



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



Université des Frères Mentouri Constantine
Faculté des Sciences de la Nature et de la
Vie

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة
كلية علوم الطبيعة والحياة

Département : Microbiologie

قسم : الميكروبيولوجيا

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biologie Moléculaire des Microorganismes

Intitulé

**Contribution à l'étude et à l'évaluation de la qualité bactériologique des
eaux de puits et de sources de la Wilaya de Constantine**

Présenté et soutenu par : Ayachi Ines Fatima

Le : 27/06/2019

Yamoun Nour El Houda

Jury d'évaluation :

Président du jury : Mr. Kitouni. M. (Professeur –UFM Constantine)
Rapporteur : M^{me}. Bouzeraib. L. (Maitre-Assistante « A » - UFC Constantine)
Co-rapporteur : Mr. Khelifa.F. (professeur-faculté de médecine. Université 03)
Examinatrice : M^{me}. Sekhri. Arafa. N. (Maitre-Conférence « A » - UFC Constantine)

*Année universitaire
2018 - 2019*

Remerciement

Nous remercions en premier lieu **ALLAH** le tout puissant pour toute la volonté, le courage et la chance qu'il nous a donné pour l'achèvement de ce mémoire.

Nous tenons à remercier notre encadrant **Mme Bouzraib L**, Matre-Assistante « A » à l'université des Frère Mentouri, qui a dirigé ce travail, ça nous sera jamais suffisant pour lui exprimer notre grande reconnaissance pour la confiance qu'elle nous a accepté pour faire avancer ce travail, pour son savoir de biologiste, sa patience et sa gentillesse.

A **Professeur Khelifa F**, Medecin Chef du Laboratoire d'hygiène de la Wilaya de Constantine, nous désirons lui adresser un remerciement tout particulier pour nous avoir accordé l'accès au Laboratoire d'hygiène, pour sans Co-encadrement, pour ses précieux commentaires et ses conseils pertinents qui nous ont grandement aidé tout au long des différentes étapes menant à l'élaboration de ce mémoire.

A notre président de jury, **Professeur Kitouni M**, qui nous a fait le grand honneur de présider ce mémoire. Qu'il trouve ici le témoignage de notre profond respect et de notre sincère reconnaissance.

Nous adressons également notre reconnaissance à **Mme Sakhri Arafat N**, Maître de Conférence « A » à l'université des Frère Mentouri, pour l'intérêt qu'elle a accordé à ce travail en acceptant de l'examiner et de le juger, pour sa gentillesse et ses conseils en tant que notre aimable enseignante durant ces trois dernières années.

Remerciement

Ces quelques lignes permettront de remercier les responsables et les personnes qui ont contribué de près et de loin à la réalisation de ce travail tant au niveau scientifique qu'au niveau personnel, et sans leur savoir et leur aide, ce travail n'aurait pas pu aboutir à sa fin.

Nos vifs remerciements vont à ces deux personnes qui nous ont été pour un énorme soutien: *Meliani Aziz* et *Gana Mohamed*, Docteurs en Ecologie.

Nous tenons aussi à remercier l'ensemble du personnel du Laboratoire d'hygiène de Constantine : **Mme Haifi M**, **Mme Belhaffaf M**, **Khadri O**, **Redjel A**, **Mehazem S**, **Yousfi W** et **Bechelem L**, de nous avoir accueillis parmi eux, d'être si patients avec nous et de nous avoir tellement aidés à réaliser nos expérimentations pendant toute la période du stage. Nous n'oublierons jamais leur soutien scientifique ainsi que morale et l'ambiance exceptionnelle.

Nous ne saurons finir sans remercier tous les enseignants du département de Biologie de l'université de l'Université des Frère Mentouri Constantine, qui ont contribué à notre formation et tous les responsables des laboratoires du département. Qu'ils trouvent ici notre respect et notre amour.

Notre reconnaissance va aussi à tous les habitants qui nous ont autorisées à utiliser leurs puits pour effectuer les prélèvements d'eau.

Enfin, j'exprime également tous le bonheur du monde à nos collègues de promotion du Master Microbiologie Générale et Biologie Moléculaire des Microorganismes.

Je dédie ce modeste travail de Mémoire à :

*Ma mère **Beziez Samira***

*Mon père **Yamoun Nacer Eddine***

qui m'ont toujours soutenu et cru en moi, et qui m'ont donné la force, le courage, la patience et l'optimisme continue.

Je suis éternellement reconnaissante pour leurs sacrifices, leurs conseils, leur présence et leur tendresse.

Que dieu vous accorde santé et longue vie.

*Mes frères **Réda, Boubaker et Wail***

pour tous les efforts consentis tout au long de ce voyage université afin de me voir arriver à mon but.

*Mes sœurs **Fatima et Lydia,***

*Mes belles-sœurs **Khaoula et Meriem,***

qui m'ont toujours encouragé pour tenir jusqu'au bout.

*mon beau-frère **Yamen** et les petits **Iyad, Djoud et Assil***

qui m'ont souvent redonné le sourire.

*Mes grands-parents **Said et Warda***

pour leurs douaas et tout ce qu'ils ont fait pour moi.

*A mon adorable **Benzerari Nedjma**, mon amie et ma source d'inspiration,*

d'être toujours présente dans le meilleur et dans le pire. Je n'oublie et je n'oublierai jamais son aide morale.

*A mon binôme **Ayachi Fatima Ines,***

A Toute ma famille, mes amies et les personnes que j'aime

Je tiens à vous témoigner ma reconnaissance,

Mon amour et mon affection.

Yamoun Nour El Houda

Je dédie ce travail :

*A mes très chers parents **Kamel** et **Leila**: Autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour vous. Vous m'avez comblé avec votre tendresse et affection tout au long de mon parcours. Vous n'avez cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études, vous étiez toujours présents à mes côtés pour me consoler quand il fallait. Vos conseils ont toujours guidé mes pas vers la réussite. Votre patience sans fin, votre compréhension et votre encouragement sont pour moi le soutien indispensable que vous avez toujours su m'apporter. Je vous dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je ferai toujours de mon mieux pour rester votre fierté et ne jamais vous décevoir. Puisse le tout puissant vous donner santé, bonheur et longue vie afin que je puisse vous combler à mon tour.*

*A mon très cher oncle, mon 2ème papa **Yazid** : Les mots me manquent pour te qualifier, Je ne saurais jamais te remercier assez, tout ce que j'aurais à dire ne saurait exprimer à fond tous les sacrifices que tu as fait pour moi, tu étais mon soutien moral, la source de ma joie et mon bonheur quotidien. Que dieu te procure bonne santé et longue vie.*

*A tata **Djamila** : ton aide et ton soutien en ce moment si particulier de ma vie est un véritable cadeau. Mon cœur t'en est profondément reconnaissant.*

*A mon cher frère **Wassim**, ma chère sœur **Mélissa** : pour leur appui et leurs encouragements, d'avoir été présent à mes côtés dans les moments les plus difficiles. Merci d'avoir été la source de mon sourire, puisse Dieu le tout puissant exhausser tous vos vœux,*

A ma très chère grand-mère maternel : Que ce modeste travail, soit l'expression des vœux que vous n'avez cessé de formuler dans vos prières. Que Dieu vous préserve santé et longue vie.

A la mémoire de ma grand-mère paternel, la mémoire de mon grand-père maternel : Qui ont été toujours dans mon esprit et dans mon cœur, je vous dédie aujourd'hui ma réussite. Que Dieu, le miséricordieux, vous accueille dans son éternel paradis.

*A mes très chères cousines: **Ikram** et **Rania** votre encouragement et votre soutien étaient la bouffée d'oxygène qui me ressourçait dans les moments pénibles. Merci d'être toujours à mes côtés, par votre amour dévoué et votre tendresse, je prie dieu le tout puissant pour qu'il vous donne bonheur et prospérité.*

*A mes meilleures amies **Maroua**, **Rayen** et **Chourouk**; merci d'avoir été le rayon de soleil dans les journées les plus ténébreuses.*

*A ma grande famille : Mes tantes, mes oncles ainsi que mes cousins et cousines
A mon binôme **Yamoun Nour el Houda** et à tous ceux qui me sont chers et que j'ai omis de citer. Cette humble dédicace ne saurait exprimer mon grand respect et ma profonde estime.*

INES

Résumé

Pour apprécier la qualité bactériologique des eaux de puits et de sources destinées à la consommation humaine dans la wilaya de Constantine qui est située à l'Est de l'Algérie, un contrôle a été réalisé et a porté sur plusieurs échantillons d'eau prélevés au niveau des centaines de puits et de sources appartenant à cette localité. Ces puits et sources ont été identifiés par des fiches techniques indiquant leurs coordonnées et la nature de la pollution avoisinante. Les analyses ont été effectuées sur ces échantillons en recherchant éventuellement les germes indésirables : Germes totaux, Coliformes totaux, Coliformes fécaux, Streptocoques fécaux et *Clostridium* sulfito-réducteurs. Les échantillons d'eaux étudiés ont été prélevés, analysés et interprétés selon les normes en vigueur.

Afin de suivre la variation saisonnière des différents paramètres bactériologiques, les prélèvements ont été réalisés pendant la saison sèche et la saison pluvieuse (humide).

Les résultats des analyses effectuées ont fait ressortir que les eaux d'un grand nombre de puits et de sources sont de mauvaise qualité bactériologique. Les résultats statistiques révèlent un taux différent de puits et de sources polluées dans chacune des daïras de la wilaya. L'analyse comparée des distributions en deux périodes d'étude montre que le taux de puits et de sources contaminés dans l'ensemble de la wilaya est plus élevé pendant la période sèche qu'humide (49% pour les puits et environ 53% pour les sources).

La contamination des eaux souterraines peut être due à la mauvaise protection de ces ressources, l'infiltration des eaux de ruissellement, la méconnaissance des règles élémentaires d'hygiène, la pollution avoisinante et l'absence d'un réseau d'assainissement.

Dans l'ensemble le nombre des germes diminue légèrement en saison humide. Cette pollution constitue sans doute un danger non négligeable à la santé des populations consommatrices de ces eaux. Pour éviter des éventuels risques sanitaires, l'adoption des mesures d'hygiène pour le transport et le stockage de l'eau, notamment le traitement par la chloration périodique de l'eau de puits a été conseillé pour la population concernée, et un aménagement et du contrôle permanent des puits et des sources d'eau pollués à proximité des points potentiels de pollution ont été recommandés pour les autorités locales et les services d'hygiène.

Mots clés : Eau souterraine, Puits, Sources, Qualité bactériologique, Pollution, Risque sanitaire, Constantine, Algérie.

ملخص

من أجل تقييم الجودة البكتريولوجية لمياه الآبار والينابيع المخصصة للاستهلاك البشري في ولاية قسنطينة ، تم إجراء مراقبة وتغطية العديد من عينات المياه المأخوذة من مئات الآبار والينابيع التي تنتمي إلى هذه المنطقة. تم تحديد هذه الآبار والينابيع بواسطة أوراق البيانات التي تشير إلى إحداثياتها وطبيعة التلوث المحيط بها. وقد أجريت التحاليل على هذه العينات عن طريق البحث عن الجراثيم غير المرغوب فيها : مجموع البكتيريا ومجموع القولونيات، بكتيريا القولون البرازية، العقديات البرازية، كلوستريديوم. تم جمع عينات المياه التي شملتها الدراسة وتحليلها وتفسيرها وفقاً للمعايير السارية من أجل متابعة التباين الموسمي لمختلف العوامل البكتريولوجية ، تم أخذ العينات خلال موسم الجفاف وموسم الأمطار (الرطب).

كشفت نتائج التحاليل أن مياه عدد كبير من الآبار والينابيع ذات جودة بكتيرية سيئة. تكشف النتائج الإحصائية عن نسبة مختلفة من الآبار والينابيع الملوثة في كل منطقة من مناطق الولاية. يظهر التحليل المقارن للتوزيعات في فترتين من الدراسة أن معدل الآبار والينابيع الملوثة في جميع أنحاء الولاية أعلى خلال فترة الجفاف من الرطب (49 ٪ للآبار وحوالي 53 ٪ للمنايع). قد يكون تلوث المياه الجوفية بسبب سوء حماية هذه الموارد، وتسلسل الجريان السطحي، وعدم وجود قواعد النظافة الأساسية، وتلوث المحيط ونقص المرافق الصحية.

بشكل عام، يتناقص عدد الجراثيم بشكل طفيف في موسم الأمطار. هذا التلوث يشكل بلا شك خطر كبير على صحة السكان الذين يستهلكون هذه المياه.

لتجنب المخاطر الصحية المحتملة ، فقد أوصت السلطات المحلية والسلطات الصحية السكان المعنيون باعتماد تدابير النظافة الشخصية لنقل وتخزين المياه ، بما في ذلك المعالجة بالكلور الدوري لمياه الآبار والرصد الدائم للآبار ومصادر المياه الملوثة بالقرب من نقاط التلوث المحتملة.

الكلمات المفتاحية : المياه الجوفية ، الآبار ، المصادر ، الجودة البكتريولوجية ، التلوث ، المخاطر الصحية ، قسنطينة ، الجزائر.

Abstract

In order to assess the bacteriological quality of wells water and springs intended for human consumption in the wilaya of Constantine, a control was carried out and covered several water samples taken from hundreds of wells and springs belonging to this locality. These wells and springs have been identified by data sheets indicating their coordinates and the nature of the surrounding pollution. The analyzes were carried out on these samples possibly by looking for undesirable germs: total germs, total coliforms, fecal coliforms, fecal streptococci and sulfite-reducing *Clostridium*. The water samples studied were collected, analyzed and interpreted according to the standards in force.

In order to follow the seasonal variation of the different bacteriological parameters, the samples were taken during the dry season and the rainy (wet) season.

The analyzes results revealed that the waters of a large number of wells and springs are of poor bacteriological quality. The statistical results reveal a different rate of wells and polluted springs in each of the dairas of the wilaya. The comparative analysis of the distributions in two periods of study shows that the rate of wells and contaminated springs in the whole of the wilaya is higher during the dry period than wet (49% for the wells and about 53% for the sources).

Contamination of groundwater may be due to poor protection of these resources, infiltration of runoff, lack of basic hygiene rules, surrounding pollution and lack of sanitation.

Overall, the number of sprouts decreases slightly in the wet season. This pollution is undoubtedly a significant danger to the health of the populations consuming these waters. To avoid possible health risks, the adoption of hygiene measures for the transport and storage of water, including the treatment by periodic chlorination of well water was recommended for the population concerned, and a development and permanent monitoring of wells and sources of polluted water near potential pollution points have been recommended for local authorities and health authorities.

Key words: Groundwater, Wells, Sources, Bacteriological quality, Pollution, Health risk, Constantine, Algeria.

P : Puit

S : Source

D/C : Double Concentration.

S/C : Simple Concentration.

EB : Eau de boisson.

H₂S : Le sulfure d'hydrogène.

NPP : Nombre Plus Probable.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

NA : Normes Algériennes

UFC : Unité Formant Colonie.

CO₂ : Dioxyde de carbone.

MTH : Maladie à transmission hydrique.

VHA : Virus de l'hépatite A.

VHE : Virus de l'hépatite E.

ASR: *Clostridium* Sulfito-réducteur.

EC : *Escherichia coli*.

SF : Streptocoques fécaux.

CT : Coliformes totaux.

Glu : Glucose.

Lac : Lactose.

SM : Solution Mère.

BCPL : Bouillon lactose au propre de Bromocrésol.

VF : Viande Foie.

TABLE DES MATIERES

Introduction	1
---------------------------	---

Première Partie : Etudes bibliographiques

Chapitre I : Les ressources en eau	4
1.1. Généralités sur l'eau	4
1.1.1. Usage de l'eau	4
1.1.2. Cycle de l'eau	5
1.2. Ressources naturelles en l'eau	6
1.2.1. Eaux de surface	7
1.2.2. Eaux souterraines	8
1.3. Principales différences entre les eaux souterraines et les eaux de surface.....	12
Chapitre II : La pollution biologique de l'eau	13
2.1. Qualité de l'eau souterraine destinée à la consommation	13
2.1.1. Qualité organoleptique	13
2.1.2. Qualité physico-chimique	13
2.1.3. Qualité bactériologique	16
2.2. Normes de la qualité de l'eau	20
2.2.1. Normes Algérienne	20
2.2.2. Normes OMS	20
2.3. Pollution de l'eau	21
2.4. Sources de pollution	22
2.5. Polluants biologiques	23
2.5.1. Pollution bactérienne	23
2.5.2. Pollution virale	24
2.5.3. Pollution parasitaire.....	24
Chapitre III : Les risques liés à l'eau et son traitement	26
3.1. Mode de contamination de l'eau de boisson	26
3.2. Voies de transmission des agents infectieux	27
3.3. Principaux facteurs des M.T.H en Algérie	27
3.4. Maladies à transmission hydrique	28

3.5. Programme national de lutte contre les M.T.H	32
3.6. Gestion des risques hydriques	32
3.7. Evaluation des risques hydriques d'origine microbiologique	33
3.8. Transferts des polluants dans les eaux souterraines	34
3.9. Traitement des eaux souterraines en Algérie	35

Deuxième Partie : Matériel et Méthodes

1. Cadre de l'étude	37
2. Présentation de la zone d'étude	37
2.1. Situation géographique et administrative	37
2.2. Topographie	38
2.3. Réseau hydrographique	38
2.4. Climat	39
3. Présentation du laboratoire d'hygiène de la Wilaya de Constantine	39
4. Type et période d'étude	40
5. Travail du terrain	40
5.1. Choix de sites de prélèvement	40
5.2. Bonnes pratiques de prélèvement	40
5.3. Techniques de prélèvement	41
5.4. Transport et conservation des échantillons	42
6. Travail du laboratoire	42
6.1. Matériels et Méthodes	42
6.1.1. Recherche et dénombrement des Germes totaux	42
6.1.2. Recherche et dénombrement des Coliformes totaux et des Coliformes fécaux	43
6.1.3. Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux	45
6.1.4. Recherche et dénombrement des <i>Clostridium</i> sulfito-réducteurs	46

Troisième Partie: Résultats et Discussion

1. Résultats des dénombrements des microorganismes	48
1.1. Germes totaux	48
1.2. Coliformes totaux	49
1.3. Coliformes thermotolérants (<i>Escherichia coli</i>)	51
1.4. Streptocoques fécaux	52
1.5. <i>Clostridium</i> sulfito-réducteurs	54

2. Etude de la qualité bactériologique des échantillons d’eaux collectés pendant la période humide de l’année 2019	56
3. Etude de la qualité bactériologique des échantillons d’eaux collectés pendant la période sèche de l’année 2018	58
4. Etude comparative de la qualité bactériologique des échantillons d’eau collectés pendant la période sèche de l’année 2018 et la période humide de l’année 2019	59
Conclusion et Perspectives	63
Références bibliographiques	64
Annexe	

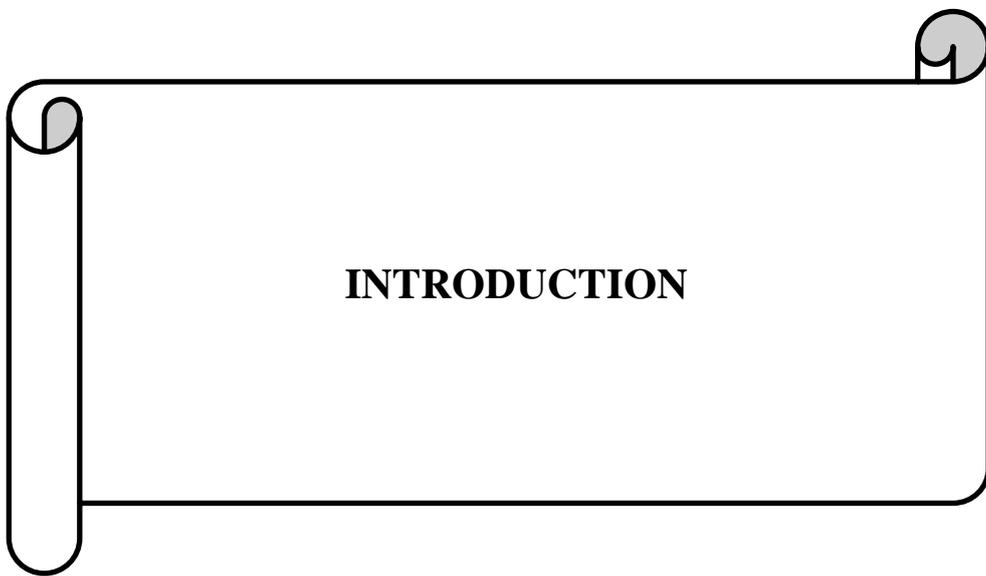
Liste des figures

Figure 01 : Cycle général de l'eau	6
Figure 02 : Présentation des eaux souterraines	10
Figure 03 : Pollution fécale de l'eau en aval de la source.....	21
Figure 04 : Voie Oro-fécale	27
Figure 05 : Schéma simplifié de migration de polluant dans les formations géologiques.....	34
Figure 06 : Situation géographique et administrative de la Wilaya de Constantine	37
Figure 07 : Carte du relief de la wilaya de Constantine	38
Figure 08 : Variation des Germes totaux dans les différents puits	48
Figure 09 : Variation des Germes totaux dans les différentes sources	49
Figure 10 : Variation des Coliformes totaux dans les différents puits	50
Figure 11 : Variation des Germes totaux dans les différentes sources	50
Figure 12 : Variation des Germes d' <i>E.coli</i> dans les différents puits.....	51
Figure 13 : Variation des Germes d' <i>E.coli</i> dans les différentes sources.....	52
Figure 14 : Variation des Streptocoques fécaux dans les différents puits.....	53
Figure 15 : Variation des Streptocoques fécaux dans les différentes sources.....	53
Figure 16 : Variation des <i>Clostridium</i> sulfito-réducteurs dans les différents puits.....	54
Figure 17 : Qualité bactériologique de l'ensemble des échantillons d'eau collectés	56
Figure 18 : Qualité bactériologique des eaux de puits selon chaque daïras pendant la période pluvieuse de l'année 2019 pendant la période pluvieuse de l'année 2019.....	57
Figure 19 : Qualité bactériologique des eaux de sources selon chaque daïras pendant la période pluvieuse de l'année 2019	57
Figure 20 : Qualité bactériologique de l'ensemble des échantillons d'eau collectés pendant la période pluvieuse de l'année 2019	58
Figure 21 : Qualité bactériologique des eaux de puits selon chaque daïras pendant la période sèche de l'année 2018	58

Figure 22 : Qualité bactériologique des eaux de sources selon chaque daïras pendant la période sèche de l'année 2018	59
Figure 23 : Taux des puits pollués dans chaque daïra de la wilaya de Constantine.....	60
Figure 24 : Taux des sources polluées dans chaque daïra de la wilaya de Constantine.....	60
Figure 25 : Taux des puits et des sources pollués dans l'ensemble de la wilaya de Constantine	61

Liste des tableaux

Tableau 1 : Paramètres physique déterminants la qualité de l'eau de consommation.....	14
Tableau 2 : Substances chimique déterminants la qualité de l'eau de consommation	15
Tableau 3 : Durée de résistance de quelques microorganismes dans le milieu extérieur	26
Tableau 4 : Les bactéries pathogènes responsables des maladies d'origine hydrique.....	29
Tableau 5 : Les virus à l'origine des maladies hydriques	30
Tableau 6 : Les parasites responsables des maladies d'origine hydrique	31
Tableau 7 : Mécanisme de transfert des polluants dans les eaux souterraines	35
Tableau 8 : Localisation et nombre d'échantillons en période humide	40
Tableau 9 : Localisation et nombre d'échantillons en période sèche	40



INTRODUCTION

Au même titre que l'air, l'eau est un élément naturel, d'une importance primordiale à la vie biologique, à commencer par l'unité fondamentale de l'être vivant. Sans cette matière simple et complexe en même temps, la vie sur Terre n'aurait jamais existé. Cette ressource précieuse et indispensable à toutes formes de vie, composante majeure du monde minéral et organique, est impliquée dans de nombreuses fonctions physiologiques essentielles telles que la digestion et l'absorption, la thermorégulation, et l'élimination des déchets. Elle participe notamment à toutes les activités humaines quotidiennes, domestiques, industrielles et agricoles. De ce fait, l'eau est un élément noble qu'on doit protéger pour les générations futures [1].

Or, dans la nature, l'eau n'est pas toujours source de vie, elle peut véhiculer, directement ou indirectement, de nombreux microorganismes de tout genre qui y vivent et s'y développent [2]. Ainsi, l'eau peut contenir une multitude de composants chimiques d'origine naturelle ou anthropique. Donc, une eau destinée à la consommation humaine est potable lorsqu'elle est exempte d'éléments chimiques (substances toxiques, matières minérales et organiques en excès) et biologiques (germes pathogènes) susceptibles de provoquer des maladies à transmission hydrique, à plus ou moins long terme [3].

De nos jours, 1 habitant sur 10 est toujours privé d'accès à l'eau potable, avec de forte disparité entre les régions et les pays du monde. 1 habitant sur 4 consomme de l'eau contaminée, 1 habitant sur 3 ne dispose pas d'un assainissement approprié ce qui provoque un enjeu majeur de santé publique [4]. D'après l'OMS (2005), chaque année 1,8 millions de personnes dont 90% d'enfants de moins de cinq ans, vivant pour la plupart dans les pays en développement meurent de maladies diarrhéiques (y compris du choléra); 88% des maladies diarrhéiques sont imputables à la mauvaise qualité de l'eau, à un assainissement insuffisant et à une hygiène défectueuse [5].

Donc, la bonne qualité organoleptique, physicochimique et microbiologique de l'eau est un facteur déterminant pour la prévention des maladies d'origine hydrique et la protection de santé publique. Dans cet objectif, et au cours du temps, des règles protectrices ont été inventées. La majorité de ces règles ont été appropriée dans les réglementations sanitaires et s'utilisent spécialement en deux étapes qui sont les risques microbiologiques et les risques chimiques [6].

Les ressources en eau proviennent principalement des eaux de surface et des eaux

souterraines renouvelables et non renouvelables. En Algérie, les eaux de surface sont les principales sources pour notre approvisionnement en eau potable, mais de plus en plus l'individu se tourne vers les nappes phréatiques qui renferment un volume énorme d'eau exploitable [7].

Les eaux souterraines représentent environ 97 % du total des eaux douces continentales liquides [8]. D'après Merzoug et al. (2010), 75 à 90% de la population mondiale utilisent une eau d'origine souterraine [9]. Dans notre pays, elles constituent une part importante du patrimoine hydraulique et sont traditionnellement les ressources en eau privilégiées pour l'eau potable du fait de son exploitation relativement facile et qu'elles sont à l'abri des polluants que les eaux de surface. D'autre part, certaines régions Algérienne se révèlent incapables de fournir en quantité suffisante de l'eau potable et des équipements d'hygiène et ainsi, l'eau est menacée dans sa qualité et sa quantité. La population en réaction à la pénurie d'eau a eu recours à l'utilisation des puits et des sources dont la qualité est préoccupante [10]. Si ces ouvrages ont l'avantage de résoudre les problèmes de la disponibilité de l'eau, la qualité de cette denrée n'est pas toujours garantie.

Cependant, Ces ressources qui sont sous la dépendance d'un ensemble de facteurs naturels et anthropiques subissent des contraintes quotidiennes, qui entraînent une détérioration de leur qualité hygiénique. Le mécanisme de cette pollution des eaux souterraines est souvent un processus évolutif dans l'espace et dans le temps et il est difficilement maîtrisable [10].

Le traitement d'une eau souterraine contaminée peut s'avérer long et coûteux, voire impossible dans certains cas. C'est pourquoi il est impérieux de la protéger adéquatement afin de minimiser les risques de contamination qui la menacent [10].

Dans la Wilaya de Constantine, objet de notre étude, les eaux souterraines ont toujours été une source incontournable d'approvisionnement en eau potable. Vue cette importance majeure, Le présent travail s'intéresse et contribue à l'étude et à l'évaluation de la qualité bactériologique de l'eau de certains puits et sources, situés dans certaines régions de Constantine, Est de l'Algérie, afin de mesurer les risques sanitaires auxquels sont exposées les personnes qui les utilisent pour leurs besoins.

