



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

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



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

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة
كلية علوم الطبيعة و الحياة

Département : Biologie Et Ecologie Végétale

قسم : بيولوجيا وايكولوجيا النبات

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

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Ecologie Fondamentale et Appliquée

N° de série :

N° d'ordre :

Intitulé :

**Contribution à l'évaluation de la qualité bactériologique des
eaux brutes et traitée : cas du forage de Ras El Ain
(Boumerzoug)**

Présenté et soutenu par : Boudefa Amira

Zermane Samia

Le : 18/07/2019

Jury d'évaluation :

Président du jury : BAZRI Kamel Eddine (MCA - UFM Constantine1)

Rapporteur : SAHLI Leila (MCA - UFM Constantine1)

Examineurs : TOUATI Laid (MCA - UFM Constantine1)

*Année universitaire
2018 - 2019*

Dédicace

Au nom de dieu le tout puissant par la grâce du quel j'ai pu réaliser ce travail que je dédie
à ;

Mes chers Parents pour leurs grands sacrifices, leurs tendre encouragements et leurs
présence absolu à mes cotés et pour leurs rôle majeure dans mon sucées

Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds
sentiments envers eux

Je prie le bon dieu de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fiers de
moi

A mes chers frères **Ramzy** et **Djaber** d'être toujours à mes cotés, je vous aime et je vous
souhaite le bonheur et la joie dans votre vie

A ma deuxième mère, ma chère tante **Sabrina** je ne saurai exprimer ma profonde
reconnaissance pour ton précieux soutient, ton encouragement continue, ta bonté et ton
amour dont tu as toujours fait preuve

A la mémoire de mon oncle **Salim**

A une personne qui compte beaucoup pour moi **Abde Raouf** qui m'a soutenu le long de
mon parcours

A mes amies d'enfance depuis plus de 15 ans : djihen , sana , lilia , rania , bouchra , takoua
et bien sur mon binome amira d'avoir partagé avec moi le meilleurs et le pire de ma vie

A toute la famille **zermane** et **kahoul** et à tous ceux que j'aime

Samia

Dédicace

Avant tout, je dois remercier Dieu le tout puissant
Je dédie ce modeste travail :

A la mémoire de **Mon Père**, décédé trop tôt, qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études. J'aurais souhaité sa présence en ce moment, il a toujours été présent dans mon esprit et dans mon cœur, que Dieu l'accueille dans son vaste paradis

A la prunelle de mes yeux, celle qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse, mon adorable **Maman**, tous les mots ne sauraient exprimer ma gratitude, mon amour, et mon respect pour tous les sacrifices que tu as consentis pour nous. Que Dieu le tout puissant vous accorde longue vie, et bonne santé

A ma très chère **sœur Lamia** et son époux Rached merci pour votre aide, générosité, soutien, tu es un exemple pour moi

A mon très cher **frère Salah Eddine** je n'oublierai jamais ton encouragement et ton soutien le long de mes études

Une spéciale dédicace à une personne qui compte beaucoup pour moi **Seif Eddine** et qui m'a beaucoup encouragée ainsi que toute sa famille

A toute la famille **Boudefa** et **Boutoua**

A mes chères tantes **Razika** et **Hafida**

A mon grand père **Rabie**

A la mémoire de ma grande mère **Yamina**

A mon prof de sport **morad mehila** je ne pourrais jamais lui remercier pour ses inestimables sacrifices qui l'a consentis pour nous

A mon oncle **rabah**

A mes chers amis Ismahene, Bouchra, Rania, djihane, Sana, Lila, Aya, takoua et bien sûr mon binôme samia d'avoir partagé avec moi le meilleur et le pire de ma vie

A ma chère Oumnya qui m'a toujours guidée et encouragée

Enfin, je tiens à remercier tous ceux qui m'ont aidé et assisté durant mes études, A toute personne qui m'a encouragé et aidé de près ou de loin.

Amira

Remerciement

Avant tout, nous remercions **ALLAH** le tout puissant, de nous avoir accordé la force, le courage, la santé et la volonté pour la réalisation de ce travail.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de **Mme SAHLI Leila**, Un grand honneur pour nous est, le fait qu'elle a accepté de nous encadrer et de diriger notre travail on la remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour tous ses efforts, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité, Merci de nous avoir guidées et orientées tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nos sincères remerciements sont adressés à **Mr BAZRI K.E.D**, Maître de conférences à l'Université Frères Mentouri Constantine 1, qui nous a fait l'honneur de présider le jury de soutenance.

Nos sincères remerciements vont également à **Mr Touati Laïd**, Maître de conférences à l'Université Frères Mentouri Constantine1, qui nous a fait l'honneur d'examiner cette thèse.

On remercie également tous les membres du laboratoire seaco pour l'accueil, l'aide et leurs soutiens durant ces quatre mois de stage.

Nous remercions tous les enseignants, pour leur contribution dans notre formation, et en particulier les enseignants de la Spécialité Ecologie Fondamentale et Appliquée

Finalement, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à nos familles qui nous ont toujours soutenues.

Résumé

La contamination microbiologique de l'eau est due à la présence d'organismes de diverses natures : virus, bactéries, protozoaires, algues, champignons. Dans le cadre de cette étude, nous nous proposons d'évaluer la qualité microbiologique des eaux du forage Ras El Aïn (Boumerzoug) située à 30 Km de la commune de Ouled Rahmoune ainsi que les eaux traitées et eaux de robinets destinées aux consommateurs de la même région par caractérisation bactériologique. Les organismes pathogènes auxquels nous nous sommes intéressés sont : les coliformes totaux, les coliformes fécaux (*Escherichia coli*), les streptocoques, et les bactéries anaérobies sulfite-réductrices (spores). Un suivi dans le temps (4 mois) des différents types d'eau sus-cités a été réalisé durant la période allant du mois de février 2019 au mois de mai 2019.

