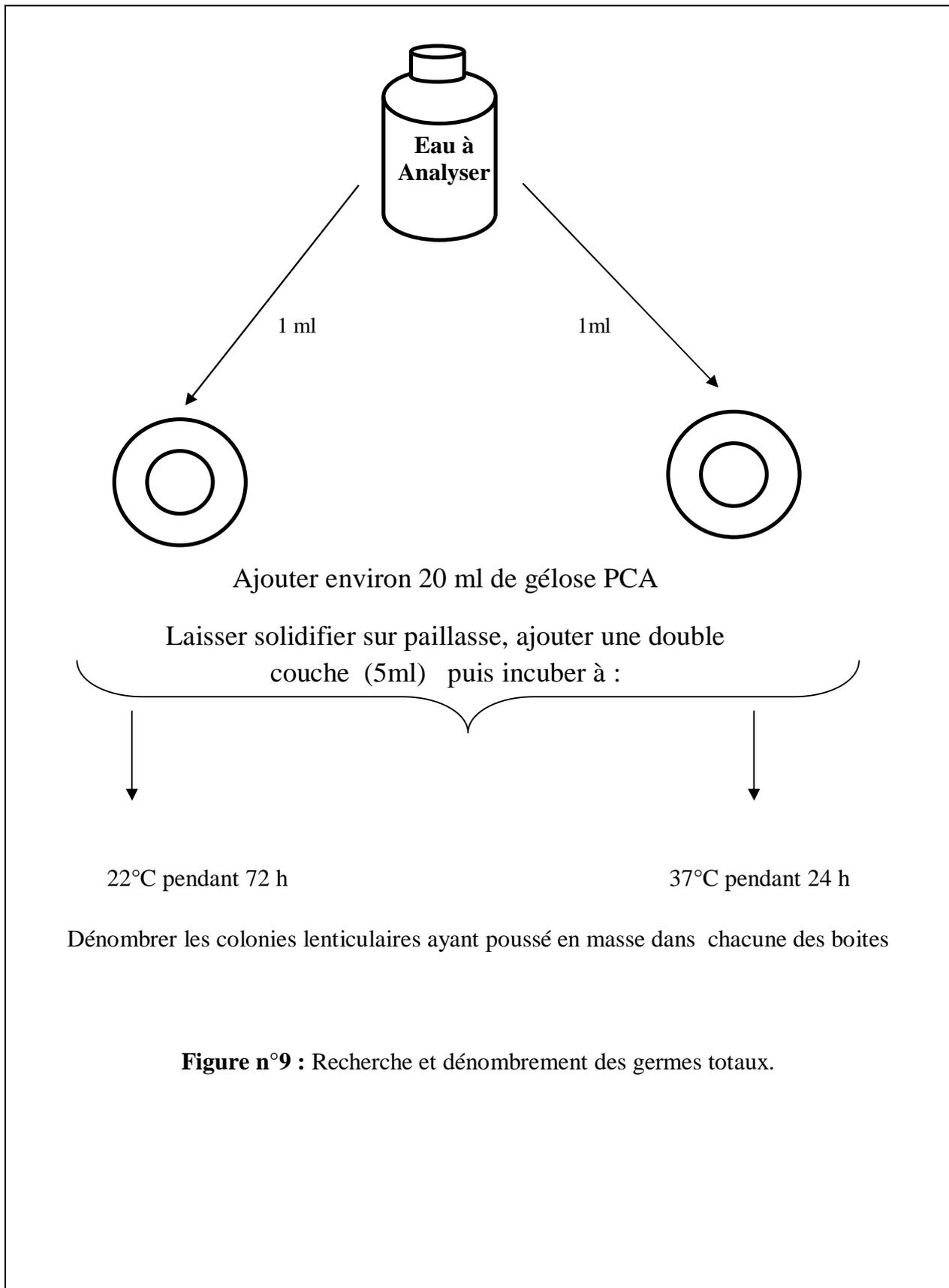


Figure n°9 : Recherche et dénombrement des germes totaux.

- Le test de confirmation: réservé à la recherche des coliformes thermo-tolérants et *d'Escherichia coli*. (Labres et al, 2008; Chaouch, 2007).

❖ Test de présomption

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

- 50 ml dans un flacon contenant 50 ml de milieu BCPL D/C muni d'une cloche de Durham.
- 5 fois 10 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL D/C muni d'une cloche de Durham.
- 5 fois 1 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL S/C muni d'une cloche de Durham (fig.10).

Chassez l'air éventuellement présent dans les cloches de Durham et bien mélangé le milieu et l'inoculum. L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 heures.

➤ Lecture

Seront considérés comme positifs, les tubes présentant **à la fois** :

- Un dégagement de gaz (supérieur au 1/10^{ème} de la hauteur de la cloche).
- Un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu au jaune (ce qui constitue le témoin de la fermentation du lactose présent dans le milieu).

Ces deux caractères étant témoins de la fermentation du lactose dans les conditions opératoires décrites. (Labres et al, 2008).

La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table du NPP. (Annexe 4)

❖ Test de confirmation

Le test de confirmation est basé sur la recherche de coliformes thermo-tolérants parmi lesquels on redoute surtout la présence *d'Escherichia coli*.

Les coliformes thermo-tolérants ont les mêmes propriétés de fermentation que les coliformes mais à 44°C.

Escherichia coli est un coliforme thermo-tolérant qui entre autre :

- produit de l'indole à partir du tryptophane présent dans le milieu à 44°C.
- donne un résultat positif à l'essai au rouge de méthyl.
- ne produit pas de l'acétyl méthyl carbinol,
- n'utilise pas le citrate comme source unique de carbone.

Les tubes de BCPL trouvés positifs lors du dénombrement des coliformes feront l'objet d'un repiquage à l'aide d'une anse bouclée dans tube contenant le milieu eau peptone à excepte d'indole muni d'une cloche de Durham (fig.10).

Chasser l'air éventuellement présent dans les cloches de Durham et bien mélanger le milieu et l'inoculum. L'incubation se fait cette fois-ci au bain Marie à 44°C pendant 24 heures. (Labres et *al*, 2008).

➤ **Lecture**

Seront considérés comme positifs, les tubes présentant **à la fois** :

- Un dégagement gazeux.
- Un anneau rouge en surface, témoin de la production d'indole par *Escherichia coli* après adjonction de 2 à 3 gouttes du réactif de Kowacs.

La lecture finale s'effectue également selon les prescriptions de la table du NPP en tenant compte du fait qu'*Escherichia coli* est à la fois producteur de gaz et d'indole à 44°C, pendant 24 heures.

Les résultats sont exprimés en germes par 100 ml d'eau analysé. (Labres et *al*, 2008).

Remarque : Etant donné que les coliformes fécaux font partie des coliformes totaux, il est pratiquement impossible de trouver plus de coliformes fécaux que de coliformes totaux.

3.2.2.2. Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux

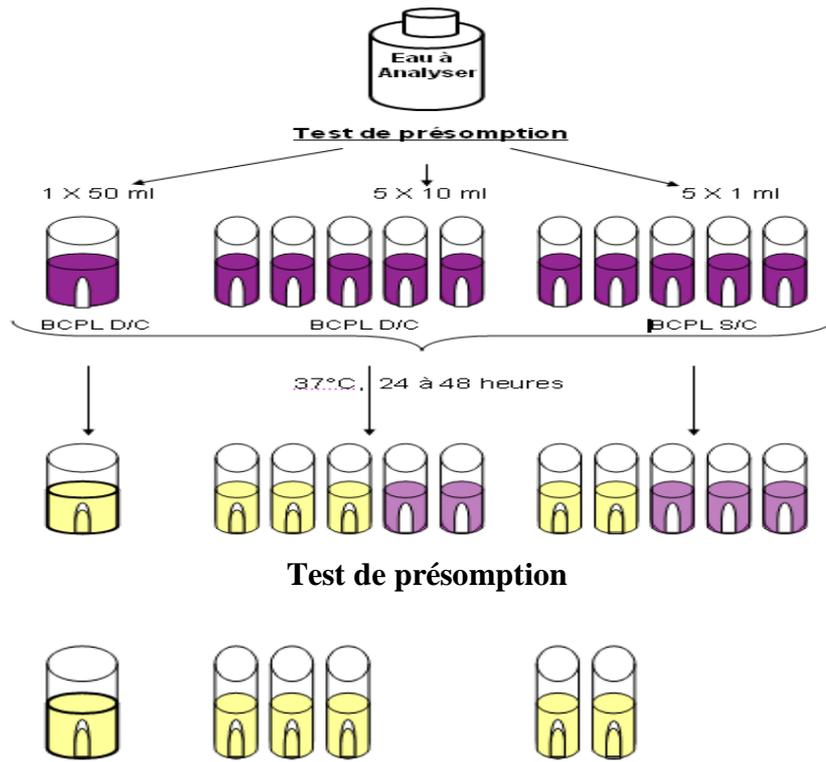
a) Les Streptocoques fécaux

Ce sont des cocci à Gram positif sphérique ou ovoïde, disposé en paire pour former diplocoques et pouvant se présenter sous forme de chainettes par fois longues, ils ne sporulent pas (Avril et *al*, 1992). Ce sont des hôtes normaux de l'intestin.

Cette méthode de référence, consiste la recherche et le dénombrement des entérocoques intestinaux ou streptocoques du groupe « D » de la classification de Lancefield, nommés aussi streptocoques fécaux dans les eaux.

➤ **Mode opératoire**

La recherche et le dénombrement des streptocoques du groupe « D » dans les eaux, en milieu liquide, se fait en deux étapes consécutives :



Repiquage sur le milieu eau peptone à excepte d'indole + cloche de Durham

Incubation : 44°C, pendant 24-48 heures

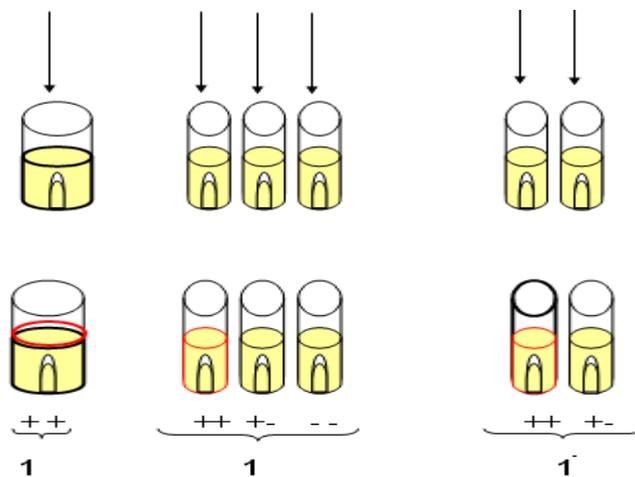


Figure n°10 : Recherche et dénombrement des coliformes.

- Le test de présomption: réservé à la recherche présomptive des Streptocoques.
- Le test de confirmation : réservé à la confirmation réelle des Streptocoques du groupe « D ». (Chaouch, 2007).

❖ Test de présomption

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

- 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.11).

Bien mélanger le milieu et l'inoculum.

L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 heures. (Labres et *al*, 2008).

➤ Lecture

Seront considérés comme présomptifs les tubes présentant un trouble microbien ; seulement ces derniers :

- ne doivent en aucun cas faire l'objet de dénombrement
- doivent par contre, absolument faire l'objet d'un repiquage sur milieu Eva-Litsky dans le but d'être justement confirmés.

❖ Test de confirmation

Le test de confirmation est basé sur la confirmation des streptocoques du groupe « D » éventuellement présents dans le test de présomption.

Les tubes de Rothe trouvés positifs feront donc l'objet d'un repiquage à l'aide d'une anse bouclée dans un tube contenant le milieu Eva litsky. Bien mélanger le milieu et l'inoculum.

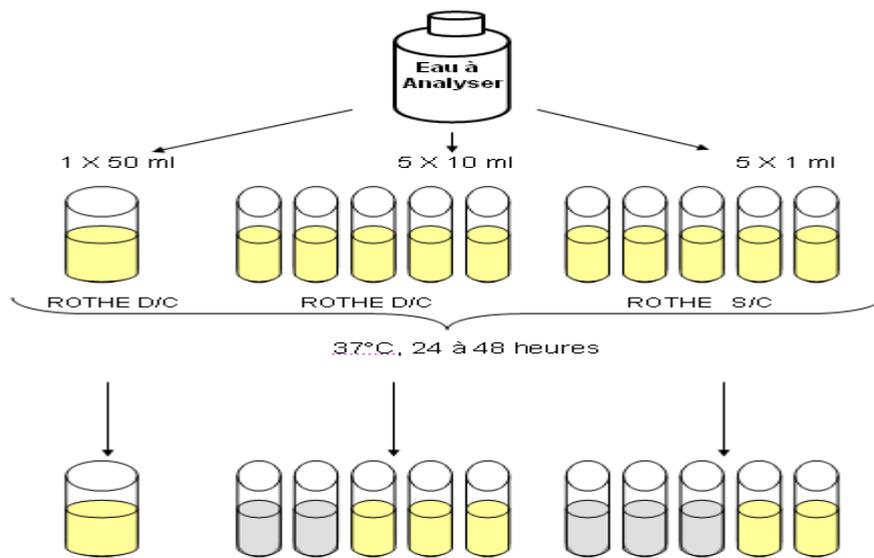
L'incubation se fait cette fois-ci à 37°C, pendant 24 heures. (Labres et *al*, 2008).