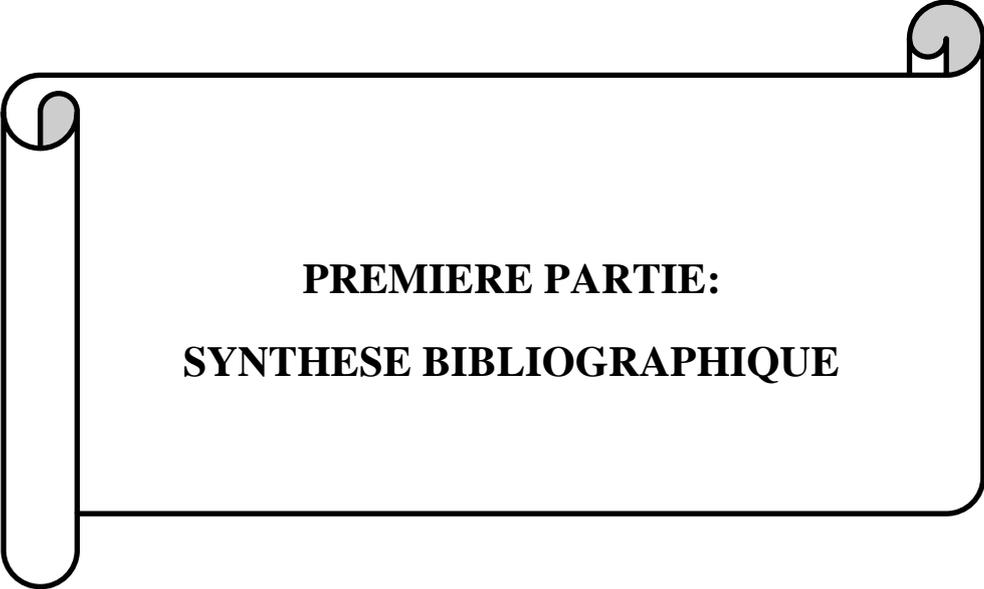
Nous avons structuré notre démarche en trois parties interdépendantes :

- Après l'introduction, une première partie théorique consacrée d'une part aux

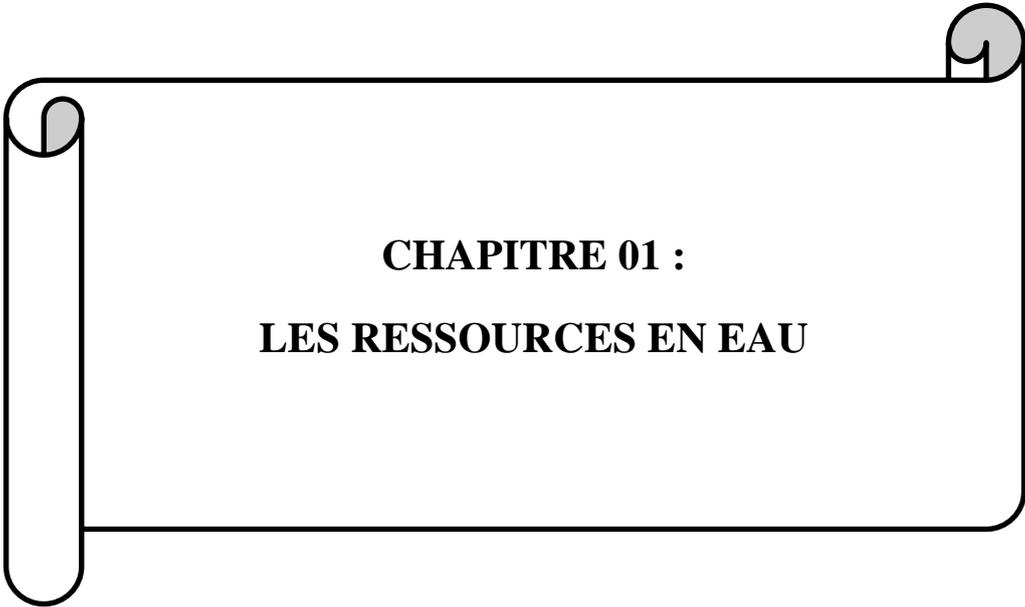
généralités sur l'eau et leurs caractéristiques selon l'OMS et les normes Algériennes et d'autre part à la pollution de l'eau, les risques qui leur sont liés et son traitement.

- Une deuxième partie réservée à la présentation de la zone d'étude, du matériel et des méthodes analytiques mis en œuvre dans ce travail.
- Une troisième partie porte sur la discussion des résultats obtenus lors de la recherche ainsi que leur interprétation, suivie par une conclusion générale et des perspectives.

Ce travail de mémoire intitulé «Contribution à l'étude et l'évaluation de la qualité microbiologique des eaux souterraines : Puits et Sources, dans la ville de Constantine» viendra compléter des études déjà faites sur le sujet. Tout au long de ce mémoire nous chercherons à répondre questions fondamentales suivantes : l'eau souterraine de la wilaya de Constantine connaît- elle une pollution microbiologique ? La mauvaise conception et la gestion des équipements hydrauliques et d'assainissements constituent-elles une source de pollution de l'eau souterraine ? La contamination des nappes souterraines est-elle différente d'une daïra de la wilaya à une autre ? Cette contamination est-elle plus importante au cours de la saison sèche ou humide ?



**PREMIERE PARTIE:
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE**



CHAPITRE 01 :
LES RESSOURCES EN EAU

1. Généralités

L'eau, du latin *aqua*, est un corps chimique, incolore, inodore, insipide, généralement neutre et liquide à température ordinaire. Chaque molécule d'eau est composée d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène (H₂O). L'eau est un élément constitutif du milieu naturel dans l'écosystème, c'est également un élément indispensable à toute forme de vie sur notre planète [11].

L'eau a des propriétés physico-chimiques assez remarquables par rapport aux autres liquides, car c'est un excellent solvant, elle solubilise de nombreux gaz, corps minéraux et organiques, ionise les électrolytes et disperse les colloïdes [12].

L'eau se retrouve dans l'écosphère sous trois états : solide, liquide et gazeux dépendant des conditions particulières de température et de pression [12]. Ainsi vue de l'espace, la terre apparaît bleue car les océans recouvrant près des trois quarts de la surface terrestre (70 %) [13].

Cependant, la majeure partie de l'eau (environ 97 %) est contenue dans les océans et est salée, ce qui la rend inutilisable pour l'homme, l'eau douce n'en représente que 2,6 %. La moitié de cette eau douce représente l'eau disponible pour l'usage humain avec seulement 0,3 % du volume d'eau de la planète [14].

1.1. Usage de l'eau

❖ Usage domestique

Il comprend les prélèvements d'eau de consommation personnelle, ceux des établissements commerciaux, services publics et autres usages municipaux. Il peut inclure des données de prélèvements d'usines raccordées au système d'égout [15].

Selon Defrance Schki (1996), un habitant consomme 230 L par jour, n'en utilise que seulement 1 % pour la boisson et 6 % pour la préparation de la nourriture, les 93 % restant sont consacrés aux bains-douches : (39 %) aux sanitaires, (20 %) au lavage le linge, (12 %) de la vaisselle, (10 %) à des usages domestiques divers, (6 %) aux lavage des voitures et arrosage du jardin [16].

❖ Usage industriel

L'industrie est consommatrice d'eau, ses prélèvements concernent les usines non raccordées au système d'égout municipal [17]. Elle peut être utilisée dans l'entretien (lavage, nettoyage), dans le transport hydraulique, dans les fluides du système de refroidissement utilisé par des usines. Dans la production d'aliments, de substances primaires dans l'industrie de production, ou de solvants et milieux réactionnels dans l'industrie chimique par exemple [18].

❖ Usage agricole

L'agriculture est la principale consommatrice d'eau. Les prélèvements incluent l'irrigation et l'élevage du bétail [19]. D'après Shiklomanov (1999) et Marsily (2006), ces prélèvements sont peu importants dans les pays tempérés (13 % du total en France). Mais plus le climat est sec, plus l'agriculture doit avoir recours à l'irrigation et plus sa part dans les prélèvements augmente. Des valeurs de l'ordre de 90 % sont fréquentes dans les pays arides [20].

1.2. Cycle de l'eau

➤ Cycle naturel

La connaissance de l'origine de l'eau, de son cycle, de sa dynamique dans la nature de sa répartition dans l'espace et dans le temps est une donnée fondamentale [21].

Ce circuit hydrologique est en perpétuel mouvement entre la terre et l'atmosphère. Sous l'effet du soleil, l'eau s'évapore dans l'atmosphère à partir des mers, des océans, des rivières, des lacs et des végétaux (par évapotranspiration) en de fines gouttelettes. Dans le ciel, ces dernières se condensent sous formes de nuages qui, poussées par le vent, rencontrent des masses d'air froid et retombent sous forme de précipitations pluvieuses ou neigeuses [22].

L'eau qui ruisselle parvient directement au cours d'eau ou s'infiltré dans le sol et rejoint les nappes souterraines. Elle traverse des couches de plus en plus profondes du sol et va abandonner dans son cheminement la quasi-totalité des impuretés dont elle s'était chargée. Les eaux souterraines circulent, une partie se jetant directement dans la mer et le reste venant alimenter les rivières à leur source [23].

En plus, l'eau peut revenir directement à sa phase liquide dans l'atmosphère par la

transpiration des végétaux qui éliminent ainsi une partie de l'eau contenue dans le sol et conservent une partie de l'eau de pluie dans leur feuillage [24].

La durée des diverses phases de ce cycle sont souvent méconnues, elles atteignent quelques jours entre l'océan et la pluie, quelques heures à quelques mois entre la pluie et la nappe (recharge), plusieurs années ou millénaires entre la nappe et la source ou le puits [25].

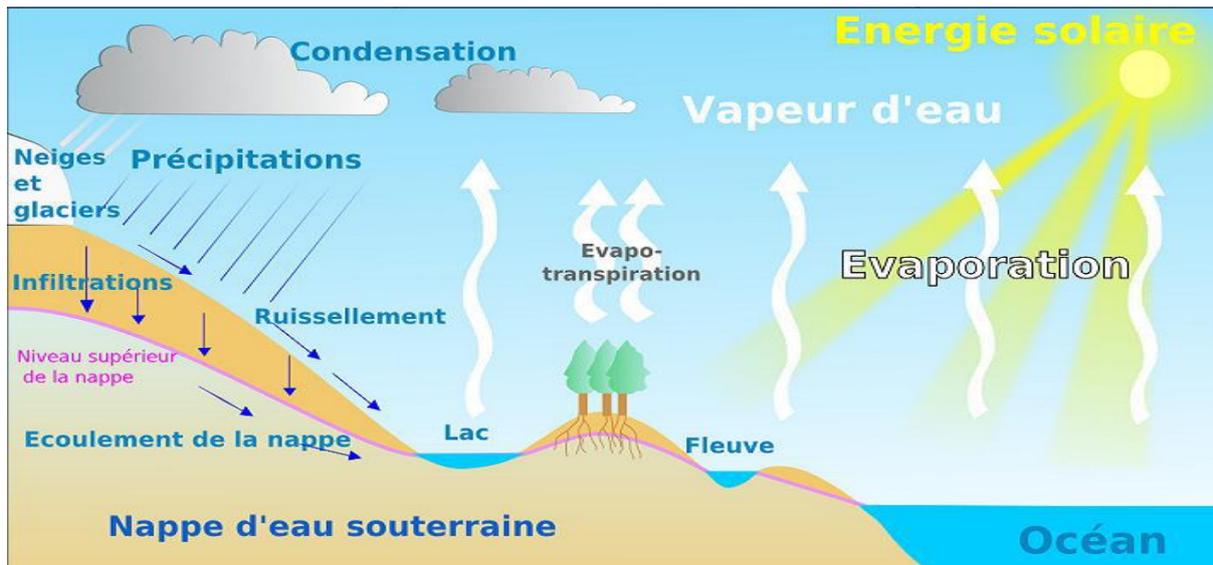


Figure 01 : Cycle général de l'eau [26].

➤ Cycle de l'eau de consommation

A partir d'un cours d'eau ou d'une nappe d'eau souterraine, l'eau brute est prélevée et acheminée vers les usines de production d'eau potable pour subir divers traitements physiques, chimiques et biologique afin qu'elle devienne potable.

Ce cycle comporte cinq grandes étapes : le captage, le transport, la production d'eau potable, la distribution et en fin la collecte [27].

2. Les ressources naturelles en eau

La notion « ressources en eau » désigne les eaux liquides entrant dans le cycle hydrologique et accessibles aux usages humains. En effet, il existe quatre sources principales d'eaux brutes : les eaux de pluie, les eaux de mer, les eaux de surface et les eaux souterraines. Chacune de ces sources, possède des caractéristiques générales reflétant l'interaction de l'eau avec le milieu environnant [28].

Pour satisfaire ses propres besoins et permettre l'usage de l'eau dans ses diverses activités industrielles et agricoles, l'homme à recours généralement à deux types de ressources naturelles :

- ✓ Les eaux superficielles ou de surface.
- ✓ Les eaux souterraines.

2.1. Les eaux de surface

Elles comprennent toutes les eaux provenant d'un mélange d'écoulements souterrains et des eaux de pluie qui coulent ou qui demeurent à la surface du sol. Ces eaux englobent les eaux des grands cours d'eau, des lacs, des étangs et des petits ruisseaux alimentés par des sources et qui captent les eaux de ruissèlement (fleuves, rivières, barrages, mares, marigots) [29].

Elles sont caractérisées par une surface d'échange eau-atmosphère quasiment immobile, une profondeur qui peut être importante et un temps de séjour appréciable. Elles sont fréquemment utilisées dans les régions à forte densité de populations ou très industrialisées [30].

Leur composition chimique dépend de la nature des terrains traversés par l'eau durant son parcours dans l'ensemble des bassins versants. Au cours de son cheminement, l'eau dissout les différents éléments constitutifs des terrains. Par échange à la surface eau-atmosphère, et de l'activité métabolique des organismes aquatiques qui y vivent, l'eau va se charger en gaz dissous (O_2 , N_2 , CO_2). La qualité des eaux de surface varie selon les régions et les périodes de l'année [26].

Cette ressource facilement accessible, a une forte teneur en matières organiques, en débris d'origines végétale ou animale et en microorganismes pathogènes qui font plus objets des pollutions physico-chimiques et microbiennes. La pollution organique souvent due à un phénomène naturel : l'eutrophisation. En effet, les eaux de surface assurent un développement important de zooplancton et de phytoplancton qui se multiplie par photosynthèse en utilisant les sels minéraux dissous. Certains de ces organismes peuvent sécréter des produits sapides et odorants ou des toxines [2].

De ce fait, les eaux de surface s'avèrent souvent impropres à la consommation sans traitement. Ce dernier, passe par de multiples étapes afin de rendre l'eau consommable.

2.2. Les eaux souterraines

Ce sont les eaux qui circulent sous le niveau du sol et qui remplissent les fractures du socle rocheux ou les pores présents dans les milieux granulaires tels que les sables et les graviers. Elles proviennent de l'infiltration lente d'environ 20 % des eaux de précipitation, à travers le sol, jusqu'aux couches imperméables où elles s'accumulent en nappes plus ou moins importantes et profondes. La pénétration et la rétention de ces eaux dans le sol dépendent des caractéristiques des terrains en cause et notamment de leur structure [31].

L'eau souterraine est d'une composition plus stable que celle des eaux de surface. Sa composition chimique est déterminée par la nature géologique du terrain, puisque l'eau est en contact continu avec le sol dans lequel elle stagne ou circule [32].

Les eaux souterraines ont, pendant longtemps, été synonymes « d'eaux propres » répondant naturellement aux normes de potabilité. Ces eaux sont en effet moins sensibles aux pollutions accidentelles. Lorsqu'une nappe souterraine est polluée, il est très difficile de récupérer sa pureté originelle. En fait, les polluants ayant contaminé la nappe sont non seulement présents dans l'eau, mais également adsorbés par les roches et minéraux du sous-sol [32].

L'eau circule dans les pores et les fissures des roches ; on parle alors de roches réservoirs ou d'aquifères. Les aquifères sont composés de deux parties :

- Une « zone non saturée » : l'eau ne remplit pas l'intégralité des pores et se trouve en mouvement permanent, vers la surface (la capillarité fait remonter l'eau vers la terre végétale comme un buvard), et vers les profondeurs pour recharger ensuite la zone saturée. [33].

- Une « zone saturée » qui renferme la nappe. L'eau pénètre tous les pores et s'écoule dans le sous-sol sur la couche imperméable, en suivant la topographie sur plusieurs dizaines voire centaines de kilomètres. L'eau souterraine peut resurgir à la surface du sol en formant une source à l'origine d'un cours d'eau. La perméabilité et la porosité de la zone saturée expriment ses propriétés hydrodynamiques [34].

2.2.1. Les nappes de l'eau

Le mot « nappe » désigne simplement une couche de sol contenant de l'eau. C'est un gisement d'eau souterraine utilisable comme source d'eau [23].

Les nappes d'eau souterraine sont de l'eau contenue dans les pores ou les fissures des roches qui sont saturées principalement durant la période hivernale, car les précipitations sont les plus importantes, l'évaporation est faible et la végétation est peu active, elle ne prélève pratiquement pas d'eau dans le sol [23].

Il existe différents types de nappes d'eau souterraine qui diffèrent par leur taille et leurs profondeurs. Selon l'OMS, la porosité et la structure du sol déterminent le type de nappe et le mode de circulation souterraine [35]. De ce fait on distingue : Les nappes profondes, les nappes phréatiques, les nappes karstiques, les nappes alluviales.

Les eaux potables d'origine souterraines proviennent de deux sources essentielles: Les nappes profondes et les nappes phréatiques (figure 02).

➤ Les eaux des nappes profondes

Elles sont situées à quelques centaines de mètres de profondeur et reposent sur des couches d'argile imperméables, profondes, l'eau de pluie est ainsi filtrée à travers plusieurs couches de terre avant de constituer la nappe, par contre, elles sont beaucoup plus accessibles aux souillures chimiques telles que les nitrates, les hydrocarbures, etc. En dépit de ce danger, les eaux profondes lorsqu'elles sont potables, sont idéales pour la consommation humaine [36]. Elles peuvent être de deux types :

a)- Une nappe libre : Communique directement avec la surface, sa recharge provient directement de l'infiltration verticale à partir de la surface du sol. Elle est alors alimentée directement par l'infiltration des eaux de ruissellement [37]. Les eaux de cette nappe ne sont pas maintenues sous pression par un toit moins perméable que la formation qui la contient [45]. Le niveau de cette nappe fluctue en fonction de la quantité d'eau retenue.

b)- Une nappe captive : Elle est emprisonnée entre deux couches de terrains imperméables et alors séparée de la surface du sol. Sa recharge s'effectue latéralement dans des espaces où la nappe devient libre ou au contact de matériaux semi-perméables et non pas directement par le sol [38]. Elle se situe à des grandes profondeurs et par conséquent est peu sensible aux

pollutions [39].

Dans les déserts, ces nappes sont fossiles (eau restée dans un aquifère depuis des millénaires). Elles ne reçoivent plus d'alimentation et sont alors des mines d'eau épuisables non renouvelées [40].

➤ Les eaux des nappes phréatiques

Reposent non loin du sol (quelques dizaines de mètres) et sont peu protégées, donc largement soumises aux pollutions microbiennes et chimiques. Elles constituent les plus grandes réserves d'eau potable dans la plupart des régions du monde.

Dans une nappe phréatique, l'eau trouve parfois une sortie et devient alors une source qui affleure à la surface du sol. En outre, l'eau peut être captée au moyen de puits [41].

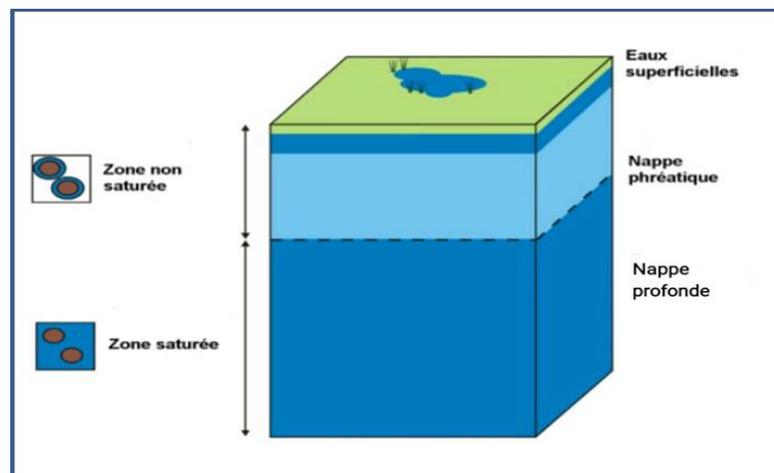


Figure 02 : Présentation des eaux souterraines [42].

2.2.2. Captage des eaux souterraines

Les eaux souterraines sont généralement captées soit par des puits, des sources, des drains ou des galeries d'infiltration [23].

2.2.2.1. Les eaux de source

Une eau de source est une eau d'origine souterraine, microbiologiquement saine et protégée contre les risques de pollution. Elles sont plus rencontrées dans les régions montagneuses. Contrairement aux eaux minérales naturelles, leur composition n'est pas systématiquement stable [43]. A l'émergence et au cours de la commercialisation, elle respecte ou satisfait les mêmes limites ou références de qualité, portant sur des paramètres

microbiologiques et physico-chimiques, définies pour les eaux de la distribution publique. Une eau de source est exploitée par une ou plusieurs émergences naturelles ou forées. Les eaux de source ne peuvent faire l'objet que de traitements ou adjonctions autorisés par arrêtés ministériels [44].

L'exutoire naturel est le plus souvent utilisé afin de saisir l'eau à la sortie de la formation et non pas loin de l'ouvrage en un point où l'eau aura traversé des terrains susceptibles de la polluer [45].

2.2.2.2 Les eaux de puits

Un puits à eau peut être défini comme étant un ouvrage de captage vertical permettant l'exploitation de l'eau d'une nappe souterraine (nappe phréatique). Généralement, les puits ont une profondeur plus ou moins faible (inférieur à 100 m). Les puits, jadis creusés à la main, à l'aide de pics, par des puisatiers, notamment dans les roches consolidées (craie, grès, partie superficielle altérée des granites), sont à peu près tombés en désuétude [46]. L'eau peut être remontée au niveau du sol soit de façon très simple grâce à un récipient (seau par exemple) soit plus facilement grâce à une pompe, manuelle ou motorisée [25].

Malgré qu'elle puisse avoir une apparence claire et limpide sans odeur ou saveur particulière l'eau de puit peut contenir des éléments pouvant avoir des effets indésirables sur la santé, par exemple des microorganismes et des nitrates et nitrites [47].

Il y'a deux moment idéals pour effectuer l'analyse des puits : la première devrait être effectuée au printemps, après la fonte des neiges, puisque c'est l'un des moments où le risque de contamination est le plus élevé. La deuxième devrait être effectuée à l'automne, lors des fortes pluies, car la possibilité d'une contamination, due à l'infiltration des eaux de surfaces, est plus grandes à cette période [48].

- **Types de puits**

Différents types de puits existent, ils se distinguent selon leur manière de creusement, leur profondeur, leur volume d'eau et leur pureté [48].

- **Puits ordinaires** : Ils sont généralement individuels ou semi collectif, fréquemment réalisés dans les zones rurales, ces puits, où la nappe phréatique se trouve à moins de 20 mètres du niveau du sol avec un diamètre de 1 à 2,5 mètres environ, sont creusés

manuellement à l'aide du matériel d'excavation [49].

- **Puits de surface :** C'est un ouvrage dont le diamètre intérieur est généralement supérieur à 60 cm et qui a une profondeur plus de 9 m. Compte tenu de cette faible profondeur, ils sont plus facilement vulnérables à la pollution et à l'assèchement contrairement aux autres puits, puisqu'il exploite la portion supérieure de la nappe phréatique [23].

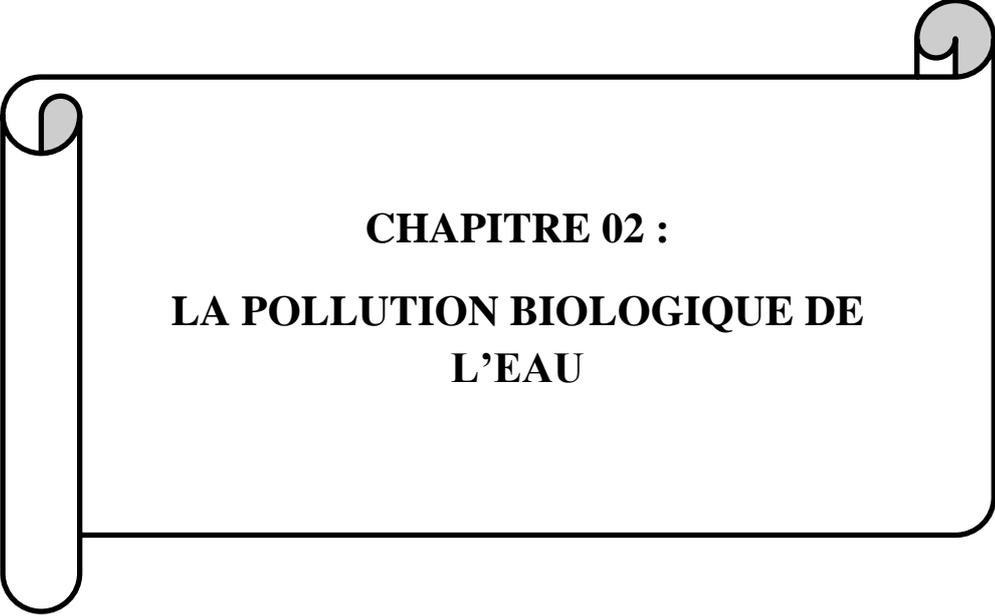
- **Puits foncés ou puits tubulaire :** C'est un ouvrage de petit diamètre (152 mm), de grande profondeur [50]. Ils sont réalisés par enfoncement par un mouvement de va-et-vient vertical d'un tube perforé à bout pointu dans une terre friable. Pour protéger le puits de l'infiltration des particules, la partie inférieure de la conduite est équipée d'un filtre ou d'une crépine. Ils sont exposés aussi à la contamination et à l'assèchement [23].

- **Puits artésien:** Ils sont réalisés par perforation d'une couche de sol ou de roc imperméable afin d'accéder à une nappe d'eau sous pression nommée la nappe artésienne. Cette dernière, est généralement située à plus de 100 pieds de profondeur. Le puit artésien est habituellement fiable et stable toute l'année et est préférable parce qu'il est moins vulnérable à la contamination bactérienne que le puits de surface [51].

- **Puits d'infiltration :** Ils sont essentiellement utilisés pour les eaux de toitures. Ils peuvent garantir une protection de la qualité des eaux souterraines en cas de pollution [52].

3. Principales différence entre les eaux souterraines et les eaux de surface

Le tableau ci-dessous (annexe 01) indique les éléments caractéristiques des eaux de surface par rapport aux eaux souterraines [53].



CHAPITRE 02 :
LA POLLUTION BIOLOGIQUE DE
L'EAU

1. Qualité des eaux souterraines destinées à la consommation

Étant donné que les eaux souterraines sont généralement pures sur le plan bactériologique [54], elles constituent une meilleure solution que les eaux de surface en termes de génie sanitaire [55]. Dans la réalité, la qualité naturelle de l'eau souterraine ne concerne pas seulement les aspects sanitaires et techniques de l'eau potable. Il faut se souvenir en particulier que l'eau des nappes alimente les rivières et que, par conséquent, certaines propriétés chimiques et microbiologiques des eaux souterraines peuvent avoir des incidences sur la vie aquatique [25]. Donc les qualités requises sont d'ordre bactériologique et physico-chimique.

1.1. Qualité organoleptique

Tout d'abord, les paramètres organoleptiques sont liés à la couleur, à la saveur, à l'odeur et à la turbidité de l'eau. En résumé, afin d'obtenir une qualité organoleptique, l'eau doit être agréable à boire, claire, fraîche et sans odeur. C'est d'ailleurs principalement pour ces aspects que le consommateur apprécie la qualité d'une eau. Néanmoins, il faut tout de même noter que ce sont des paramètres de confort. En effet, ces critères n'ont pas de valeur sanitaire directe. Une eau peut être trouble, colorée ou avoir une odeur particulière et néanmoins être consommable [56]. Donc, les facteurs organoleptiques (couleur, saveur, turbidité et odeur) constituent souvent les facteurs d'alerte pour une pollution sans présenter à coup sûr un risque pour la santé.

1.2. Qualité physico-chimique

➤ Qualité physique

Elle se base sur des paramètres qualitatifs relativement faciles à déterminer et qui joue un rôle déterminant pour la consommation d'une eau donnée [57]. Ces paramètres sont résumés dans le tableau 01.

Tableau 01 : Paramètres physique déterminants la qualité de l'eau de consommation.
[58, 59,60]

Température	Joue un rôle dans la solubilité des sels et des gaz, dans la dissociation des sels dissous et donc sur la conductibilité électrique et le pH. Elle Influence la multiplication et le métabolisme des microorganismes. Trop élevée, favorise la croissance des microorganismes. Elle peut accentuer le goût, l'odeur et la couleur. Inférieure à 10°C, elle ralentit les réactions chimiques dans les différents traitements des eaux. Influence la solubilité de l'oxygène du milieu récepteur, donc son pouvoir auto épurateur.
Potentiel hydrogène (pH)	Il conditionne les équilibres physicochimiques, en particulier l'équilibre calco-carbonique et donc l'action de l'eau sur les carbonates. Le pH est acide dans les eaux des aquifères sableux ou granitiques. Il est alcalin dans les aquifères calcaires.
Conductivité électrique	Elle détermine la teneur globale des minéraux présent dans une solution. Elle est basse dans les eaux douces et élevée dans les eaux dures. Elle est en fonction de la température de l'eau et proportionnelle à la minéralisation.
Turbidité	Elle traduit la présence de particules non dissoutes dans l'eau (débris organiques, microorganismes, etc) .Il est important de connaître la teneur de la turbidité lorsqu'on envisage de traiter l'eau car elle facilite le développement des germes indicateurs de contamination, réduit l'efficacité des désinfectants et accroît la consommation de chlore tout en diminuant son efficacité. Elle est très faible dans les eaux souterraines.
L'oxygène dissous	Un des paramètres particulièrement utile pour l'eau et constitue un excellent indicateur de sa qualité. C'est l'un des paramètres les plus sensibles à la pollution. Sa valeur renseigne sur le degré de pollution.
Matière en suspension (MES)	Limitent la pénétration de la lumière dans l'eau, réduisent la teneur en oxygène dissous et nuisent au développement de la vie aquatique. Pour une eau qui contient des matières en suspensions à des teneurs de quelques milligrammes par litre, ne pose pas de problèmes majeurs.

➤ Qualité chimique

Les différents paramètres chimiques sont représentés dans le tableau 02.