A l'issue de ce travail, nous avons constaté une contamination relativement importante des eaux brutes par les coliformes totaux, fécaux (*E. coli*) et les streptocoques fécaux. Ces eaux sont ainsi de mauvaise qualité bactériologique et nécessitent un traitement. Contrairement à ce type d'eau, celles analysées après chloration sont exemptes de bactéries ; ce qui confirme l'efficacité du traitement. Une réapparition des coliformes totaux et fécaux a été enregistrée aux mois de février et avril dans les eaux de robinets. Cette réapparition peut être attribuée à des fuites de pression, des ruptures de conduites, déversement des égouts sanitaires, la contamination par des rejets d'animaux (agriculture), mais aussi par les fortes pluies qui entraînent des coliformes et de la matière organique dans les eaux souterraines.

Mots clés : forage Ras El Aïn, coliformes totaux, *E. coli*, bactéries sulfite-réductrices.

Abstract

The microbiological contamination of water is due to the presence of microscopic organisms like: viruses, bacteria, protozoa, algae, fungi. The main objective of this study is to assess the microbial quality of Ras El Aïn (Boumerzoug) drilling water located at 30 km from Ouled Rahmoune commune, as well as the treated water and tap water intended for consumers. Organisms taken into consideration are total coliforms, faecal coliforms (*Escherichia coli*), streptococci, and anaerobic sulphite-reducing bacteria (spores). A follow-up in time (4 months) of waters was carried out during the period from February 2019 to May 2019.

Results showed a large contamination of raw water by total coliforms, fecal (*E. coli*) and faecal streptococci. These waters are poor quality and require treatment. Unlike this type of water, those analyzed after chlorination are free of bacteria; which confirms the effectiveness of the treatment. Total and faecal coliforms were also detected in February and April in tap water. This can be attributed to pressure leaks, pipeline breaks, sanitary sewer spills, contamination by animal releases (agriculture), but also by rainfall which trains coliforms and organic matter in underground waters.

Key words: Ras El Ain drilling , total coliforms, *E. coli*, sulphate-reducing bacteria

الملخص

يرجع التلوث الميكروبيولوجي للمياه إلى وجود أنواع مختلفة من الكائنات الحية: الفيروسات ، البكتيريا ، البروتوزوا ، الطحالب ، الفطريات. في إطار هذه الدراسة ، نقتراح تقييم الجودة الميكروبيولوجية لمياه الحفر في رأس العين (بومزوق) الواقعة على بعد 30 كم من بلدية أولاد رحمون ، وكذلك المياه المعالجة والمياه المخصصة للمستهلكين لنفس المنطقة من خلال الخصائص البكتريولوجية. الكائنات المسببة للأمراض التي نهتم بها هي: القولونيات الكلية ، القولونيات البرازية (الإشريشيا القولونية) ، العقديات ، والبكتيريا اللاهوائية التي تقلل الكبريتات (الجراثيم). وقد تم إجراء متابعة شهرية لمدة (4 أشهر) لمختلف أنواع المياه المذكورة أعلاه خلال الفترة من فبراير 2019 إلى مايو

2019

النتائج المتحصل عليها تثبت وجود تلوثاً كبيراً نسبياً بالمياه الخام بواسطة القولونيات الكلية ، الإشريشيا القولونية والعقدية البرازية إذ ان هذه المياه تعتبر ذات جودة بكتيرية سيئة وتتطلب العلاج. على عكس هذا النوع من الماء ، فإن تلك التي تم تحليلها بعد المعالجة بالكلور خالية من البكتيريا مما يؤكد فعالية العلاج. تم ظهور هذه الكائنات مجدداً في فبراير وابريل في مياه الحنفيات. و يمكن أن يرجع ظهور هذه الأخيرة إلى تسرب الضغط ، انكسارات الأنابيب ، تسرب المجاري الصحية ، والتلوث الناجم عن الفضلات الحيوانية (الزراعة) ، وكذلك بسبب الأمطار الغزيرة التي تؤدي إلى دخول القولونيات والمواد العضوية في المياه الجوفية

الكلمات المفتاحية: حفر رأس العين ، القولونيات الكلية ، الإشريشيا القولونية ، بكتيريا الحد من الكبريتات.

Liste des abréviations

ADE : Algérienne Des Eaux

BEA : Gélose Bile Esculine Azide

CCA : Chromocult Coliform Agar (gélose chromogène pour bactérie coliforme)

CF : Coliforme Fécaux

CSR : Clostridium Sulfito-Réducteurs

CT : Coliforme Totaux

CTR : Coliformes Thermorésistantes

DEET : Direction Exploitation Eaux et Travaux

E . coli : *Escherichia coli*

EB : Eau Brute

EDCH : Eau Destinée à la Consommation Humaine

ET : Eau Traitée

ISO : Organisation International De Normalisation

JORA : Journal Officiel de la République Algérienne

NFT : Nutrient Film Technique

NPP : Nombre Le Plus Probable

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ONA : l'Office National de l'Assainissement

SEACO : Société de l'Eau et de l'Assainissement de Constantine

SEM : Société Des Eau De Marseille

SEQ_{Eau} : Système d'évaluation de la qualité des cours d'eau

SF : Streptocoque Fécaux

Spa : Société par actions

TNC : Trop Nombreuses pour être Comptées

UFC : Unités Formatrices de Colonies

Liste des tableaux

Tableau 1 : Salinité des principales eaux de mer (Desjardins, 1997).