➤ Lecture

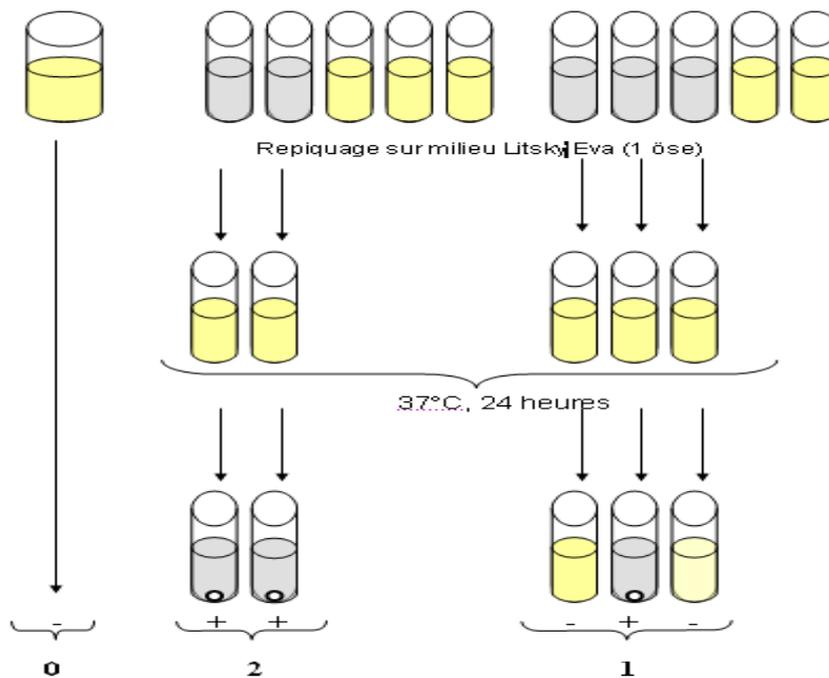
Seront considérés comme positifs, les tubes présentant **à la fois** :

- Un trouble microbien.
- Une pastille violette (blanchâtre) au fond des tubes.

La lecture finale s'effectue également selon les prescriptions de la table du NPP (Annexe 4). (Labres et *al*, 2008).



Test de présomption



Test de confirmation

Figure n°11 : Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux.

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

On entend par bactéries anaérobies sulfito-réductrices des bactéries qui se présentent sous forme de bacilles à Gram positif et qui en se développant à une température de $36 \pm 2^\circ\text{C}$ en 24 à 48 heures en gélose profonde de type gélose Tryptose Sulfite Cyclosérine ou Tryptose Sulfite Néomycine ou encore gélose Viande Foie, donnent des colonies caractéristiques qui sont de couleur blanche entourées d'une auréole noire. Cette dernière est le témoin de la réduction du 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. (Pechère, 1982).

La présence de spores de bactéries ASR dans les eaux, sans flore d'accompagnement, constitue généralement un véritable indice de contamination ancienne.

➤ Mode opératoire

A partir de l'eau à analyser :

- Transférer environ 25 ml dans un tube stérile, qui sera par la suite soumis à un chauffage de l'ordre de 75°C pendant 15 minutes, dans le but de détruire toutes les formes végétatives des bactéries anaérobies sulfito-réductrices éventuellement présentes.
- Après chauffage, refroidir immédiatement le flacon destiné à l'analyse, sous l'eau de robinet.
- Répartir ensuite le contenu de ce tube, dans 4 tubes différents et stériles, à raison de 5 ml par tube.
- Ajouter environ 18 à 20 ml de gélose Viande Foie, fondue puis refroidie à $47 \pm 1^\circ\text{C}$, additionnée 1 ml de la solution de sulfite de sodium et 4 gouttes de la solution d'alun de fer. (Aouissi, 2010).
- Mélanger doucement le milieu et l'inoculum en évitant d'introduire des bulles d'air et de l'oxygène, (Fig.12).

Laisser solidifier sur paillasse pendant 30 minutes environ, puis incuber à $36 \pm 2^\circ\text{C}$, pendant 44 ± 4 heures, dans le cas de la gélose Viande Foie. (Labres et *al*, 2008).

➤ 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 analysée. (Rejsek, 2002).

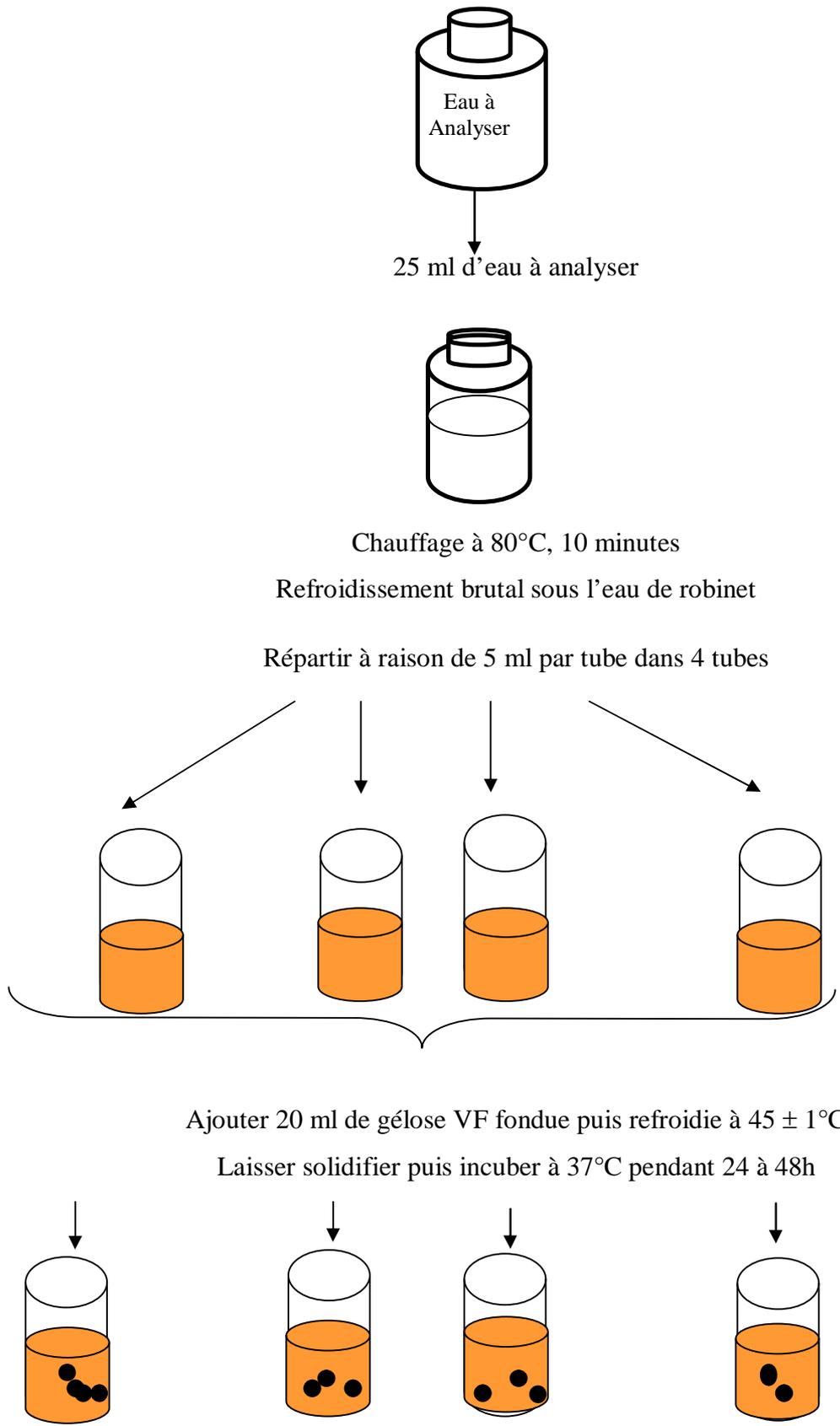


Figure n°12: Recherche et dénombrement des spores des bactéries anaérobies sulfito-réducteurs

4. Traitement des résultats

4.1. Faciès chimique

Les résultats des analyses physico-chimiques sont présentés sous forme des diagrammes qui permettent une interprétation aisée des résultats (le diagramme de Piper et le diagramme de Schoeller-Berkaloff).

4.2. Le rapport coliformes fécaux/ streptocoques fécaux (CF/SF)

Pour déterminer l'origine de la contamination fécale des eaux étudiées nous avons utilisé le rapport CF/SF qu'est définis par Borrego & Romero (1982) ; la contamination est d'origine animale si le rapport (R) coliformes fécaux (CF)/ streptocoques fécaux (SF) est inférieur à 0,7, et d'origine humaine si ce rapport est supérieur à 4. L'origine de la contamination est mixte à prédominance animale si R est compris entre 0,7 et 1 ; cette origine est incertaine si R est compris entre 1 et 2. L'origine de la contamination est mixte à prédominance humaine si R se situe entre 2 et 4.

4.3. Traitement statistique des donnés

Dans ce travail, nous avons réalisé une analyse en composante principale (A.C.P), moyennant le logiciel XLSTAT, et ceci afin de mettre en évidence les relations entre les différentes variables, d'une part, et la distribution des individus compte tenu de l'ensemble de leurs caractères physico-chimiques et bactériologiques d'autre part. Il faut noter que l'A.C.P est une technique de représentation des données sous certains critères algébriques et géométriques, son objectif est d'extraire l'essentiel de l'information contenue à partir des données et d'en fournir une représentation graphique simple à interpréter selon leurs corrélations (MUDRY J et *al.*1986).

Introduction

Les résultats et l'interprétation des données d'analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux des sources étudiées sont présentés sous forme d'histogrammes exprimant les différentes variations de tous les paramètres étudiés.

1. Les paramètres physiques

1.1. La Température (°C)

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. Dans notre étude, les résultats obtenus montrent que la température ne présente pas de grandes variations d'une source à l'autre (fig.13), avec un minimum de 14,30 °C (S2) et un maximum de 17,32 °C (S1). Ces températures sont proches de la température ambiante et indiquent une origine peu profonde des eaux étudiées.

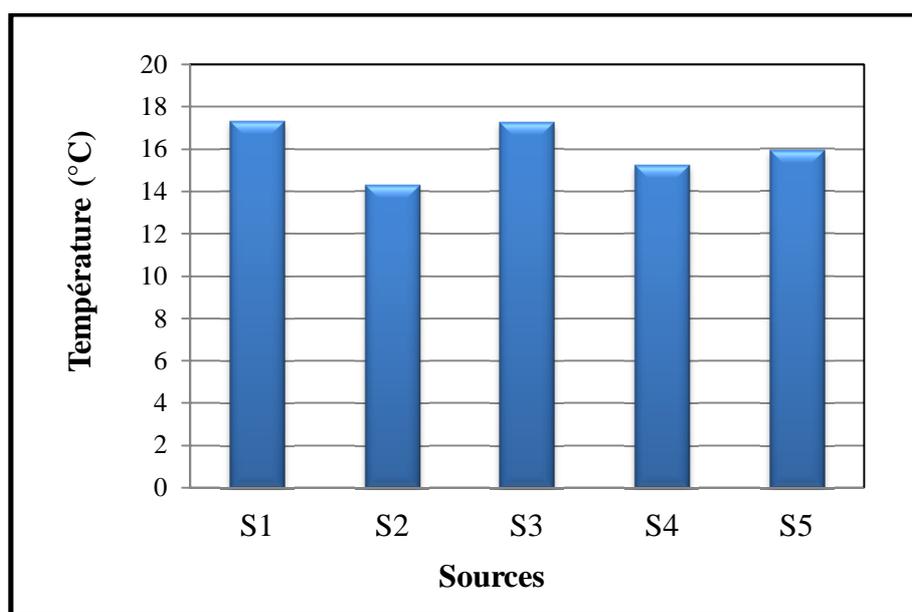


Figure n°13 : Variation spatiale de la température.

1.2. Le potentiel d'hydrogène

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. Dans la plupart des eaux naturelles, le pH est compris habituellement entre 6,5 et 8,5 (OMS, 2006).

Les valeurs du pH mesurées au niveau des différentes sources varient entre 8.22 et 8.81 (fig.14). Ce qui témoigne d'une légère alcalinité des eaux.

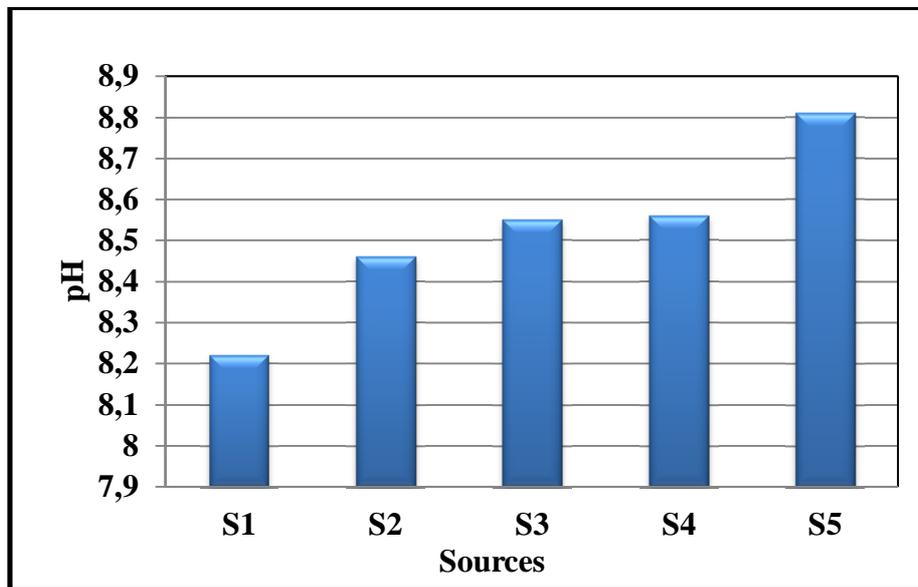


Figure n°14 : Variation spatiale du potentiel d'Hydrogène.

1.3. La conductivité électrique

La mesure de la conductivité permet d'apprécier la quantité des sels dissous dans l'eau, donc de sa minéralisation. Les valeurs enregistrées au niveau des cinq sources varient entre 449 et 521 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (fig.15).