Tableau 02 : Substances chimique déterminants la qualité de l'eau de consommation
[18, 61,45].

substances chimiques dites indispensables	
Potassium (K⁺)	À faibles doses, il ne présente pas de risque significatif. Mais son excès dans le corps humain provoque une hyperkaliémie.
Calcium (Ca⁺²)	Extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Sa présence dans les eaux des nappes est liée principalement à la dissolution des formations carbonatées (CaCO ₃) et aux formations gypseuses (CaSO ₄). C'est généralement l'élément dominant des eaux potables.
Magnésium (Mg⁺²)	Son abondance géologique, sa grande solubilité, sa large utilisation industrielle, font que les teneurs dans l'eau peuvent être importantes. Il donne un goût désagréable à l'eau.
Chlorure (Cl)	Les teneurs en chlorure dans l'eau sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés. Sa surcharge dans l'eau peut être à l'origine d'une saveur désagréable.
Sodium (Na⁺)	Le sodium dans l'eau provient des formations géologiques. Il est nécessaire à l'homme pour maintenir l'équilibre hydrique de l'organisme. Les eaux trop chargées en sodium deviennent saumâtres et prennent un goût désagréable.
Sulfates (SO₄)	Les sulfates contenus dans l'eau souterraine sont fournis par la dissolution des roches, de l'oxydation des sulfures (des matières organiques d'origine animale).
Les substances chimiques dites indésirable	
Nitrates (NO⁻³)	Les nitrates sont des ions minéraux nutritifs solubles dans l'eau. Leur existence à des doses inférieures à la norme dans l'eau donne une saveur agréable en laissant une sensation de fraîcheur.
Nitrites (NO⁻²)	Ils peuvent être rencontrés dans les eaux généralement à des doses faibles. Une eau renfermant une quantité élevée des nitrites est considérée chimiquement impure.
Fer (Fe⁺²)	Le fer est un élément assez abondant dans les roches sous différentes formes. Ce fer dissous précipite en milieu oxydant, en particulier au niveau des sources et à la sortie des conduites. La présence de fer dans l'eau peut favoriser la prolifération de certaines bactéries qui précipitent le fer où corrodent les canalisations.
Les éléments en traces	
Plomb (Pb)	Il est rencontré en quantité très négligeable dans l'eau naturelle et ne dépasse pas quelques dizaine de microgramme par litre car c'est un élément très toxique pour l'homme, est responsable des altérations de la fertilité.

1.3. Qualité bactériologique

C'est le paramètre le plus important de la qualité de l'eau potable. Elle se mesure par la présence d'organismes indicateurs de pollution fécale: Germes totaux et Coliformes, qui vivent normalement dans les intestins humains et animaux et représentent ainsi un risque épidémiologique potentiel. Le contrôle bactériologique réalisé dans ce contexte, porte sur la quantification des germes indicateurs de contamination fécale dont trois indicateurs sont à noter : Coliformes totaux, coliformes fécaux et les Streptocoques fécaux. D'autres indicateurs non spécifiques sont utilisés comme complémentaire : Germes totaux et Clostridium sulfitoréducteurs [23].

1.3.1. Nature des bactéries présentes dans l'eau

Quelle que soit son origine, l'eau n'est jamais stérile, une eau pure n'existe pas ; elle contient naturellement une flore bactérienne plus ou moins variée et abondante qui la spécifie [23].

- **Les bactéries autochtones (originaires)**

Ces bactéries peuvent se multiplier dans les nappes souterraines ou dans les réseaux car elles n'exigent que peu ou pas du tout de matière organique (oligotrophes ; autotrophes) contrairement aux microorganismes pathogènes qui peuvent venir contaminer l'eau et qui ne peuvent subsister que transitoirement. Parmi les bactéries autochtones que l'on trouve dans l'eau, les communes sont : les bactéries oxydant le soufre, bactérie ferriques, bactéries spiralées, certaines espèces pigmentées ou non pigmentées et quelques formes sporulées. Dans certaines conditions favorables, elles peuvent produire des altérations [23].

- **Les bactéries ferrugineuses**

Les bactéries ferrugineuses interviennent dans le processus d'oxydation des ions ferreux en ions ferriques. On en distingue trois groupes : les bactéries filamenteuses du groupe *Sphaerotilus-Leptothrix* (les plus fréquemment rencontrées et largement décrites), les bactéries pédonculées du genre *Gallionella* et aussi certains membres du groupe *Thiobacillus*.

Les eaux distribuées dans les canalisations en renferment fréquemment. Dans les conduites, la stagnation de l'eau permet un développement anormale de ces bactéries qui, en éliminant l'oxygène du milieu, créent une atmosphère anaérobie entraînant la putréfaction des

matières organiques, l'apparition d'odeurs et de goûts nauséabonds [23].

Les ferro-bactéries (*Leptothrix*, *Gallionella* et *Crenothrix*) existent déjà en grande abondance dans les eaux avant que celles-ci ne pénètrent dans les canalisations. Il suffit pour s'en convaincre d'examiner de nombreux captages ou forages : les échantillons d'eau en contiennent fréquemment, sans avoir été en contact avec des métaux ferreux. Elles trouvent dans les canalisations les conditions favorables à leur développement. Grâce aux composés du fer, elles s'accumulent aux endroits de contre pente, aux vannes, aux coudes et partout où un ralentissement du courant permet leur sédimentation [2].

- **Les bactéries sulfitoréductrices**

Elles sont les agents biologiques majeurs du processus naturel de réduction du soufre. Elles sont bien connues en raison des phénomènes de corrosion des métaux ferreux dont elles sont responsables. Germes ubiquitaires rencontrés pratiquement toujours dans le sol, les eaux douces, les eaux salées et le tube digestif de l'Homme et des animaux [2].

II.1.3.2. Flore pathogène

- **Critères de choix des coliformes comme indicateurs de pollution**

Les bactéries du groupe « coliformes thermotolérants » ou « coliformes fécaux » sont choisies comme bactéries de référence. L'utilité et la fidélité de ce paramètre comme indicateur de pollution par de la matière fécale sont dues aux facteurs suivants:

- Ils sont trouvés dans les excréments des animaux à sang chaud, y compris des humains;
- Ils sont facilement détectables et quantifiables par des techniques de laboratoire relativement simples et économiquement viables, sur n'importe quel type d'eau;
- Si des bactéries pathogènes d'origine intestinale sont présentes, il y a également des coliformes, ces derniers étant généralement en plus grand nombre que les bactéries pathogènes;
- Leur concentration dans l'eau contaminée à une relation directe avec le degré de contamination fécale de cette dernière [63].
- Elles ont la durée de survie la plus importante chez les bactéries pathogènes intestinales, car elles sont moins exigeantes sur le plan nutritionnel et sont incapables de se multiplier dans le milieu aquatique ou se multiplient moins que les bactéries entériques [63].
- Leur survie dans l'environnement est généralement équivalente à celle des bactéries

pathogènes et elle est habituellement inférieure à celle des coliformes totaux [64].

- Elles sont plus résistantes aux désinfectants et aux agents tensioactifs que les bactéries pathogènes [64].

➤ Les Germes totaux

La numération des germes aérobies mésophiles ou germes totaux, vise à estimer la densité de la population bactérienne générale dans l'eau potable. Elle se réalise à deux températures différentes afin de cibler à la fois les microorganismes à tendance psychrophile soit à 20 °C et ceux franchement mésophile soit à 37 °C. Elle permet ainsi une appréciation globale de la salubrité générale d'une eau, sans toutefois déterminer les sources de contamination [28]. D'une manière générale, ce dénombrement est utilisé comme indicateur de pollution et également comme indicateur d'efficacité de traitement, en particulier des traitements physiques comme la filtration par le sol, qui devrait entraîner soit une très forte diminution de la concentration bactérienne, soit même une absence de bactéries.

➤ Les Coliformes totaux

Les coliformes totaux sont utilisés depuis très longtemps comme indicateurs de la qualité microbienne de l'eau car ils peuvent être indirectement associés à une pollution d'origine fécale. Les coliformes totaux sont définis comme étant des bactéries en forme de bacilles gram-négatifs aérobies ou anaérobies facultatives, non sporulés, oxydase-négatifs, possédant l'enzyme β -galactosidase permettant la fermentation du lactose à 35/37 °C avec production de gaz en 48h, capables de se développer en présence de sels biliaires ou d'agents tensio-actifs Ils sont sensibles au chlore [28]. Ce groupe est composé des principaux genres suivants: *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Escherichia*, *Klebsiella* et *Serratia*, *Klébsiella*, *Yersinia*, *Rahnella*, et *Buttiauxell* [29].

La plupart des espèces sont non pathogènes et ne représentent pas de risque direct pour la santé, à l'exception de certaines souches d'*Escherichia coli* (*E. coli*) ainsi que de rares bactéries pathogènes opportunistes. Ils se répartissent en deux catégories:

-Les germes thermophiles ;

-Les germes psychrophiles (aquatique ou terrigène), leur intérêt moindre pour déceler une contamination d'origine fécale [65].

➤ **Les Coliformes fécaux (*Escherichia coli*)**

Les coliformes fécaux, ou coliformes thermo-tolérants, sont un sous-groupe des coliformes totaux ont la capacité de fermenter le lactose à une température de 44 °C en 24h [67]. L'existence de ces germes peut être une indication de la présence des micro-organismes entéropathogènes, comme les salmonelles [66].

L'espèce la plus habituellement associée à ce groupe bactérien est l'*Escherichia coli* (*E.coli*). C'est la seule bactérie indicatrice qui représente sans équivoque une contamination d'origine fécale animale ou humaine [66].

Sa détection dans l'eau est considérée comme le meilleur indicateur de contamination fécale de l'eau, car elle ne peut pas en général se reproduire dans les milieux aquatiques, leur présence dans l'eau indique une pollution fécale récente qui selon son origine, comporte des risques plus ou moins importants d'infection à caractère entérique [44].

➤ **Les Streptocoques fécaux**

Ces bactéries appartiennent à la famille des *Streptococcaceae*, au genre *Streptococcus* [45]. Ce sont les streptocoques du groupe D, Ils sont définis comme étant des cocci sphériques légèrement ovales, Gram positifs. Ils se disposent le plus souvent en diplocoques ou en chaînettes, se développent le mieux à 37 °C et possèdent le caractère homo-fermentaire avec production de l'acide lactique sans gaz. Ce groupe est divisé en deux sous-groupes : *Enterococcus* et *Streptococcus* [68].

Certains streptocoques fécaux sont très apparentés aux entérocoques et sont encore utilisés à titre d'indicateurs de contamination fécale [69]. Ils se retrouvent habituellement dans les eaux souterraines à la suite d'une pollution d'origine fécale ancienne. Ils peuvent aussi se multiplier dans les milieux présentant des pH allant jusqu'à 9,6. Par conséquent, ces germes peuvent être utilisés comme indicateurs d'organismes pathogènes ayant une résistance similaire au pH élevé [70].

➤ **Les *Clostridium* sulfito-réducteurs**

Parmi les paramètres retenus pour déterminer la qualité microbiologique d'une eau de consommation, les *Clostridium* sulfito-réducteurs sont pris en compte aussi. Ces dernières, sont des bactéries à Gram positif mesurant 4 à 6 µm de long et 1 à 2 µm de large, produisant des spores dont le plus caractéristique est *Clostridium perfringens* [71].

Elles font partie de la flore tellurique naturelle, aussi bien retrouvées dans les matières fécales humaines et animales. De ce fait, aucune spécificité d'origine fécale ne peut être attribuée à leur mise en évidence. L'intérêt de la recherche de tels indicateurs réside souvent dans la propriété de sporuler, ce qui les rend particulièrement résistant aux traitements de désinfection [71].

2. Normes de la qualité de l'eau

Afin de définir régulièrement une eau potable, des normes ont été établies qui fixent notamment les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nuisibles et susceptibles d'être présentes dans l'eau. Globalement, les qualités de l'eau de boisson doit obéir à des normes définies par une réglementation nationale. Il peut en résulter, pour un pays ou une région donnée, des dispositions réglementaires différentes de la qualité de l'eau, par rapport aux normes internationales [35].

Le fait qu'une eau soit conforme aux normes, c'est-à-dire potable, ne désigne donc pas qu'elle soit exempte de matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur [72].

2.1. Normes Algérienne

En Algérie, il existe des réglementations locales pour la qualité de l'eau de boisson en citant le Journal Officiel de la République Algérienne qui représente les différents paramètres physico-chimiques et bactériologiques de la qualité de l'eau de consommation humaine avec des valeurs limites [73].

Ces normes de potabilité sont définies par l'arrêté du 26 juillet 2000 (JO n° 51/00) relatif aux spécifications des eaux de boisson préemballées et aux modalités de leur présentation [23].

Elles ont été adoptées par des différentes directions de l'hydraulique des wilayas du Nord et qui concernent 41 paramètres de qualité classés en 04 catégories : Paramètres organiques, physico-chimiques, substances indésirables et substances toxiques [74].

2.2. Normes selon l'OMS

L'OMS établit, pour chaque paramètre, des recommandations qui peuvent être adaptées dans chaque pays, en fonction de l'état sanitaire et des conditions économiques, pour aboutir

aux normes réglementaires nationales [35].

3. Pollution de l'eau

Le terme pollution informe la présence d'une substance au-delà d'un seuil pour lequel des conséquences négatives sont susceptibles de se produire. Elle comprend toute nuisance apportée à un écosystème qu'elle soit une modification chimique, physique ou biologique [75].

La pollution des eaux souterraines entraîne le risque permanent de limitation de cette ressource dans un proche avenir. Elle peut être observée au niveau des nappes ou des sources d'eaux par l'infiltration d'eaux usées [75].

Une eau est dite polluée lorsque son équilibre est modifié de façon durable par l'apport en quantités très importantes des substances plus ou moins toxiques, d'origines naturelles ou issues d'activités humaines [28].

3.1. Pollution de l'eau en aval de la source

Certes il est fondamental d'avoir un forage fournissant une eau propre, il est également très important que l'eau reste potable jusqu'à son utilisation à domicile. Elle ne doit pas être contaminée entre ces deux points [76]. Il existe de nombreuses causes de pollution en aval de la source comme le montre le schéma ci-dessous. (Figure 03)

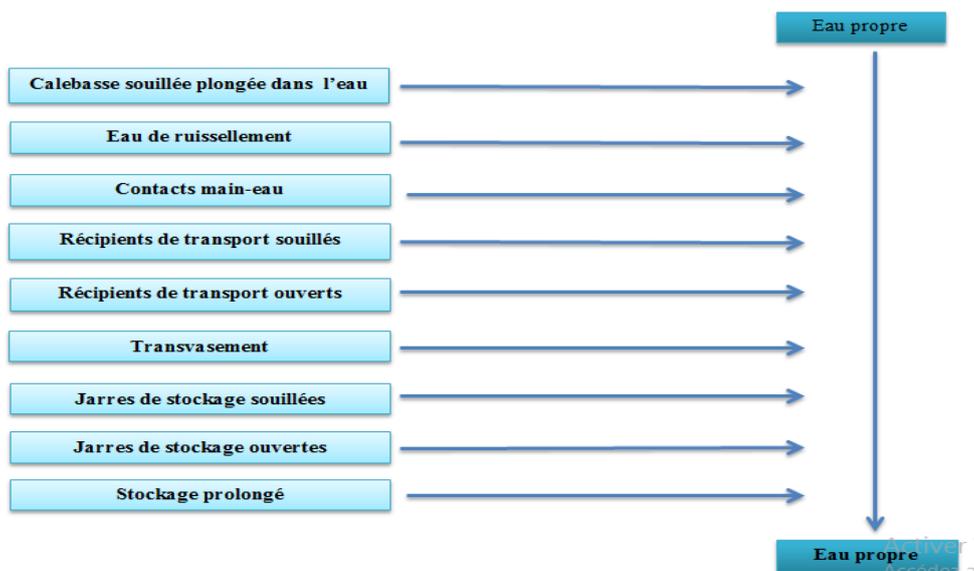


Figure 03 : Pollution fécale de l'eau en aval de la source.

Le problème de l'eau potable est un véritable problème de santé publique. Il faut agir à plusieurs niveaux :

- Source d'eau potable
- Traitement éventuel de l'eau si elle est contaminée
- Problème du prélèvement, transport, stockage et préparation des aliments
- Hygiène : « mains sales » excréta [77].

Si un point de cette chaîne est défaillant, l'eau sera contaminée et les personnes qui vont la consommer risquent de contracter une infection pouvant être mortelle [78].

4. Sources de la pollution

Selon Gaujout (1995), l'origine des substances polluantes est divisée en quatre catégories qui peuvent être permanentes, périodiques ou encore accidentelles ou aiguës [79].

- **Pollution domestique :**

- Elle résulte des habitations et se caractérise par la présence des germes fécaux, de fortes teneurs en matière organique, des sels minéraux et des nettoyeurs. Elle peut être responsable de la détérioration des conditions de clarté et d'oxygénation de l'eau [80].
- Dans le cas d'un assainissement collectif ou individuel défectueux, des substances indésirables contenues dans les eaux vannes et les eaux ménagères peuvent contaminer la nappe.
- Les ordures ménagères accumulées dans des décharges sauvages ou non mises à la norme libèrent également des lixiviats riches en polluants [81].

- **Pollution industrielle :**

Les activités industrielles rejettent principalement des métaux, des hydrocarbures, des acides, matières radioactives et augmentent la température de l'eau [85]. Selon le SOES, les secteurs de la métallurgie et de la chimie sont responsables des rejets de polluants dans l'eau les plus importants [82].

- **Pollution agricole :**

Le régime et la qualité des eaux sont fortement influencés par les pratiques actuelles des cultures et de l'élevage [83]. L'utilisation des engrais chimiques azotés et phosphorés, des

produits phytosanitaires destinés à protéger les cultures, ces produits parfois toxiques lorsqu'ils sont utilisés en excès vont contaminer en période de pluie les eaux de surface et les eaux souterraines par infiltration [23].

- **Pollution naturelle :**

- Certains auteurs considèrent que divers phénomènes naturels sont aussi à l'origine de la pollution (ébullition volcaniques, etc) [84].

- Les crues consécutives à de fortes pluies facilitent la propagation des bactéries liées aux déjections d'oiseaux et d'animaux sauvages [84].

5. Polluants biologiques

Les principaux organismes pathogènes qui se multiplient ou qui sont transportés dans l'eau sont : les bactéries, les virus, les parasites et les algues [23]. Ils sont peu nombreux dans les eaux de nappes du fait des conditions habituellement anaérobies et des faibles quantités de nutriments disponibles. Le transfert de matière organique dans la nappe favorise leur prolifération [23].

5.1. La pollution bactérienne

Les eaux polluées peuvent contenir un nombre extrêmement important de bactéries pathogènes. La plupart de ces pathogènes sont d'origine fécale. Ils sont plus connus et faciles à rechercher et à dénombrer [85]. La pollution bactériologique est l'une des principales causes de décès à l'échelle mondiale.

Parmi les germes pathogènes les plus répandus dans l'eau, on distingue :

- Les germes banals : les bacilles coliformes, les protéus.

- Les bacilles dysentériques dont les *Shigella* et le bacille de flexner.

- Les salmonelles, dont le *Salmonella typhi*, *Salmonella paratyphi* A et B et les bacilles Gartner et Morgan qui survivent peu de temps dans l'eau propre.

- Les *vibrions cholerae* qui survivent plus longtemps dans l'eau et peuvent provoquer de graves épidémies.

-Les mycobactéries (bacilles de Kokh), sont responsables de plusieurs types d'infections tuberculeuses.

-Les leptospires sont fréquemment retrouvés dans les eaux de rivières, et les eaux d'égouts.

-D'autres bactéries : Staphylocoques, le *spirobacter ictérogène*, la *pasterelle tularensis* [86].

5.1.2. La pollution virale

Les virus constituent l'entité biologique la plus abondante dans les écosystèmes aquatiques. Ils présentent un intérêt direct en santé humaine et ils sont capables de provoquer des infections chez l'homme [87]. Leur présence dans l'eau est liée à une élimination humaine, par les selles, plus rarement par les urines ou les excréctions nasopharyngées. On connaît plus de 100 types de virus pathogènes regroupés sous le nom de virus entériques, ils appartiennent à plusieurs familles et genres. Ces virus entériques sont retrouvés dans les eaux usées avant de contaminer le milieu naturel [88].

Parmi les virus présent dans l'eau, on compte le virus de l'hépatite A, le virus de l'hépatite E plutôt confiné dans les milieux tropicaux, le virus commun des gastroentérites, les Adénovirus, les Réovirus [88].

Le plus souvent les virus sont adsorbés aux matières en suspension et décantent avec elles, aussi bien la désinfection au rayon UV est efficace pour les détruire.

5.1.3. La pollution parasitaire

Les parasites sont généralement véhiculés dans l'eau sous forme : d'oeufs, de kystes ou de vers. Ils ne sont pas détruits par la chloration et par les autres méthodes de désinfection chimique mais peuvent être éliminés mécaniquement à l'aide d'une bonne filtration de l'eau de boisson [89].

Il existe deux types de parasites présents dans le milieu hydrique : les helminthes et les protozoaires.

5.1.3.1. Les helminthes

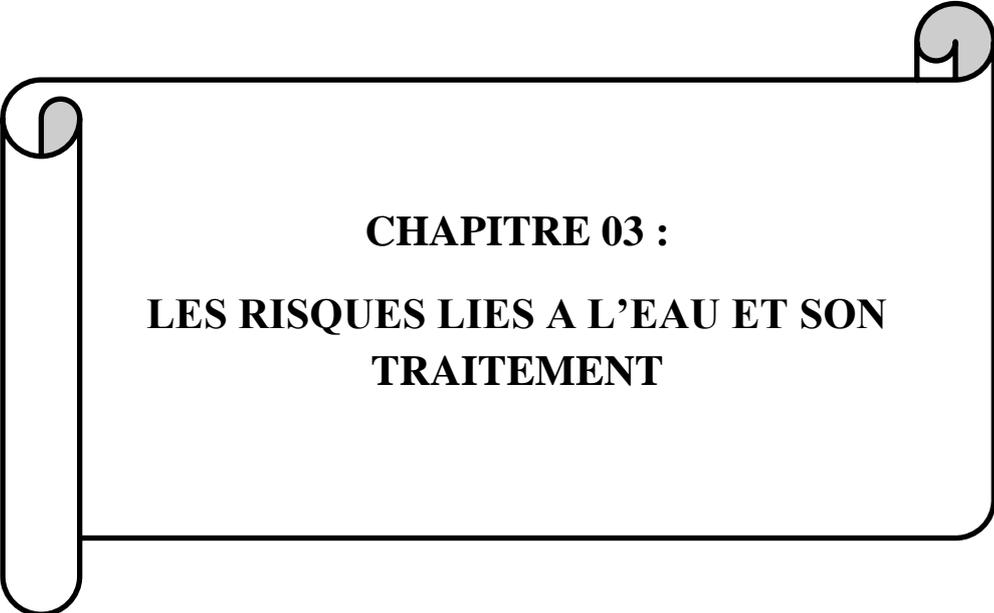
Les helminthes représentés par exemple par l'*Ascaris* et le *Taenia* et plus précisément les œufs d'helminthes (la forme de résistance dans l'environnement) sont retrouvés dans les

eaux usées brutes et les boues résiduaires [90]. Les œufs et les larves sont résistants dans l'environnement et le risque lié à leur présence est à considérer pour le traitement et la réutilisation des eaux résiduaires. En effet, la persistance de ces organismes à différentes conditions environnementales ainsi que leur résistance à la désinfection permet leur reproduction, ce qui constitue leur risque potentiel [91].

5.1.3.2. Les protozoaires

Les protozoaires constituent un groupe diversifié de microorganismes. Ces agents unicellulaires du règne animal vivant aux dépens de leur hôte, peuvent se retrouver dans l'eau potable à la suite d'une contamination par la matière fécale d'humains ou d'animaux.

Ils persistent aux conditions environnementales sous des formes particulières kyste, oocyste, spore. Il suffit probablement la présence de 1 à 100 unités de protozoaires pour entraîner des effets pathogènes, de plus ils possèdent des propriétés de résistance aux désinfectants généralement utilisés pour le traitement de l'eau [148]. En Europe, parmi les principaux parasites présents dans le milieu hydrique, se trouvent les protozoaires flagellés (*Giardia*), les protozoaires sporozoaires (*Cryptosporidium* et *Toxoplasma*), les protozoaires rhizopodes ou amibes (*Naegleria* et *Acanthamoeba*) et les microsporidies (*Enterocytozoon* et *Encephalitozoon*) [92].



CHAPITRE 03 :
LES RISQUES LIES A L'EAU ET SON
TRAITEMENT

Les risques induits par l'eau de boisson peuvent être divisés en trois catégories: les risques à court terme, moyen terme et long terme.

- Le risque à court terme correspond au risque pris en ne buvant qu'un seul verre d'eau : il est exclusivement microbiologique, dans ce cas les sources de pollution sont urbaines.
- Les risques à moyen et long terme sont liés à la consommation régulière et continue durant des semaines, des mois, même des années d'une eau contaminée chimiquement, les sources de pollution dans ce cas sont respectivement industrielles et agricoles [93].

1. Mode de contamination de l'eau de boisson

La contamination de l'eau de boisson commence par l'élimination, par les malades ou les porteurs « sains », des germes pathogènes dans les selles. C'est un point essentiel dans la transmission des agents infectieux. Ces germes pathogènes, après avoir contaminé les mains, les aliments, les eaux de surface, les canalisations défectueuses, les puits non protégés et les nappes phréatiques superficielles, ils se multiplient et se conservent en milieux aqueux ou sur les sols humides [94].

Tableau 03 : Durée de résistance de quelques microorganismes dans le milieu extérieur [95]

Microorganismes	Durée de résistances dans le milieu extérieur
Bactérie : - Salmonelles ; - Vibrio cholerae	- 10 jours dans l'eau ; - 15 jours dans l'eau à 20 C ; - 4 jours dans les selles à l'ombre.
Virus : - Poliovirus - VHA	- 200 jours dans une selle à l'ombre ; - 90 jours dans une eau minérale préalablement stérile à 20 C

2. Voies de transmission des agents infectieux

L'eau de boisson n'est qu'un des véhicules de la transmission d'agents pathogènes par la voie oro-fécale. La transmission des maladies d'origine hydrique, dépend de trois facteurs : l'agent (l'organisme infectant), l'environnement et l'individu [93]. Cette transmission peut être une :

-Transmission directe par ingestion d'eau de boisson contaminée ou par main sale portée à la bouche (figure 04).

-Transmission indirecte par aliments ou objets souillés par eau ou main sale [94].

Du fait de la multiplicité des voies de transmission, les mesures visant à améliorer la qualité et la disponibilité de l'eau, l'élimination des excréta et l'hygiène en général sont particulièrement importantes pour réduire les taux de morbidité et de mortalité de la diarrhée [95].

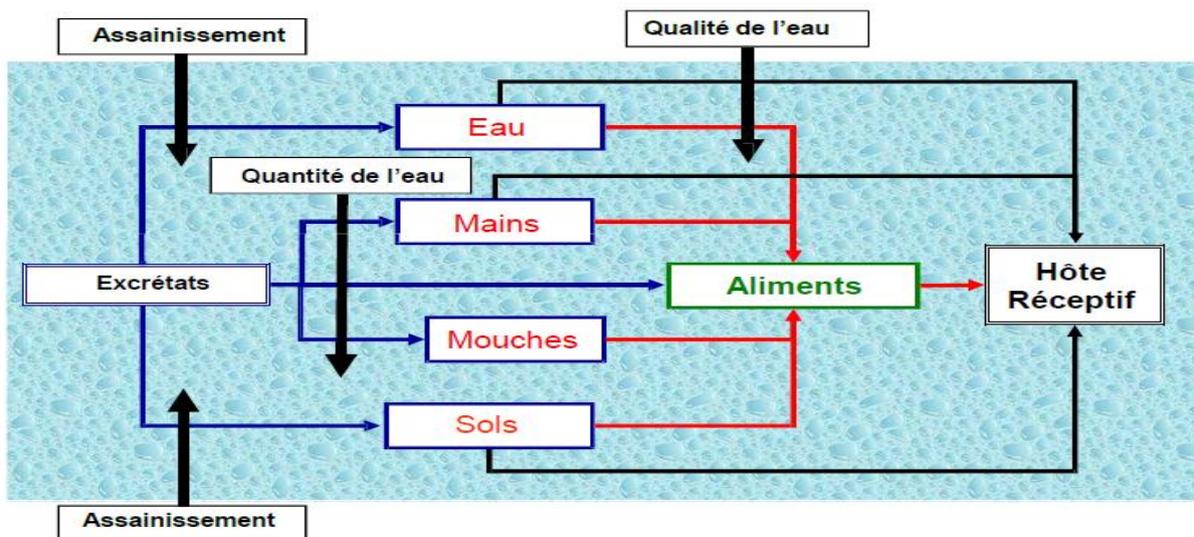


Figure 04: Voie Oro-fécale [96].

3. Principaux facteurs des M. T. H en Algérie

- La vétusté des réseaux en milieu urbain qui provoque fréquemment des cross-connexions entre les réseaux d'approvisionnement en eau potable (AEP) et l'assainissement.
- L'accroissement des besoins en eau qui est liée d'une part à une forte poussée démographique et d'autre part en développement économique et industriel.

- Les facteurs sociaux, comme l'exode rural massif des populations, la multiplication autour de grandes villes du pays : Alger, Annaba, Constantine, Oran
- Urbanisation anarchique.
- La dégradation de l'environnement [96].

4. Maladies à transmission hydrique

Les maladies à transmission hydrique appelées par contraction (MTH) appelé également maladies de canalisation ils constituent un groupe de maladies à allure épidémique dues à l'ingestion d'eau contaminée par certains germes. Les MTH recouvrent un large éventail de manifestations pathologiques d'origine bactérienne, parasitaire ou virale comme les bactéries strictement pathogènes ou opportunistes , les virus ou les parasites issues d'une fèces humaine ou animale, dont l'élément commun est le mode de contamination: l'eau [96].

La propagation des MTH est liée à divers facteurs comme la mauvaise qualité de l'eau, le manque d'hygiène et la pauvreté. Les êtres humains et les animaux peuvent être les hôtes des bactéries, des virus et des protozoaires qui causent ces maladies. Des millions de gens n'ont guère accès, pour leur hygiène personnelle, à une évacuation contrôlée des eaux usées ou à une eau salubre. On estime que 3 milliards d'êtres humains, par exemple, n'ont pas de toilette sanitaire. Plus de 1,2 milliard de personnes courent des risques parce qu'ils n'ont pas accès à de l'eau salubre [95].

Comme pour toutes les maladies contagieuses, La transmission des maladies d'origine hydrique, dépend de trois facteurs : l'agent (l'organisme infectant), l'environnement et l'individu.

Selon le type de micro-organismes, la dose infectieuse, les voies d'exposition aux agents infectieux, nécessaires pour provoquer la maladie est très variable. En général, la dose nécessaire est plus faible dans le cas des virus et des protozoaires qu'avec les bactéries [95].