Tableau 2 : Principales caractéristiques physiques de l'eau (André, 2004)

Tableau 3 : Normes nationales et internationales de la qualité microbiologique des eaux potables

Tableau 4 : Exemple d'une amélioration de la qualité des eaux du forage Bounouara après le mélange avec les eaux du barrage Beni Haroun

Tableau 5 : Calendrier et lieu des prélèvements

Tableau 6 : Évolution temporelle des caractéristiques bactériologiques des eaux du forage Ras El Aïn

Tableau 7 : Qualité des eaux brutes et classes d'aptitude à la production d'eau potable-coliformes totaux (SEQ-Eau, 2003)

Tableau 8 : Qualité des eaux brutes et classes d'aptitude à la production d'eau potable-*E.coli* (SEQ-Eau, 2003)

Tableau 9 : Qualité des eaux brutes et classes d'aptitude à la production d'eau Potable-entérocoques ou streptocoques (SEQ-Eau, 2003)

Tableau 10 : Bilan récapitulatif de la qualité des eaux brutes, traitées et de robinets

Tableau 11 : Hiérarchisation des risques liés à la présence d'*E. coli* dans les eaux brutes, traitées et de robinets du forage Ras El Aïn

Liste des figures

Figure 1 : Présentation des eaux souterraines (Ramsae, 2010)

Figure 2 : Les états physiques de l'eau

Figure 3 : Organigramme du département qualité

Figure 4 : Carte de situation géographique de la source du Boumerzoug

Figure 5 : Localisation des forages et puits au niveau de la source du Boumerzoug (Boulaouidat, 2014)

Figure 6 : Station de pompage du Boumerzoug

Figure 7 : Processus de filtration et dénombrement des coliformes Totaux et d'*E. coli*

Figure 8 : Les étapes de déroulement du test oxydase

Figure 9 : Identification d'*E. coli* et des coliformes

Figure 10 : Processus de filtration et dénombrement des Streptocoques

Figure 11 : Processus de filtration et dénombrement des Clostridium sulfito-réducteurs

Figure 12 : Variation temporelle du dénombrement des coliformes totaux dans les eaux brutes et traitées de la région Ras El Ain (février 2019-mai 2019)

Figure 13 : Variation temporelle du dénombrement d'*Escherichia coli* dans les eaux brutes et traitées de la région Ras El Ain (février 2019-mai 2019)

Figure 14 : Variation temporelle du dénombrement des streptocoques fécaux dans les eaux brutes et traitées de la région Ras El Ain (février 2019-mai 2019)

Liste des photos

Photo 1 : Vue microscopique d'*Escherichia coli*

Photo 2 : Vue microscopique des coliformes totaux

Photo 3 : Vue microscopique des coliformes fécaux

Photo 4 : Vue microscopique des streptocoques fécaux

Photo 5 : Vue microscopique des clostridium sulfito-réducteurs

Table des matières

Dédicaces

Remerciements

Résumé

Abstract

المخلص

Liste d'abréviation

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des photos

Introduction 01

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

1. Définition des appellations des eaux 03

1.1. L'eau brute 03

1.1.1. Les eaux de pluie 03

1.1.2. Les eaux de surface 03

1.1.3. Les eaux souterraines 04

1.1.4. Les eaux de mer 04

1.2. L'eau traitée 05

1.3. L'eau potable 05

2. L'eau, sa structure et ses propriétés : 06

2.1. Structure de l'eau 06

2.2. Propriétés physiques 06

2.3. Propriétés chimiques 07

2.4. Propriétés biologiques 08

3. Qualité des eaux potables	08
3.1. Etats des impuretés dans l'eau	09
3.2. Les paramètres de la qualité de l'eau	09
3.2.1. Paramètres organoleptiques	10
3.2.2. Paramètres physico-chimiques	10
3.2.3. Paramètres microbiologiques	10
a. Les coliformes totaux	11
b. Les coliformes fécaux	11
c. <i>Escherichia coli</i>	12
d. Les streptocoques fécaux	13
e. Les bactéries Clostridium sulfito-réducteurs	13
4. Les normes de la potabilité des eaux	14

Chapitre 2 : Matériel et méthodes

1. Présentation de l'établissement d'accueil	15
1.1. Organisation	15
1.2. Présentation de la Direction Exploitation Eau et Travaux (DEET)	16
1.3. Présentation du département de la qualité	16
2. Les ressources d'approvisionnement en eau potable de la wilaya de Constantine	18
3. Présentation de la source du Bumerzoug et du forage Ras El Ain	18
3.1. Situation géographique	18
3.2. Géomorphologie	19
3.3. Contexte géologique et hydrogéologique	20
3.4. Le climat	20
3.5. La végétation	20
3.6. Le réseau hydrographique	20
4. Alimentation en eau	20
5. Procédés de traitements des eaux distribuées dans le Constantinois	22
6. Durée et lieu du stage	23
7. Echantillonnage et caractérisation des eaux du forage Ras El Aïn	23
7.1. Calendrier d'échantillonnage	23
7.2. Procédure d'échantillonnage	24

7.3. Caractérisation microbiologique des eaux du forage Ras El Aïn	24
7.3.1. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et <i>d'Escherichia coli</i>	25
7.3.2. Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux	28
7.3.3. Recherche et dénombrement des Clostridium sulfito-réducteurs	28
8. Traitement des résultats	30

Chapitre 3 : Résultats et discussion

1. Recherche et dénombrement des coliformes totaux	32
2. Recherche et dénombrement des coliformes fécaux (<i>Escherichia coli</i>)	34
3. Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux	37
4. Recherche et dénombrement des Clostridium sulfito-réducteurs	40
5. Bilan de la qualité des eaux et évaluation du risque	41
5.1. Bilan récapitulatif de la qualité bactériologique des eaux du forage Ras El Aïn	41
5.2. Evaluation du risque lié à présence d' <i>E. coli</i> dans les eaux brutes et potables	41

Conclusion et perspectives	44
-----------------------------------	-----------

Références bibliographiques	46
------------------------------------	-----------

Introduction

L'eau fait partie du patrimoine commun de la nature. Sa protection, sa mise en valeur et le développement de la ressource utilisable, dans le respect des équilibres naturels, sont d'intérêt général. Dès les XIX siècle, le souci de protection de la santé publique avait montré la nécessité de préserver les ressources et de maintenir la qualité des eaux destinées à la consommation humaine.