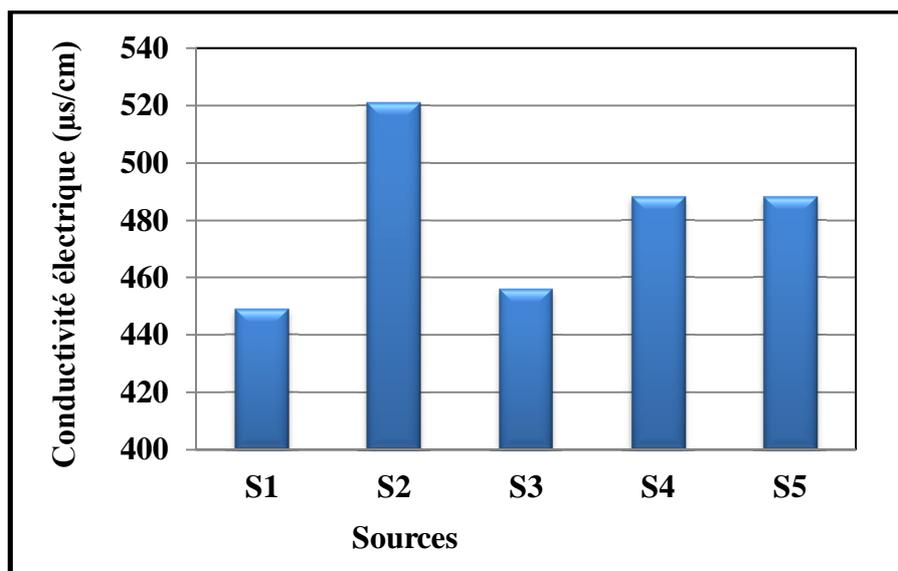


Figure n°15 : Variation spatiale de la conductivité électrique.

Toutes les valeurs de la conductivité restent dans les normes de l'OMS 2006 (1500 $\mu\text{s}/\text{cm}$).

2. Les paramètres chimiques

2.1. L'oxygène dissous (O₂)

Pour l'ensemble des sources, l'oxygène dissous ne présente pas des variations importantes et varie de 6.27 mg/l (S2) à 9.77mg/l (S3) (fig.16).

Les résultats obtenus classifient la plupart des sources dans la classe 1A sauf la source S2, qui appartient à la classe 1B (tab.5).

Tableau n°5 : Qualité des eaux en O₂ dissous. (ANRH ,2001).

Classe	Oxygène dissous (mg /l)	Qualité des eaux
1A	> 7 mg /l	Normal
1B	Entre 5 et 7	Bonne
2	Entre 3 et 5	Moyenne
3	< 3 mg/l	Médiocre

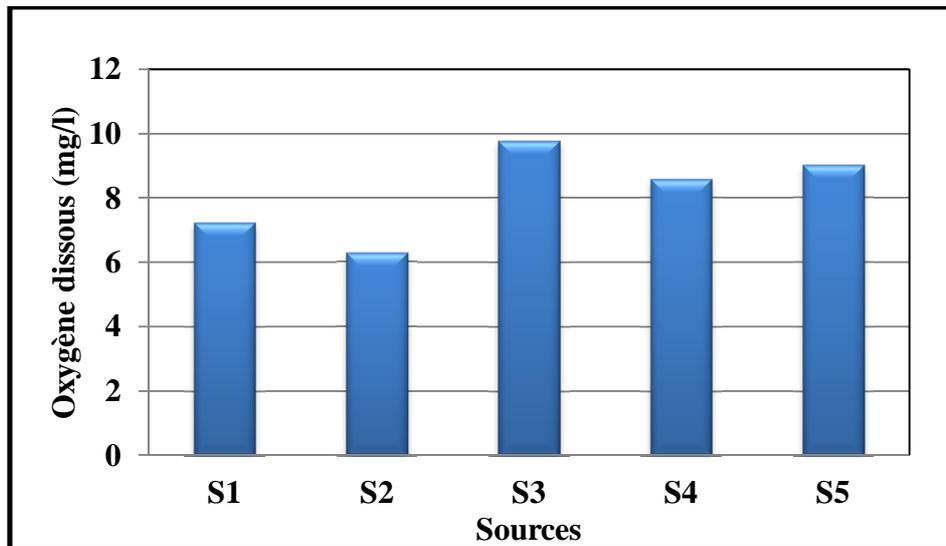


Figure n°16 : Variation spatiale de l'oxygène dissous.

2.2. Minéralisation globale d'une eau (TDS)

Les teneurs en sels dissous de l'eau peuvent être mesurées et exprimées de différentes manières selon la période de prélèvement. Tous les échantillons analysés présentent une minéralisation inférieure à la norme de l'OMS (1000 mg/l). La forte minéralisation est observée au niveau de la source (S2) avec une valeur de 260 mg/l (fig.17).

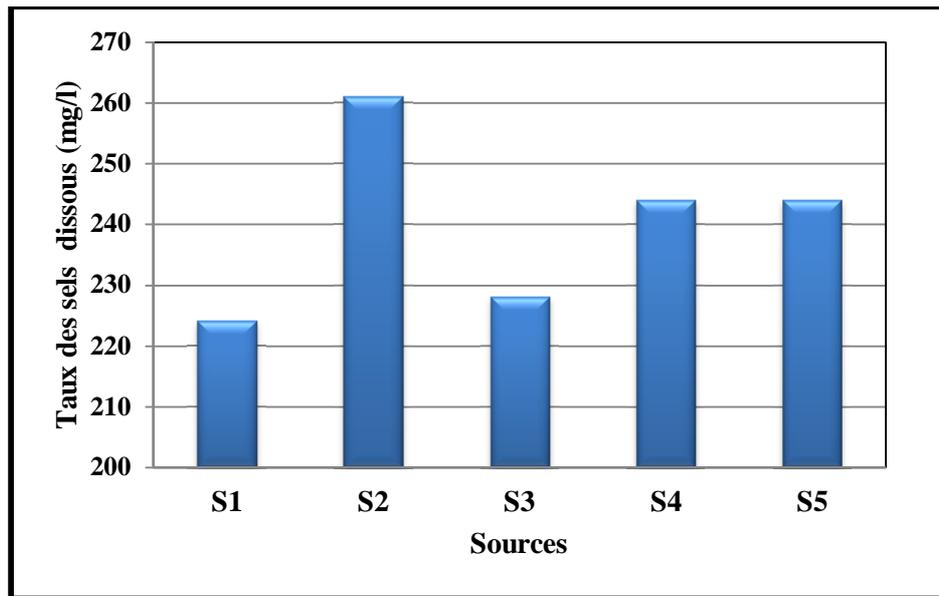


Figure n°17: Variation spatiale du taux des sels dissous.

2.3. La dureté totale

Le degré hydrotimétrique (TH) exprime la dureté d'une eau. Cette dernière est due particulièrement à la présence des sels de calcium et de magnésium. Elle se manifeste pratiquement par une difficulté dans la cuisson des légumes et dans la production de la mousse de savon.

Les résultats obtenus, nous montrent que les eaux des sources étudiées ne présentent pas une grande variation avec un minimum de 129 mg/l (S4) et maximum de 159 mg/l (S1) (fig.18) et sont inférieures à la norme admise par l'OMS (200 mg/l).

2.4. Les éléments majeurs

2.4.1. Les 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 concentrations en ions chlorures relevées dans les eaux des sources étudiées s'échelonnent entre 74.55 mg/l (S3) et 113.5 mg/l (S5) (fig.19). Les teneurs obtenues sont inférieures à la norme de potabilité de l'OMS (250 mg/l) dans toutes les eaux de sources.

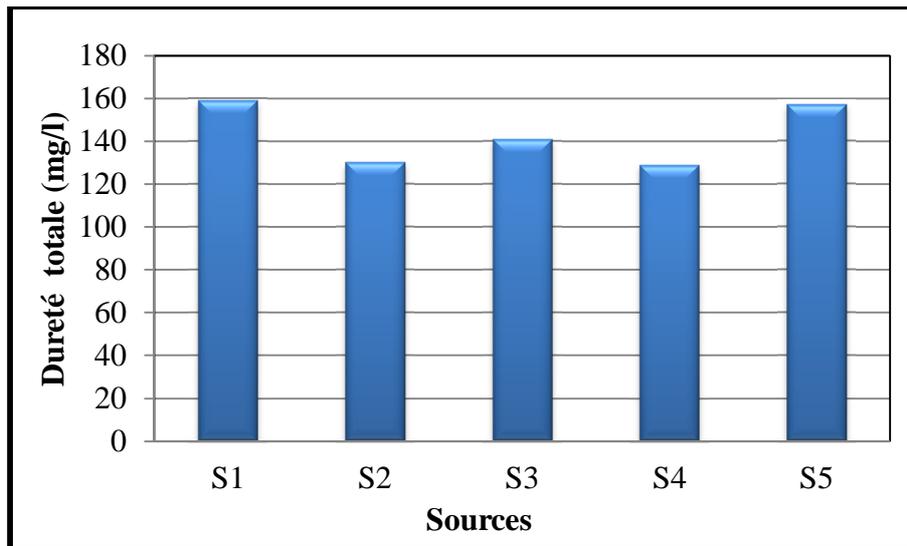


Figure n°18 : Variation spatiale de la dureté totale.

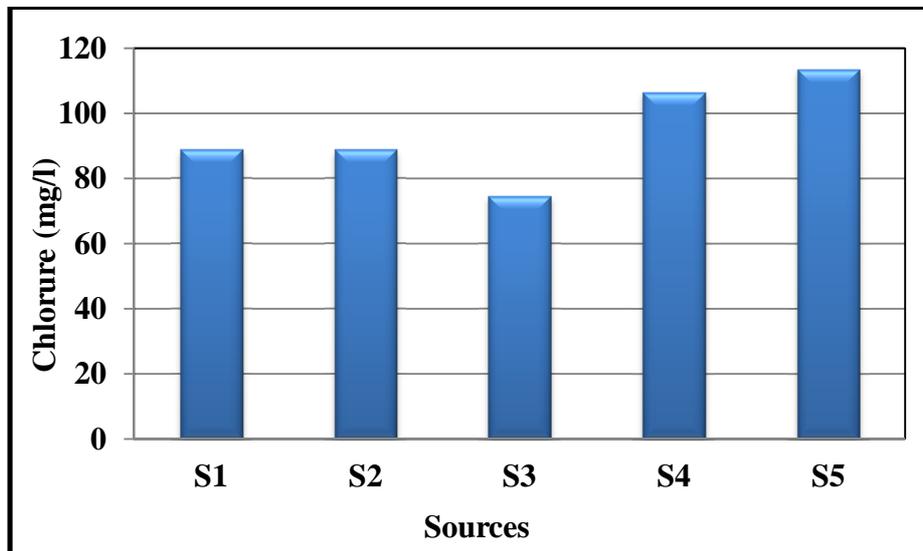


Figure n°19 : Variation spatiale du chlorure.

2.4.2. Le calcium (Ca^{2+})

Le calcium varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés. Les teneurs en Ca^{2+} des eaux des sources (fig.20) ne dépassent pas la valeur guide (100 mg/l) pour les eaux destinées à la consommation humaine (OMS, 2006). Les faibles teneurs sont observées au niveau des sources S₂ et S₄ avec des valeurs de 71 et 72 mg/l respectivement, et les plus fortes sont enregistrées aux sources S1, S4 et S5 (85, 85,81 mg/l).

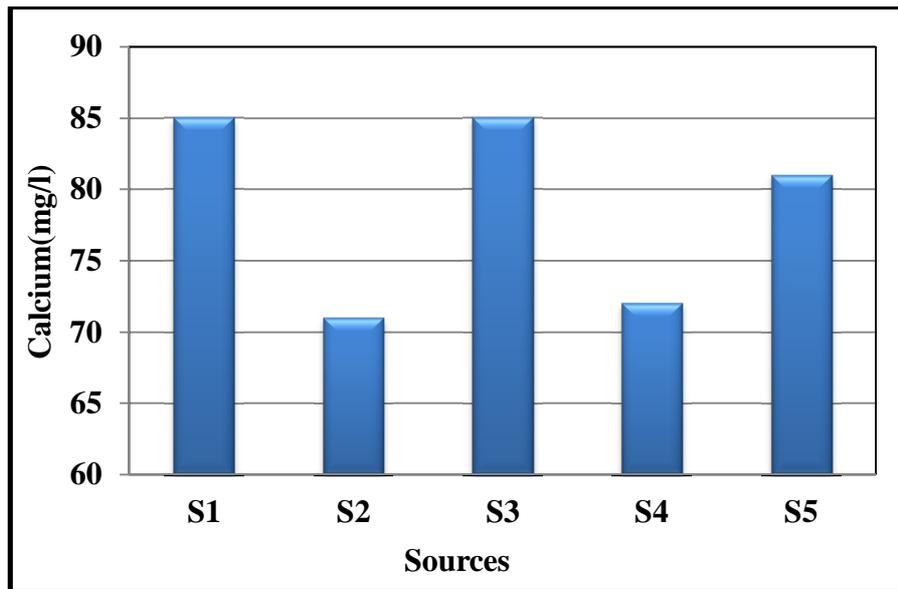


Figure n°20 : Variation spatiale du calcium.

2.4.3. Le magnésium (Mg^{2+})

Le magnésium ayant des origines comparables à celle du calcium, cet élément provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite). La figure 21 montre que les teneurs en magnésium sont très élevées et dépassent fortement la valeur de 50 mg/l (admise par l’OMS, 2006) avec un maximum de 76 mg/l enregistré à la source (S5).

Ces concentrations élevées peuvent être expliquées principalement par la dissolution des formations carbonatées dont les principales sont la magnésite ($MgCO_3$) et la dolomie ($CaMgCO_3$).

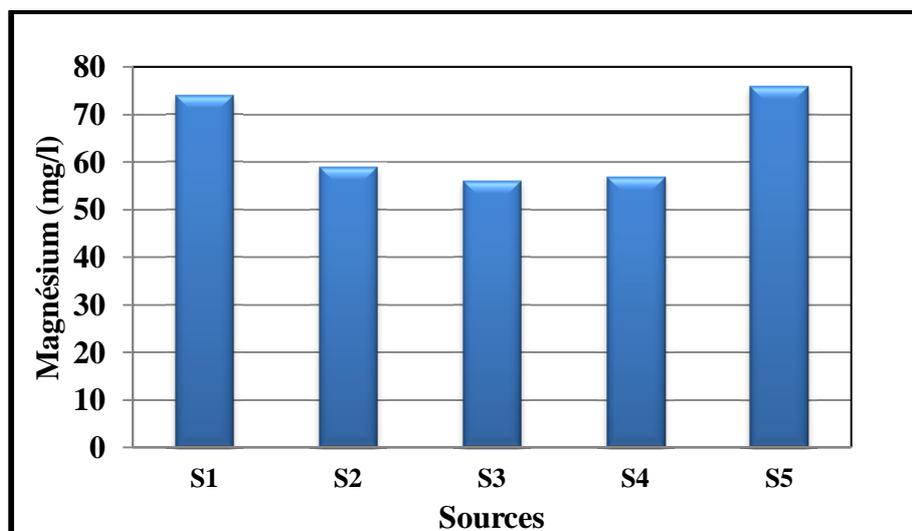


Figure n°21 : Variation spatiale du magnésium.