Ainsi, l'ingestion de 1 à 10 particules virales ou de quelques kystes de protozoaires peut provoquer la maladie alors qu'une concentration de 10^3 à 10^6 organismes est nécessaire dans le cas de certaines bactéries. L'eau peut aussi véhiculer des toxines comme la toxine botuliniques de type D lorsqu'elle est contaminée par un cadavre.

Parmi les infections à transmission hydrique que l'on retrouve en Algérie, on peut citer : la fièvre typhoïde, le choléra, les hépatites infectieuses, les dysenteries, la poliomyélite [95].

Tableau 04 : Les bactéries pathogènes responsables des maladies d'origine hydrique [97,98]

Bactéries	Pathologies
Salmonella	<p>Fièvre typhoïde : causée par une bactérie du genre des salmonelles dont les espèces responsables sont: <i>Salmonella enterica</i>, <i>Salmonella typhi</i> ou <i>Salmonella paratyphi</i> A, B et C, trouvé dans le lait, la nourriture ou l'eau contaminée. Maladie strictement humaine, les symptômes sont des maux de tête, des nausées et l'anorexie et diarrhée.</p>
Shigella	<p>La gastro-entérite : inflammation intestinale faisant suite à une infection touchant les muqueuses présentes dans l'estomac et l'intestin. Généralement transmise par l'eau ou par les aliments souillés. les symptômes : nausées, vomissements, crampes abdominales et de la diarrhée allant de la diarrhée aqueuse légère, jusqu'à la dysenterie sévère.</p> <p>La dysenterie : Il existe la dysenterie bacillaire ou shigellose (causée par diverses bactéries), la dysenterie amibienne ou amibiase (causée par des amibes), mais seule la shigellose peut entraîner la mort, les taux de mortalité peuvent atteindre 20%.</p>
Escherichia coli O157 :H7 et certaines autres souches	Diarrhée risque de complications (urémie hémolytique) chez les enfants en bas âges.
Legionella pneumophila	Pneumonie et autres infections respiratoire.
Vibrio cholerae	<p>Choléra : C'est une maladie infectieuse diarrhéique à caractère épidémique, d'origine bactérienne, transmise par voie digestive. La transmission de ce germe est donc hydrique ou interhumaine: eaux polluées, produits marins contaminés, fruits et légumes irrigués, mains sales.</p> <p>Apparition brutale d'une diarrhée aqueuse, eau de riz, d'odeur fade, sans glaire ni sang, avec des vomissements abondants, entraînant une déshydratation rapide et sévère.</p>

Tableau 05 : Les virus à l'origine des maladies hydriques [99,100].

Virus	pathologie
hépatite A (VHA)	<p>Les hépatites virales : se transmet en général par voie féco-orale, soit par contact direct d'une personne à l'autre, soit par ingestion d'eau de boisson ou de piscine, ou d'aliments contaminés.</p> <p>La contamination peut être par l'eau de boisson ou de piscine contaminée. Pour cette maladie virale, il n'y a pas de traitement spécifique, il y'a des vaccins. Symptômes : maux de ventre, diarrhée, jaunisse.</p>
<i>Enterovirus poliovirus</i>	<p>La poliomyélite : C'est une maladie infectieuse aiguë, essentiellement neurotrope, immunisante, endémo-épidémique.</p> <p>La transmission se fait par voie oro-pharyngée dans les pays développés, par voie féco-orale dans les pays en voie de développement (mains sales, eaux). Elle touche surtout les jeunes enfants entre 3 mois et 5 ans (paralyse infantile, fièvre, maux de tête vomissements, raideur ou douleurs dans la nuque).</p>
Adenovirus	Responsables de conjonctivites (piscines) et d'infections respiratoires.
Papillomavirus	Responsable de verrues plantaires et de cancer de l'utérus.
Coronavirus	«SRAS» est une pneumopathie mortelle dont la transmission est d'abord aérienne, mais la transmission hydrique est possible à la suite de contamination fécale et urinaire
Calcivirus	<p>Le virus de l'hépatite E est redoutable pour les femmes enceintes.</p> <p>La contamination résulte souvent d'ingestion d'eaux souillées et de coquillages.</p>

Tableau 06 : Les parasites responsables des maladies d'origine hydrique [101,98]

Parasite	Pathologie
Entamoeba histolytica	L'amibiase ou la dysenterie amibienne (diarrhée, fièvre et des crampes abdominales, l'infection peut se compliquer).
Giardia intestinalis	Les Giardiases : des symptômes gastro-entérite aigüe avec des douleurs abdominales, ballonnement, nausées, anorexie, vomissements, et diarrhée aqueuse.
Ascaris lumbricoïdes	Ascariase ou ascaridiose (fièvre et toux, troubles digestif).
Schistosoma mansoni	La bilharziose : Le parasite vit dans les veines abdominales de l'homme et expulse ses œufs dans l'urine et les fèces. La maladie est répandue dans les régions tropicales. La victime succombe généralement après des années d'affaiblissement mental.
Plasmodium	Le paludisme : Le plasmodium parasite un moustique qui lui en a besoin et qui se satisfait de la moindre eau stagnante. Cette maladie transmise à l'homme par la simple pique d'un moustique infecté, se traduit par des accès intermittents de fortes fièvres.
Onchocerca volvulus	L'onchocercose : trouve particulièrement en Afrique et qui engendre la cécité. Le parasite responsable est un ver véhiculé par une mouche c'est la simulie, dont les larves vivent dans les eaux courantes.

5. Programme national de lutte contre les M T H

Plusieurs facteurs ont permis l'éclosion de nombreux foyers endémo-épidémiques des MTH et la multiplication de nombreux processus épidémiques de typhoïde et de choléra durant les saisons estivales.

Devant cette grave situation épidémiologique, le gouvernement a mis en place en 1987 un programme national de lutte contre les maladies hydriques.

Le programme de la lutte contre les M T H comprend :

- Des actions relevant de secteur de l'hydraulique (réseau de distribution et d'assainissement, épuration des eaux,
- Des actions qui doivent être menées par les services de santé (surveillance épidémiologique, contrôle systématiques des aliments et de l'eau de boisson) [60].
- Des actions qui sont prises en charge par les communes (entretien et protection des ouvrages d'adduction d'eau, l'assainissement et le contrôle des puits) [60].

6. Gestion des risques hydriques

La gestion technique et hygiénique doit être la plus préventive possible, c'est-à-dire appliquée dès le choix de la ressource puis lors de la conception et de la réalisation des installations afin d'assurer une protection de l'individu vis-à-vis des risques hydriques [102].

En effet, la gestion des ressources en eau fait partie intégrante de la gestion préventive de la qualité de l'eau de boisson. La prévention de la contamination microbienne et chimique de l'eau de source est la première barrière s'opposant à une contamination de l'eau de boisson préoccupante pour la santé publique [97].

La gestion des risques hydriques s'étale principalement sur deux étapes :

- **La surveillance de la qualité de l'eau**

Elle est définie comme étant «l'évaluation et la supervision continues et vigilantes du point de vue de santé publique de la salubrité et de l'acceptabilité des approvisionnements publics en eau de boisson » [97].

La surveillance de la qualité des eaux souterraine correspond à la conduite des analyses, de tests et d'observation de certains paramètres à des points clés du réseau d'alimentation en

eau potable. L'objectif principale de ce suivi est de vérifier que l'eau distribuée remplit les critères de potabilité. C'est un moyen de protéger la santé publique [97].

Cette surveillance comporte :

- Le contrôle régulier de la qualité pour vérifier que le traitement et la distribution sont conformes aux objectifs établis et à la réglementation.
- La surveillance à intervalles spécifiés, de l'ensemble du réseau de distribution depuis la source jusqu'aux consommateurs du point de vue de la sécurité microbiologique [97].

- **L'enquête sanitaire**

C'est une inspection et une évaluation sur place, par un personnel qualifié, de toutes les conditions d'installation et pratiques touchant le réseau d'approvisionnement en eau qui pourraient être à l'origine de danger pour la santé du consommateur. Tous les systèmes de distributions doivent être régulièrement inspectés par les spécialistes. Les échantillons doivent y être prélevés notamment aux fins des examens microbiologiques et chimiques. Par ailleurs une enquête sanitaire s'impose pour permettre une interprétation valable des résultats de laboratoire [103].

Depuis 2002, l'Algérie s'est engagée dans une politique équilibrée de mobilisation et de diversification des ressources en eau dans un contexte de forte croissance démographique dans les centres urbains qui a largement contribué à celle des besoins en eau du pays [32].

Cependant cette politique algérienne a été d'avantage axée sur la mobilisation de nouvelles ressources que sur la recherche d'une meilleure utilisation des ressources déjà disponibles [32].

7. Evaluation des risques hydriques d'origine microbiologique

Cette évaluation est utilisée principalement lors de la détermination des normes ou recommandations de qualité d'eau potable. Cette démarche peut être aussi utilisée en cas de dépassement de normes afin de déterminer l'importance et le type de mesure à prendre pour protéger la santé de la population exposée. La première étape utilisée habituellement dans l'évaluation des risques consiste à évaluer si le microorganisme a un caractère pathogène [175].

Pour évaluer ces risques un certain nombre d'indicateurs de contamination fécale sont

pris en compte [176].

8. Transfert des polluants dans les eaux souterraines

Qu'il s'agisse d'une pollution diffuse de type agricole ou d'une pollution accidentelle, le schéma général de contamination des eaux souterraines est le même. Le point de départ est la surface du sol jusqu'à la nappe en passant par la zone non saturée, puis le cheminement subhorizontal avec étalement progressif du panache de pollution. Le transfert d'un polluant étant indissociable de l'écoulement du fluide qui le véhicule, le comportement d'une pollution dans un milieu géologique donné dépend des lois et des paramètres de l'écoulement de la phase liquide. En effet, différentes propriétés des milieux traversés et celles des polluants jouent un rôle primordial sur le transfert de ces substances. En prenant en compte les éventuelles interactions entre le polluant et le milieu permettent une meilleure gestion des ressources souterraines. [104]

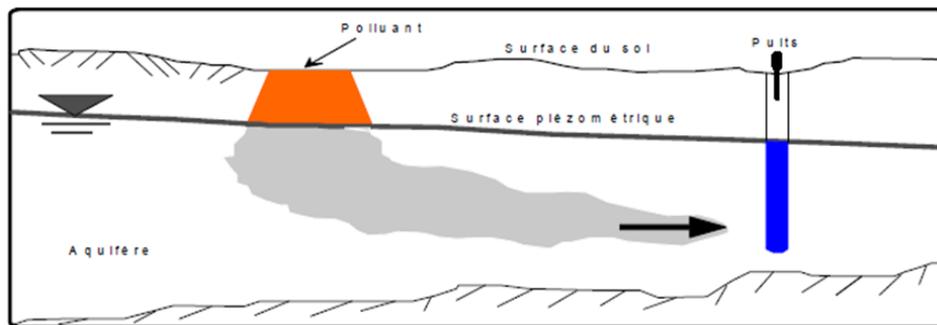


Figure 5: Schéma simplifié de migration de polluant dans les formations géologiques [105].

La connaissance des mécanismes de transfert est fondamentale pour aider les décideurs à préserver de façon durable la ressource d'eau souterraine et à effectuer les arbitrages qui s'imposent : étendue des périmètres de protection. Les modalités et temps de transfert des polluants sont très variables selon les types de polluants et des sols et font appel à trois processus distincts : les caractéristiques des sols et leur humidité, les réactions chimiques des molécules avec l'eau et le milieu, l'activité microbienne. Ainsi, une nappe peut être protégée pour un type de pollution et pas contre une autre. Comme exemple d'illustration, une nappe de sables est bien protégée des pollutions microbiologiques grâce au pouvoir filtrant des sables, mais ceux-ci restent inefficaces faces aux pollutions chimiques solubles dans l'eau [104].

Tableau 7 : Mécanisme de transfert des polluants dans les eaux souterraines [104].

	Sol superficiel (0.1-1 m)	Zone non saturée (1-10 ; 1-100 m)	Nappe profonde
Vitesse des transferts liés à :	-Végétation. -Microorganisme -Humidité.	-Structure du sol. -Porosité. -Humidité. -Transport colloïdal	-Nature de la roche. -Microporosité
Transformation liée à :	Transformation biologique ; action des bactéries.	Transformation chimique abiotique-dissolution/ Précipitation/oxydation	Transformation chimique abiotique-dissolution/ Précipitation/oxydation

9. Traitement de l'eau souterraine

Une eau de surface suivra toujours un traitement complet physique et chimique alors qu'une eau souterraine ne pourra subir que le traitement chimique de désinfection [103].

Pour les sources contaminées aucune solution de traitement n'est mise au point jusqu'à présent.

Si l'analyse effectuée sur l'eau d'un puits a décelé des micro-organismes pathogènes, il convient de mettre en place rapidement le traitement adapté. Dans l'attente de ce traitement, l'eau ne sera plus consommée, à moins d'être bouillie pendant au moins une minute [105].

Le programme de traitement des puits établi par la direction de l'hygiène de la wilaya de Constantine :

- Convocation des propriétaires des puits pour la récupération du galet de chlore une fois par mois
- Prélèvement des échantillons des eaux de puits pour d'éventuelles analyses bactériologiques afin de déterminer la qualité de ces derniers.
- Dans le cas où les analyses effectuées sont positives, le propriétaire est convoqué pour lui communiquer les consignes et directives pour le nettoyage et la désinfection du puit.
- Mesure du taux de chlore.

- Evaluation de l'efficacité du galet de chlore.

Méthodes de désinfection des puits :

- ✓ Vider le puit
- ✓ Laver les parois avec de l'eau et du savon à l'aide d'une brosse manuelle
- ✓ Relaver les parois avec de l'eau de javel
- ✓ Laisser l'ensemble des détergents pendant 24h
- ✓ Nettoyer et désinfecter les canalisations dans le cas où le puit est muni d'une pompe en évacuant les détergents utilisés au préalable durant la désinfection des parois
- ✓ Couvrir les parois du puit avec de la chaux.
- ✓ Remplir le puit.
- ✓ Introduire le galet de chlore.
- ✓ Prendre un échantillon pour d'éventuelles analyses bactériologiques.
- ✓ Mesure du taux de chlore.
- ✓ Fermer le puit convenablement.

NB : l'utilisation d'un galet de chlore (annexe 09) par puit, fournie chaque mois au niveau des bureaux d'hygiène de la daïra, est le seul et unique traitement adopté en Algérie.



**DEUXIEME PARTIE:
MATERIEL ET METHODES**

1. Cadre de l'étude

L'augmentation spectaculaire de la population de Constantine a provoqué le développement anarchique de cette ville avec la multiplication et l'extension des quartiers spontanés à la périphérie. De ce fait, les difficultés d'approvisionnement en eau potable sont considérables ce qui rend l'utilisation des eaux souterraines obligatoire.

Les eaux souterraines que nous avons étudiées sont essentiellement des eaux phréatiques, accessibles au niveau des puits et des sources. Au cours de cette partie, nous allons essayer d'étudier leur qualité bactériologique lors de la période sèche et la période pluvieuse (Humide) tout en vérifiant l'une des hypothèses suivantes :

- Le taux des puits et des sources pollués est plus important pendant la période humide.
- Le taux des puits et des sources pollués est plus important pendant la période sèche.

2. Présentation de la zone d'étude

2.1. Situation géographique et administrative

La Wilaya de Constantine constitue une unité géographique importante, située à l'est du pays. Elle s'étend sur une superficie de 225 548 ha et compte six daïras et douze communes, à savoir : Constantine, El Khroub, Ain Smara, Hamma Bouziane, Didouche Mourad, Zighoud Youcef, Beni Hamidène, Ben Badis, Aïn Abid, Ouled Rahmoune, Ibn Ziad, et Messaoud Boudjeriou (Figure 06).

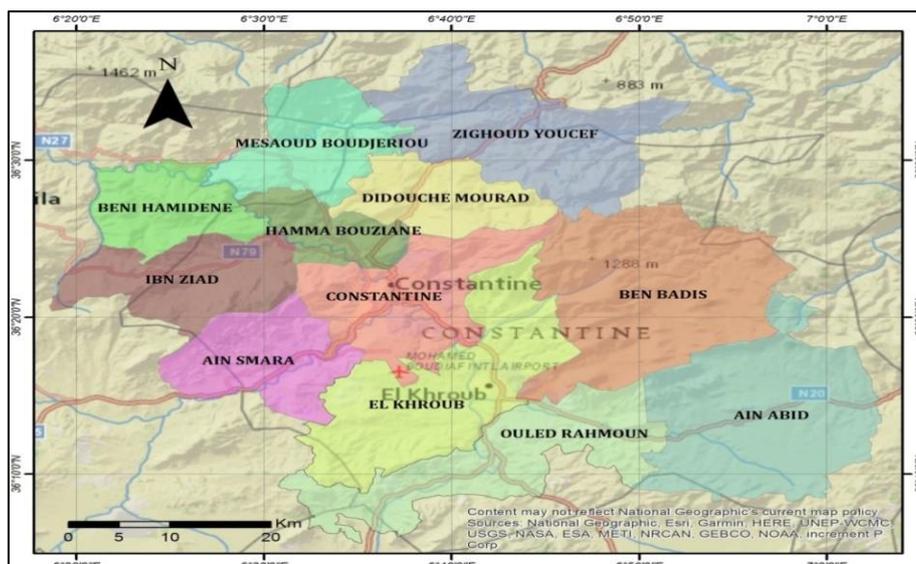


Figure 06: Situation géographique et administrative de la Wilaya de Constantine [106].

2.2. Topographie

La wilaya de Constantine est caractérisée par une topographie très accidentée, marquée par une juxtaposition de montagnes, de hautes plaines, de dépressions et de ruptures brutales de pentes donnant ainsi un site hétérogène [107].

La wilaya est subdivisée en trois zones géographiques : (Figure 07)

- **La zone montagneuse** : située au nord de la wilaya et fait partie de l'Atlas tellienne.
- **Les bassins intérieurs** : constitués d'une série de dépressions qui s'étend de Ferdjioua (wilaya de Mila) à Zighoud Youcef et limitée au Sud par les hautes plaines.
- **Les hautes plaines** : situées au sud de la wilaya entre les chaînes de l'Atlas Tellien et l'Atlas Saharien, dont l'altitude varie entre 750 et 950 mètres, elles s'étendent sur les communes d'Aïn Abid et Ouled Rahmoune.

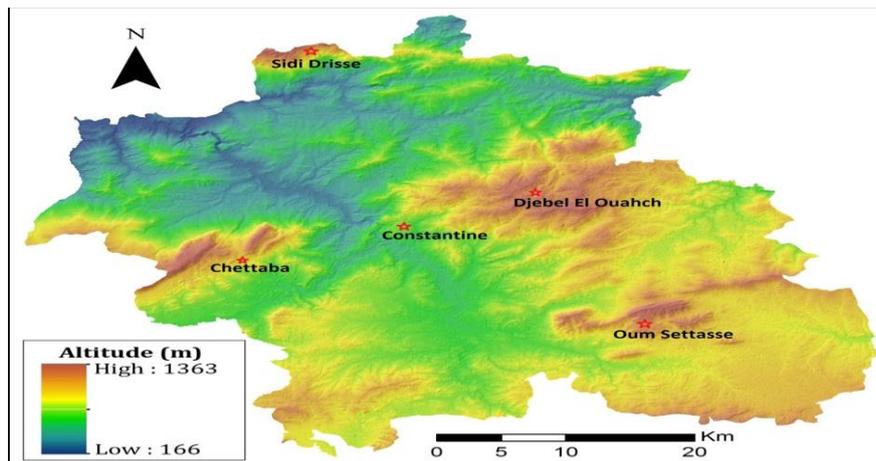


Figure 07 : Carte du relief de la wilaya de Constantine [106].

2.3. Réseau hydrographique

Le bassin de la zone d'étude est traversé par un réseau hydrographique dense comportant d'importants bassins de réception et une multitude de petits cours d'eau secondaires. Les eaux souterraines sont essentiellement composés de : [108]

- Nappe d'aquifères poreuse de Hamma Bouziane
- Nappe d'aquifères poreuse de Boumerzoug
- Nappe d'aquifères poreuse d'Ain Smara
- Nappe d'aquifères poreuse d'El Khroub
- Nappe d'aquifère karstique des formations carbonatées.

Les ressources en eau mobilisées au niveau de la wilaya de Constantine sont de l'ordre de 50 millions de m³/An environ répartis: [109]

- Eaux souterraines : 44 Millions M³/An.
- Eaux superficielles : 6 Millions M³/An.

2.4. Climat

La région de Constantine est soumise à l'influence du climat méditerranéen caractérisé par des précipitations irrégulières, et une longue période de sécheresse estivale. Ce climat s'identifie par des hivers froids et des étés chauds, enregistrant une température variant entre 25 à 40 °C en été et de 0 à 12 °C en hiver.

La moyenne pluviométrique annuelle varie de 500 à 600 mm/an, les précipitations sont très variables en allant du Nord au Sud. Elles ont un rôle principal dans la régénération des réserves d'eau. La moyenne annuelle des jours pluvieux est de 40 à 60 jours.

La période pluvieuse est caractérisée par une précipitation relativement élevée durant la période allant d'Octobre à Avril. L'autre sèche s'étalant du Juin jusqu'à la fin du mois de Septembre [109].

3. Présentation du laboratoire d'hygiène de la Wilaya de Constantine

3.1. Création

Le laboratoire d'hygiène de la Wilaya de Constantine a été créé en 1948, selon le décret du 18 Février 1945. Il se dénommait alors : Le laboratoire départemental d'hygiène, il assurait le contrôle sanitaire de 21 communes de la Wilaya.

N'ayant pas le statut particulier, le laboratoire d'hygiène est subventionné par la Wilaya qui lui attribue annuellement un budget de fonctionnement pour couvrir ses besoins en milieux de cultures, réactifs et produits de consommations.

Le laboratoire est situé à la cité Mentouri, Sidi Mabrouk, Constantine. Sur le plan administratif, il est géré par la Direction de la Santé (Annexe de l'institut pasteur d'Algérie).

3.2. Attributions du Laboratoire d'hygiène

- Analyses des eaux de consommation de toutes communes.
- Contrôle des produits alimentaires.
- Dépistage des maladies contagieuses : Fièvres typhoïdes et paratyphoïdes, etc.
- Dépistage de la syphilis.

- Examens divers : Bactériologie et B.K, Biochimie, Sérologie et Parasitologie.

4. Type et période d'étude

Afin d'évaluer la qualité bactériologique des eaux potables d'origine souterraine de la Wilaya de Constantine, des échantillons d'eau de puits et de sources ont été prélevés pendant la saison humide de l'année 2019 (du mois de Janvier au mois d'Avril).

Après avoir analysé ces échantillons au laboratoire, les résultats obtenus ont été comparés à ceux de la période sèche de l'année 2018 (du mois de Juin au mois de Septembre).

Tableau 08 : Localisation et nombre d'échantillons en période humide.

Période humide 2019	Constantine	Hamma Bouziane	Zighoud Youcef	El Khroub	Ain Abid	Ibn Ziad	Total
Puits	122	32	16	13	12	09	204
Sources	59	57	23	04	48	31	222

Tableau 09 : Localisation et nombre d'échantillons en période sèche.

Période sèche 2018	Constantine	Hamma Bouziane	Zighoud Youcef	El Khroub	Ain Abid	Ibn Ziad	Total
Puits	147	28	16	13	12	00	216
Sources	53	52	57	16	13	19	210

5. Travail du terrain

5.1. Choix de sites de prélèvement

Les points d'eau de prélèvement ont été choisis de manière à avoir une image de l'ensemble de la qualité de l'eau de la Wilaya de Constantine. Pendant toute la durée de notre étude, les échantillons d'eau de puits et de sources prélevés sont localisés dans les 6 daïras de la wilaya.

5.2. Bonnes pratiques de prélèvement

Le prélèvement des échantillons est l'une des étapes les plus importantes pour l'évaluation de la qualité de l'eau. Il est donc essentiel que l'échantillonnage soit effectué avec

précaution afin d'éviter toutes les sources possibles de contamination. Pour cela :

- Les échantillons doivent être homogènes, recueillis et conservés dans des flacons en verre blanc pyrex préalablement stérilisés [58].
- Le volume recueilli doit être suffisant pour effectuer l'analyse bactériologique.
- Les flacons doivent être soigneusement étiquetés, c'est-à-dire comportant : la date et l'heure de prélèvement, le demandeur de l'analyse, le lieu du prélèvement, le motif de la demande d'analyse (analyse initiale ou contrôle périodique, pollution, intoxication, épidémie, etc.) et les usages de l'eau (boisson, fins domestiques, etc.).

5.3. Techniques de prélèvement

NB : Tous les prélèvements ont été effectués entre 08h et 11h.

Pour tous les prélèvements, nous avons utilisé des flacons en verre de 250 ml propres stériles. Les flacons contenant les échantillons d'eau prélevée ont été marqués et étiquetés. Une fiche d'identification de l'échantillon est aussi remplie par les renseignements nécessaires pour chaque point de collecte [110].

5.3.1. Eaux de puits

Nous avons utilisé des flacons en verre munis d'un cordon. Au moment du prélèvement, on ouvre le flacon et on l'introduit dans le puits à environ 30cm de profondeur tout en prenant soin de ne pas contaminer l'échantillon. Ensuite on retire le flacon rempli d'eau en laissant un espace d'air d'au moins 2,5 cm. Ensuite, on détache le cordon et on ferme le flacon aseptiquement par du coton cardé [111].

5.3.2. Eau de source jaillissante

Nous avons effectué le prélèvement à partir des points les plus près possible de l'émergence de la source. Au moment du prélèvement, on débouche le flacon et on le remplit par de l'eau provenant de la direction du flux, puis on le rebouche dans les conditions aseptiques requises jusqu'au moment de l'analyse bactériologique [112].

5.3.3. Eau de source équipée d'un tuyau ou d'un robinet

Pour ce type de source, nous avons procédé comme suit : Tout d'abord on a commencé par nettoyer le robinet et l'ouverture du tuyau avec un morceau de coton imbibé d'alcool à 70%. Puis, on a ouvert le robinet et laissé couler l'eau pendant 1 à 2 minutes. Ensuite, on

recueille l'eau directement dans le flacon stérile tout en laissant un vide d'environ 2.5 cm. Enfin, on referme le flacon aseptiquement par du coton cardé.

5.4. Transport et conservation des échantillons

Après les prélèvements, les flacons contenant les échantillons d'eaux prélevés lisiblement étiquetés sont acheminés dans une glacière de 4 à 6 °C au laboratoire d'hygiène de la Wilaya accompagnés d'une note portant tous les renseignements nécessaires [113].

Afin d'éviter que la teneur initiale en germes des eaux ne risque de subir des modifications dans le flacon, toutes les analyses sont effectuées le plus rapidement possible et cela selon la circulaire du 21 janvier 1960, relative aux méthodes d'analyses bactériologiques des eaux d'alimentation [58].

6. Travail du laboratoire

Les organismes pathogènes présent dans l'eau sont très nombreux et très variés et ne peuvent donc pas faire l'objet d'une recherche spécifique. De plus leur identification est très difficile voire impossible dans le cas des virus car leur durée de vie peut être très courte. Pour ces différentes raisons, il est préalable de rechercher des germes qui sont toujours présents en grand nombre dans la matière fécale des hommes et des animaux à sang chaud et qui se maintiennent plus facilement dans le milieu extérieur. On parle alors des: Germes totaux, Coliformes totaux, Coliformes fécaux, Streptocoques fécaux et *Clostridium* sulfite-réducteurs [114].

6.1. Matériel et Méthodes

Avant de procéder aux opérations analytiques, il est essentiel que toutes les dispositions soient prises, telles que l'homogénéisation au moment du dosage.

6.1.1. Recherche et dénombrement des Germes totaux

Pour le dénombrement des germes totaux, la technique adoptée c'est l'ensemencement dans la masse, en utilisant le milieu PCA.

➤ Mode opératoire

On a réalisé une série de dilution décimale allant de 10^{-1} à 10^{-5} dans 9ml d'eau physiologique stérile. Pour chaque dilution, on a effectué un ensemencement dans la masse

par 1ml d'eau sur milieu PCA.

➤ **Incorporation à la gélose et incubation**

On porte au bain-marie bouillant les flacons contenant la gélose jusqu'à fusion du milieu. Ensuite, on la refroidit à 45 °C.

On coule la gélose aseptiquement dans chaque boîte, on agite doucement par des mouvements circulaire pour assurer un mélange homogène de l'eau et de la gélose, sans faire de bulles et sans mouiller les bords de la boîte.

Le milieu doit être coulé 10 minutes au plus tard après répartition de l'eau à analyser. On laisse refroidir sur une surface parfaitement horizontale et fraîche.

Les boîtesensemencées avec chacune des différentes dilutions d'eau sont incubées dans une étuve à 37 °C pendant 72 heures.

➤ **Expression des résultats**

Le principe de la culture sur un milieu solide est que chaque bactérie donne naissance après incubation à une colonie repérable macroscopiquement. L'unité est alors exprimée en UFC/ml c'est-à-dire unité formant colonie par unité de volume.

Pour les germes totaux, le nombre de colonies comptées sur une boîte est multiplié par l'inverse du rapport de dilution (facteur de dilution), indique le nombre de germes totaux contenus dans 1 ml d'échantillon.

6.1.2. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et des coliformes fécaux

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

-La recherche présomptive des coliformes.

-La recherche confirmative des coliformes fécaux

Pour le dénombrement des coliformes totaux et fécaux, la méthode utilisée pour effectuer ce test c'est l'ensemencement en milieu liquide.

➤ **Mode opératoire**

❖ **Recherche des coliformes totaux: Test présomptif**

Il est effectué en utilisant le bouillon Lactosé au Pourpre de Bromocrésol (BCPL) en simple et double concentrations. Tous les tubes sont munis d'une cloche de Durham pour déceler le dégagement éventuel du gaz dans le milieu.