La qualité de l'eau des sources d'eau potable peut être affectée par de nombreux paramètres. Les intempéries (orages, fortes pluie, fonte des neiges, etc.) peuvent avoir des conséquences indirectes sur la source comme la fuite d'un réseau souterrain d'égout, les ruissellements sur des zones urbanisées ou industrielles, ou la remise en suspension de sédiments potentiellement contaminés. De plus, un déversement accidentel ou volontaire de produits toxiques fait également partie des sources de contamination potentielles des eaux (Guérineau, 2013).

Pour que l'eau soit qualifiée de potable, elle doit satisfaire à des normes relatives aux paramètres microbiologiques (coliformes fécaux et totaux, streptocoques fécaux, *Escherichia coli*, les bactéries anaérobies sulfite-réductrices), paramètres organoleptiques (couleur, turbidité, odeur, saveur), physico-chimiques (température, pH, etc.), et de substances indésirables et toxiques (nitrates, nitrites, arsenic, plomb, hydrocarbures, etc.).

Ainsi, une eau destinée à la consommation humaine est potable lorsqu'elle est exempte d'éléments chimiques et biologiques susceptibles de nuire à plus ou moins long terme à la santé des individus (John et Donald, 2010). Selon 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.

Les eaux souterraines représentent environ 97 % du total des eaux douces continentales liquides (Bosca, 2002). Selon Merzoug et al. (2010), 75 à 90 % de la population mondiale utilisent une eau d'origine souterraine. Certains travaux de recherches réalisés sur la qualité des eaux souterraines concluent que les pollutions de ces eaux proviendraient d'une origine géologique et anthropique, notamment d'infiltration des eaux usées et l'utilisation d'engrais chimiques en agriculture (Ahoussi et al. 2013 ; Aka et al. 2013 ; Amadou et al. 2014 ; Lagnika et al. 2014 ; Nouayti et al. 2015).

Sur le plan aussi bien national qu'international, la réglementation imposant de plus en plus des analyses de contrôle nombreuses et fréquentes, du point de vue traitement au robinet du consommateur. De même, une mise en œuvre et l'application des méthodes

automatisées et biochimiques pour la surveillance du traitement et le contrôle de la qualité de l'eau, il est important d'évaluer la salubrité de l'eau en prenant en compte les trois types de paramètres : microbiologique (bactéries, virus, protozoaires et helminthes, etc.), physico-chimiques (minéraux, métaux, produits chimiques, pH, température, etc.), et organoleptiques (couleur, odeur, goût et turbidité).

La contamination microbiologique de l'eau est due à la présence d'organismes de diverses natures : virus, bactéries, protozoaires, algues, champignons. En ce qui nous concerne et dans le cadre de cette étude nous nous proposons d'évaluer la qualité microbiologique des eaux du forage Ras El Aïn (Boumerzoug) située à 30 Km de la commune de Ouled Rahmoun ainsi que les eaux traitées destinées aux consommateurs de la même région.

Les organismes pathogènes auxquels nous nous sommes intéressés sont : les coliformes totaux, les coliformes fécaux (*Escherichia coli*), les streptocoques, et les bactéries anaérobies sulfito-réductrices (spores). Un suivi dans le temps (4 mois) de la qualité des eaux brutes et traitées dudit forage a été réalisé dans le cadre d'un stage effectué au sein de la Direction Exploitation Eau et Travaux (DEET), plus précisément au département de la qualité de la société SEACO.

Le contenu de ce manuscrit s'articule en trois chapitres :

- Le premier chapitre est une synthèse bibliographique des données relatives aux paramètres de la caractérisation des eaux destinées à la consommation humaine, et aux normes définissant la qualité des eaux potables,
- Le deuxième chapitre consacré à la présentation de l'établissement d'accueil et la zone d'étude ainsi, que le matériel et les méthodes adoptés pour la caractérisation microbiologique des eaux brutes et traitées du forage Ras El Aïn,
- Le troisième chapitre englobe la présentation et l'interprétation des résultats obtenus pour les paramètres pris en considération dans cette étude,
- Une conclusion et des perspectives clôtureront le présent manuscrit.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

1. Définition des appellations d'eau :

1.1. L'eau brute :

On qualifie d'eau brute, l'eau qui alimente un dispositif ou une station de production d'eau potable. En termes d'environnement et de service public de l'eau, il s'agit de l'eau captée, puisée ou recueillie qui est acheminée vers une station de traitement, afin de recevoir les traitements la rendant propre à la consommation humaine avant d'être distribuée dans le réseau d'adduction. C'est donc toute eau qui doit être épurée ou purifiée. Pour le particulier, l'éleveur ou l'agriculteur, l'eau brute est l'eau d'un forage, captage ou puisage qui est employée telle quelle pour arroser, irriguer ou abreuver les animaux (Badjadj, 2017; El Bernaoui, 2014).

Il existe quatre sources principales d'eaux brutes : les eaux de pluie, les eaux de surface, les eaux souterraines et les eaux de mer. Les caractéristiques physiques, chimiques et/ou biologiques de ces eaux reflètent l'interaction de l'eau avec son milieu environnant (Desjardins, 1997).

1.1.1. Les eaux de pluie :

Les eaux de pluie sont des eaux de bonne qualité pour l'alimentation humaine. Elles sont saturées d'oxygène et d'azote et ne contiennent aucun sel dissous. Ce sont donc des eaux douces, mais qui peuvent être contaminées par des poussières atmosphériques (Desjardins, 1997).

1.1.2. Les eaux de surface :

Les eaux de surface sont des eaux qui circulent ou qui sont stockées à la surface des continents. Elles proviennent soit des nappes souterraines dont l'émergence constitue une source, soit des eaux de ruissellement (fleuves, rivières, barrages, mares, marigots). Elles sont caractérisées par une surface de contact eau-atmosphère toujours en mouvement et une vitesse de circulation appréciable (Degremont, 2005). Ces eaux superficielles doivent subir un traitement en plusieurs étapes pour être utilisées pour la boisson et les usages domestiques. Elles ne peuvent être utilisées sans traitement. De plus, pour envisager d'alimenter des populations à partir d'eau de surface, il faut éviter les conditions favorisant l'érosion des sols, les conditions non hygiéniques et les pollutions accidentelles et chroniques (Molinie, 2009).