2.4.4. Les sulfates (SO_4^{2-})

Les sulfates proviennent du ruissellement ou d'infiltration dans les terrains à gypse. Ils résultent également de l'activité de certaines bactéries (chlorothiobactéries, rhodothiobactéries,...etc.). Cette activité peut oxyder l'hydrogène sulfuré (H_2S) toxique en sulfate.

D'après les résultats des échantillons analysés (fig.22), les teneurs enregistrées varient entre 119.89 mg/l et 153.3 mg/l, et restent inférieures à la valeur guide (250 mg/l) de l'OMS 2006.

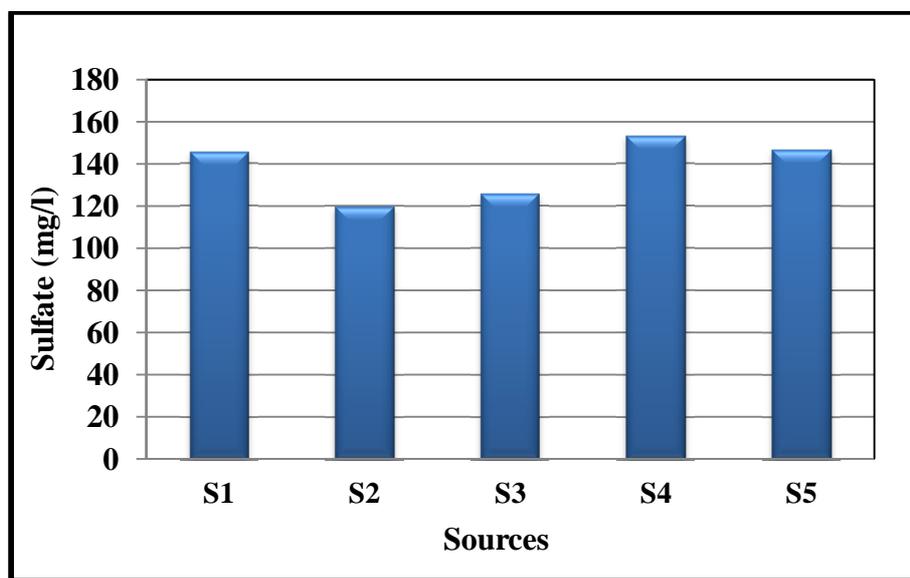


Figure n° 22 : Variation spatiale du sulfate.

2.4.5. Les bicarbonates (HCO_3^-)

Les concentrations en bicarbonates dans les eaux naturelles sont en relation directe avec le pH de l'eau, la température, la concentration en CO_2 dissous et la nature lithologique du sol.

Les teneurs enregistrées varient entre 233.32 mg/l (minimum observé en S5) et 388.9 mg/l (maximum observé en S4) (fig.23).

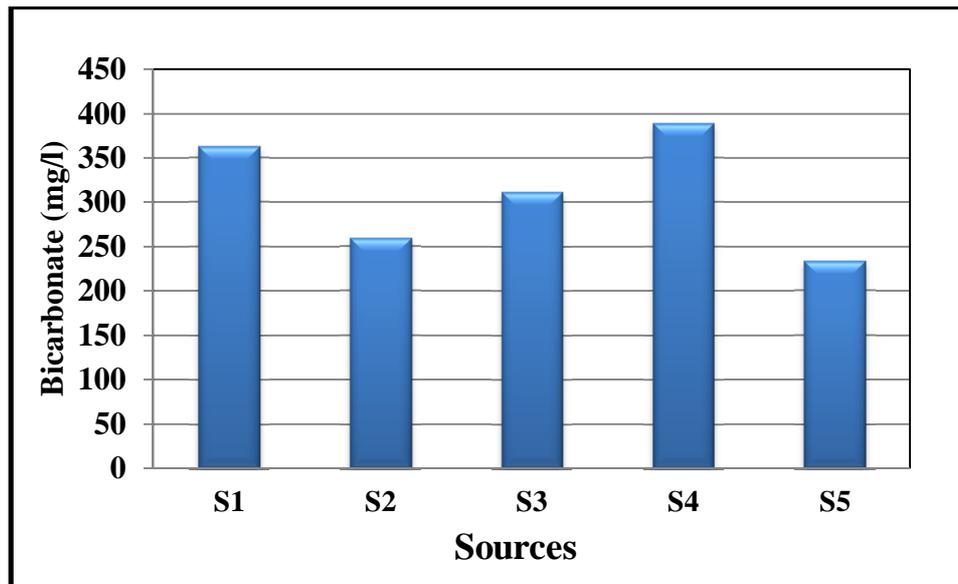


Figure n°23: Variation spatiale du bicarbonate.

2.4.6. Le potassium (K^+)

Le potassium est un minéral essentiel qui assure plusieurs fonctions vitales dans l'organisme, comme par exemple la transmission des impulsions nerveuses. Il joue un rôle important dans la prévention de l'hypertension artérielle et des calculs rénaux.

Les teneurs du potassium sont assez proches les unes des autres et varient de 4 mg/l (S4) à 6 mg/l (S3) (fig.24). Les valeurs montrent que toutes les sources ont des concentrations inférieures à la limite guide qui égale à 12 mg/l (norme de l'OMS, 2006).

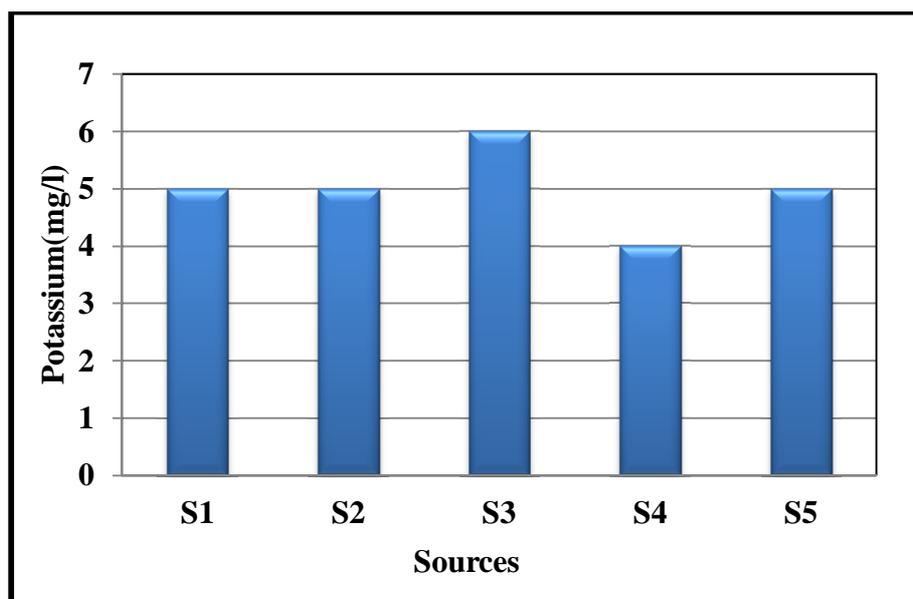


Figure n°24 : Variation spatiale du potassium.

2.5. Les composés azotés

2.5.1 Le nitrate (NO_3^-)

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote, et représentent la forme d'azote au degré d'oxydation le plus élevé présent dans l'eau.

L'histogramme des teneurs en nitrates dans les eaux des sources (fig.25), montre que les valeurs oscillent entre 43 et 46 mg/l. Selon les normes de l'OMS en 2006 (50 mg/l). Les eaux des sources présentent des teneurs élevées indiquant un apport de l'extérieur des produits azotés dont l'origine très probable est agricole.

D'après la grille établie par l'ANRH en 2001, les eaux des sources présentent une pollution importante (tab.6).

Tableau n°6 : Grille de qualité des eaux en nitrates. (ANRH, 2001).

Teneurs en nitrate (NO_3^-) mg/l	Qualité des eaux
<10	Bonne
10< NO_3^- <20	Moyenne avec signe de pollution
20< NO_3^- <40	Polluée avec une pollution nette
>40	La pollution est importante

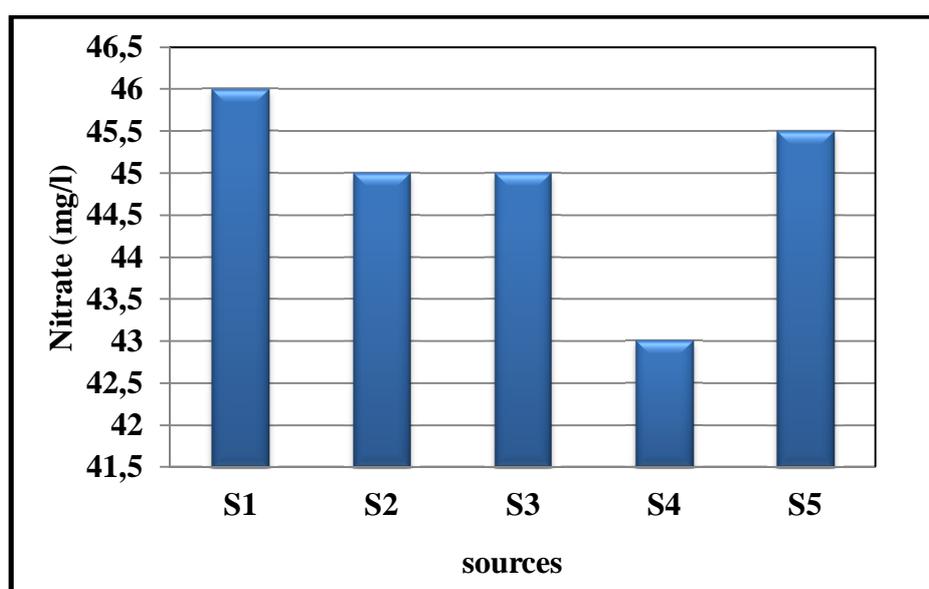


Figure n°25 : Variation spatiale du nitrate.

2.5.2 Nitrite (NO_2^-)

Les nitrites proviennent d'une oxydation incomplète des matières organiques. Comme les nitrates, ils sont très répandus dans l'environnement, les uns et les autres se retrouvent dans la plupart des produits alimentaires, dans l'atmosphère et dans une grande partie des eaux. Les fortes teneurs correspondent à la réduction des nitrates en nitrites (la dénitrification). Elles peuvent également être liées à l'oxydation bactérienne de l'ammoniac (la nitrification).

Les teneurs en nitrites observées au niveau des sources varient de 0,05 à 0,07 mg/l indiquant des valeurs inférieures à la norme de l'OMS en 2006 (0.1 mg/l) (fig.26). Selon la grille de la qualité des eaux naturelles appliquées par l'ANRH les eaux des sources sont de qualité excellente (tab.7).

Tableau n°7: Grille de la qualité des eaux en nitrites (l'ANRH, 2001).

Classe	Qualité des eaux	Teneur en Nitrites (NO_2^- mg/l)
1A	Excellente	< 0,1
1B	Bonne	$0,1 < \text{NO}_2^- < 1$
2	Passable	$0,3 < \text{NO}_2^- < 1$
3	Médiocre	$1 < \text{NO}_2^- < 2$
4	Excessive	> 2

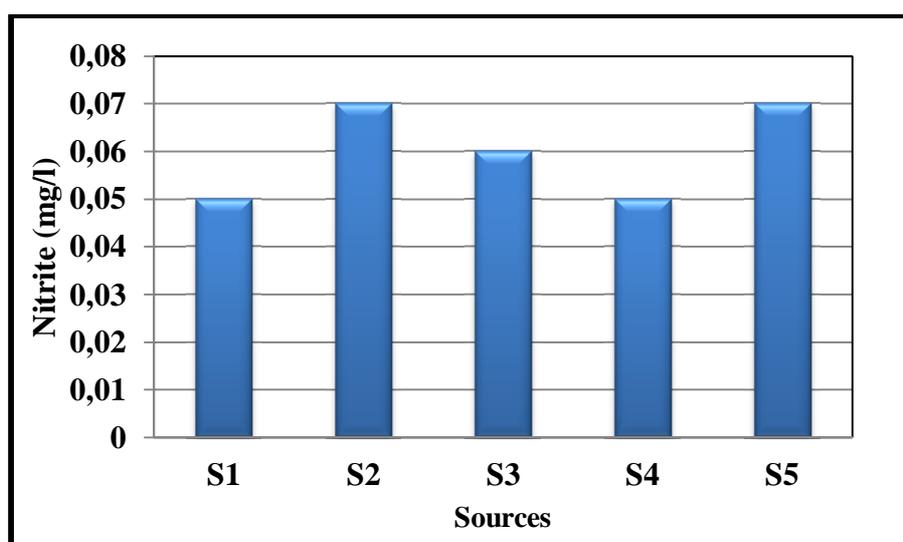


Figure n° 26 : Variation spatiale du nitrite.

2.5.3 L'ammonium (NH_4^+)

L'ammonium constitue le produit de la réduction finale des substances organiques azotées et de la matière inorganique dans les eaux et les sols. Il provient également de l'excrétion des organismes vivants et de la réduction et la biodégradation des déchets, sans négliger les apports d'origine domestique, industrielle et agricole.

Selon les résultats d'analyses obtenus et qui sont représentés en figure n°27, les teneurs d'ammonium oscillent de 0.52 à 0.55 mg/l et sont au voisinage de la limite recommandée par l'OMS (0,50 mg/l).

D'après la grille la qualité des eaux en ammonium (ANRH, 2001), les eaux sont de qualité passable avec une pollution nette (tab.8).

Tableau n°8 : Grille de la qualité des eaux en ammonium. (ANRH, 2001).