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

- 10 ml de l'échantillon dans chaque un des 3 tubes contenant le milieu BCPL D/C.
- 1ml de l'échantillon dans chaque un des 3 tubes contenant le milieu BCPL S/C.
- 0.1 ml de l'échantillon dans chaque un des 3 tubes contenant le milieu BCPL S/C.

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

➤ **Expression des résultats**

-une première lecture après cette incubation est effectuée : les tubes présentant un aspect trouble de couleur jaune et du gaz dans la cloche ($1/10^{\text{ème}}$ de la cloche), sont considérés comme positif autrement dit pouvant contenir des coliformes totaux.

- le nombre de tubes positifs dans chaque série doit être noté et se reporter à la table de Mac Grady (Annexe 06) pour obtenir le nombre de coliformes totaux présents dans 100 ml d'eau à analyser.

❖ **Recherche d'*Escherichia coli* : Test confirmatif**

A partir de chaque tube positif de milieu BCPL pour la recherche des coliformes totaux,ensemencer 3 à 4 gouttes dans un tube d'eau peptonée exempte d'indole. L'incubation se fait à 44 °C pendant 24 h.

Après incubation, quelques gouttes de réactif Kovacks sont ajoutées aux tubes.

Une réaction considérée positive correspond à la formation d'anneau rouge à la surface du tube témoin de la production d'indole et donc de la présence d'*E.coli*.

➤ **Expression des résultats**

Le nombre de tubes positifs dans chaque série est reporté à la table de Mac Grady (Annexe) pour obtenir le nombre le plus probable (NPP) de coliformes totaux et d'*E.coli*

présent dans 100ml de l'échantillon.

6.1.3. Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux

La recherche et le dénombrement des streptocoques fécaux se fait par deux tests :

- le test présomptif sur le milieu de Rothe.
- le test confirmatif sur le milieu Eva Litsky.

L'incubation se fait à 37 °C pendant 24h à 48h. La présence des streptocoques fécaux se manifeste par l'apparition d'un trouble microbien dans tout le milieu de Rothe et éventuellement par la formation d'une pastille violette dans le fond du tube du milieu Eva Litsky.

➤ **Mode opératoire**

• **Le test présomptif**

A partir de l'eau à analyser bien homogénéisé, ensemençer :

- 3 tubes de bouillon Rothe (D/C) avec 10ml de l'échantillon.
- 3 tubes de bouillon Rothe (S/C) avec 1ml de l'échantillon.
- 3 tubes de bouillon Rothe (S/C) avec 0,1 ml de l'échantillon.

Homogénéiser soigneusement par agitation le contenu des tubes en s'assurant que la teinte du bouillon est uniforme en haut et en bas du tube.

Incuber les tubes à 37 °C pendant 24 à 48 heures.

Les tubes présentant un trouble microbien pendant cette période seront considérés comme susceptibles de contenir un streptocoque fécal, ils seront obligatoirement soumis au test confirmatif.

• **Le test confirmatif**

Chaque tube de Rothe trouvé positif lors du test de présomption et après agitation, le tube fera l'objet d'un repiquage à l'aide d'un ose dans un tube de milieu Litsky. Bien mélanger le milieu et l'inoculum, l'incubation se fait à 37 °C, pendant 24 h.

Tous les tubes présentant un trouble et un jaunissement sont considérés comme positifs avec ou sans dépôt violet car parfois, la culture s'agglomère au fond du tube en fixant le

colorant et en formant une pastille violette de signification identique à celle du trouble.

➤ **Expression des résultats**

Le dénombrement s'effectue selon les prescriptions de la table de Mac Grady en tenant compte des tubes Litsky positifs. Pour obtenir le nombre de streptocoques fécaux présent dans 100 ml d'eau à analyser.

6.1.4. Recherche et dénombrement des *Clostridium* sulfito-réducteurs

La recherche et le dénombrement des *Clostridium* sulfito-réducteurs s'effectuent en utilisant la méthode par incorporation en gélose Viande-foie.

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

➤ **Mode opératoire**

• **Destruction des formes végétatives**

Après l'avoir homogénéisé soigneusement l'échantillon, introduire les 10 ml d'eau à analyser dans un tube stérile, ce dernier est placé dans le bain marie à 80 °C pendant 10 minutes puis refroidir rapidement sous l'eau du robinet dont le but est de détruire toutes les formes végétatives des ASR éventuellement présentes, ensuite répartir le contenu de ce tube, dans 4 tubes stériles, à raison de 1ml par tube.

• **Préparation du milieu**

On place le flacon du milieu Viande-foie au bain marie bouillant pour assurer la fusion du milieu (régénération du milieu) et l'élimination des gaz dissous. Puis, on le refroidi environ à 45 °C par passage sous l'eau du robinet. Le milieu est ainsi prêt à l'emploi.

• **Inoculation et incubation,**

- Répartir l'eau traitée dans 4 tubes stériles, à raison de 1 ml par tube.
- Couler dans chacun d'eux 20 ml de gélose VF, additionnée de 20 gouttes (1ml) de la solution de sulfite de sodium et 4 gouttes de la solution d'alun de fer.
- Enfin, homogénéiser le contenu doucement sans incorporer de bulles d'air.

- Laisser solidifier sur la paillasse pendant 30 minutes environ, puis incuber à 37 °C pendant 24 à 48 h.
- Une première lecture est effectuée après incubation à 37 °C pendant 24 h et une deuxième après 72 h.

Il est indispensable de procéder à une lecture dès les premier 24 h et les 48 h: en présence de nombreuses colonies, une diffusion des halos peut conduire à une coloration noire uniforme du tube et tout dénombrement devient impossible aux 72 h. Par contre, s'il y a une faible quantité de colonies à la première lecture, et si les colonies sont petites, il peut y avoir un développement de nouvelles colonies dans les 24 heures suivantes.

➤ **Lecture et expression des résultats**

On considère comme résultant d'une spore de bactérie anaérobie sulfito-réductrice toute colonie entourée d'un halo noir.

L'expression du résultat est en nombre de spore par 1 ml d'eau à analyser.



**TROISIEME PARTIE:
RESULTATS ET DISCUSSION**

Notre objectif consiste à vérifier la présence et à dénombrer les germes indicateurs de contamination notamment ceux indicateurs de contamination fécale, qui peuvent se trouver dans les eaux de puits et de sources de la Wilaya de Constantine. Ce contrôle bactériologique est important dans la détermination de la qualité et donc la potabilité de ces eaux souterraines.

Au cours de cette partie, nous présenterons et discuterons nos principaux résultats obtenus, tout en les comparant avec les normes algériennes et celles de l’OMS. De plus, nous déterminerons l’évolution de la qualité bactériologique des eaux souterraines de la Wilaya durant la période sèche et la période humide, et nous essayerons d’expliquer les différentes pollutions et leurs origines.

1. Résultats des dénombrements des microorganismes

Les résultats de l’analyse bactériologique concernant 18 puits et 18 sources d’eau sont reportés dans les tableaux (Annexe 07) dans l’annexe. Ils sont aussi représentés graphiquement dans les figures suivantes.

1.1. Germes totaux

Les germes totaux à 37 °C sont des bactéries d'origine intestinale ou environnementale [115]. Cette flore bactérienne identifiée par les techniques classiques de comptage sur gélose n'est pas forcément représentative des bactéries effectivement présentes dans l'eau produite. En effet, la numération des germes totaux est l'une des méthodes utilisées pour surveiller la qualité globale de l'eau. Or, elle n'indique pas sa salubrité ni par conséquent la présence possible de germes pathogènes pour les consommateurs de cette eau [2].

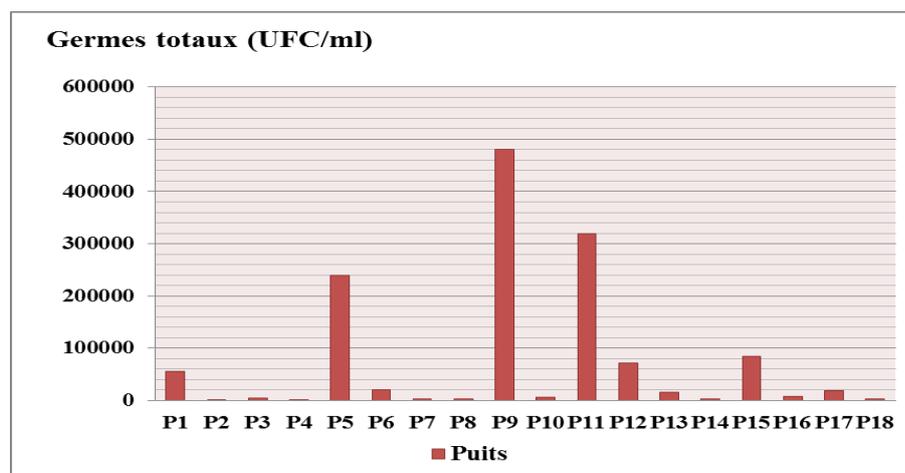


Figure 08 : Variation des Germes totaux dans les différents puits.

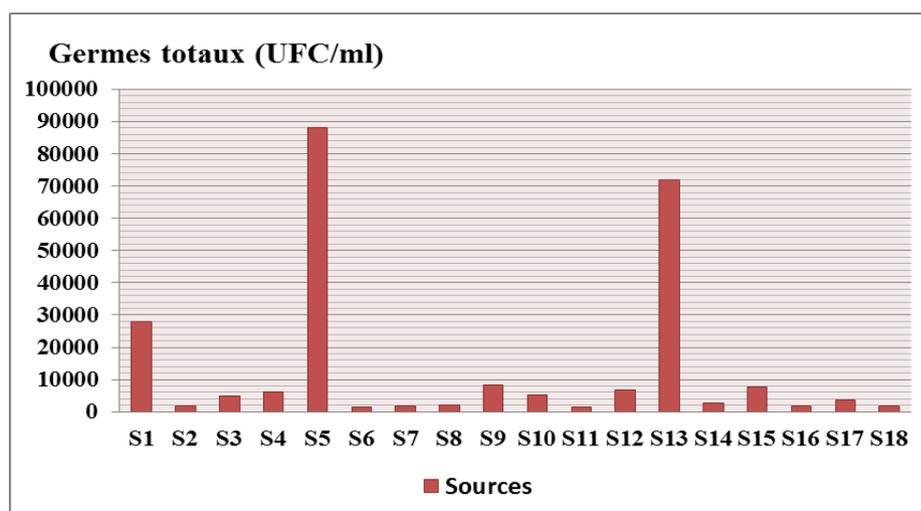


Figure 09 : Variation des Germes totaux dans les différentes sources.

Les résultats obtenus montrent que tous les puits analysés contiennent des germes totaux (Figure 08). La concentration de cette flore varie entre 2000 UFC/ml et 4.8×10^5 UFC/ml, soit une moyenne de 7.4×10^4 UFC/ml. Le P9 est le plus chargé en germes totaux avec une concentration de 4.8×10^5 UFC/ml, suivie du P11 (3.2×10^5 UFC/ml) et du P5 (2.4×10^5 UFC/ml) respectivement.

Quant aux eaux de sources analysées, les résultats obtenus montrent qu'elles renferment toutes des germes totaux (Figure 09). La concentration de ces derniers varie entre 1440 UFC/ml et 8.8×10^4 UFC/ml, soit une moyenne de 1.4×10^4 UFC/ml. Les concentrations les plus élevées sont enregistrées dans les sources : S5 (8.8×10^4 UFC/ml), S13 (7.2×10^4 UFC/ml) et S1 (2.8×10^4 UFC/ml) respectivement. Ces variations sont dues au fait que les sites sont exposés à diverses sources de contamination qui diffèrent d'un endroit à l'autre.

1.2. Coliformes totaux

Ce groupe hétérogène de coliforme appartient à la famille des entérobactéries et comprend plusieurs genres bactériens qui représentent la flore intestinale normale. Cependant, la plupart des espèces se retrouvent aussi naturellement dans le sol, la végétation et aussi dans l'eau. De ce fait, cette analyse n'est pas considérée comme un indicateur de contamination fécale ou de risque sanitaire. La présence de coliformes totaux dans les eaux souterraines peut avoir plusieurs significations dont la recroissance bactérienne et une déficience ou une absence de traitement [116].

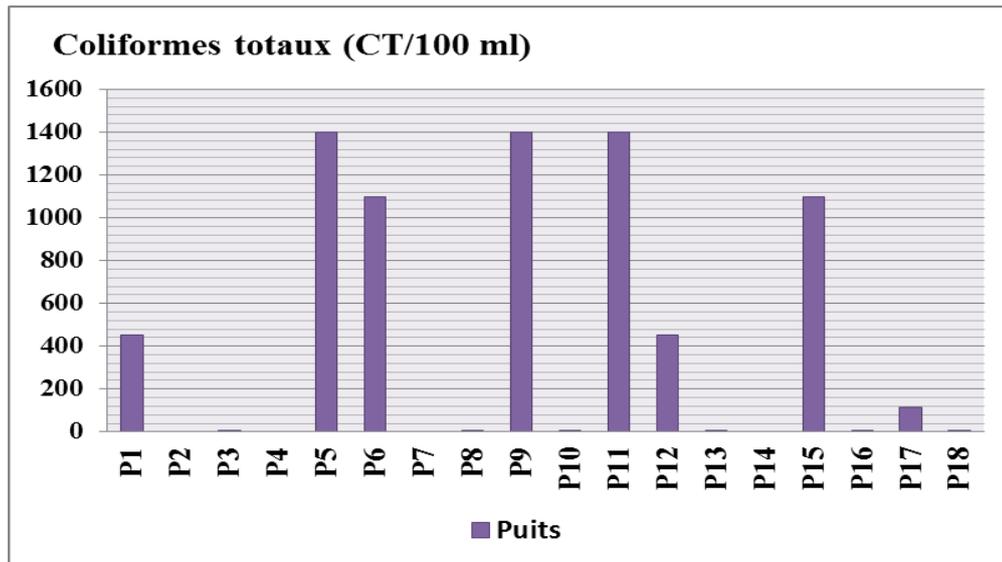


Figure 10 : Variation des Coliformes totaux dans les différents puits

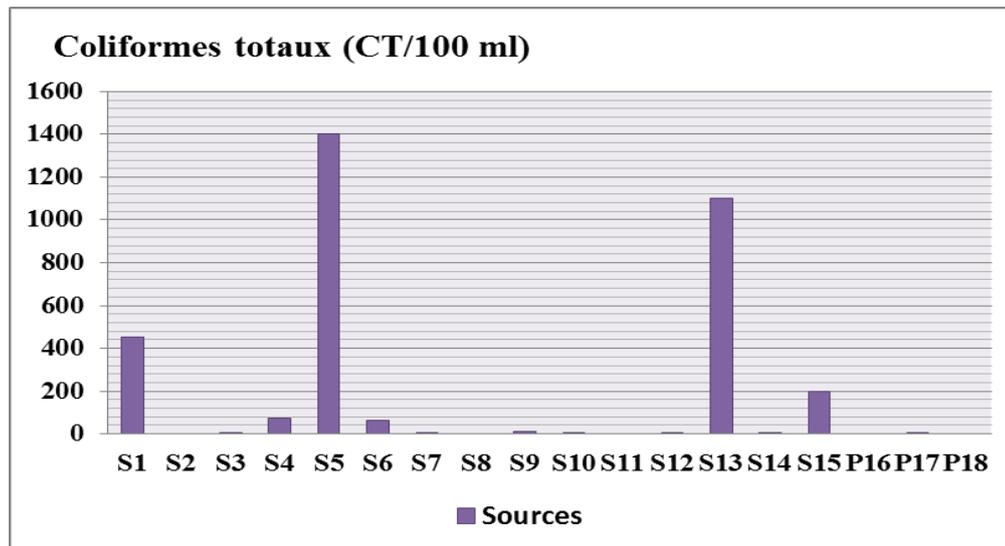


Figure 11 : Variation des Germes totaux dans les différentes sources

L'examen des histogrammes illustrés dans la figure (10) montre que les eaux de puits P2, P4, P7 et P14 ne contiennent pas de coliformes totaux contrairement à tous les autres puits analysés qui en renferment avec des concentrations qui varient de 04 CT/100 ml à 1400 CT/100 ml, soit une moyenne de 532,57 CT/100 ml. La concentration de cette flore atteint son maximum (1400 CT/100 ml) dans les puits P5, P9 et P11.

Les résultats présentés sur la figure (11) montrent qu'à l'exception des eaux de ces sources : S2, S8, S11, S16 et S18, qui sont potables par l'absence totale de ces germes, toutes les autres eaux de sources renferment des coliformes totaux à des concentrations qui fluctue

de 03 CT/100 ml à 1400 CT/100 ml, soit une moyenne de 256,30 CT/100 ml. La concentration maximale en ces germes est observée dans la source S5 (1400 CT/100 ml) suivie de la S13 (1100 CT/100 ml) et la S1 (450 CT/100 ml).

Ces valeurs sont élevées en comparaison avec les normes algériennes (JORA, 2011) et celles de l’OMS (1994) qui exigent que le nombre de coliformes totaux soit inférieur à 10 UFC/100 ml dans les eaux destinées à la consommation humaines [73,117].

1.3. Coliformes thermotolérants (*Escherichia coli*)

La présence des coliformes thermotolérants, signe l'existence quasi certaine de la contamination fécale d'une eau [58]. L'OMS (2004), énonce que la présence d’*E.coli*, apporte la preuve incontestable d’une pollution fécale récente [117].

E. coli est une espèce des Entérobactéries thermotolérantes capable de dégrader le tryptophane en indole. Elle est considérée comme germe dominant de la flore intestinale des animaux à sang chaud et en particulier les humains, et représente 1 % de la biomasse microbienne [118,119].

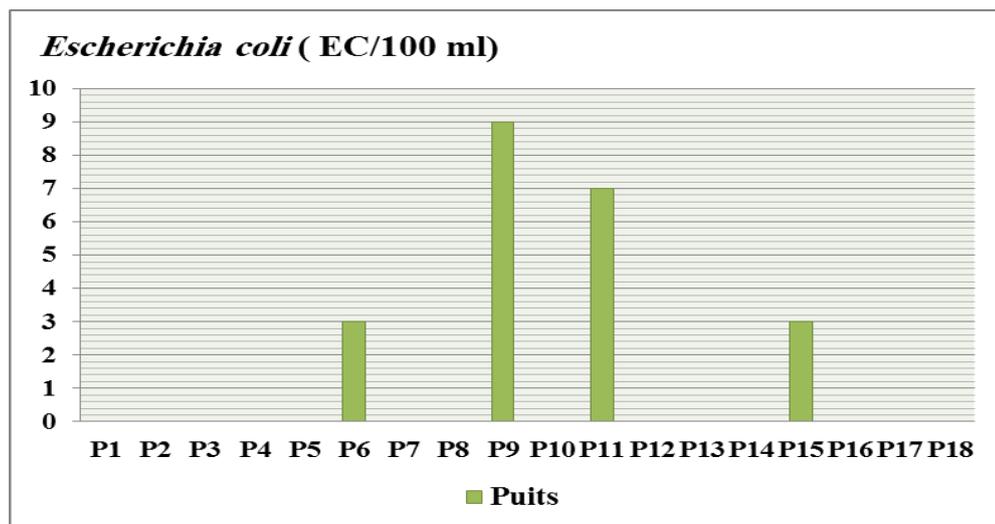


Figure 12 : Variation des Germes d’*E.coli* dans les différents puits

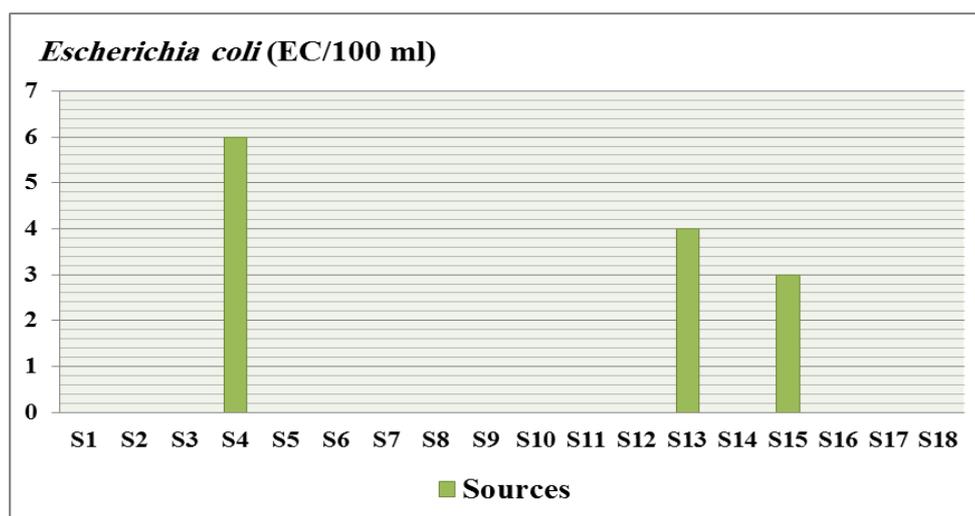


Figure 13 : Variation des Germes d'*E.coli* dans les différentes sources

Dans la région d'étude, le dénombrement des germes d'*Escherichia coli* (EC), montre que 78.8% des eaux des puits contrôlés sont dépourvus de ces germes de contamination fécale, alors qu'ils sont présents dans les eaux des autres puits P6 (03 EC/100 ml), P9 (09 EC/100 ml), P11 (07 EC/100 ml) et P15 (03 EC/100 ml) avec une concentration moyenne de 5,5 EC/100 ml (figure 12).

Quant aux eaux de sources, les résultats montrent que 83,3 % des échantillons sont dépourvus de ces germes pendant que les autres échantillons en contiennent avec des nombres de 03 EC/100 ml, 04 EC/100 ml et 06 EC/100 ml, enregistrés dans la source S15, S13 et S4 respectivement. Soit une moyenne de 4,33 EC/100 ml (figure 13).

1.4. Streptocoques fécaux

La détection d'entérocoques dans une nappe d'eau souterraine doit faire penser à une contamination d'origine fécale et la présence de micro-organismes entéro-pathogènes [66,120]. Selon Figarella et Leyral (2002) ; Rodier et al. (2005), la présence des streptocoques fécaux doit s'accompagner de la présence de coliformes fécaux pour être certain d'une contamination fécale d'une eau d'alimentation [121,122]. En effet, en étudiant la qualité sanitaire des eaux de consommation de la suisse, Pruss (1998) a confirmé la corrélation étroite entre la présence des *Enterococcus* et *Escherichia coli* et l'apparition des maladies d'origine hydrique [123].

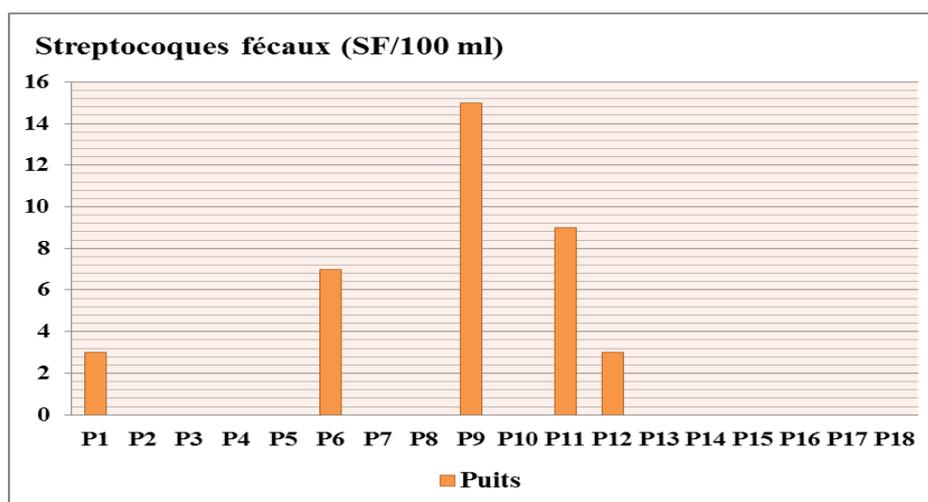


Figure 14 : Variation des Streptocoques fécaux dans les différents puits

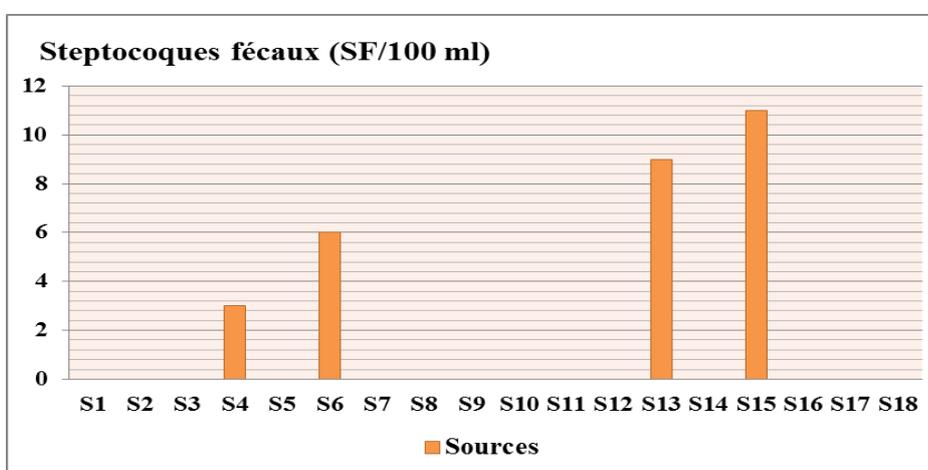


Figure 15 : Variation des Streptocoques fécaux dans les différentes sources

Les analyses bactériologiques effectuées sur les échantillons d'eau de puits (figure 14) montrent que 16,7 % contiennent des Streptocoques fécaux avec des concentrations qui varient de 07 SF/100 ml (P6) à 15 SF/100 ml (P9), soit une moyenne de 6,2 SF/100ml.

Des taux bas de Streptocoques fécaux sont ainsi enregistrés exceptionnellement dans deux sources (figure 15) : S13 (09 SF/100 ml) et S15 (11 SF/100 ml), à une moyenne de 5 SF/100ml.

Ce nombre de streptocoques fécaux dépasse largement les normes locales (JORA, 2011) et celles de l'OMS (1994) qui exigent l'absence totale de cette flore dans les eaux destinées à la consommation humaine [73,117].

D'après les travaux de Youmbi et al. (2013), la présence de streptocoques fécaux dans les eaux de puits et de sources atteste la contamination des eaux par les matières fécales

stockées dans les latrines [124].

1.5. *Clostridium* sulfito-réducteurs

Les *Clostridium* sulfito-réducteurs sont des germes capables de sporuler et de se maintenir longtemps dans l'eau. Ils sont donc les témoins d'une pollution ancienne. Plus difficilement tués que les coliformes par les désinfectants, ils constituent donc un bon indicateur de l'efficacité de la désinfection [65].

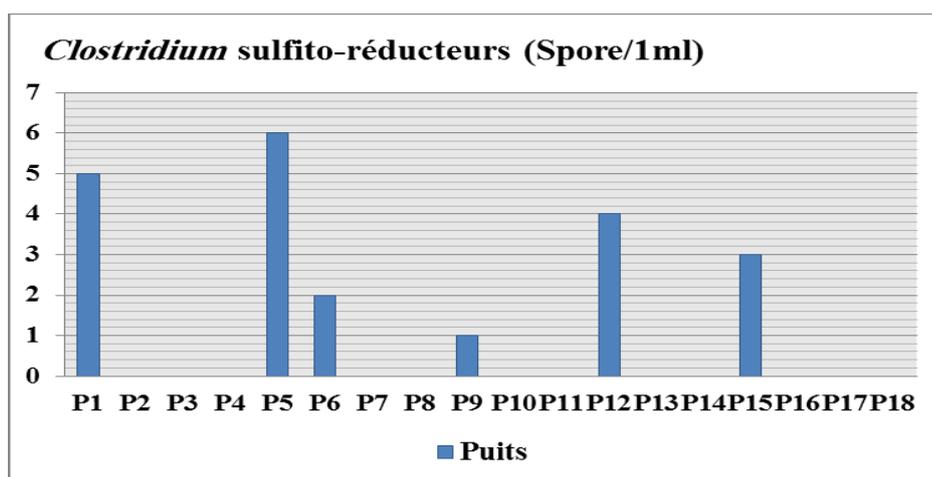


Figure 16 : Variation des *Clostridium* sulfito-réducteurs dans les différents puits

D'après la figure (16), 33,3 % des eaux de puits étudiés sont contaminés par les *Clostridium* sulfito-réducteurs dont le nombre varie de 01 Spore/1ml (P9) à 06 Spore/1ml (P5), soit une moyenne de 3,5 Spore/1ml.

Cependant, l'analyse bactériologique indique l'absence totale de ces germes dans tous les échantillons d'eau des sources étudiées.

En études tous les résultats des analyses bactériologiques, on peut conclure que :

- Environ 56 % des puits étudiés répondent aux normes exigées (JORA, 2011 et OMS, 1994) et peuvent donc être consommées par l'être humain. Il s'agit des puits : P2, P3, P4, P7, P8, P10, P13, P14, P16 et P18.
- Les eaux de puits P2, P4, P7 et P14 sont exemptes germes indicateurs de contamination (Coliformes totaux, *Escherichia coli*, Streptocoques fécaux et *Clostridium* sulfito-réducteurs) ce qui fait que ces puits renferment des eaux d'excellente qualité bactériologique.
- Les puits : P1, P5, P6, P11, P12, P15 et P17 sont contaminés par des germes pathogènes et doivent suivre un traitement de nettoyage et de désinfection efficace.

- Environ 67 % des sources contrôlées répondent aux normes (JORA, 2011 et OMS, 1994) et peuvent donc être consommées sans danger. Il s'agit des sources: S2, S3, S7, S8, S9, S10, S11, S12, S14, S16, S17 et S18.
- Les sources : S2, S8, S11, S16 et S18 fournissent des eaux d'excellente qualité bactériologique, elles sont dépourvues de tous germes indicateurs de contamination.
- Les sources : S1, S4, S5, S6, S13 et S15 sont contaminées par des germes pathogènes et doivent être déclarées aux autorités.