1.1.3. Les eaux souterraines :

Les eaux souterraines sont toutes les eaux se trouvant sous la surface du sol, dans la zone de saturation et en contact direct avec le sol ou le sous-sol. Elles transitent plus ou moins rapidement (jour, mois, année, siècle, millénaire) dans les fissures et les pores en milieu saturé ou non. Elles représentent environ 30% des ressources en eau douce de la planète. Ces eaux emplissant les cavités naturelles du sous-sol de manière continue et s'écoulant uniquement par gravité. Ces eaux se caractérisent par une turbidité faible puisqu'elles bénéficient de filtration naturelle importante, et par une contamination bactérienne faible, car elles sont à l'abri des sources de pollution. La dureté est souvent élevée, et les eaux souterraines peuvent être en contact avec des formations rocheuses contenant des métaux bivalents comme le calcium. En plus, dans les eaux souterraines, le fer et le magnésium présentent une concentration élevée (Degremont, 2005). Le niveau de l'eau souterraine, au-dessous duquel les roches ou sédiments sont saturés, est appelé nappe phréatique (fig.01). On trouve aussi de l'eau au-dessus de la nappe phréatique, dans la zone non saturée, par exemple sous forme d'eau du sol, mais cette eau n'est normalement pas exploitée par l'homme et on ne pas la considérée comme une eau souterraine (Ayad, 2017).

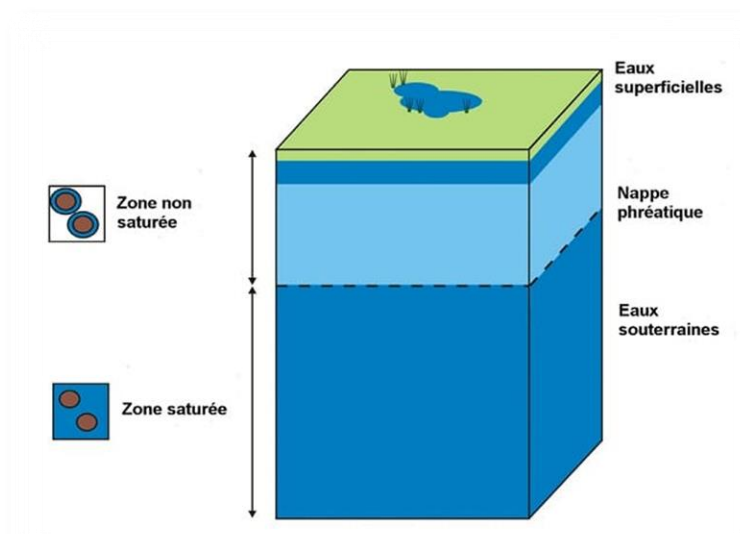


Figure 01: Présentation des eaux souterraines (Secrétariat de la Convention de Ramsar, 2010.)

1.1.4. Les eaux de mer :

Les eaux de mer sont une source d'eau brute qu'on n'utilise que lorsqu'il n'y a pas moyen de s'approvisionner en eau douce. Les eaux de mer sont caractérisées par leurs

concentrations en sels dissous relativement importante. La salinité de la plupart des eaux de mer varie entre 33000 et 37000 mg/L (tab.01).

Tableau 01: Salinité des principales eaux de mer (Desjardins, 1997).

Mer ou océan	Concentration (mg/L)
Mer rouge	43 000
Golfe arabe	43 000
Mer méditerranée	39 400
Océan atlantique	36 000
Océan indien	33 800
Océan pacifique	33 000
Mer Adriatique	25 000
Mer noire	13 000
Mer Baltique	7 000

1.2. L'eau traitée :

C'est une eau provenant d'une source non protégée ou bien d'un réseau de distribution d'eau, qui a subi un traitement destiné à la rendre bactériologiquement et chimiquement propre à la consommation. L'eau traitée est obtenue par divers procédés : distillation, microfiltration, désionisation, ozonation, osmose inverse, etc. Généralement, la teneur en sels minéraux de l'eau traitée varie de 10 à 500 mg/L. L'eau traitée peut ensuite être reminéralisée pour lui donner la teneur désirée en minéraux (El Bernaoui, 2014 ; Badjadj, 2017).

1.3. L'eau potable :

La définition d'une eau potable repose sur des normes établies par une réglementation. Cette dernière varie d'une communauté économique ou d'un pays à l'autre et est évolutive (Olivaux, 2007). Une eau potable est une eau estimée propre à la consommation. Elle ne doit contenir aucun micro-organisme nocif, aucune substance toxique et aucun élément chimique indésirable. C'est donc une eau qui ne doit pas porter atteinte à la santé humaine (Montginoul, 2006).

En fait, il faut avoir à l'esprit qu'il existe deux définitions de l'eau potable définissant deux ensembles non superposables : (Olivaux, 2007)

- Définition réglementaire : une eau potable est une eau conforme aux normes réglementaires. Dans cette optique, l'eau de robinet et les eaux minérales embouteillées sont généralement potables, sauf accident.
- Définition médicale : une eau potable est une eau qui ne rend pas malade, même à long terme. Dans cette optique médicale, ni l'eau de robinet, ni les eaux minérales embouteillées ne sont pas potables, sauf exception.

2. L'eau, sa structure et ses propriétés :

2.1. Structure de l'eau :

L'eau est la seule substance présente dans la biosphère sous ces trois états physiques (gazeux, liquide, solide). Selon les conditions de température et de pression, l'eau peut changer d'état (fig. 02).