Classe	Qualité des eaux	Teneur en en azote ammoniacal (NH_4^+) mg/l
1A	Normale	< 0.07
1B	Bonne avec des signes de pollution.	$0.07 < \text{NH}_4^+ < 0.38$
2	Passable avec une pollution nette.	$0.38 < \text{NH}_4^+ < 1.54$
3	Médiocre, la pollution est importante	$1.54 < \text{NH}_4^+ < 6.2$

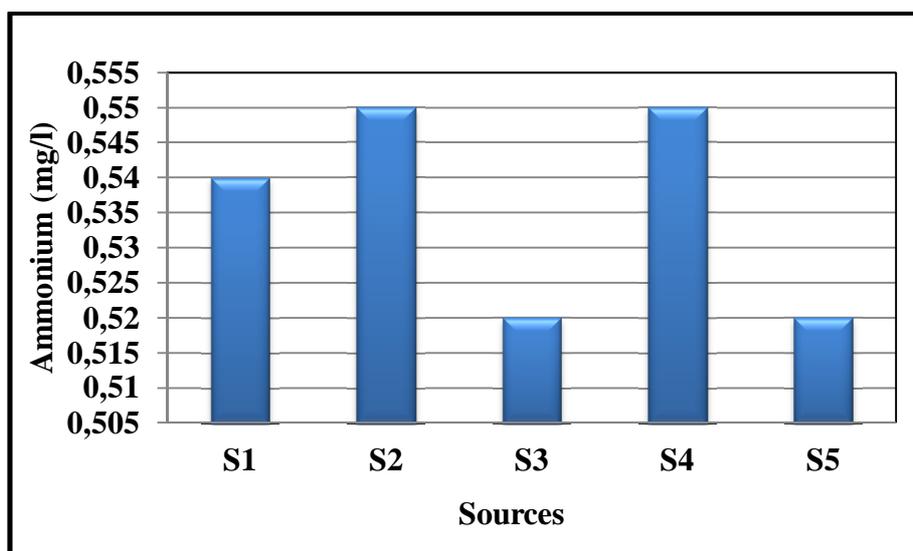


Figure n°27 : Variation spatiale de l'ammonium.

2.6 Métaux lourds

Le fer est le seul métal lourd qui nous avons dosé. Il est un élément assez abondant dans les roches (quelques %) sous forme de silicates, d'oxydes et hydroxydes, de carbonates et de sulfures. La présence de fer dans l'eau peut favoriser la prolifération de certaines souches de bactéries qui précipitent le fer où corrodent les canalisations. L'histogramme ci-dessous montre que les valeurs obtenues ne dépassent pas les normes de l'OMS (0.3 mg/l), ils varient de 0.233 à 0.284 mg/l, qui traduisent l'origine naturelle de cette élément (fig.28).

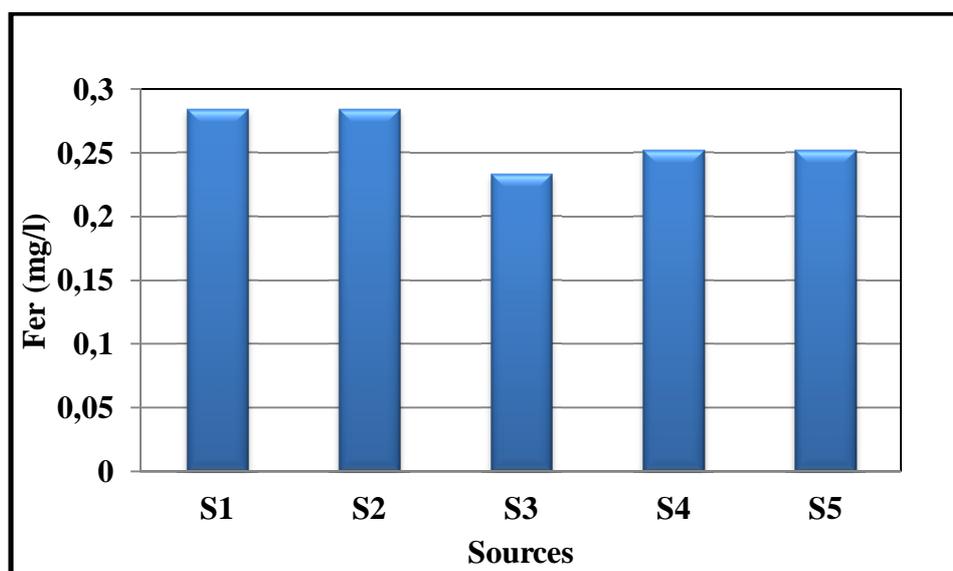


Figure n°28 : Variation spatiale du fer.

Finalement, à travers les résultats obtenus, on trouve que le magnésium est le seul élément majeur marque un dépassement des normes recommandées par l'OMS avec un excès de nitrate traduisant une pollution importante dont l'origine est anthropique (agricole).

3. Faciès chimique

Pour la détermination du faciès chimique, le logiciel Diagramme (v5.1) a été utilisé.

3.1. Diagramme de Piper

Les cations et les anions majeurs tels que le Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} et le Cl^- (en mg/l) ont été tracés sur le diagramme de Piper pour évaluer le faciès chimique des eaux des sources du Dahouara.

La figure n°29 montre que les eaux des sources étudiées présentent un faciès de type: chloruré-sulfaté calcique et magnésien.

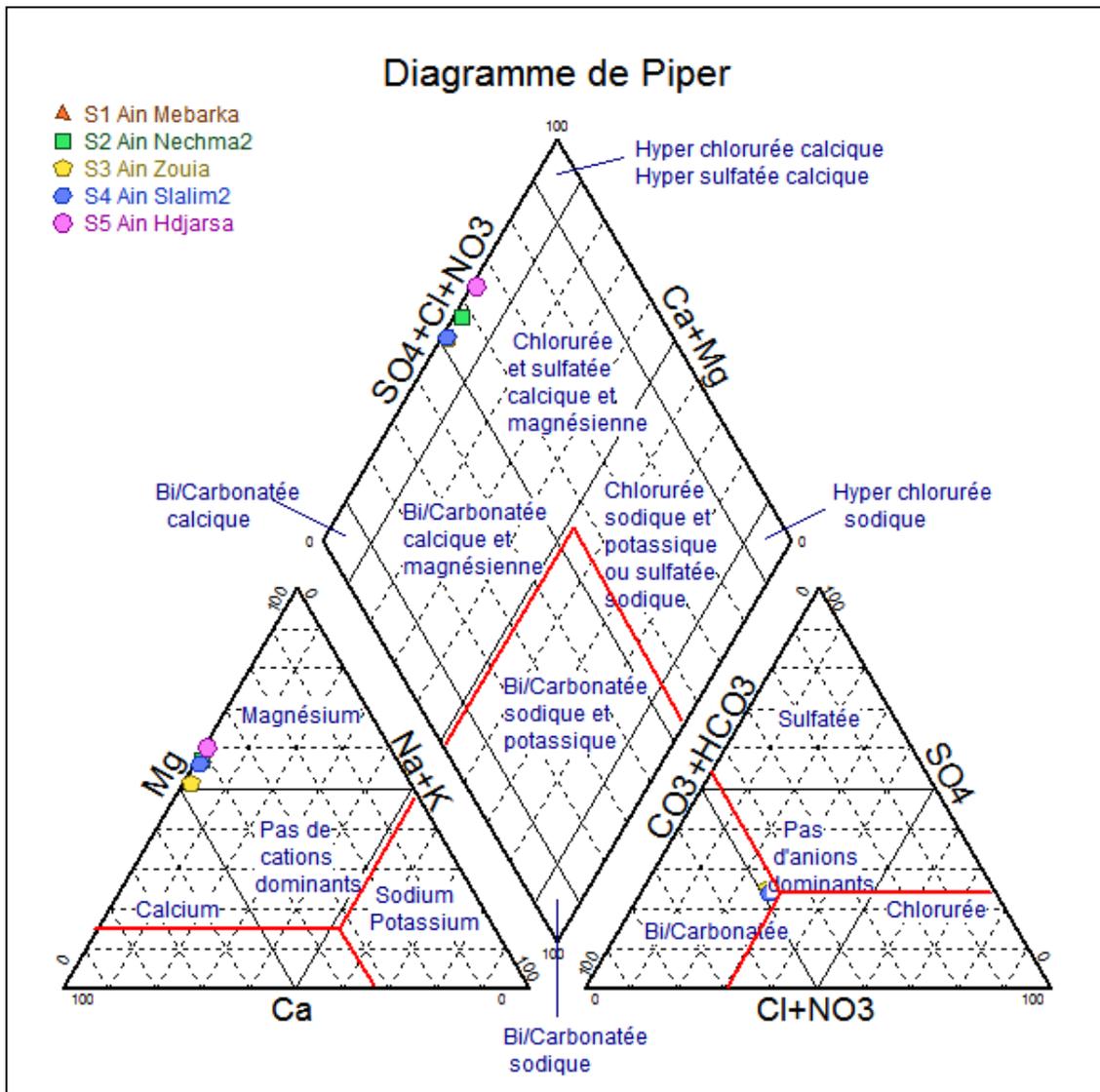


Figure n°29 : Diagramme de Piper des analyses des eaux de sources du Dahouara.

3.2. Diagramme de Scholler-Berkaloff

Le diagramme de Scholler-Berkaloff permet de représenter le faciès chimique de plusieurs eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique. La ligne brisée est formée en reliant tous les points figurant les différents éléments chimiques (fig.30).

D'après le diagramme de Scholler-Berkaloff, on constate que les courbes brisées sont parallèles entre elles, traduisant ainsi que les eaux des sources étudiées ont une même origine.

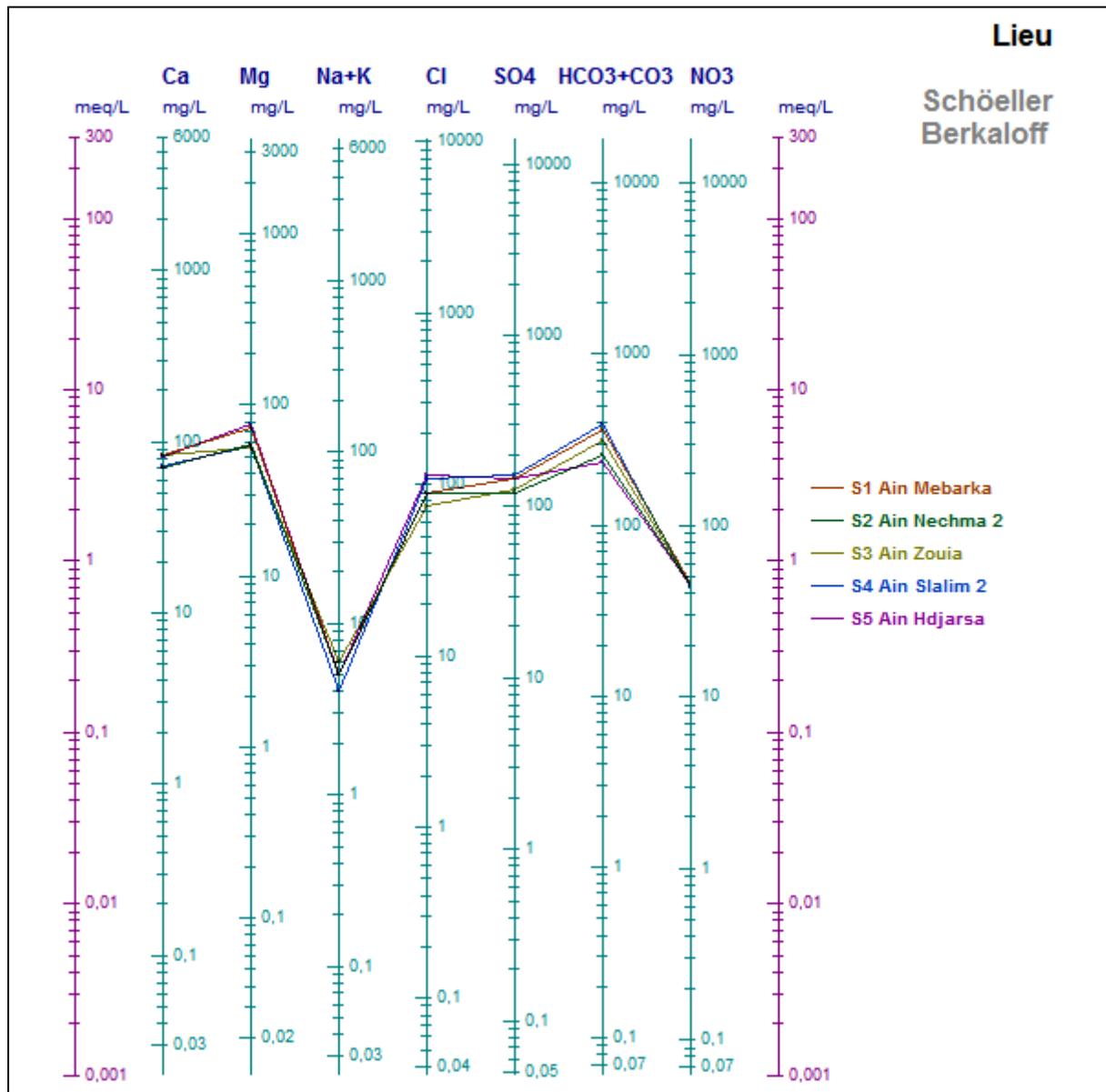


Figure n°30 : Diagramme de Scholler-Berkaloff des eaux de sources du Dahouara.

4. Résultats des dénombrements des micro-organismes dans l'eau

Les micro-organismes dénombrés au niveau des sources étudiées sont : les germes totaux (GT), coliformes totaux (CT), coliformes fécaux (CF), streptocoques fécaux (SF) et les anaérobies sulfito-réducteurs (ASR).

4.1. Les germes totaux

Appelés aussi germes revivifiables, ils n'ont pas d'effets directs sur la santé, mais sous certaines conditions ils peuvent générer des problèmes dans les systèmes de dialyse. Les

bactéries d'origine résiduaire (environnementale) sont dénombrées à 22°C sur une période de 72 heures d'incubation, et les bactéries d'origine intestinale (humaine ou animale) à 37°C sur une période d'incubation de 24 heures.