L'étude de la qualité bactériologique des 36 points d'eaux étudiés a mis en évidence la contamination de la nappe phréatique de la wilaya de Constantine dans quelques points. D'après nos prospections dans les sites des puits et de sources d'eau contrôlés, cette contamination pourrait être due à la mauvaise protection de ces ressources (puits à ciel ouvert ou contenant des trous au niveau des parois permettant la pénétration des contaminants, rejets animales et humains au niveau des sources), la méconnaissance des règles élémentaires d'hygiène, décharges publique non contrôlées, la pollution avoisinante (élevage des bétails, existence des fumiers et des fosses septiques et des latrines), l'infiltration d'eau de surface et l'absence d'un réseau d'assainissement. Ces causes rejoignent celles détectées dans l'étude menée par El Haissoufi et al. (2011) sur la pollution des eaux de puits de certains quartiers de la ville de Fès au Maroc [125]. Les travaux de Boutin ont rapporté également que l'eau d'une nappe phréatique est d'autant plus vulnérable et prédisposée à la contamination que le sommet de la nappe est proche de la surface du sol, que les terrains qui surmontent l'aquifère sont perméables et que les sources superficielles de pollution sont importantes [126].

Nous avons constaté à travers cette analyse que certains puits et sources étudiées ont enregistré des pollutions en indicateurs de contamination fécale. Nos résultats sont en accord avec ceux trouvés par Ayad et Kahoul (2016) pour la nappe phréatique de la région d'El-Harrouche (wilaya de Skikda) [28]. Aussi, en accord avec ceux de Aouissi pour la nappe phréatique de la wilaya de Guelma [127], et avec ceux obtenus par El Haissoufi et al., [125] pour les puits prospectés dans la ville de Fès, aussi avec ceux obtenus pour la nappe de Meknès [128] et ceux enregistrés pour la nappe phréatique superficielle de Marrakech [129].

Nos résultats prouvent également la contamination simultanée de l'eau du puits par les coliformes et streptocoques fécaux, en accord avec les résultats de l'étude menée à Cotonou au Bénin (Mickael et al., 2010) [130], et à Meknès au Maroc (Belghiti et al., 2013) [131].

2. Etude de la qualité bactériologique des échantillons d'eaux collectés pendant la période humide de l'année 2019

D'après les résultats statistiques présentés dans la figure (17), environ 64 % des eaux des puits et 66 % des eaux de sources étudiées pendant la période humide de l'année 2019 répondent aux normes de potabilité. Tandis que, 36 % des puits et 34 % des sources fournissent des eaux de mauvaise qualité bactériologique et donc ne peuvent être consommés par l'homme.

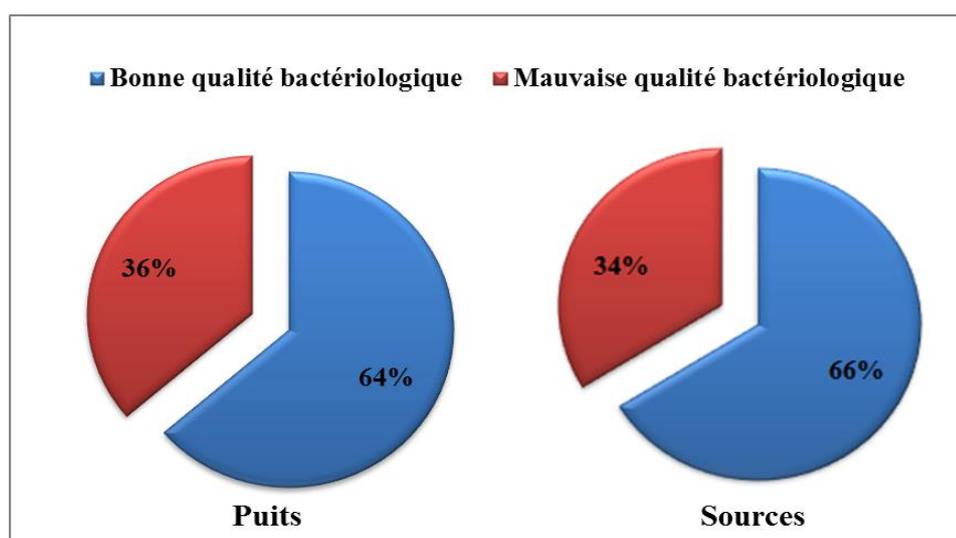


Figure 17 : Qualité bactériologique de l'ensemble des échantillons d'eau collectés pendant la période pluvieuse de l'année 2019

Par simple lecture comparative de la figure (18), on remarque que la daïra d'El Khroub révèle le taux le plus élevé de puits de mauvaise qualité bactériologique (76,9 %). Cependant, la daïra de Zighoud Youcef présente le taux le plus élevé de puits de bonne qualité (87,5 %), suivie de la daïra d'Ibn Ziad (77,78 %), de Constantine et de Hamma Bouzinae (62,5 %).

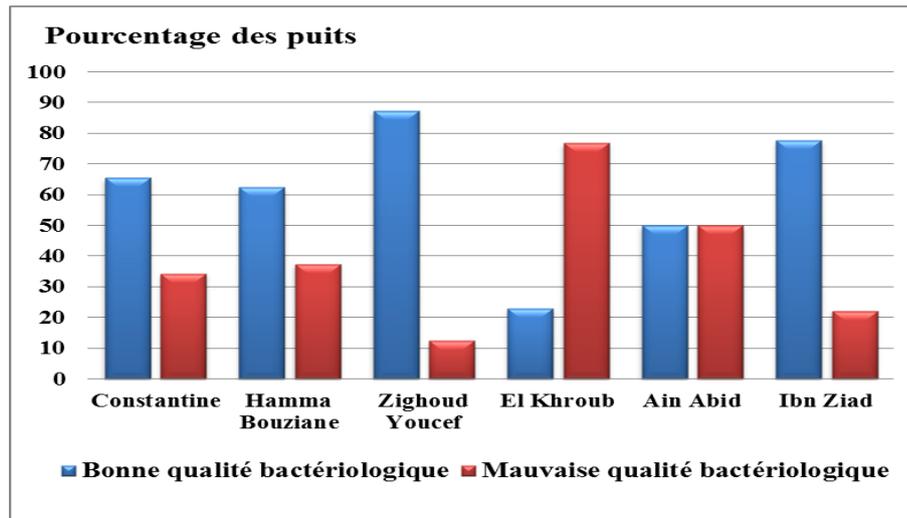


Figure 18 : Qualité bactériologique des eaux de puits selon chaque daïras pendant la période pluvieuse de l’année 2019

Quant aux eaux de sources, on remarque que toutes les eaux de la daïra d’Ibn Ziad sont de bonne qualité bactériologique. Cependant, 65,2 % des sources de la daïra de Zighoud Youcef sont de mauvaise qualité (Figure19).

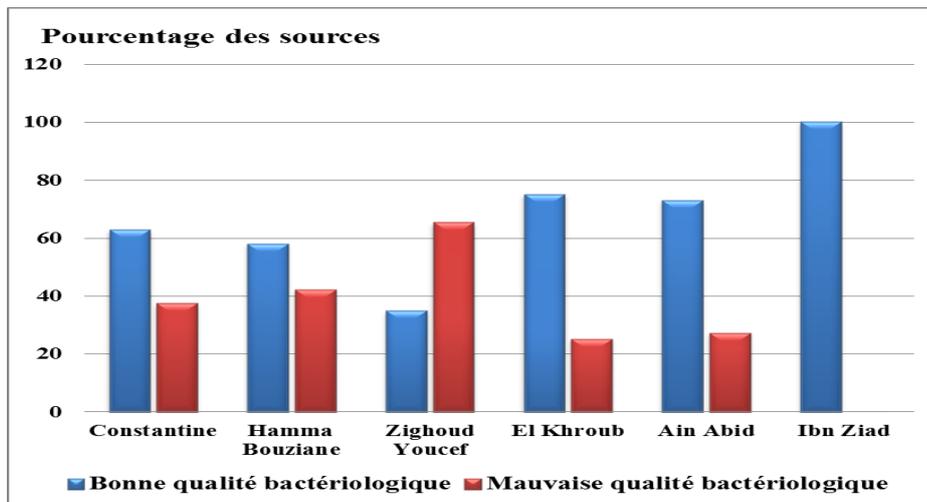


Figure 19 : Qualité bactériologique des eaux de sources selon chaque daïras pendant la période pluvieuse de l’année 2019.

On peut tirer de ces comparaisons que pendant la saison humide de l’année 2019, la daïra d’Ibn Ziad est la seule renfermant des eaux souterraines de bonne qualité bactériologique.

3. Etude de la qualité bactériologique des échantillons d’eaux collectés pendant la période sèche de l’année 2018

Les résultats statistiques présentés dans la figure (20) montrent qu’environ 51 % des eaux de puits et 53 % des eaux de sources contrôlés pendant la période sèche de l’année 2018 sont de bonne qualité bactériologique. Tandis que, 51 % des puits et 47 % des sources ne répondent pas aux normes de potabilité et ne peuvent donc servir à la consommation humaine.

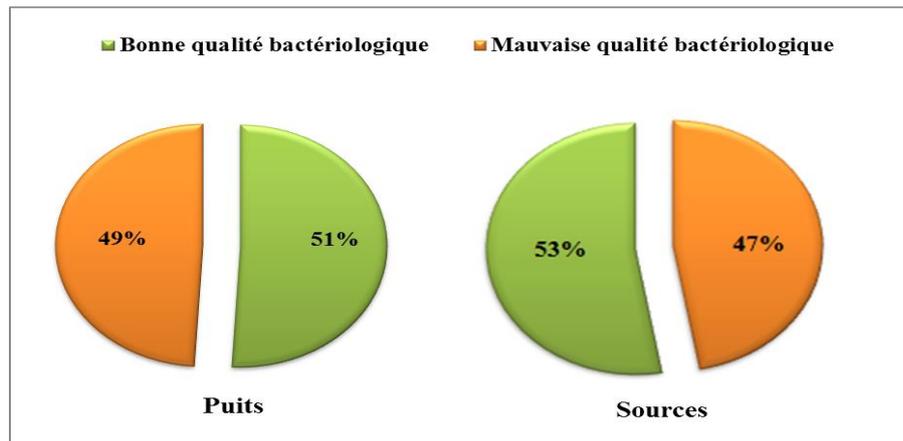


Figure 20 : Qualité bactériologique de l’ensemble des échantillons d’eau collectés pendant la période pluvieuse de l’année 2019.

D’après la figure (21), on remarque que la Daira de Hamma Bouziane révèle le taux le plus élevé de puits de bonne qualité bactériologique (64,3 %) pendant que la Daira d’El Khroub présente le taux le plus élevé de puits de mauvaise qualité (61,54 %).

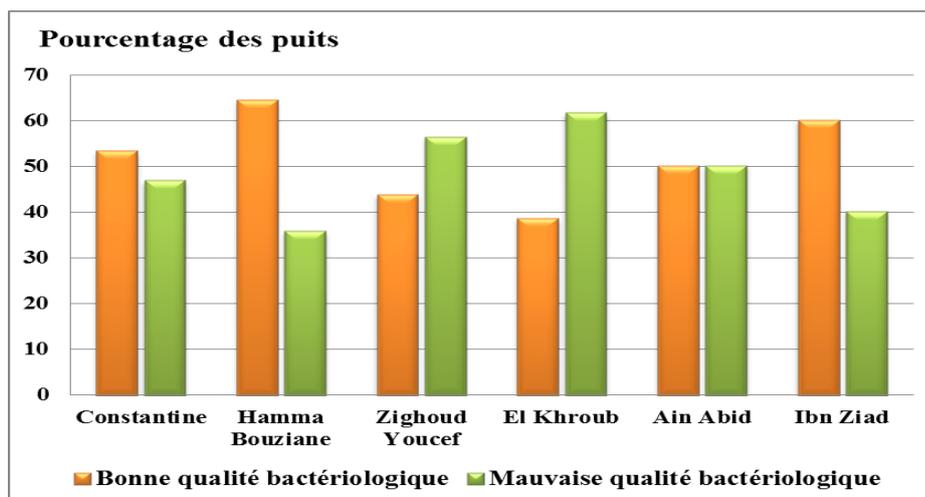


Figure 21 : Qualité bactériologique des eaux de puits selon chaque daïras pendant la période sèche de l’année 2018

Pour les eaux de sources analysées, on remarque que la majorité des sources de la Daïra d'Ibn Ziad sont de bonne qualité bactériologique (84,2 %) pendant que 61,5 % des sources de la Daïra d'El Khroub sont impropres à la consommation (Figure 22).

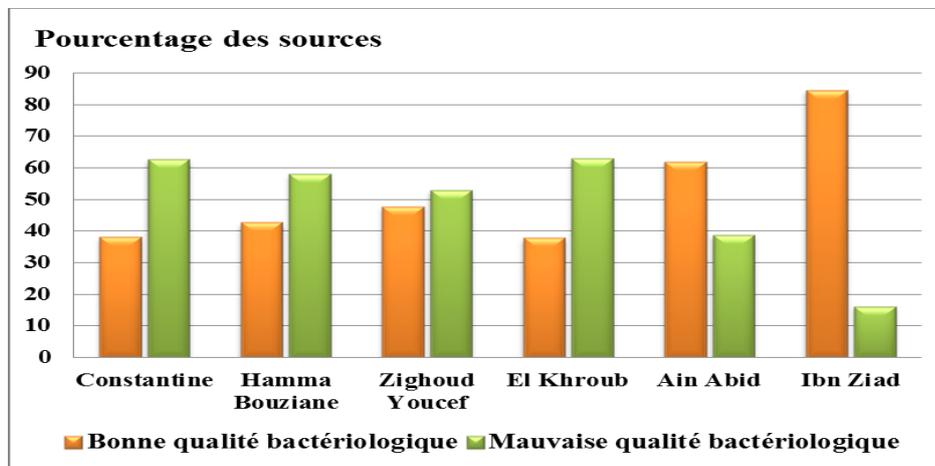


Figure 22 : Qualité bactériologique des eaux de sources selon chaque daïras pendant la période sèche de l'année 2018.

On peut conclure que pendant la saison sèche de l'année 2018 et humide de l'année 2019, la daïra d'Ibn Ziad est la seule procurant globalement des eaux souterraines de conformes aux normes exigées, contrairement à la daïra d'El Khroub fournissant des eaux souterraines de mauvaise qualité bactériologique.

4. Etude comparative de la qualité bactériologique des échantillons d'eau collectés pendant la période sèche de l'année 2018 et la période humide de l'année 2019

L'examen des résultats illustrés dans la figure (23) révèle que le taux de puits pollués fluctue entre les deux périodes d'étude et dans les six daïras de la Wilaya de Constantine. Au niveau des daïras d'El Khroub et de Hamma Bouziane, ce taux est plus important dans la période humide que dans la période sèche contrairement aux daïras de Zighoud Youcef, de Constantine et d'Ibn Ziad où le taux est plus important dans la période sèche.

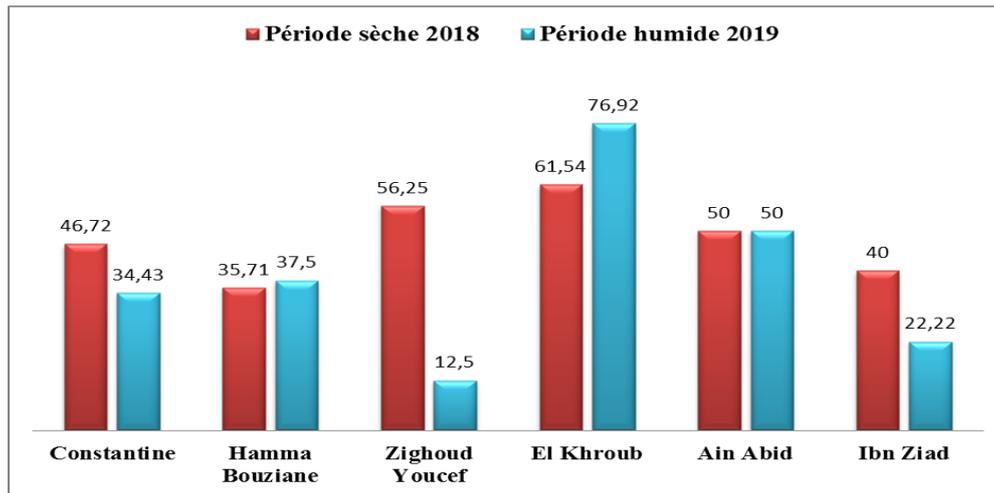


Figure 23 : Taux des puits pollués dans chaque daïra de la wilaya de Constantine

Quant aux eaux de sources, les résultats illustrés dans la figure (24) révèle que le taux des sources polluées varie entre les deux périodes d'étude et dans les six daïras de la Wilaya de Constantine. Au niveau de la daïra de Zighoud Youcef, ce taux est plus important dans la période humide que dans la période sèche contrairement à toutes les autres daïras où ce taux est plus important dans la période sèche. Toutes les sources de la daïra d'Ibn Ziad contrôlées dans la période pluvieuse sont de bonne qualité. Cependant, 15,97 % des sources contrôlées dans cette région pendant la période sèche sont de mauvaise qualité bactériologique.

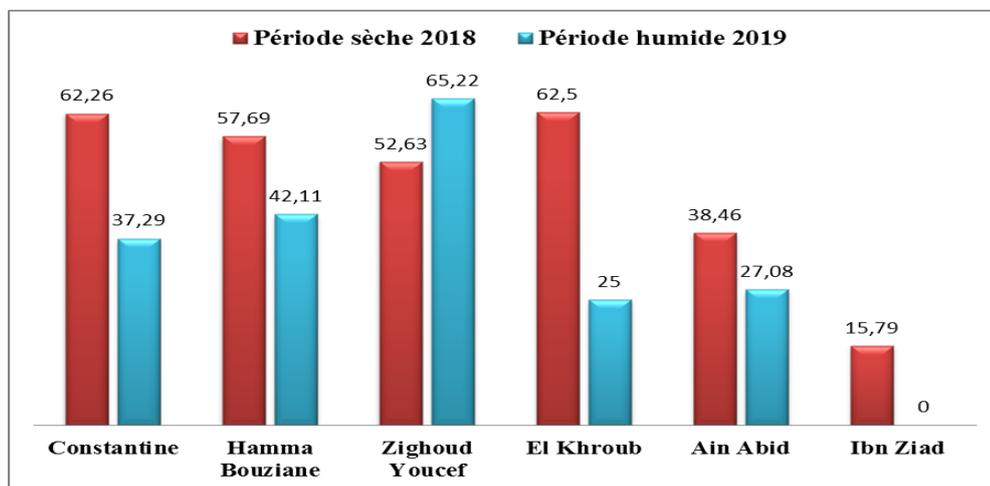


Figure 24 : Taux des sources polluées dans chaque daïra de la wilaya de Constantine

L'examen des graphiques illustrés dans les figures (24) et (25) montre que le taux de puits et de sources pollués dans l'ensemble de la Wilaya de Constantine est plus élevé pendant la période sèche que pendant la période pluvieuse, en accord avec les résultats de Ayad et Kahoul (2016) et Aouissi (2009) [28, 127]. Ce taux plus important dans la saison sèche que

pluvieuse, peut être expliqué par le fait que la température de l'eau augmente dans cette période et devient alors favorable pour la croissance des microorganismes.

Ce résultat réfute l'hypothèse que nous avons évoquée au début de notre étude qui stipule que le taux des eaux souterraines polluées augmente lors de la saison pluvieuse. La diminution du taux des eaux souterraines polluées de la Wilaya de Constantine lors de la saison pluvieuse peut être expliquée par le phénomène de forte dilution causée par la recharge de la nappe phréatique après la chute des pluies et la basse température de l'eau souterraine pendant cette période ce qui ne favorise pas la prolifération des microorganismes. Selon Kouamé et al. (2009), il suffit de 1 mois pour que 70 % des eaux infiltrées atteignent la nappe phréatique superficielle située entre 0 et 10 m [132].

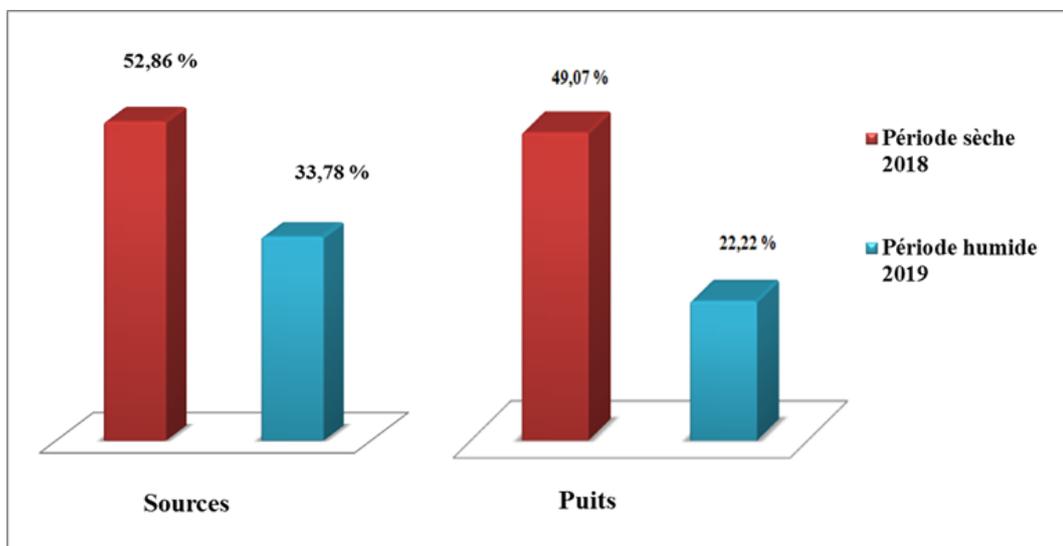


Figure 25 : Taux des puits et des sources pollués dans l'ensemble de la wilaya de Constantine

En effet, en plus de la pluie qui joue un rôle prépondérant dans l'alimentation éventuelle des nappes souterraines et dans le transfert des contaminants lors de son infiltration, plusieurs facteurs peuvent agir sur la qualité des nappes phréatiques dont la méconnaissance des règles élémentaires d'hygiène, l'absence d'un réseau d'assainissement et la spécificité de chaque zone d'étude.

Dans la Wilaya de Constantine, la nature du sol est influencée par l'existence des fosses septiques et des latrines, des déchets domestiques, industriels et agricoles dans chaque zone. En outre, chaque daïra se caractérise par des aspects pluviométriques, topographiques et pédologiques (nature et structure spatiale du sol différentes, agissant sur l'infiltration des eaux

de précipitations dans le sol. Ceci a été bien révélé dans les résultats que nous avons obtenus.

En effet, dans la daïra de Constantine, le taux des eaux souterraines polluées dans la période sèche est plus important que celui enregistré dans la période humide ceci peut être due à sa nappe d'aquifères faiblement poreuse et sa topographie qui permet le ruissellement des eaux de précipitations plus que leurs infiltrations, contrairement à la daïra d'El Khroub où ce taux est moins important dans la période sèche. Cette augmentation du taux des eaux souterraines polluées dans la daïra d'El Khroub pendant la période pluvieuse peut être expliquée par sa nappe d'aquifères fortement poreuse et sa topographie qui permet plus d'infiltration de l'eau de pluie que son ruissèlement, et par les fortes activités industrielles et agricoles distinguant cette zone. Selon Figarella et Leyral (2002), si le nombre des germes totaux augmente de manière importante, en particulier après une forte pluie, cela montre que la ressource est mal protégée, se contamine par des eaux d'infiltration [121].

L'aspect pluviométrique varie ainsi d'une daïra à une autre, ce qui influe sur la quantité d'eau infiltrée dans le sol.

Ces résultats contradictoires, confirmant chacun une hypothèse distincte pourraient faire l'objet d'autres travaux de recherche afin de mieux comprendre l'influence de la spécificité de chaque zone d'étude sur la qualité bactériologique de ses eaux souterraines.



CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette étude a été menée dans le but de contribuer à l'étude de la qualité bactériologique de l'eau de certains puits et sources de la wilaya de Constantine (Est de l'Algérie).

Aux termes de notre travail, nous pouvons conclure que les nappes phréatiques de la wilaya de Constantine subissent une contamination bactérienne variable. Cette dernière se manifeste par des valeurs dépassant largement les normes locales et internationales durant les deux périodes d'études : période sèche et période pluvieuse.

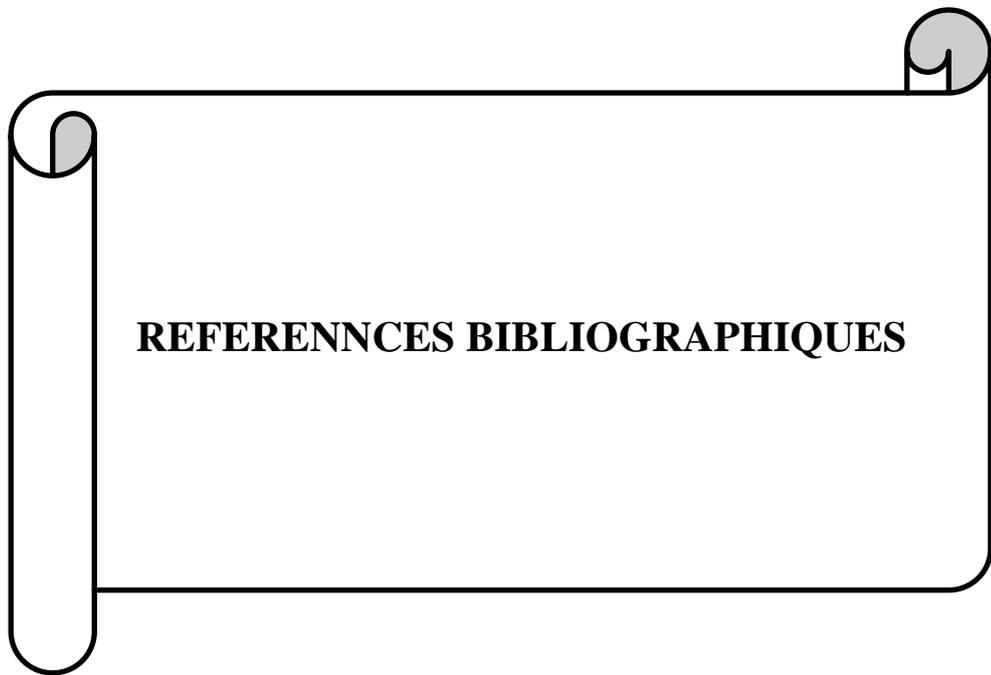
La majorité des eaux de puits et de sources analysées sont souillées par les germes indicateurs de contamination et donc ne peuvent pas être consommées. La présence des germes dans les eaux de puits et de sources pendant la durée de la surveillance est la preuve d'une pollution pendant toute l'année. Dans l'ensemble, le nombre des germes diminue en saison humide. Cette diminution peut être due au phénomène de forte dilution causée par la recharge de la nappe phréatique après la chute des pluies et la basse température de l'eau souterraine pendant cette période ce qui ne favorise pas la prolifération des microorganismes.

Le danger de la pollution bactériologique constitue sans aucun doute une menace pour les habitants qui puisent l'eau nécessaire à leurs besoins à partir de ces ouvrages.

Les résultats de cette étude seront d'un grand intérêt pour les services d'hygiène de la santé qui seront menés à mettre en place des actions préventives et curatives afin d'éviter des éventuels risques sanitaires graves. Aussi, ils vont permettre aux décideurs d'établir des politiques et des programmes d'Information, d'Education, de Communication et de Sensibilisation (IECS) destinés à la rationalisation, la préservation et la valorisation de nos ressources en eaux toute en s'alignant aux recommandations du développement durable.

Afin d'éviter tout risque sanitaire lors de la consommation de ces eaux et pour une meilleure maîtrise de cette pollution, il serait judicieux d'entreprendre les démarches suivantes :

- Faire un suivi périodique quantitatif et qualitatif des nappes souterraines,
- Interdire toute réalisation de point d'eau dans les zones à forte exploitation,
- Boucher tous les points d'eau abandonnés et présentant des anomalies d'équipement,
- Sensibiliser les populations et les inciter à traiter l'eau des puits avant consommation, et leur rassurer qu'on peut faire reculer toutes les maladies d'origine hydrique par un approvisionnement suffisant en eau salubre et par l'amélioration de l'assainissement et des conditions d'hygiène.
- Bien gérer les ordures ménagères et l'utilisation des fertilisants agricoles,
- Mettre en place un réseau d'assainissement pour l'évacuation des eaux usées.



REFERENNCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **Kirkpatrick, k et Fleming E. (2008)**. La qualité de l'eau, ROSS TECH 07/47, p12.
2. **Bengarnia, B. (2016)**. Thèse de doctorat : Contribution à l'étude et l'évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de consommation de la région d'Oued Es-Soura, cas de Béni-Abbès, Ougarta et Zeghamra, p133.
3. **John, P et Donald, A. (2010)**. Microbiologie, 3ème Édition, p1216.
4. **Les enjeux de santé liés à la qualité de l'eau de boisson dans les pays en développement Jean Delmont (2016)**. Faculté de Médecine de Marseille. Atelier d'information sur la qualité de l'eau dans les projets de développement des services d'eau potable .Lyon.
5. **OMS (2005)**. Célébration de la décennie internationale d'action : L'eau source de vie 2005-2015, Journal mondial de l'eau 2005, Guide de sensibilisation, Genève, Suisse, p34.
6. **World Health Organization (2008)**. Guidelines for drinking-water quality, third edition incorporating the first and second addenda, volume1, Recommandations, Geneva, p26.
7. **Chekroud, H. (2007)**. Mémoire de Magister : Etude de la pollution des eaux de la plaine Telezza due aux activités agricoles et commerciales, , Université du 22 Aout 1955, Skikda, p56.
8. **Bosca, C. (2002)**. Groundwater law and administration of sustainable development, Mediterranean Magazine, Science Training and Technology, N° 2, p13-17.
9. **Merzoug, D et al., (2010)**. Faune aquatique et qualité de l'eau des puits et sources de la région d'Oum-El-Bouaghi (Nord-Est algérien), Hydroécol Applied, p77-97.
10. **Myrand, D. (2008)**. Guide technique : captage d'eau souterraine pour des résidences isolées, Québec, p04.
11. **Anglaret, E. (2002)**. Maladies infectieuses, Edition, Med-Lin, p40-43.
12. **Michard,k. (2002)**.Chimie des eaux naturelles. Principes de géochimie des eaux. Edition Publisud, 565p.
13. **Centre d'Information sur l'Eau (CIE), (2013)**. Le cycle naturel de l'eau, p6.
14. **Réseaux Partenarial des Données sur l'Eau (RPDE). (2007)**. Le cycle de l'eau, Observatoire Régional de l'Environnement Poitou-Charentes, p33.
15. **Grosconde, G. (1999)**.Un point sur l'eau (l'eau milieu naturel et maîtrise), Tome 1ème Edition., Inra, Paris, p17-18.
16. **Defrance, S. (1996)**.L'eau dans tous ses états. Edition Ellipses. Paris, p632.
17. **Julien, M. (2007)** .Un point sur l'eau (l'eau milieu naturel et maîtrise), Tome 1ème Edition., Inra, Paris, p17-18.