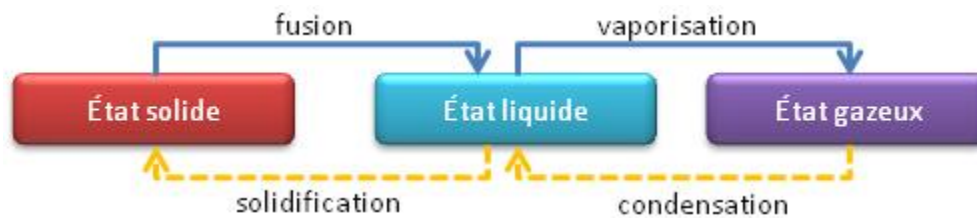


Figure 02 : Les états physiques de l'eau

Les propriétés des trois états d'eau peuvent être résumées comme suit :

- a. **État gazeux :** Un gaz ne possède ni forme ni volume propre. Les molécules sont pratiquement indépendantes les unes des autres, il y a donc pas d'interactions entre elles. L'état gazeux correspond donc à une liberté totale (entropie élevée).
- b. **État liquide :** un liquide possède un volume qui lui est propre et une certaine cohésion. En revanche, il prend la forme du récipient qu'il le contient et ne possède donc pas de forme propre. Les molécules interagissent, se déplaçant les unes par rapport aux autres et ne sont plus entièrement libres. Cet état liquide possède donc une entropie plus faible car les molécules d'eau ne peuvent plus translater librement.
- c. **État solide :** un solide possède un volume et une forme qui lui sont propres. Le solide pourra donc, par exemple, se dilater si sa température augmente. L'état solide correspond à des interactions plus fortes qui vont diminuer encore la liberté des molécules. Cet état correspond à une perte de mouvements de rotation.

2.2. Propriétés physiques :

L'eau possède un certain nombre de propriétés dues à la relation covalente d'une part, et d'autre part à la liaison hydrogène existante entre les molécules d'eau au-delà des aspects moléculaires de l'eau. La première propriété physique de ce corps est bien évidemment sa mobilité, son aptitude à s'écouler, à s'étaler dans l'espace et remplir aisément les récipients. Cette propriété de mobilité est fondamentale et l'observation de l'eau et de ses mouvements a été au cœur du développement de la mécanique des fluides, que ceux-ci soient des gaz ou

des liquides. En fait, la densité maximale de l'eau est obtenue pour une température de 3,984°C. Le tableau 02 donne les principales caractéristiques physique de l'eau.

Tableau 02 : Principales caractéristiques physiques de l'eau (André, 2004)

Paramètre	Valeur numérique
masse molaire	18,0153 g/mole
volume molaire	18,0182 g/cm ³
masse volumique solide	917 kg/m ³
masse volumique liquide	998kg/m ³
température de fusion	0°C
température d'ébullition	100°C
chaleur latente de fusion	3,3. 10 ⁵ J/kg
chaleur latente de vaporisation	23. 10 ⁵ J/kg
chaleur massique solide	2,06 . 10 ³ J/kg/k
chaleur massique liquide	4,18 . 10 ³ J/kg/k

L'eau est le composé qui possède la plus grande chaleur spécifique. Ceci explique sa mauvaise conductivité thermique et sa grande capacité régulatrice en terme climatique. Cette capacité régulatrice est encore renforcée par des valeurs de chaleur latente de fusion et de chaleur d'ébullition très élevées (André, 2004).

Selon Degrémont (2005), la viscosité de l'eau diminue lorsque la température croît et augmente avec la teneur en sels dissous. En revanche, la tension superficielle diminue avec l'augmentation de la température alors que l'addition de sels dissous fait augmenter ce paramètre.

2.3. Les propriétés chimiques :

La molécule d'eau est formée d'un atome d'oxygène relié à deux atomes d'hydrogène que l'on note H₂O. C'est une molécule polaire c'est-à-dire qu'une extrémité de la molécule est chargée positivement et l'autre négativement. L'eau est un excellent solvant. En effet, l'eau est le liquide qui dissout le plus grand nombre de substances. Ceci explique le fait que l'eau soit un milieu favorable au développement de la vie puisque l'on y trouve un grand nombre d'éléments primaires qui lui sont nécessaires. De plus la dissolution des gaz dans l'eau permet par exemple aux organismes vivants de respirer puisque ils vont pouvoir extraire l'oxygène dissous (André, 2004).

2.4. Les propriétés biologiques :

L'atmosphère primitive de la terre était constituée de mélange d'hydrogène, d'oxygène, d'azote, et de carbone. Cette composition a permis la formation de molécules très stables telles que le méthane, l'ammoniac et l'eau qui sont à l'origine des constituants élémentaires indispensables à la vie (André, 2004).

L'eau joue un rôle fondamental dans les réactions qui vont conduire à la formation d'acides aminés. A titre d'illustration, la combinaison de l'eau et du méthane permet d'obtenir une molécule de formaldéhyde qui combinée avec de l'acide cyanhydrique (mélange de méthane et d'ammoniac) conduit à la formation d'un acide aminé simple, la glycine. D'un autre côté, l'addition de 5 molécules de formaldéhyde donne du ribose tandis que l'addition de 5 molécules d'acide cyanhydrique forme de l'adénine (André, 2004).

Un second exemple du rôle biologique de l'eau réside dans le mécanisme de transformation de l'énergie solaire en énergie chimique essentiel au fonctionnement du milieu vivant. Cette réaction, la photosynthèse, utilise du gaz carbonique et de l'eau pour former une molécule de glucose. L'eau constitue ainsi une source d'électrons mais aussi d'oxygène gazeux nécessaire à la respiration (André, 2004).

3. Qualité des eaux potables :

La qualité de l'eau potable est évaluée à partir des critères de qualité. En effet, l'utilisation d'une eau médiocre pour la production d'eau potable peut accroître les risques pour le consommateur si cette eau contient des produits nuisibles pour la santé. L'eau est considérée souvent comme un symbole de pureté, Elle est progressivement devenue le produit alimentaire le plus surveillé, et est soumise aux normes de qualité les plus sévères (Defranceschi, 1996).