Ces germes ne sont pas comptabilisés au niveau des sources: S1, S3 et S5 pour les deux températures d'incubation (22° C et 37°C) (fig.31 et 32). A 37°C (fig.31) on a enregistré des valeur (S2:45 UFC/ml) et (S4:54 UFC/ml) qui sont des teneurs dépasse la limite fixait par l'OMS (20 UFC/ml), nous constatons que ces bactéries sont d'origine intestinale, par contre des valeurs de 45 UFC/ml et 70 UFC/ml sont enregistrées au niveau des sources (S2) et (S4) respectivement à 22°C (fig.32) et reste dans la limite fixée par l'OMS (100 UFC/ml).

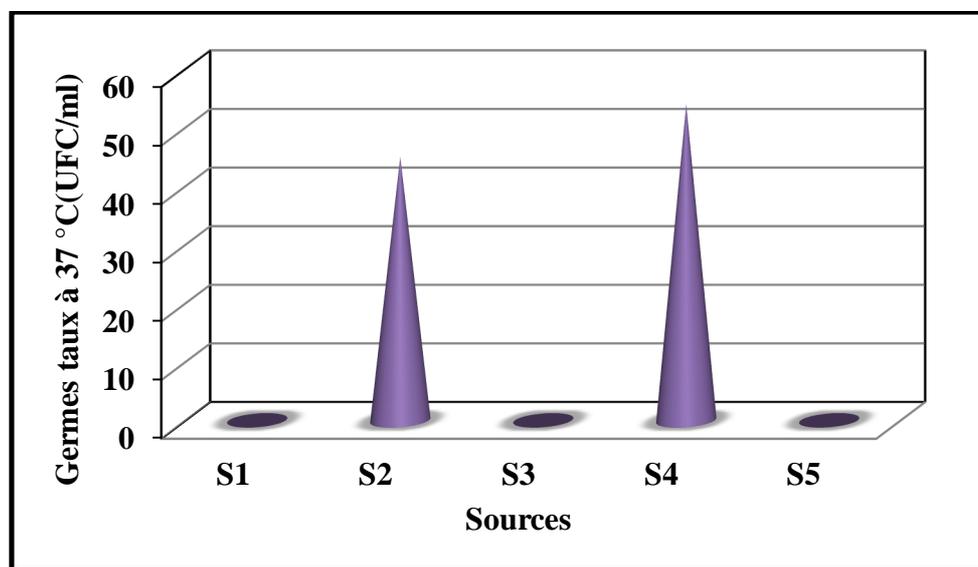


Figure n°31 : Evaluation des germes totaux à 37°

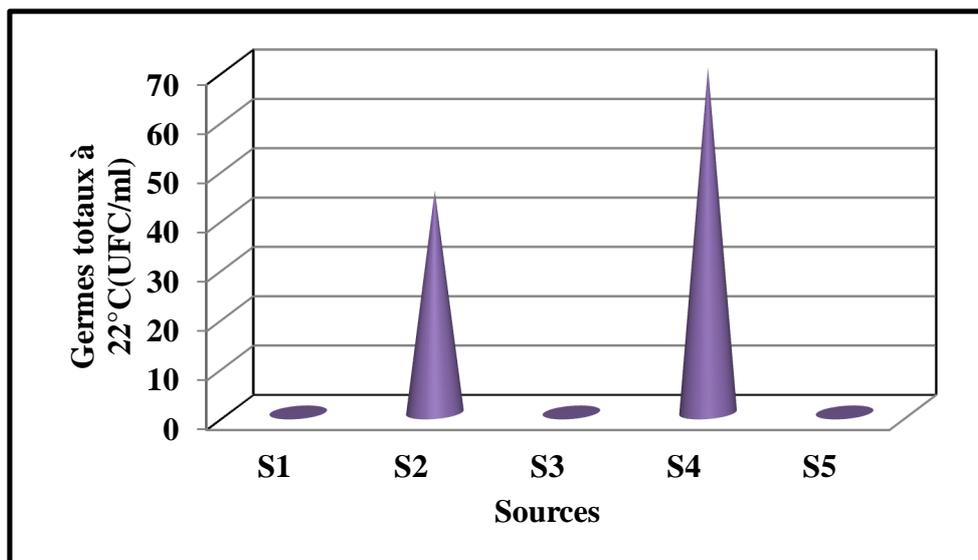


Figure n°32 : Evaluation des germes totaux à 22°C.

4.2. Les coliformes totaux

La recherche des coliformes est primordiale du fait qu'un grand nombre d'entre eux vivent en abondance sur les matières fécales des animaux à sang chaud et de ce fait constituent des indicateurs de première importance. (Duffour, 1977).

L'examen de graphique illustré dans la figure n°33, nous montre que les concentrations des coliformes totaux au niveau des sources sont variables et supérieures à la valeur guide des eaux potable (0 CT/100 ml) (OMS, 2006) pour atteindre un maximum au niveau de la source 5 (240 CT/100ml). Par contre on remarque l'absence totale de ces germes au niveau de la source (S1). La présence des coliformes totaux peu être due aux activités humaines (élevages des bovins).

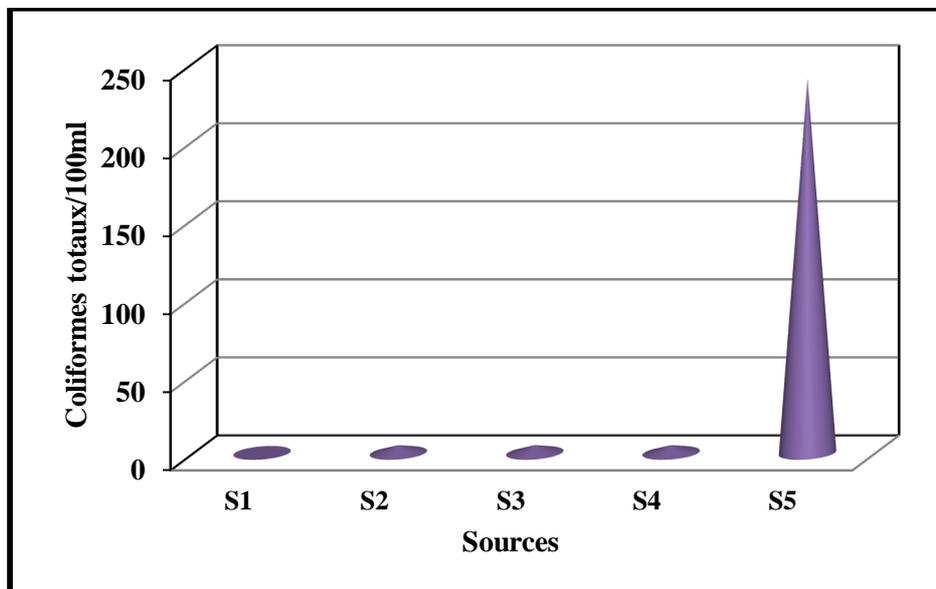


Figure n°33 : Evolution du nombre de coliformes totaux.

4.3. Les coliformes fécaux

La bactérie *E coli* représente toute fois 80 à 90% des coliformes fécaux détectés bien que la présence de coliformes fécaux témoigne habituellement d'une contamination d'origine fécale. (Camille, 2003).

L'examen de graphe illustré dans la figure n°34, nous montre que le nombre de coliformes fécaux dépasse la norme de l'OMS (0 CF/100 ml) pour les sources S2 et S5, par contre ils sont nul pour les autres sources (S1, S3 et S4). La présence des coliformes fécaux dans les eaux de consommation atteste d'une pollution ou d'une contamination d'origine fécale. Cette

contamination, traduit les circonstances météorologiques durant l'échantillonnage, dont les eaux de nappes peu profondes sont plus souvent contaminées suite au lessivage des déchets des animaux après de fortes précipitations.

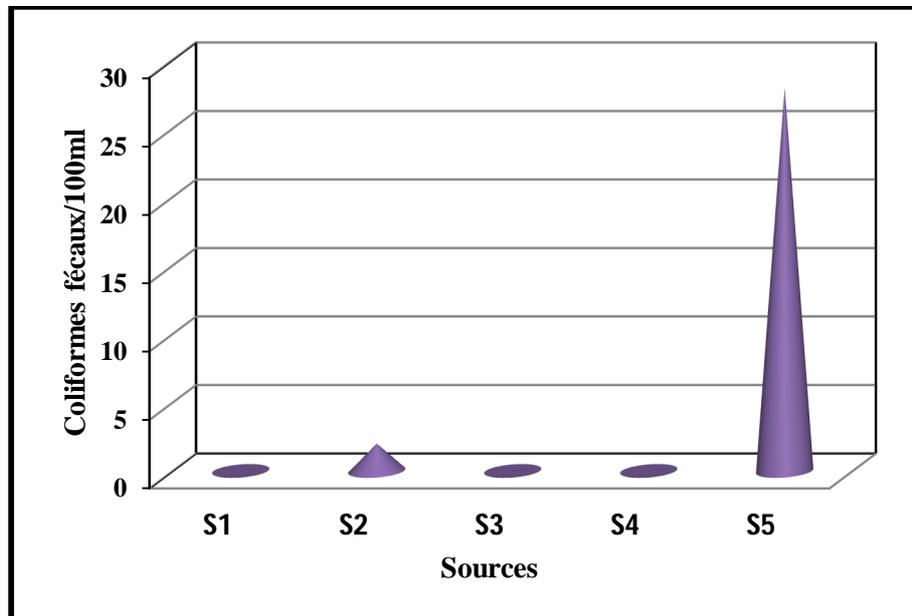


Figure n°34: Evolution du nombre de coliformes fécaux.

4.4. Les streptocoques fécaux

La recherche et le dénombrement des streptocoques fécaux dans les eaux de notre étude effectuée uniquement pour trois sources (S1, S3 et S5) à cause de manque des milieux de culture.

Les streptocoques fécaux ou les entérocoques, ce sont des germes très sensibles aux variations physico-chimiques du milieu et ne résistent pas dans l'eau (ils s'adaptent difficilement en dehors de son milieu habituel qu'est l'intestin). Leur présence est directement liée à la qualité et la concentration de la matière fécale se trouvant dans l'eau.

Pour le résultat, nous remarquons l'absence des streptocoques fécaux au niveau de la source S3, par contre aux sources (S1 et S5) les valeurs dépassent les normes (0 SF/100ml), donc reste la présence des animaux domestiques au voisinage des sources la cause principale de cette contamination (fig.35).

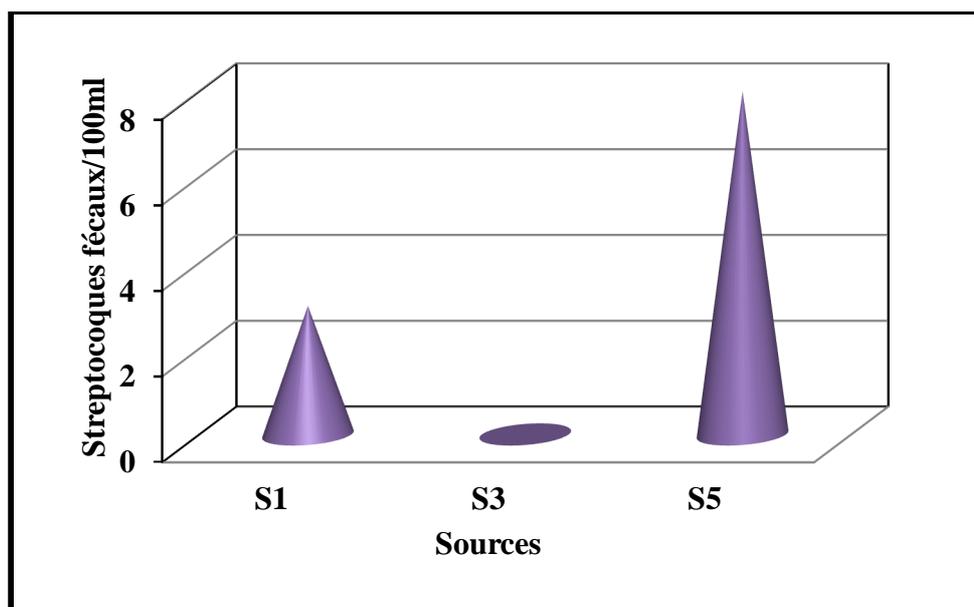


Figure n°35: Evolution du nombre de Streptocoques fécaux.

4.5. Les anaérobies Sulfito-réducteurs (ASR)

Les spores des ASR constituent généralement des indices de contamination ancienne. Les résultats négatifs déduisent l'absence de genres sulfite-réducteurs (*Clostridium* sp, responsables de botulisme et de tétanos), dans la totalité des sources.

4.6. Le rapport coliformes fécaux/ streptocoques fécaux (CF/SF)

Selon les résultats des analyses bactériologiques, le rapport CF/SF (tab.9) montre que l'origine de la contamination fécale est animale pour S1 et mixte à prédominance humaine pour la source S5.

Tableau n°9 : Origine de la contamination fécale selon le rapport coliformes fécaux/streptocoques fécaux (CF/SF).

sources	CF/SF	Origine de la contamination fécale
S1	0	animale
S2	/	/
S3	-	-
S4	/	/
S5	3.5	Mixte à prédominance humaine

5. Analyse statistique en composantes principales

L'analyse en composantes principales (ACP) a pour but la détermination des liens existants entre les éléments et leurs origines. Cette analyse a été effectuée par le logiciel XLSTAT.

5.1. Paramètres physico-chimiques

5.1.1. Corrélation entre les différents paramètres étudiés

Nous avons utilisés les corrélations linéaires bivariées entre les paramètres étudiés. La matrice de corrélation des 16 paramètres mesurés est présentée dans le tableau 14 ci-dessous où les coefficients de corrélation significatifs sont supérieurs à 0.5.

Les associations qui présentent des corrélations significatives et positives sont : TH-Ca²⁺, TH-NO₃⁻, TH-T°C, Ca²⁺-NO₃⁻, Ca²⁺-K⁺, Mg²⁺-NO₃⁻, NO₃⁻-K⁺, NO₂⁻-pH, NO₂⁻-CE, NO₂⁻-TDS, SO₄²⁻-Cl⁻, Cl⁻-pH, Fe-T°C et pH-OD.

Les associations qui présentent des corrélations fortes et positives sont observées entre TH-Mg²⁺, Ca²⁺-T°C, Fe-NH₄⁺ et CE-TDS, aussi des corrélations fortes et négatives sont observées entre les éléments suivants: HCO₃⁻-NO₂⁻, Ca²⁺-NH₄⁺, Fe-OD, T°C-CE et T°C-TDS (tab.10).