18. **Degremont. (1989).** Mémento technique de l'eau, Tome 1 & 2, Collection Dégremont, ISBN 2-9503984-0-5, p1459.
19. **Ramade,F. (1981).** Ecologie des ressources naturelles, Edition Masson., France, p136-142.
20. **Muriel, H. (2010).** Suivi de la qualité de l'eau produite et distribuée : Elaborer et mettre en œuvre un plan des sécurités sanitaire des eaux, Direction des affaires sanitaires et sociales de la nouvelle Calédonie, Santé et environnement, NOUMEA cedex, p02.
21. **Beliefert, C et Perraud, R. (2001).**chimie de l'environnement, p477.
22. <http://www.eau-artois-picardie.fr/education-leau-dossiers-thematiques/le-grand-cycle-de-leau>. Consulté le 15 Mai 2019.
23. **Bouziანი M. (2000).** L'eau de la pénurie aux maladies, Edition ibn khaldoun, p247.
24. **Valverde, A. (2008).** Comprendre le cycle de l'eau, bulletin de l'OMM, Vol 57 N°3, p55.
25. **Collin, J. (2004).** Les eaux souterraines : Connaissance et gestion, HERMANN, Editeurs des sciences et des arts, paris, p27-49.
26. **Sari, H. (2014).** Mémoire magister : Contribution à l'étude de la qualité chimique et bactériologique de l'eau de la source « ATTAR». Université ABOU-BEKR BELKAID,Tlemcen, p92.
27. **Koul, N et Bassou, E. (2003).**Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux de consommation de l'agglomération de Ouargla, p84.
28. **Ayed, W. (2016).** Thèse de doctorat : Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines : cas des puits de la région d'El-Harrouche (Skikda), p156.
29. **Degremont G. (2005).** Mémento technique de l'eau, Tome 1, 10ème édition, Edit. Tec et doc, p3- 38.
30. **Layochis, H. (1999).** Microbiologie appliquée. Edition Doin, Paris, p250.
31. **Merouani, M et Bouguedah, A. (2013).** Mémoire master : Etude de la pollution chimique et la vulnérabilité alla pollution des eaux souterraines de la cuvette d'OUARGLA. Université KASDI MARBAH Ouargla, p59.
32. **OMS (2000).** Directives de qualité pour l'eau de boisson; volume 2, critères d'hygiène et documentation à l'appui, 2ème édition, p1050.
- 33.https://www.eaurmc.fr/jcms/vmr_44077/fr/office-national-de-l-eau-et-des-milieus-aquatiques-onema . Consulté le 23 Mai 2019.
34. http://uved.univ-lemans.fr/Grain-1/co/grain_10.html . Consulté le 23 Mai 2019.

35. **OMS (1994)**. Directives de qualité pour l'eau de boisson; volume 1, recommandations, Organisation mondiale de la Santé, 2ème édition, p202 .
36. <http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s3/eaux.souterraines.html>. Consulté le 24 Mai 2019.
37. **Arjen, V. (2010)**. Connaissances des méthodes de captage des eaux souterraines : un manuel d'instruction pour les équipes de forage manuel sur l'hydrogéologie appliquée, l'équipement et le développement des forages, Fondation PRACTICA, Oosteind, p10.
38. <https://www.suezwaterhandbook.fr/eau-et-generalites/quelles-eaux-a-traiter-pourquoi/les-eaux-naturelles> . Consulté le 18 Mai 2019.
39. <http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s3/eaux.souterraines.html> . Consulté le 22 Mai 2019.
40. **Degremont, G. (2005) et Cardot, C (1999)**. Mémento technique de l'eau, Tome 1, 10ème édition, Edit. Tec et doc, p3-38.
41. <http://apieee.org/dossiers/eau-en-deux-sevres/les-nappes-ou-aquiferes/> . Consulté le 09 Mai 2019.
42. **Mourey, V et Vernoux, J.(2000)**. Les risques pesant sur les nappes d'eau souterraine d'Ile-de-France, Annales des mines, p32-40.
43. <http://aixenprovence.ufcquechoisir.fr> . Consulté le 20 Avril 2018.
44. **Debabza, M. (2005)**. Mémoire de Magister en Microbiologie appliquée : Analyse microbiologique des eaux des plages de la ville d'Annaba Evaluation de la résistance aux antibiotiques des microorganismes pathogènes, Université des sciences de Badji-Mokhtar, Annaba.
45. **Rodier et al., (2009)**. L'Analyse de l'eau, 9ème édition, Dunod, Paris, 2009, p120-256.
46. **Emand et al(1999)**. Périmètre de protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humaine ; Guide méthodologique et réglementaire, Edition BRGM, manuels et méthodes n°33, 2ème édition, p19.
47. <https://wikiwater.fr/E28-Les-divers-types-de-puits-et-de-forages-Generalites> . Consulté le 13 Mai 2019.
48. info@agro-enviro-lab.com . Consulté le 10 Mai 2019.
49. <https://www.forapulse.com/guide-types-de-puits-et-de-forages/> . Consulté le 20 Mai 2019
50. **Barrette, É. (2006)**. Pesticides et eau souterraine : Prévenir la contamination en milieu agricole, Direction des politiques en milieu terrestre, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec, p24.

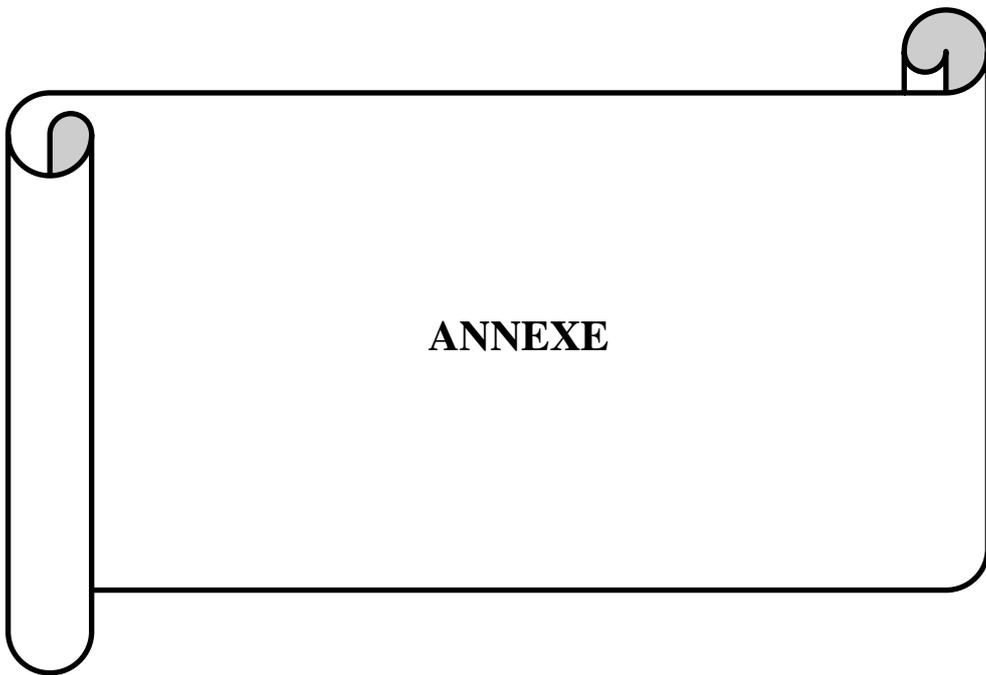
51. <https://wikiwater.fr/E28-Les-divers-types-de-puits-et-de-forages-Generalites> . Consulté le 22 Mai 2019.
52. **Renald, M. (2003)**. Le puits, Révision de la numérotation des règlements, développement durable, environnement et parcs, Québec, p52.
53. **Stämpfli, N. (2007)**. Puits d'infiltration, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Services régionaux, région du Québec, p4.
54. **UNICEF (1999)**. Manuel sur l'eau, N°2, p42-43.
55. **Fiambusch, H. (1998)**. Chang from chlorine residual distribution to no chlorine residual distribution in groundwater system, Water supply, Vol 6, N°3/4, Germany, p145-152.
56. <http://traitementeaux.e-monsite.com/pages/i-l-eau-potable/i-b-les-normes-de-potabilite/> Consulté le 19 Mai 2019.
57. **OMS (1994)**. Directives de qualité pour l'eau de boisson; volume 1, recommandations, Organisation mondiale de la Santé, 2e édition, p202.
58. **Rodier, J et al. (2009)**. L'analyse de l'eau, 9ème édition, Ed. Dunod, p1579.
59. **Benallou, A. (2004)**. Mémoire de Mster : Analyse physico-chimique des effluents provenant de la laiterie d'Arib. Université de Khemis Miliana, Batna, p51.
60. **OMS (2006)**. Paludisme : lutte antivectorielle et protection individuelle, Série de Rapports techniques, N°936, p71.
61. **Khelili, R et Lazali, D. (2015)**. Mémoire de Mater : Etude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrage Harraza (Wilaya de Ain Defla), p91.
62. **Levallois, P. (2003)**. Bactéries hétérotrophes aérobies et anaérobies facultatives. Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine, Groupe scientifique sur l'eau, Institut national de santé publique du Québec, p3.
63. **Dentelles, A. (2001)**. Maintien de la qualité de l'eau dans les réseaux de distribution et lutte contre les pollutions .EP-ADE, Tizi Ouzou.
64. **CEAEQ (2000)**. Recherche et dénombrement des coliformes totaux; méthode par filtration sur membrane, Centre d'expertise en analyse environnementale, Gouvernement du Québec, p25.
65. **Hamed, M et al., (2012)**. Thèse d'Ingénieur d'état en Biologie Etude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrage DJORF-TORBA, Université des sciences et technologies département des sciences(Bechar), p69.

- 66. Chevalier, P. (2003).** Coliformes totaux. Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine. Groupe scientifique sur l'eau, Institut national de santé publique du Québec, p4.
- 67. Edmond M. et al., (1995).** Vancomycin-resistant *Enterococcus faecium* bacteremia : risk factors for infection, *Clin Infect Dis*, Vol 20, N°5, P: 1126-1133. *Escherichia coli*: the best biological drinking water indicator for public health protection, *Journal of Applied Microbiology*, N°88, p106-116.
- 68. John, P et Donald, A. (2010).** Microbiologie, 3ème Édition, p1216.
- 69. Manuel de Bergey (1984).** Systematique bactériologie ; 9th edition, p533.
- 70. Seghir, K. (2008).** Thèse de Doctorat : Vulnérabilité à la pollution, protection des ressources en eaux et gestion active du sous-système aquifère de Tébessa. Hammamet (Est Algérien), Faculté des Sciences de la Terre de Badji Mokhtar, Annaba(Algérie), p158.
- 71. Gleeson, C et Gray, N. (1997).** The coliform index and waterborne disease: problems of microbial drinking water assessment, E & FN Spon, London, p194.
- 72. Maiga, A. (2005).** Thèse de Doctorat : Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribuée par l'EDM.SA dans la ville de Bamako : évaluation saisonnière, Bamako (Mali), p77.
- 73. Journal Officiel de la République Algérienne (JORA), (2011).** Décret exécutif n° 11-125, qualité de l'eau de consommation humaine, Imprimerie Officielle, Les Vergers: Bir-Mourad Raïs, Alger, Algérie, p25.
- 74. Alouane, H. (2012).** Mémoire de Magister : Evaluation des teneurs en nitrates dans les sols et dans les eaux captées et émergentes en zones à vocation agricole ; Impact des nitrates sur la qualité des eaux destinées à la consommation humaine, Gestion des déchets : Évaluation et Solutions Environnementales, Université Mentouri Constantine, p49.
- 75. Hélène, R. (2000).** Thèse d'Ingénieurs : Qualité microbiologique des eaux brutes distribuées par BRL, l'Ecole Nationale de la Santé Publique de Languedoc-Roussillon(France), p81.
- 76. Montiel, A. (2004).** Contrôle et préservation de la qualité microbiologique des eaux : traitements de désinfection, Traitements de potabilisation et assurance qualité des eaux de consommation humaine, *Revue Française des Laboratoires*, N° 364, p51-53.
- 77. Analyses microbiologiques de l'eau potable. Ministère du Développement durable, Environnement et Lutte contre les changements climatiques, AgroEnviroLab.**
- 78. Rodier et al. (2005).** L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. Ed. Dunod, Paris, p1384.

- 79. Boeglin J.C. (2009).** Propriétés des eaux naturelles, Technique de l'ingénieur, traité environnement, p110.
- 80. Gaujour, D. (1995).** La pollution des milieux aquatiques : Aide-mémoire. 2ème édition, Lavoisier, p49.
- 81. Rodier, J et al., (2009).** L'analyse de l'eau, 9ème édition, Ed. Dunod, p1579.
- 82. Faurie, C. et al., (2003).** Ecologie: Approche scientifique et pratique, 5ème Edition, Lavoisier doc et tec, Paris, p312.
- 83. Benmaïd, A. (2013).** La sécurité liée à l'eau : gestion des risques et arbitrages, Commissariat général au développement durable, Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable, études & documents, N° 100, p40.
- 84. Djabri, L. (1996).** Thèse de Doctorat : Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse, origine géologiques, industrielles, agricoles et urbaines, Thèse de doctorat d'état, Université d'Annaba, Algérie, p176.
- 85. Grosclaude, J. (2011).** Réalisation et gestion des forages équipés d'une pompe à motricité humaine en Afrique subsaharienne, Agence Française de Développement, p88.
- 86. Bennana, M. (2013).** Mémoire de Master : Étude de la pollution de l'eau et du littoral du lac de Hassi Ben Abdellah. Université Kasdi Marbah, Ouargla, p46.
- 87. Kankou, M. (2004).** Vulnérabilité des eaux et des sols de la rive droite du fleuve Sénégal en Mauritanie : Thèse de doctorat : étude en laboratoire du comportement de deux pesticides, Université de Limoges, p159.
- 88. Schwartzbrod, L. (2000).** virus humains et sante publique : conséquences de l'utilisation des eaux usées et des boues en agriculture, centre collaborateur OMS pour les microorganismes dans les eaux usées, Faculté de Pharmacie, Nancy, France, p292.
- 89. Schwartzbrod, J et Capizzi-Banas, S. (2003).** Parasite contamination of liquid sludge from urban wastewater treatment plants, Water Science and Technology 47, p163-166.
- 90. Campos, C. (2008).** New perspectives on microbiological water control for wastewater reuse, Desalination, N° 218, p34-42.
- 91. Baumont, S. et al., (2005).** Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France, Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région Ile-de-France, p17-22
- 92. Mougeot, G. (2001).** Infections à des protozoaires et environnement, Revue Française des Laboratoires, 336, p25-31.

- 93. Gouvernement du Québec (2004).** Etude du risque de gastro-entérite chez les familles utilisant l'eau d'un puits domestique, Direction risques biologiques, environnementaux et occupationnels, Institut national de santé publique, Québec, p8.
- 94. Le Guyader, A. (1999).** Recommandations pour les contrôles d'environnement dans les établissements de santé, C.CLIN –Ouest.
- 95. Directives de qualité pour l'eau de boisson.** Critères d'hygiène et documentation à l'appui Organisation mondiale de la Santé Genève. Deuxième édition, Vol2.
- 96. Aroura, A. (1997).** L'homme et son milieu. Ed 531/77, p135.
- 97. N'diaye (2002).** Thèse de Doctorat : Etude bactériologique des eaux de boissons vendues en sachet dans quatre communes d'Abidjan, Université de Bamako Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odonto-Stomatologie (Mali), p180.
- 98. Masschelein, W (1996) et Hordé, P (2014).** Processus unitaire du traitement de l'eau potable, Edition CEBE, DOC spilliège, p181-345 ; Gastro-entérite aiguë : Symptômes et traitement, santé médecine, p19.
- 99. Briere, G. (2000).** Distribution et collecte des eaux, 2ème édition : École Polytechnique de Montréal, p299-300.
- 100. Piar Roux, R. (2002).** Le choléra : épidémiologie et transmission, Expérience tirée de plusieurs interventions humanitaires réalisées en Afrique, dans l'Océan Indien et en Amérique Centrale, Bull Soc Pathol Exot, Vol 95, N°5, p345-350.
- 101. Zoungrana, E. (2009) et Aubry P., Gaüzere B.A., (2012).** La poliomyélite, 12 Mai 2009, 9p. Les maladies liées à l'eau, Mise à jour le 20/04/2012.
- 102. Boussinesq, M. (1997).** L'onchocercose humaine en Afrique, Médecine Tropicale 1997, Vol 57, N°4, p389-400.
- 103. Hartemann, P. (2004).** Contamination des eaux en milieu professionnel, EMCToxicologie Pathologie, Elsevier, p63–78.
- 104. Yatabary N. T. D. (1994)** .Audit d'environnement dans le complexe de production d'eau potable de Bamako (Mali), p354.
- 105. Benblida, M. (2011).** L'efficacité d'utilisation de l'eau et approche économique, centre d'activités régionales PNUE/PAM, p24.
- 106. Gana, M. (2018).** Thèse de doctorat : Valorisation des potentialités écologiques dans la wilaya de Constantine. Analyse cartographique de la structure des paysages et de la dynamique de l'occupation et l'utilisation du sol par Télédétection et SIG, p218.
- 107. Boussouf, R. (2012).** Constantine : D'une ville attractive à une ville répulsive. Laboratoire d'Aménagement du territoire, Université de Constantine, Algérie.

- 108. PDAU (2010).** La révision du Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme.
- 109. Abdelouahab, B. (2006)** CIRTA OU LE SUBSTRATUM URBAIN DE CONSTANTINE la région, la ville et l'architecture dans l'antiquité (Une étude en archéologie urbaine).
- 110. Larpent, J. (1997).** Microbiologie alimentaire: Technique de laboratoire. Ed. Technique et documentation-Lavoisier, Paris, 1073p.
- 111. Guiraud, J. et Galzy, P. (1980).** L'analyse microbiologique dans les industries alimentaires, p533.
- 112. Thierrin, J et al., (2001).** Guide Pratique De L'échantillonnage Des Eaux Souterraines. Société Suisse D'Hydrogéologie, p57.
- 113. Aminot, A et Chaussepied, M. (1983).** Manuel des analyses chimiques en milieu marin, p395.
- 114. Rodier, J. (2005).** L'analyse De L'eau ; Eaux Naturelles, Eaux Résiduelles, Eaux De Mer. 8ème édition. Dunod, p1380.
- 115. El Haisoufi et al., (2011); CEAEQ (2011).** Recherche et dénombrement des bactéries hétérotrophes aérobies et anaérobies facultatives: méthode par incorporation à la gélose, MA.700-BHA35 1.0, Rév 3, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, p15.
- 116. Williams, M et al., (2004).** Phylogenetic diversity of aqueous microorganisms separated after the advanced tertiary of tap water. Vol 36, p184–189.
- 117. OMS (2004).** Directives de qualité pour l'eau de boisson. 3ème édition, Vol1. Directives, Ed. Organisation mondiale de la sante, Genève, p110.
- 118. Rompre, A. et al., (2002).** Detection and enumeration of coliforms in drinking water: current methods and emerging approaches. J Microbiol Methods 49, p31-54
- 119. Leclerc, H. (2003).** Y a-t-il des infections bactériennes opportunistes transmises par les eaux d'alimentation? Revue Générale. Journal Européen d'Hydrologie, 34, p11-44
- 120. Ladjel, S. (2009).** Contrôle des paramètres physico-chimiques et bactériologiques d'une eau de consommation, Les cahiers techniques du stage T7, Centre de formation en métiers de l'eau, Tizi Ouzou, p101.



ANNEXE

Tableau : principale différence entre les eaux souterraines et les eaux de surface [67]

Caractéristiques	Eaux de surface	Eaux souterraines
Température	Variable suivant saisons	Relativement constante
Turbidité	Variable, parfois élevée	Faible ou nulle (sauf en terrain karstique)
Couleur	Liée surtout au MES (argiles, algues...) sauf dans les eaux très douces et acides (acide humiques)	Liée surtout aux matières en solution (acide humiques) ou due à une précipitation (Fe-Mn)
Gout et odeurs	Fréquents	Rares (sauf H ₂ S)
Minéralisation globale	Variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets	Sensiblement constante ; en général, nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région
O₂ dissous	Le plus souvent au voisinage de la saturation : absent dans le cas d'eaux très polluées	Teneur faible ou nulle
Nitrates	Peu abondants en général	Teneur parfois élevée
Silice	Teneur en général modérée	Teneur souvent élevée si roche siliceuse
Micropolluants minéraux et organiques	Selon rejets industriels (dont les activités minières), agricoles ou des habitations ; pollution permanente ou périodique (dont accidentelle)	Présents en fonction des épandages agricoles ou rejets industriels en surface une pollution accidentelle peut subsister plus longtemps
Solvants chlorés	Rarement présents	Peuvent être présents (pollution de la nappe)
Eléments vivants	Bactéries (dont certaines pathogènes), virus, plancton.	Ferrobactéries et sulfatoréductrices fréquentes

➤ Normes Algériennes

Tableau : Paramètres avec valeurs indicatives (Normes algériennes du ministre des ressources en eau depuis 22 mars 2011)

Groupe de paramètres	Paramètres	Unités	Valeurs indicatives
Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux	pH	Unité pH	≥ 6.5 et ≤ 9.5
	Conductivité	$\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20°C	2800
	Température	°C	25
	dureté	mg/l en C_aCO_3	200
	Alcalinité	mg/l en C_aCO_3	500
	Calcium	mg/l en C_aCO_3	200
	Chlorures	mg/l	500
	Potassium	mg/l	12
	Résidu sec	mg/l	1500
	Sodium	mg/l	200
	sulfates	mg/l	400
Paramètres organoleptiques	Couleur	mg/l platine	15
	Turbidité	NTU	5
	Odeur 12°C	Taux dilution	4
	Saveur 25°C	Taux dilution	4

Tableau : Paramètres microbiologiques (Normes algériennes du ministre des ressources en eau depuis 22 mars 2011)

Groupe de paramètres	Paramètres	Unités	Valeurs limites
Paramètres microbiologiques	<i>Escherichia coli</i>	nb/100ml	0
	Entérocoques	nb/100ml	0
	Bactéries sulfitoréductrices y compris les spores	nb/20ml	0

Tableau : Qualité de l'eau potable en fonction de la concentration de coliformes fécaux (JORA, 2011)

Coliformes fécaux /100ml	Qualité de l'eau
1-10	Eau de qualité raisonnable, peut être consommée telle quelle
10-100	Eau contaminée, à traiter si possible
100-1000	Eau très contaminée, qui doit être traités
Plus de 1000	Eau massivement polluée, qui devrait être rejetée

➤ Normes de l'OMS :

Tableau : Paramètres avec valeurs indicatives (Normes de l'OMS 2006)

Groupe de paramètres	Paramètres	Unités	Valeurs Limites (CMA)
Eléments toxiques	Arsenic (As)	mg/l	0.01
	Cadmium(Cd)	mg/l	0,003
	Chrome Cr ⁺³ , Cr ⁺⁶	mg/l	chrome total : 0,05
	Cyanure (CN ⁻)	mg/l	0,07
	Mercure (Hg)	mg/l	inorganique : 0,006
	Sélénium(Se)	mg/l	0,01
	Plomb(Pb)	mg/l	0,01
	Antimoine(Sb)	mg/l	0.02
	Fer(Fe)		Pas de valeur guide
	Manganèse(Mn)	mg/l	0 ,4
Eléments indésirables	Aluminium(Al)	mg/l	0,2
	Cuivre (Cu ²⁺)	mg/l	2
	Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/l	0.5
	Argent		Pas de valeur guide
	Fluorures	mg/l	1,5
	Zinc(Zn)	mg/l	3
	Bore(B)	mg/l	0.5
	Hydrocarbures aromatiques polynucléaires C ₂ H ₃ N ₁ O ₅ P ₁ 3	µg/l	0.1
	Pesticides	mg/l	0.0001
Minéralisation globale	THM (Trihalométhanes) CCl ₄	µg/l	4
	CalciumCa ²⁺	mg/l	100
	Chlorures(Cl)	mg/l	250
	Dureté mg/l CaCO ₃	ppm	200
	Sodium (Na)	mg/l	20
	Magnésium Mg ²⁺	Magnésium Mg ²⁺	
	Potassium (K ⁺)	mg/l	12

Tableau : Normes bactériologiques des eaux souterraines (OMS, 1994).

Microorganismes	Valeurs indicatives	Remarques
A-Toutes les eaux destinées à la consommation : <i>E.coli</i> ou bactéries coliformes Thermotolérantes	0 0	Non détectables dans un échantillon de de 100 ml
B-Eaux traitées à l'entrée du réseau de distribution : <i>E.coli</i> ou bactéries coliformes Thermotolérantes Coliformes totaux	0 10	Non détectables dans un échantillon de de 100 ml Non détectables dans un échantillon de de 100 ml
C-Eaux traitées dans le réseau de distribution : <i>E.coli</i> ou bactéries coliformes Thermotolérantes Coliformes totaux	0 10	Non détectables dans un échantillon de de 100 ml Non détectables dans un échantillon de de 100 ml. Dans les installations importantes, lorsque un nombre suffisant d'échantillons sont examinés, on ne doit pas trouver de Coliformes dans 95% des échantillons prélevés sur une période de 12 mois.



Figure : Travail du train (Photos prises lors du prélèvement d'eau de puit)

➤ **Milieux de cultures utilisées :**

***Milieu PCA : Plat Count Agar**

Formule :

Pour 1 litre de milieu :

- Tryptone	5,0 g
- Extrait autolytique de levure.....	2,5 g
- Glucose	1,0 g
- Agar agar bactériologique	12,0 g

pH du milieu prêt-à-l'emploi à 25°C : 7,0 ± 0,2.

➤ **Milieu BCPL : Bouillon Lactosé au Pourpre de Bromocrésol**

Formule :

(Pouvant être ajustée de façon à obtenir des performances optimales)

Pour 1 litre de milieu :

- Tryptone.....	5,0 g
- Extrait de viande	3,0 g
- Lactose	5,0 g
- Pourpre de bromocrésol.....	25,0 mg

pH du milieu prêt-à-l'emploi à 25°C : 6,7 ± 0,2.

➤ **Eau peptoné exempté d'indole**

Formule :

Pour 1 litre de milieu :

- Tryptone.....	10,0 g
- Chlorure de sodium.....	5,0 g

pH du milieu prêt-à-l'emploi à 25°C : 7,2 ± 0,2.

➤ **Milieu de Rothe :**

Formule :

Pour 1 litre de milieu :

Polypeptone	20,0 g
Glucose	5,0 g
Chlorure de sodium.....	5,0 g
Phosphate monopotassique.....	2,7 g
Phosphate dipotassique.....	2,7 g
Azide de sodium.....	0,2 g

pH du milieu prêt-à-l'emploi à 25°C : 6,8 ± 0,2.