La surveillance de la qualité de l'eau 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 principal de ce suivi de la qualité de l'eau est de vérifier que l'eau distribuée remplit les critères de potabilité. Cette vérification étant un moyen de protéger la santé publique (Muriel, 2010).

L'eau du robinet appelée par les professionnels "eau du réseau" ou de "distribution publique", provient soit d'une source superficielle (retenues d'eau, rivière, etc.), soit souterraine (nappes phréatiques.). C'est eaux brutes à de rares exceptions près, doivent subir des traitements de purification pour répondre aux normes de potabilité EDCH (eau destinées à la consommation humaine). Des périmètres de protection sont mis en place

pour protéger à minima les points de captage des eaux superficielles ou souterraine des diverses pollutions.

Selon Olivaux (2007), il existe 3 procédés principaux de traitement des eaux selon leur degré de qualité :

- catégorie A1 : concerne les eaux brutes de meilleure qualité, qui nécessite un traitement physique simple (filtration) et une désinfection,
- la catégorie A2 : concerne des eaux de qualité moyenne qui nécessite un traitement physique, chimique et une désinfection (prétraitement, coagulation, décantation, filtration désinfection),
- La catégorie A3 : concerne les eaux brutes dont la qualité est très dégradée et qui nécessitent des traitements plus complexes. Il s'agit souvent de traitements physiques, chimiques, affinage et désinfection (prétraitement, coagulation, floculation, décantation, filtration, affinage (charbon actif), désinfection).

3.1. Etats des impuretés dans l'eau :

L'eau rencontrée dans la nature, et, *a fortiori*, celle qui fait l'objet d'un traitement, n'est jamais pure (Degrémont, 2005). Les impuretés présentes dans l'eau constituent deux catégories :

- a. **Matières en suspension** : matières minérales ou organiques qui restent en suspension du fait de la turbulence de l'eau ou de leur densité trop voisine de celle de l'eau, elles sont sans interférence importante avec l'eau qui les entoure.
- b. **Matières dissoutes** : elles concernent des composés minéraux ou organiques, macromoléculaires, ainsi que des gaz souvent très solubles dans l'eau (Rovel, 2005).

3.2. Les paramètres de la qualité de l'eau :

Les paramètres de la qualité de l'eau peuvent être classés en trois groupes :

- Paramètres organoleptique,
- Paramètres physico-chimiques,
- Paramètres microbiologiques.

Dans cette partie, ne seront décrits en détail que les paramètres auxquels nous sommes intéressés dans la présente étude, à savoir les paramètres microbiologiques (les coliformes, les streptocoques, *Escherichia coli*, les spores).

3.2.1. Paramètres organoleptiques :

Ces paramètres sont liés à la couleur, à la saveur, à l'odeur et à la turbidité de l'eau. afin d'obtenir une bonne 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 spécifique et néanmoins être consommable (Genoudet, 2001, Badjadj, 2017).

Lors des traitements des eaux destinés à la consommation, la couleur de l'eau est due à la présence des matières organiques et de sels de fer et de manganèse, par contre l'odeur et la saveur sont dues à la présence de matières organiques en décomposition (Rodier, 1996).

3.2.2. Paramètres physico-chimiques :

Ils correspondent aux caractéristiques physiques ou encore chimiques de l'eau telles que la température, le pH, la conductivité, etc (Kirda, 1997 ; Chaouay et al. 2016). Ils concernent donc tout ce qui est relatif à la structure naturelle de l'eau, et délimitent aussi les concentrations maximales pour un certain nombre d'éléments, notamment des ions comme les chlorures, le potassium, les sulfates, l'aluminium, le fer, etc.

3.2.3. Paramètres microbiologiques :

Les paramètres microbiologiques se rapportent aux paramètres qui ont pour objet la recherche, la détermination, voire le dénombrement d'êtres microscopiques présents dans l'eau. Cette catégorie de paramètres est également étendue par convention à des êtres vivants assimilés aux organismes microscopiques comme les parasites, certaines mousses ou champignons (Système d'Information sur l'Eau-Sandre, 2008)

La pollution microbiologique des eaux peut être indiquée par la présence des coliformes qui vivent normalement dans les intestins humains et animaux. Les bactéries indicatrices de contamination fécale sont les coliformes connus sous le nom d'*Escherichia coli*, les streptocoques fécaux et les clostridium sulfito-réducteurs. Elles se multiplient très facilement et sont utilisées généralement comme germes tests de contamination fécale (Ahonon, 2011).

a. 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 bâtonnet (photo. 01), aérobies ou anaérobies facultatives, possédant l'enzyme β -galactosidase permettant l'hydrolyse du lactose à 35°C afin de produire des colonies rouges avec reflet métallique sur un milieu gélosé approprié (Archibald, 2000 ; Edberg et al. 2000). Ce groupe est composé des genres suivants : Citrobacter, Enterobacter, Escherichia, Klebsiella et Serratia (Chevalier, 2003). La plupart des espèces sont non pathogènes et ne représentent pas de risque direct pour la santé, à l'exception de certaines souches d'*E. coli* ainsi que de rares bactéries pathogènes opportunistes tel que : *Pseudomonas aeruginosa*, entérocoque, acinetobater (Edberg et al. 2000; OMS, 2000).



Photo 01 : Vue microscopique des coliformes totaux

b. Les coliformes fécaux :

Les coliformes fécaux (photo. 02), ou thermotolérants sont des coliformes qui poussent à des températures plus élevées, soit à partir de 44,5°C. Ces coliformes fécaux sont des bactéries que l'on retrouve dans la flore intestinale des animaux à sang chaud. La bactérie *E. coli* fait partie des coliformes fécaux. Comme la présence de ces bactéries dans une source d'eau ne peut pas être considérée comme normale, elle peut donc représenter une menace ou l'indication d'une éventuelle dégradation de la qualité microbiologique de l'eau, due à la présence d'une contamination fécale. Le mécanisme de transport de ces bactéries dans l'eau serait surtout le ruissellement des eaux de pluies sur le bassin versant, entraînant avec lui les microorganismes contenus dans la terre (Bouchard, 2008).