Tableau n°10: Matrice de corrélation entre les paramètres physico-chimiques des sources.

Variabiles	TH	HCO3	CA	Mg	NO3	NO2	SO4	Cl	Fe	K	NH4	Ph	T	CE	TDS	OD
TH	1	-0.178	0.798	0.906	0.782	-0.017	0.350	0.135	0.097	0.296	-0.582	-0.048	0.676	-0.592	-0.597	0.157
HCO3	-0.178	1	0.014	-0.272	-0.473	-0.981	0.473	-0.133	-0.001	-0.416	0.452	-0.568	0.296	-0.488	-0.491	0.042
CA	0.798	0.014	1	0.467	0.667	-0.182	0.071	-0.361	-0.275	0.669	-0.753	-0.144	0.957	-0.878	-0.876	0.467
Mg	0.906	-0.272	0.467	1	0.678	0.102	0.463	0.453	0.336	-0.036	-0.324	0.031	0.318	-0.251	-0.259	-0.099
NO3	0.782	-0.473	0.667	0.678	1	0.329	-0.278	-0.286	0.358	0.620	-0.463	-0.243	0.474	-0.325	-0.325	-0.206
NO2	-0.017	-0.981	-0.182	0.102	0.329	1	-0.549	0.112	0.000	0.354	-0.330	0.577	-0.445	0.622	0.626	-0.092
SO4	0.350	0.473	0.071	0.463	-0.278	-0.549	1	0.726	-0.095	-0.666	0.046	0.137	0.175	-0.292	-0.301	0.265
Cl	0.135	-0.133	-0.361	0.453	-0.286	0.112	0.726	1	0.011	-0.726	0.084	0.565	-0.409	0.372	0.364	0.059
Fe	0.097	-0.001	-0.275	0.336	0.358	0.000	-0.095	0.011	1	-0.300	0.648	-0.636	-0.314	0.293	0.287	-0.963
K	0.296	-0.416	0.669	-0.036	0.620	0.354	-0.666	-0.726	-0.300	1	-0.699	-0.017	0.548	-0.391	-0.383	0.302
NH4	-0.582	0.452	-0.753	-0.324	-0.463	-0.330	0.046	0.084	0.648	-0.699	1	-0.513	-0.611	0.466	0.462	-0.747
Ph	-0.048	-0.568	-0.144	0.031	-0.243	0.577	0.137	0.565	-0.636	-0.017	-0.513	1	-0.275	0.357	0.359	0.589
T	0.676	0.296	0.957	0.318	0.474	-0.445	0.175	-0.409	-0.314	0.548	-0.611	-0.275	1	-0.978	-0.977	0.497
CE	-0.592	-0.488	-0.878	-0.251	-0.325	0.622	-0.292	0.372	0.293	-0.391	0.466	0.357	-0.978	1	1.000	-0.475
TDS	-0.597	-0.491	-0.876	-0.259	-0.325	0.626	-0.301	0.364	0.287	-0.383	0.462	0.359	-0.977	1.000	1	-0.470
OD	0.157	0.042	0.467	-0.099	-0.206	-0.092	0.265	0.059	-0.963	0.302	-0.747	0.589	0.497	-0.475	-0.470	1

5.1.2. Application des méthodes d'analyse statistique

L'analyse en composantes principales réalisée sur une matrice de données composée de cinq lignes représentant les sources étudiées et 16 colonnes représentant les paramètres physico-chimiques et donne le cercle de corrélation ci-dessous (fig.36).

L'analyse du plan factoriel F1 et F2 montre que plus de 63 % de la variance totale sont exprimés, l'axe F1 permet d'expliquer 39,33% de la variance totale, dans le sens positif est déterminé par Mg^{2+} , Ca^{2+} , TH, OD, NO_3^- et K^+ , et peut être considéré comme un axe de pollution naturel (géologique) par l'excès de magnésium et calcium et anthropique (agricole) par l'excès des nitrates et du potassium. Dans le sens négatif est déterminé par les paramètres indicateurs de la minéralisation (CE et TDS). L'axe F2 permet d'expliquer 23,79% de la variance totale est déterminé par HCO_3^- , NH_4^+ et SO_4^{2-} .

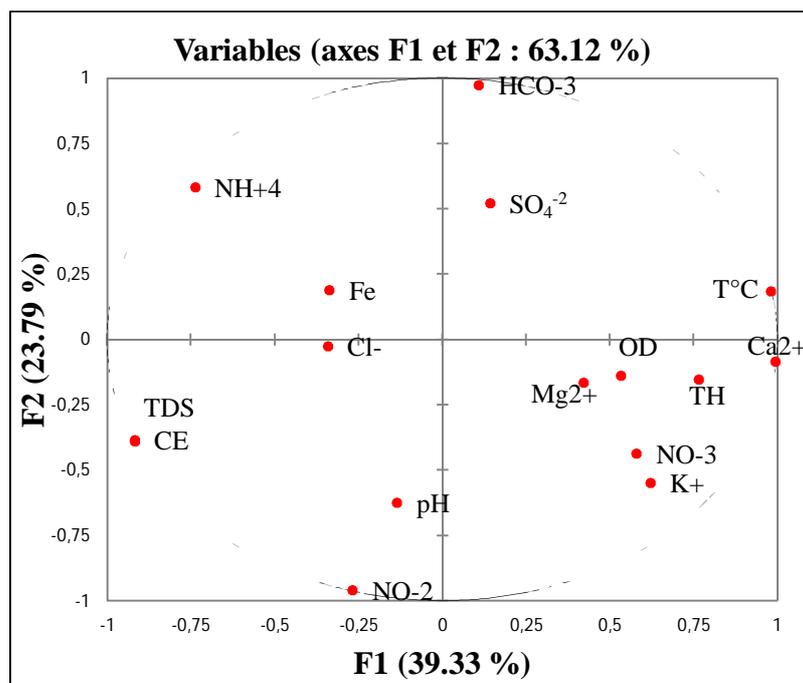


Figure n°36 : Cercle de corrélation des variables dans le plan formé par l'axe F1 et l'axe F2 (les paramètres physico-chimiques).

La projection des individus nous permis de distinguer trois groupes (fig.37):

- Le groupe (I) avec une dominance des éléments de la pollution naturelle et agricole (riche en nitrate et potassium), représente les sources S1, S3 et S5.
- Le groupe (II) concerne la source S4 qui présente un excès en ammonium et sulfate.

- Le groupe (III) ne présente aucun type de pollution (S2).

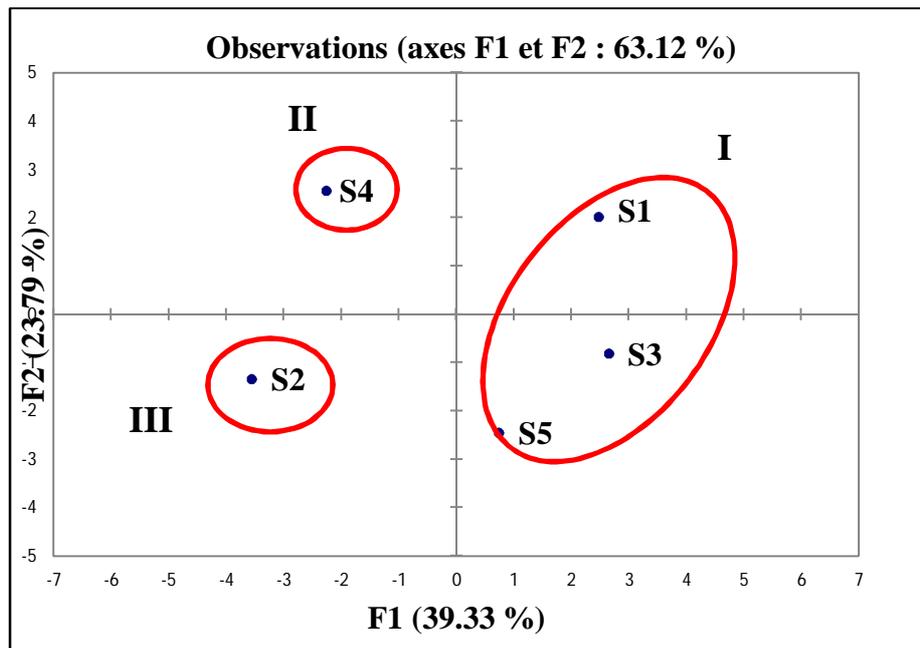


Figure n°37 : Projection des individus sur le plan F1-F2.

5.2. Paramètres bactériologiques

5.2.1. Application des méthodes d'analyse statistique

L'analyse du plan factoriel F1 et F2 montre que plus de 98 % de la variance totale sont exprimés (on a donc une bonne qualité de représentation), l'axe F1 permet d'expliquer 72,25% de la variance totale et l'axe F2 permet d'expliquer 25,99% de la variance totale. L'analyse en composantes principales réalisée sur une matrice de données composée de cinq lignes représentant les sources étudiées et six colonnes représentant les paramètres bactériologiques. La figure 38 a montré que les Coliformes totaux, Coliformes fécaux, et les Streptocoques fécaux sont corrélés positivement avec l'axe F1 qui cumule 72,25% de l'inertie et les Germes totaux sont corrélés positivement avec l'axe F2 qui cumule 25,99% de l'inertie. Les points sont très proches du cercle ce qui signifie que les variables sont très bien représentées.

La projection des individus sur le plan factoriel F1 et F2 a permis de distinguer 3 groupes différents (fig.39) :

- Groupe (I): rassemble la source S1 et S3 qui ne présente aucune pollution fécale.

- Groupe (II): il réunit la source S5 qui présente des concentrations élevées en germes indicateurs de pollution bactériologique d'origine fécale.
- Groupe (III): il concerne les sources S2 et S4 qui présentent des eaux contaminées avec les germes totaux.

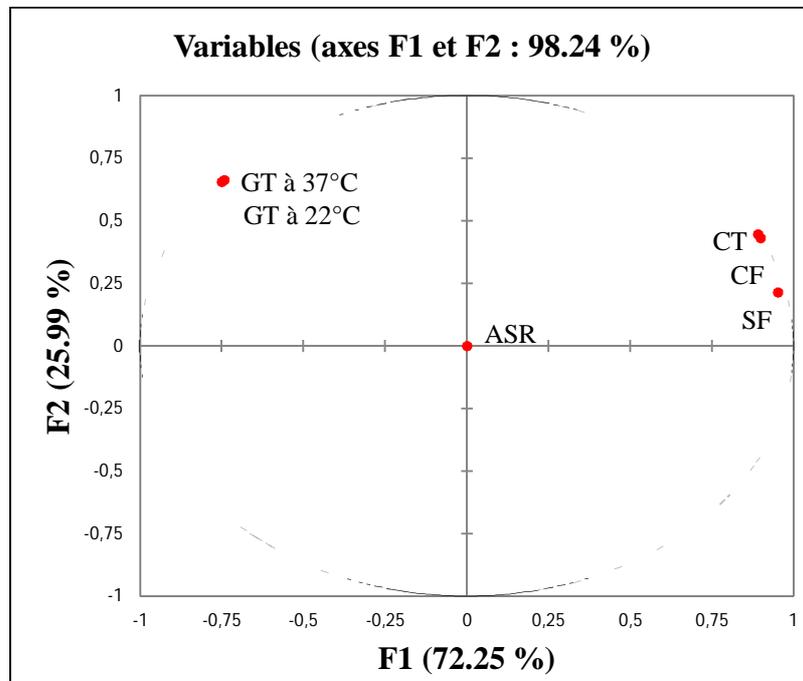


Figure n° 38 : Cercle de corrélation des variables dans le plan formé par l'axe F1 et l'axe F2 (les paramètres bactériologiques)

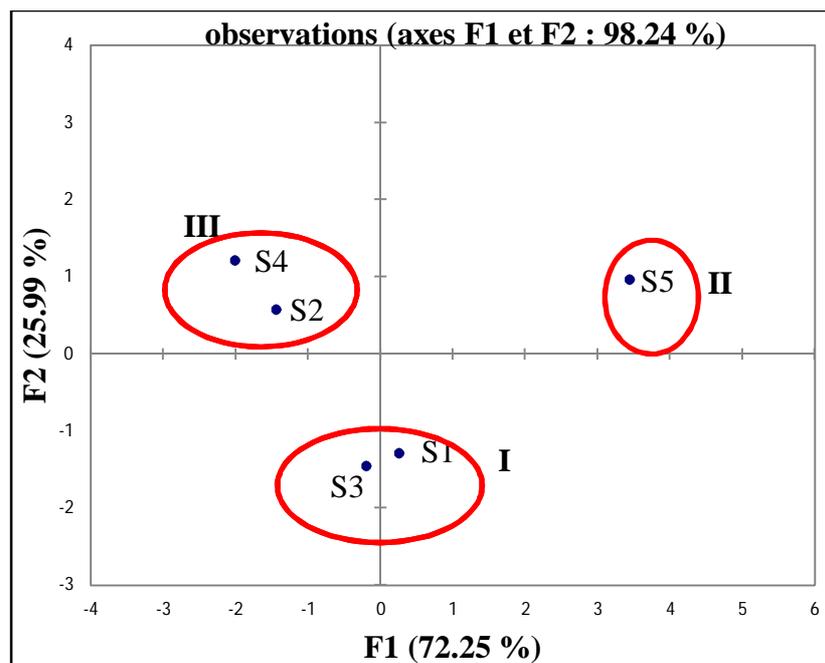


Figure n°39 : Projection des individus sur le plan F1-F2.

A la lumière des résultats bactériologiques obtenus dans les sources étudiées, nous pouvons conclure que la contamination des sources étudiées est presque générale, mais nous avons remarqué que les sources S2 et S4 sont moins polluées par comparaisons avec la source S5 qui présente des teneurs très élevées en germes de contamination fécale.

6. Qualité des eaux des sources

D'après le tableau de confrontation aux normes de l'OMS (tab.11), on peut dire que les eaux des sources étudiées du Dahouara présentent un excès légère en ammonium et magnésium ce qui affecte leur qualité (médiocre), par contre les teneurs en nitrate sont au voisinage de la limite admissible, indiquant encore que ces sources sont vulnérable aux polluant de surfaces.