➤ **Milieu LITSKY (EVA BROTH) :**

Peptone	20,0 g
Glucose	5,0 g
Azide	0,2 g
éthyle-violet	0,5 g
NaCl	5,0 g
Hydrogénophosphate de potassium	2,7 g
Dihydrogénophosphate de potassium	2,7 g

pH= 6,8

➤ **Gélose viande-foie :**

Pour 1 L de milieu viande foie préparé en tube :

Base viande foie.....	30,0 g
Glucose.....	2,0 g
Agar.....	6,0 g

pH = 7,4

➤ Réactifs utilisés :**FORMULE :**

p-diméthylamino-benzaldéhyde..... 5,00 g

Alcool iso-amylque..... 75 ml

Acide chlorhydrique pur..... 25ml

Tableau : table de Mac Grady

Nombre de tubes donnant une repense positive			Indice NPP
3 tubes de 10ml	3 tubes de 1ml	3 tubes de 0.1ml	
0	0	0	0
0	0	1	3
0	1	0	3
0	1	1	6
0	2	0	6
1	0	0	4
1	0	1	7
1	0	2	11
1	1	0	7
1	1	1	11
1	2	0	11
1	2	1	15
1	3	0	16
2	0	0	9
2	0	1	14
2	0	2	20
2	1	0	15
2	1	1	20
2	1	1	30
2	2	2	20
2	2	0	30
2	2	1	35
2	2	2	35
2	3	3	40
2	3	0	30
2	3	1	35
3	0	2	40
3	0	0	25
3	0	1	40
3	1	2	65
3	1	0	45
3	1	1	75
3	1	2	115
3	2	3	160
3	2	0	95
3	2	1	150
3	2	2	200
3	3	3	300
3	3	0	250
3	3	1	450
3	3	2	1100
3	3	3	1400

Période sèche 2018	CONSTANTINE		HAMMA BOUZIANE		ZIGHOUD YUCEF		EL KHROUB		AIN ABID		IBN ZIAD		TOTAL	
Puits	137	B : 68 M : 69	28	B : 18 M : 10	16	B : 07 M : 09	13	B : 05 M : 08	12	B : 06 M : 06	10	B : 06 M : 04	216	B : 110 M : 106

Tableau : Nombre et qualité bactériologique des eaux de sources prélevées pendant la période sèche de l'année 2018

Période sèche 2018	CONSTANTINE		HAMMA BOUZIANE		ZIGHOUD YUCEF		EL KHROUB		AIN ABID		IBN ZIAD		TOTAL	
Sources	53	B : 20 M : 33	52	B : 22 M : 30	57	B : 27 M : 30	16	B : 06 M : 10	13	B : 08 M : 05	19	B : 16 M : 03	210	B : 99 M : 111

Tableau : Nombre et qualité bactériologique des eaux de puits prélevées pendant la période humide de l'année 2019

Période humide 2019	CONSTANTINE		HAMMA BOUZIANE		ZIGHOUD YUCEF		EL KHROUB		AIN ABID		IBN ZIAD		TOTAL	
Puits	122	B : 80 M : 42	32	B : 20 M : 12	16	B : 14 M : 02	13	B : 03 M : 10	12	B : 06 M : 06	09	B : 07 M : 02	204	B : 130 M : 74

Tableau : Nombre et qualité bactériologique des eaux de sources prélevées pendant la période humide de l'année 2019

Période humide 2019	CONSTANTINE		HAMMA BOUZIANE		ZIGHOUD YUCEF		EL KHROUB		AIN ABID		IBN ZIAD		TOTAL	
Sources	59	B : 37 M : 22	57	B : 33 M : 24	23	B : 08 M : 15	04	B : 03 M : 01	48	B : 35 M : 13	31	B : 31 M : 00	222	B : 147 M : 75

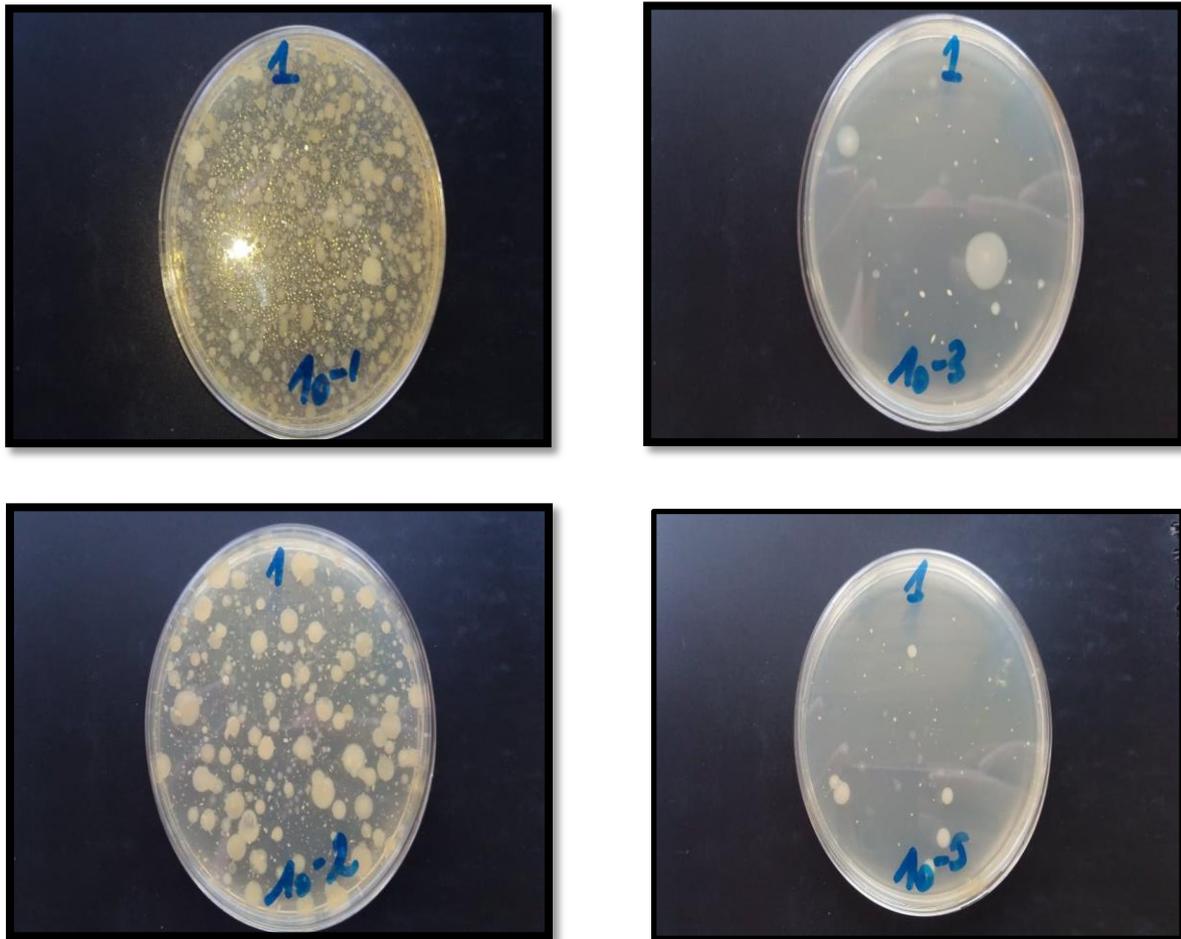
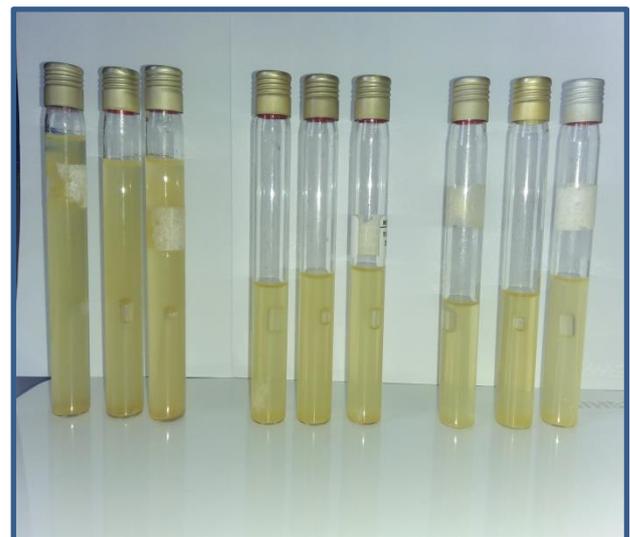


Figure : résultats des germes totaux sur milieux PCA

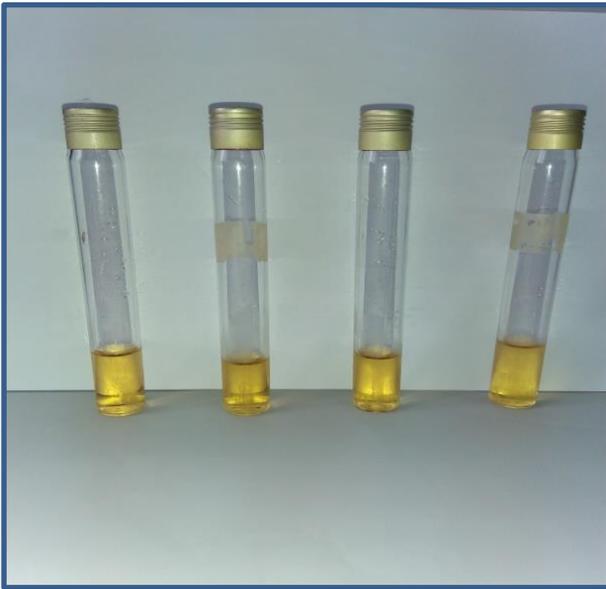


Avant

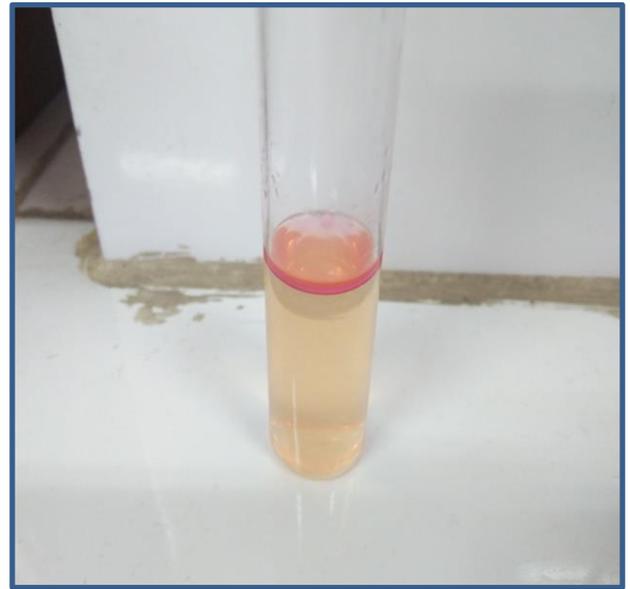


Après

Figure : Résultats des coliformes totaux sur milieu BCPL



Avant



Après (Annaux rouge)

Figure : Résultat de la recherche d'*E.coli* sur Eau peptoné exempté d'indole



Avant



Après (milieu trouble)

Figure : Résultats de la recherche des Streptocoque fécaux sur milieu de Rothe



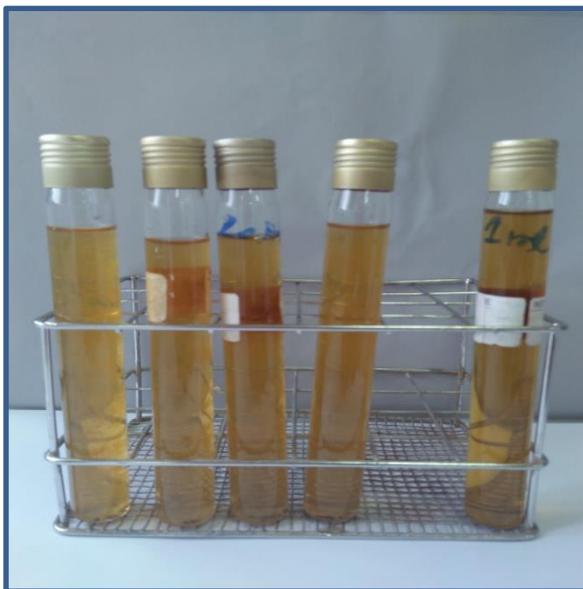
Avant



Après

Figure : Résultat du test confirmatif de la recherche des streptocoques fécaux sur milieu

Eva Litsky



Avant



Après

Figure : Résultat de la recherche des ASR sur milieu Viande-foie

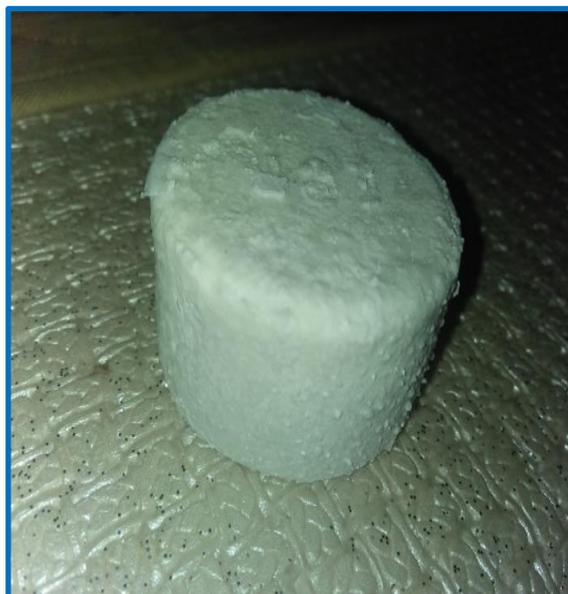


Figure : Galet de chlore

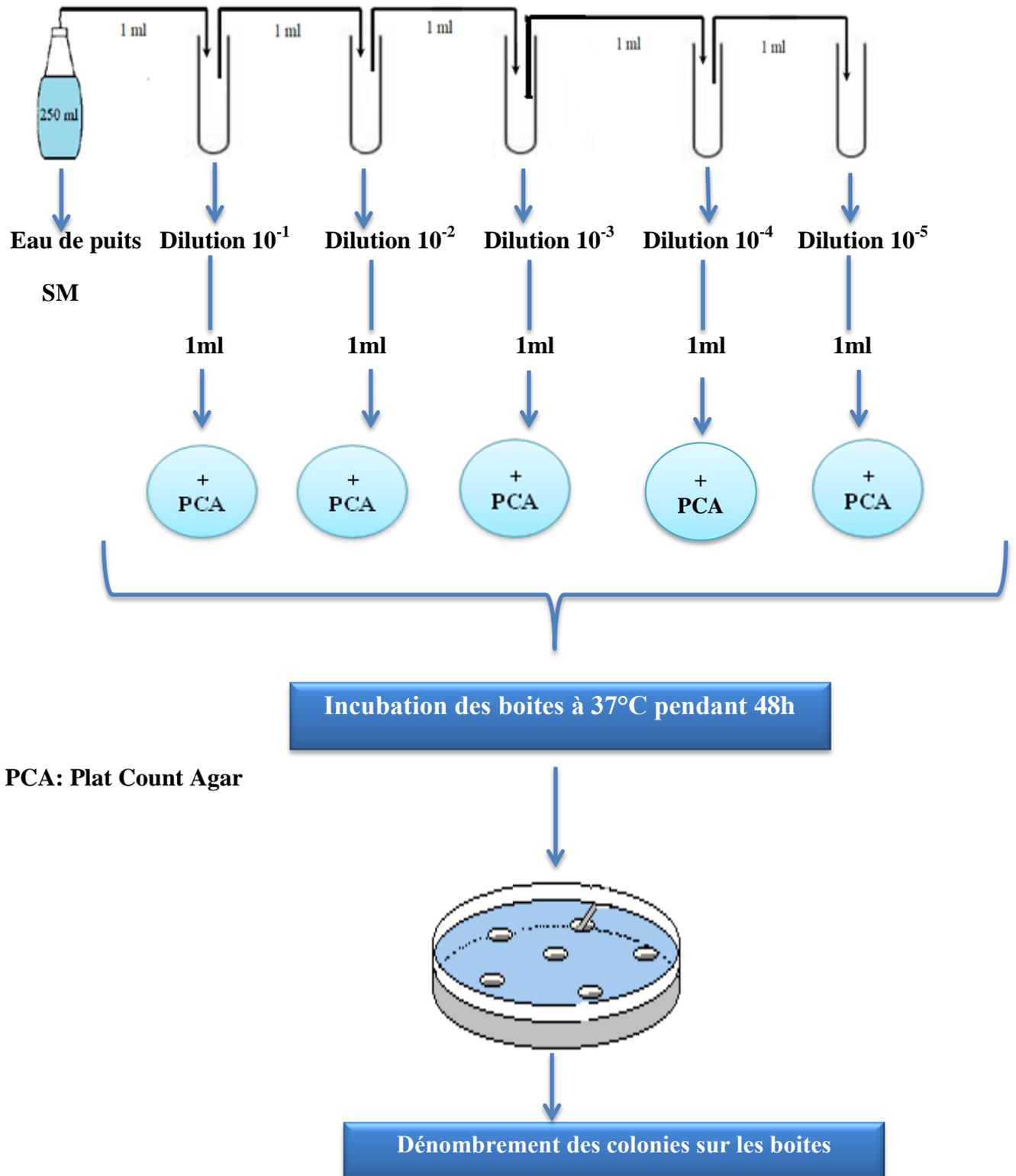


Figure : Protocole expérimental de recherche et de dénombrement des Germes totaux

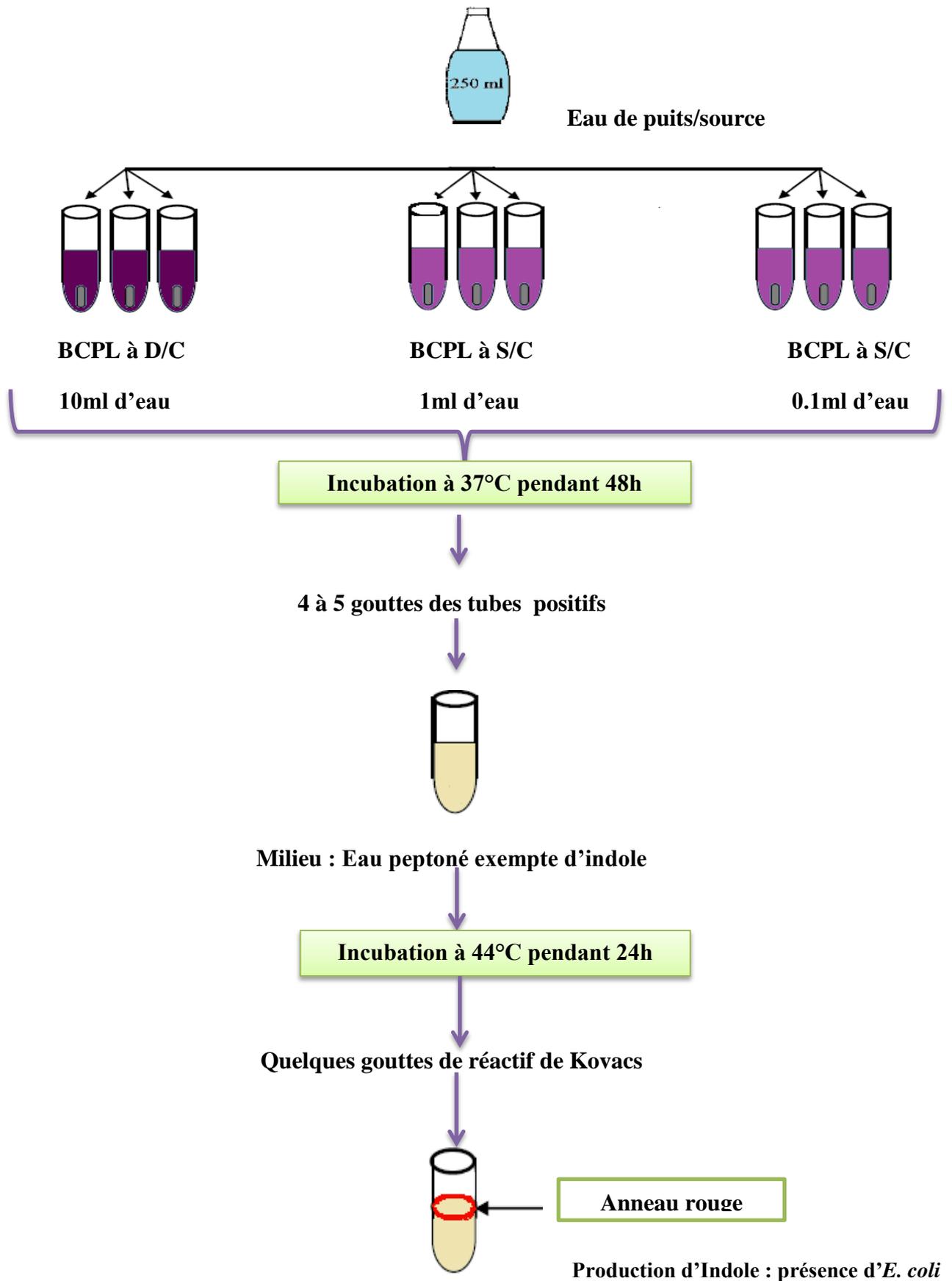


Figure: Protocole expérimental de recherche et de dénombrement des Coliformes totaux avec identification d'*E. coli*.

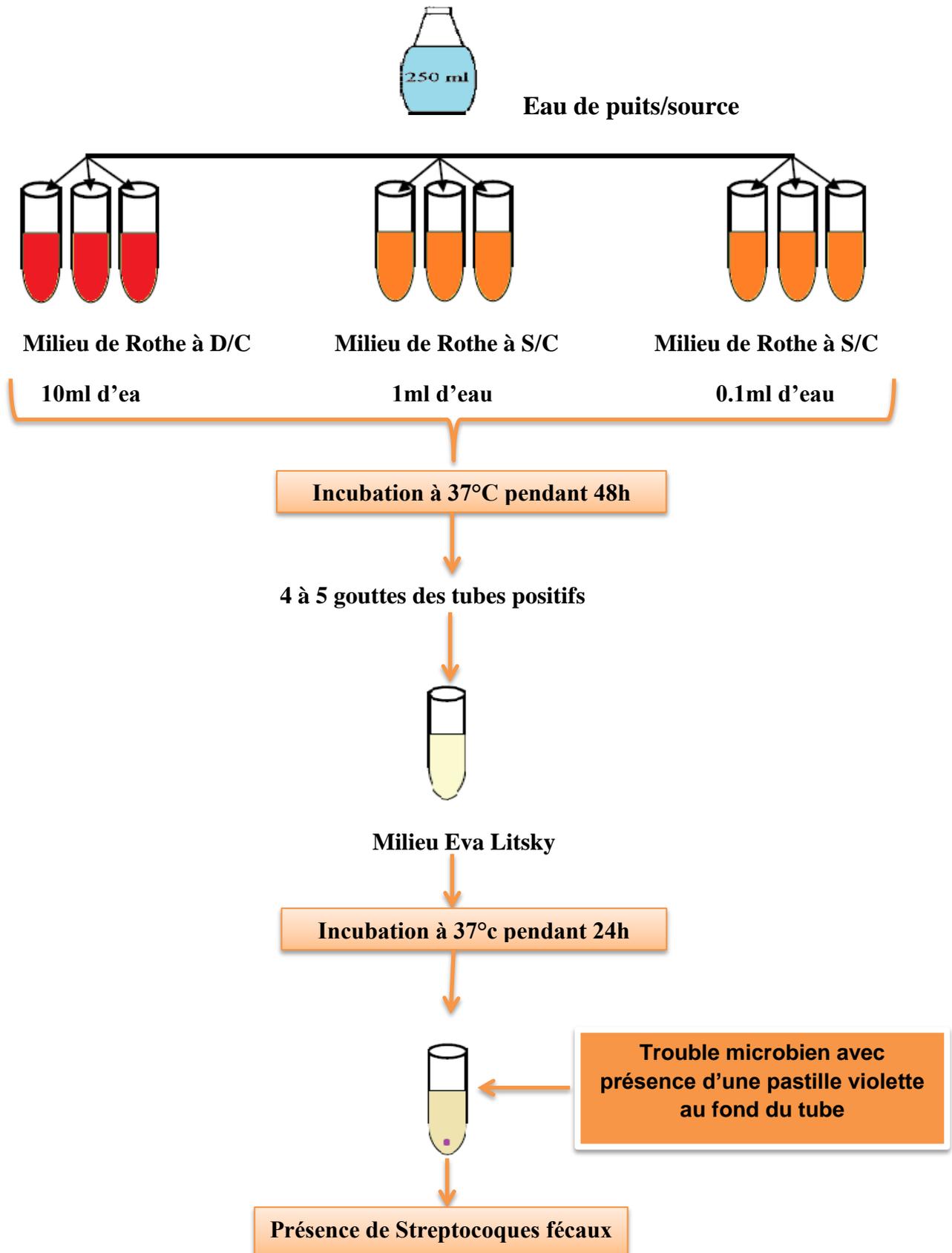


Figure : Protocole expérimental de recherche et de dénombrement des Streptocoques fécaux.

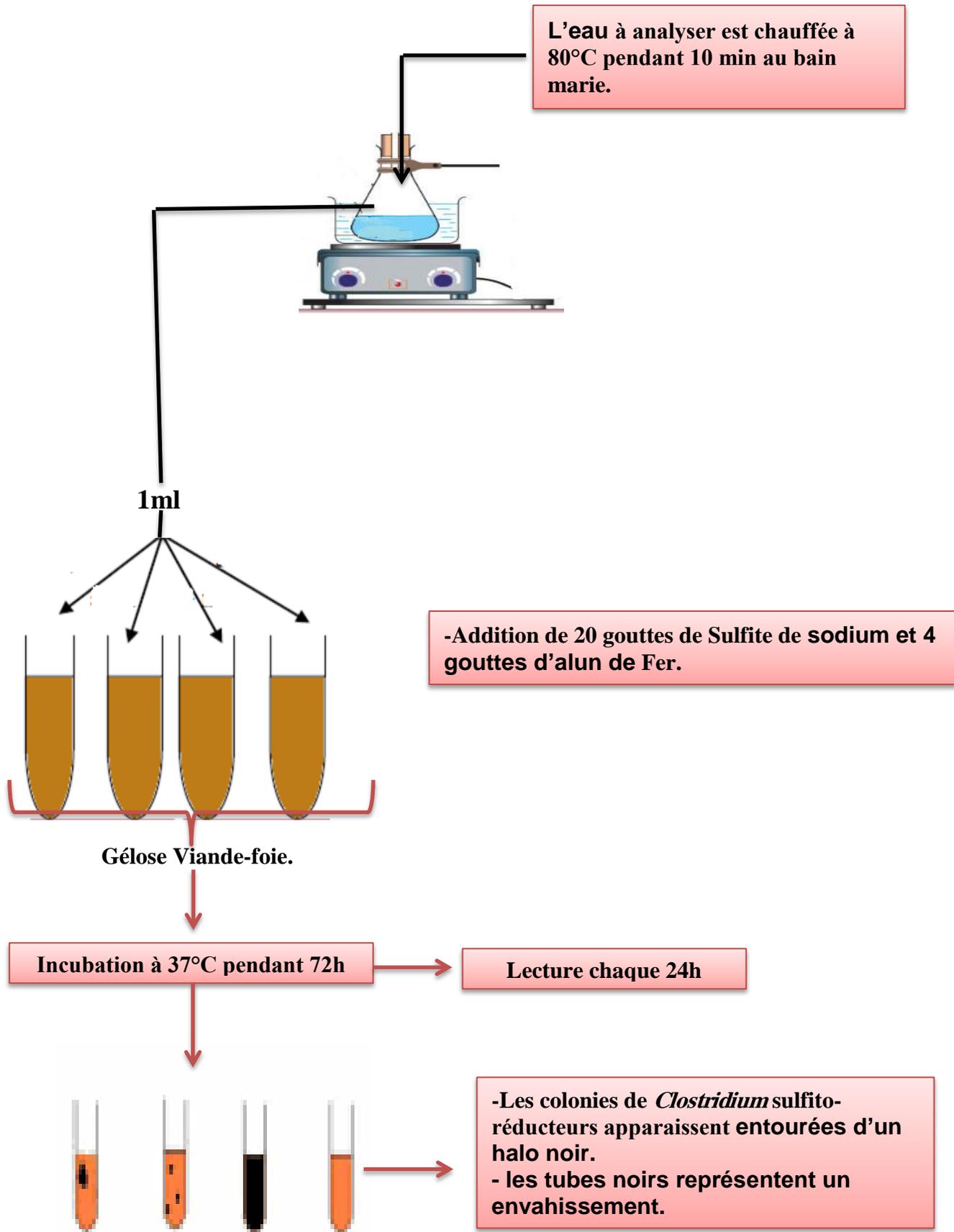


Figure : Protocole expérimental de recherche et dénombrement des ASR

Contribution à l'étude et à l'évaluation de la qualité bactériologique des eaux de puits et de sources de la Wilaya de Constantine**Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master en Biologie moléculaire des Microorganismes****Résumé**

Pour apprécier la qualité bactériologique des eaux de puits et de sources destinées à la consommation humaine dans la wilaya de Constantine qui est située à l'Est de l'Algérie, un contrôle a été réalisé et a porté sur plusieurs échantillons d'eau prélevés au niveau des centaines de puits et de sources appartenant à cette localité. Ces puits et sources ont été identifiés par des fiches techniques indiquant leurs coordonnées et la nature de la pollution avoisinante. Les analyses ont été effectuées sur ces échantillons en recherchant éventuellement les germes indésirables : Germes totaux, Coliformes totaux, Coliformes fécaux, Streptocoques fécaux et *Clostridium* sulfito-réducteurs. Les échantillons d'eaux étudiés ont été prélevés, analysés et interprétés selon les normes en vigueur. Afin de suivre la variation saisonnière des différents paramètres bactériologiques, les prélèvements ont été réalisés pendant la saison sèche et la saison pluvieuse (humide).

Les résultats des analyses effectuées ont fait ressortir que les eaux d'un grand nombre de puits et de sources sont de mauvaise qualité bactériologique. Les résultats statistiques révèlent un taux différent de puits et de sources polluées dans chacune des daïras de la wilaya. L'analyse comparée des distributions en deux périodes d'étude montre que le taux de puits et de sources contaminés dans l'ensemble de la wilaya est plus élevé pendant la période sèche qu'humide (49% pour les puits et environ 53% pour les sources).

La contamination des eaux souterraines peut être due à la mauvaise protection de ces ressources, l'infiltration des eaux de ruissellement, la méconnaissance des règles élémentaires d'hygiène, la pollution avoisinante et l'absence d'un réseau d'assainissement.

Dans l'ensemble le nombre des germes diminue légèrement en saison humide. Cette pollution constitue sans doute un danger non négligeable à la santé des populations consommatrices de ces eaux. Pour éviter des éventuels risques sanitaires, l'adoption des mesures d'hygiène pour le transport et le stockage de l'eau, notamment le traitement par la chloration périodique de l'eau de puits a été conseillé pour la population concernée, et un aménagement et/ou du contrôle permanent des puits et des sources d'eau pollués à proximité des points potentiels de pollution ont été recommandés pour les autorités locales et les services d'hygiène.

Mots clés : Eau souterraine, Puits, Sources, Qualité bactériologique, Pollution, Risque sanitaire, Constantine, Algérie.

Laboratoire de recherche : Laboratoire d'hygiène de la wilaya de Constantine

Jury d'évaluation :

Président du jury :	<i>Mr. Kitouni. M</i>	(Professeur –UFM Constantine)
Rapporteur :	<i>M^{me}. Bouzeraib. L</i>	(Maitre-Assistante « A » - UFC Constantine)
Co-rapporteur :	<i>Mr. Khelifa.F</i>	(professeur-faculté de médecine. Université 03)
Examineur :	<i>M^{me}. Sakhri Arafa. N</i>	(Maitre-Conférence « A » - UFC Constantine)

Date de soutenance : 27/06/2019