Mais quand on parle des paramètres bactériologiques, les eaux de Dahouara sont impropres à la consommation humaine.

Tableau n°11: Confrontation entre les paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux de sources étudiées avec les normes de l'OMS 2006 et Algérienne 2011.

Paramètres	Unités	Norme Algérienne (2011)	Norme de l'OMS (2006)	Paramètres des eaux des sources étudiées (Dahouara)		
				Min.	Max.	Moy.
pH		6.5 à 9	de 6.5 à 8.5	8.22	8.81	8.52
Oxygène dissous	mg/l	/	>7	6.27	9.77	8.17
Taux des sels dissous	mg/l	/	< 1000	224	261	240.2
Conductivité électrique	µS/cm	/	< 1500	449	521	480.4
Ammonium	mg/l	0.5	0.5	0.52	0.55	0.53
Nitrates	mg/l	50	50	43	46	44.9
Nitrites	mg/l	0.2	0.1	0.05	0.07	0.06
Magnesium	mg/l	/	50	56	76	64.4
Calcium	mg/l	200	100	71	85	78.8
Dureté totale	mg/l	200	200	129	159	143.2
Chlorures	mg/l	500	250	74.55	113.5	94.41
Bicarbonate	mg/l	-	-	233.32	388.9	311.11
Sulfates	mg/l	400	250	119.89	153.3	138.31
Fer	mg/l	/	0.3	0.233	0.284	0.261

Potassium	mg/l	12	12	4	6	5
Température	°C	25	25	14.3	17.32	16.012
Germes totaux à 37°C	UFC/1ml	/	20	45	54	19.8
Germes totaux à 22°C	UFC/1ml	/	100	45	70	23
Coliformes totaux	CT/100ml	/	0	<1	>240	51
Coliformes fécaux	CF/100ml	0	0	<1	>240	51
Sterptocoques fécaux	SF/100ml	0	0	<1	8	3.6
ASR	Spore /20ml	0	0	0	0	0

Conclusion et recommandations

Dans cette étude, nous avons analysé les paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux des sources utilisées pour l'approvisionnement en eau potable pour la population de la région de Dahouara, en vue d'évaluer leur degré de potabilité.

Concernant les paramètres chimiques analysés, on trouve que le magnésium est le seul élément dont la teneur dépasse les normes recommandées par l'OMS. On note également des teneurs élevées en nitrate au niveau des sources étudiées, traduisant ainsi une contamination par un apport de l'extérieur dont l'origine est agricole.

Le faciès chimique des eaux de sources est de type chloruré-sulfaté calcique et magnésien et ayant la même origine.

L'analyse bactériologique a révélé au niveau toutes les sources la présence de germes indicateurs de contamination fécale. Le nombre de ces derniers est principalement important au niveau de la source S5. Selon le rapport CF/SF, l'origine de la matière fécale est animale pour Ain Mebarka et mixte à prédominance humaine pour Ain Hdjarsa.

Prenant en compte ces résultats qui font d'une situation pré-occupante, il apparut urgent, par mesure préventives :

- Un contrôle permanent de la qualité des eaux des sources (en particulier les paramètres indicateurs de la pollution).
- Surveiller et contrôler l'utilisation des fertilisants afin de minimiser ou éviter la migration des excès vers les eaux souterraines
- Eviter toutes activités à incidence environnementale au voisinage des sources.
- Mener une large campagne de sensibilisation.

Références bibliographiques

- **Amino A. et Chauss Pied M. (1983).** Manuel des analyses chimiques en milieu marin. C.N.E.X.O.FRANCE. 395p.
- **Agence Nationale des Ressources hydrique, rapport 2001.**
- **Aouissi A. (2010).** Microbiologie et physico-chimie de l'eau des puits et des sources de la région de Guelma (Nord-Est de l'Algérie). Mémoire de Magister, Université 08 mai 1945, Guelma.141p.
- **Avril J.L. Dabernat H. Denis F. et Monteil H. (1992).** Bactériologie Clinique. Ellipses, 602p.
- **Camille D. (2003).** Surveillance sanitaire et microbiologique des eaux. Réglementation, prélèvements, analyses. *Tec et Doc* 156 p.
- **Chaouch R. (2007).** Identification et quantification des déchets solides encombrant les plages d'Annaba: aspect physico-chimique et bactériologique des eaux. Mémoire de Magister. Université Badji-Mokhtar Annaba. 105p.
- **Debieche T.H. (2002).** Evolution De La Qualité Des Eaux (Salinité, Azote et métaux lourds) Sous L'effet De La Pollution Saline, Agricole Et Industrielle. Application à la Basse Plaine De La Seybouse Nord-Est Algérien. Thèse de Doctorat, Université de Constantine. 235p.
- **Detay M. (1993).** Le Forage D'eau ; Réalisation, Entretien Et Réhabilitation. Masson. 379p.
- **Duffour A.P. (1977).** E.coli: The Faecal Coliform. 4 8–58. In Hoadely A.W. and B.J.Dukta (eds).
- **Entreprise d'études en urbanisme et techniques Annaba (projet de diagnostique du réseau d'approvisionnement en eau potable de Dahouara), 1999.**
- **Guiraud J. P. (1998).** Microbiologie alimentaire. Dunod. France. 652p.
- **Huraux J. (2008).** Virologie .Faculté de médecine .p 141.
- **Kreisel W. (1991).** Water Quality And Health. Dunod. 209p.
- **Labres et Mouffok F. (2008).** Le cours national d'hygiène et de microbiologie des eaux de boisson. Manuel des travaux pratique des eaux. Institut Pasteur d'Algérie. 53p.
- **Leminor L. et Veron M. (1989).** Bactériologie Médicale. Flammarion Médecine Sciences. 845p.

- **Lightfoot N.F. (2002).** Analyses microbiologiques des aliments et de l'eau. Directives pour l'assurance qualité. 387 p.
- **Loup J.P. (1974).** Les eaux terrestres. Collection dirigée par Jean Pelletier. Masson et Cie. Paris Ive 1974. 14p.
- **MURDY J et al., 1986.** Utilisation de L'ACP pour L'étude du fonctionnement hydrocinématique de trois aquifère au Sud-Est de la France, Hydrogéologie de la France; pp 52-59
- **Nauciel CH et Vildé J.L. (2008).** Bactériologie médicale : connaissance et pratique. 2^{ième} éditions. MASSON .p125.
- **Pechère J. C. Acar J. Grenier B. et Nihoul E. (1982).** Reconnaître, comprendre et traité les infections. 4^{ème} édition. Edisem ST-Hyacinthe. Québec. 509p.
- **Prescott L.M. Harly J.P. et Kelin D-A. (2003).** Microbiologie. 2^{ième} édition. De Boeck & Larcier. Paris. 1137p.
- **Rejsek F. (2002).** Analyse des eaux ; aspects règlementaires Et techniques. Sceran. Paris.360p.
- **Roland V. (2010)** .Eau, environnement et santé publique. 3^{ième} édition. TEC& DOC.Paris. 213P.
- **Rodier J. (1996).** Analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires. 8^{ème} édition, Dunod, Paris 1130p
- **Rodier J. (2005).** L'analyse De L'eau ; Eaux Naturelles, Eaux Résiduelles, Eaux De Mer. 8^{ème}édition. Dounod. 1383 p.
- **Rodier J. (1984).** L'analyse de l'eau : Ed. Dounod.1099 p.

- **Rodier J. (2009).**L'analyse de l'eau. 9^{ème} édition. *Dounod*.1525p.

- **Roux M. (1987).** Office International De L'eau: L'analyse Biologique De L'eau. TEC& DOC.Paris. 229p.
- **Subdivision directive d'Hydraulique de la daïra de Hammam N'baïl, Wilaya De Guelma, 2015.**
- **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.

- **Zeddouri A. (2003).** Contribution à L'étude Hydrogéologique Et Hydro-chimique De La Plaine Alluviale De Guelma (Essai De Modélisation), Guelma, NE Algérien. Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar, Annaba. 107 p.

Sites Web

[1] [http://dcwguelma.gov.dz/fr/index.php/wilaya-guelma?id=78:situation géographique &catid=59:guelma](http://dcwguelma.gov.dz/fr/index.php/wilaya-guelma?id=78:situation_géographique&catid=59:guelma). [Consulté le 16 mai 2015].

[2] <http://www.annuaire-mairie.fr/ville-dahouara.html>. [Consulté le 16 mai 2015].

[3] <http://dcwguelma.gov.dz/fr/index.php/wilaya-guelma>. [Consulté le 13 avril 2015].

[4] <http://fr.db-city.com/Alg%C3%A9rie--Guelma--Hammam-N%27Bail--Dahouara>. [Consulté le 15 avril 2015].

[5] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Gastro-ent%C3%A9rite>. [Consulté le 05 mai 2015].

[6] http://www.passeportsante.net/fr/Maux/Problemes/Fiche.aspx?doc=gastroenterite_pm. [Consulté le 05 mai 2015].

[7] <http://hepatoweb.com/hepatobase/hepatite.html>. [Consulté le 17 février 2015].

[8] <http://www.pasteur.fr/ip/easysite/go/03b-000010-009/presse/fiches-sur-les-maladies-infectieuses/amibiase>. [Consulté le 17 février 2015].

Annexes

Annexe 01

Tableau n°12 : les normes des méthodes de dosage des paramètres chimiques.

Paramètres chimiques	Norme
La dureté totale	NFT90-003
Bicarbonates	NF EN ISO9963-1
Calcium	NFT90-016
Magnésium	NFT90-016
Nitrates	NFT90-013
Nitrites	NFT90-013
Ammonium	NFT90-015
Sulfates	NFT90-009
Chlorures	NFT90-014
Fer	PERKIN ELMER EN4
Potassium	NFT90-019

Annexe 02

Milieux de cultures utilisés

[M1]- Bouillon lactosé au pourpre de Bromocrésol (BCPL) : pH = 6.7

Peptone	5g
Extrait de viande	3g
Lactose	10g
Cristal violet	0.005g
Pourpre de Bromocrésol	0.025g
Eau distillée	1000ml

[M2]-Gélose viande foie (VF) : pH = 7.2

Gélose de base :

Base viande foie	30g
------------------	-----

Annexes

Glucose	2g
Amidon	2g
Agar	11g
Eau distillée	1000ml

Gélose complète :

Même formule que le milieu de base auquel sont ajoutés :

Sulfite de sodium à 5%	50ml
Alun de fer ammoniacal à 5%	10ml

[M3]-Plate Count Agar (PCA) :pH=7 ± 0,2

Tryptone	5,0 g
Extrait autolytique de levure	2,5 g
Glucose	1,0 g
Agar agar bactériologique	12,0 g
Eau distillée	1000ml

[M4]- Milieu de Roth : pH = 6.8 à 7

Milieu simple concentration :

Peptone	20g
Glucose	5g
Chlorure de sodium	5g
Phosphate bipotassique	2.7g
Phosphate monopotassique	2.7g
Azohydrate de sodium	0.2g

Milieu double concentration :

Peptone	40g
Glucose	10g
Chlorure de sodium	10g
Phosphate bipotassique	5.4g
Phosphate monopotassique	5.4g
Azohydrate de sodium	0.4g

[M5]- Milieu de Litsky : pH = 6.8 à 7

Peptone	20g
Glucose	5g
Chlorure de sodium	5g

Annexes

Phosphate bipotassique	2.7g
Phosphate monopotassique	2.7g
Azohydrate de sodium	0.3g
Ethyl-violet	0.0005g

[M6]- Eau peptonée exempte d'indole : pH = 7.2

Peptone exempte d'indole	10g
Chlorure de sodium	5g
Eau distillée	1000ml

Réactifs utilisés

[R1]- Réactif de Kowacks : la mise en évidence de la production d'indole :

Paradiméthylaminobenzaldéhyde	5g
Alcoolamylique	75ml
HCL pur	25ml

Annexes 03

Photos des résultats expérimentaux :

Photos des résultats de recherche des coliformes totaux:



Annexes

Photos des résultats de recherche des coliformes fécaux :



3-Photos des résultats de recherche des streptocoques fécaux :



Annexes

Annexes 04

Tableau n° 13: Table de NPP

1 X 50 ml	5 X 10 ml	5 X 1 ml	Nombre caractéristique	Limites de confiance	
				Inférieure	Supérieure
0	0	0	<1		
0	0	1	1	<0,5	4
0	0	2	2	<0,5	6
0	1	0	1	<0,5	4
0	1	1	2	<0,5	6
0	1	2	3	<0,5	8
0	2	0	2	<0,5	6
0	2	1	3	<0,5	8
0	2	2	4	<0,5	11
0	3	0	3	<0,5	8
0	3	1	5	<0,5	13
0	4	0	5	<0,5	13
1	0	0	1	<0,5	4
1	0	1	3	<0,5	8
1	0	2	4	<0,5	11
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		

Annexes 05

Tableau n°14 : les normes des paramètres physico-chimiques des eaux potables selon l'OMS.

Paramètres	Unités	Norme Algérienne (2011)	Norme de l'OMS (2006)
pH		6.5 à 9	de 6.5 à 8.5
Oxygène dissous	mg/l	/	>7
Taux des sels dissous	mg/l	/	< 1000
Conductivité électrique	µS/cm	/	< 1500
Ammonium	mg/l	0.5	0.5
Nitrates	mg/l	50	50
Nitrites	mg/l	0.2	0.1
Magnesium	mg/l	/	50
Calcium	mg/l	200	100
Dureté totale	mg/l	200	200
Chlorures	mg/l	500	250
Bicarbonate	mg/l	-	-
Sulfates	mg/l	400	250
Fer	mg/l	/	0.3
Potassium	mg/l	12	12
Température	°C	25	25

Tableau n°15 : les normes bactériologiques des eaux potables selon l'OMS.

Paramètres	Unités	Norme Algérienne (2011)	Norme de l'OMS (2006)
Germes totaux à 37°C	UFC/1ml	/	20
Germes totaux à 22°C	UFC/1ml	/	100
Coliformes totaux	CT/100ml	/	0
Coliformes fécaux	CF/100ml	0	0
Sterptocoques fécaux	SF/100ml	0	0
ASR	Spore /20ml	0	0