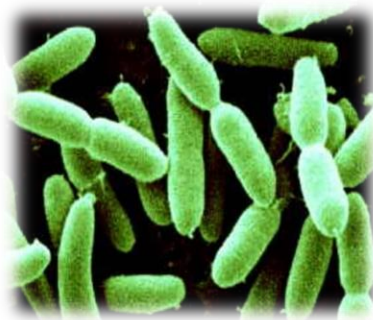


Photo 02 : Vue microscopique des coliformes fécaux

c. *Escherichia coli* :

E. coli est un bacille gram négatif radiorésistant de la famille des Enterobacteriaceae. Sa taille varie en fonction des conditions de croissance (entre 0,5 à 3 μm), pesant de 0,5 à 5 picogrammes (photo. 03). La plupart des *E. coli* se multiplient rapidement (18 à 24 h) sur les milieux habituels. Les colonies ont en moyenne 2mm de diamètre (Boucenina, 2018).

L'espèce *E.coli* est subdivisée en sérotypes, sur la base des antigènes O171, des antigènes K80, et des antigènes H56. C'est un hôte commun de l'intestin de l'homme et des animaux. Il est recherché à ce titre comme germe témoin de contamination fécale dans l'eau et les aliments. À l'intérieur de l'espèce, on reconnaît des pathotypes souvent associés à des sérotypes particuliers et responsables d'infections intestinales (gastro entérite et diarrhée). Leur pouvoir pathogène est induit par des facteurs d'adhésion et/ou la production d'entérotoxine. On distingue actuellement dans l'ordre chronologique : *E. coli* entéropathogènes (EPEC), *E. coli* entérotoxigènes (EHEC). D'autres pathotypes responsables de méningites néo-natales, portent fréquemment l'antigène K1, d'autres encore provoquent des désinfections du tractus urinaire (UTU) (Haslay, 1993).



Photo 03 : Vue microscopique d'*E. coli*

d. Les streptocoques fécaux :

Les streptocoques fécaux (photo. 04) sont en grande partie d'origine humaine. Cependant, certaines bactéries classées dans ce groupe peuvent être trouvées également dans les fèces animales, ou se rencontrent sur les végétaux. Ils sont néanmoins considérés comme indicateurs d'une pollution fécale. Leur principal intérêt réside dans le fait qu'ils sont résistants à la dessiccation. Ils apportent donc une information supplémentaire sur une pollution. L'identification de streptocoques fécaux donnera une confirmation importante du caractère fécal de pollution (Mehanned et al. 2014).



Photo 04 : Vue microscopique des streptocoques fécaux

e. Les bactéries Clostridium sulfito-réducteurs :

Ce sont des formes résistantes d'organismes anaérobies, dont les plus fréquentes et les plus faciles à mettre en évidence sont les Clostridies. Elles sont normalement présentes dans les sols, rivières et dans les systèmes digestifs des animaux ainsi que dans les matières fécales, mais en plus petites quantités que les *E. coli* (Squinazi, 2017). Leur absence dans une nappe souterraine ou une nappe alluviale est un signe d'efficacité de la filtration naturelle.

Les clostridium sulfito-réducteurs (photo. 05) sont des germes capables de se reproduire et de se maintenir très longtemps dans l'eau sous une forme végétative. Leur présence dans l'eau, en l'absence de germes fécaux, peut être interprétée comme un défaut de protection de la nappe contre la présence d'une flore bactérienne étrangère. Du fait de leur similitude de comportement avec les parasites, les spores constituent un bon indicateur pour ces micro-organismes. En outre, ces formes résistent à la chloration. Ceci explique que pour ce paramètre particulier, ce ne sont pas des bactéries elles-mêmes mais leurs spores qui sont recherchées (Squinazi, 2017).



Photo 05 : Vue microscopique des clostridium sulfito-réducteurs

4. Les normes de la potabilité des eaux :

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. 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 (Alouane, 2012).

Globalement, la qualité 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 (Bouziani, 2000 ; OMS, 2000 ; Taleb, 2005 ; Mostefaoui et Toutaoui, 2018).

En Algérie, il existe une réglementation nationale pour la qualité de l'eau de boisson notamment le Décret exécutif n°11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine. Par ailleurs, plusieurs normes existent à l'échelle internationale en particulier celle de l'OMS. Les normes nationales (JORA, 2014) et internationales (OMS, 2017) relatives à la qualité microbiologique des eaux destinées à la consommation humaine sont récapitulées dans le tableau 03.

Tableau 03: Normes nationales et internationales de la qualité microbiologique des eaux potables.

Paramètres	OMS (2017)	JORA (2014)
Coliformes totaux	0 UFC/100 ml	0 UFC/100 ml
Coliformes fécaux (<i>E. coli</i>)	0 UFC/100 ml	0 UFC/100 ml
Streptocoques fécaux	0 UFC/100 ml	0 UFC/100 ml
Clostridium sulfite réducteurs	0 SP/20 ml	0 SP/20 ml

Chapitre II :

MATERIEL ET METHODES

1. Présentation de l'établissement d'accueil :

La SEACO est une société par action, créée conjointement par l'Algérienne Des Eaux (ADE) et l'Office Nationale de l'Assainissement (ONA). Créée en 2006, la Spa SEACO s'est vue confier la gestion déléguée des services de l'eau et de l'assainissement de la wilaya de Constantine. Depuis 2008, la Spa SEACO a mis en place un nouveau mode de gestion et d'exploitation des services de l'eau et de l'assainissement en conformité avec les objectifs des institutions nationales et les enjeux du service public. La société est chargée dans le cadre de la politique nationale de développement d'assurer sur les 12 communes de la wilaya de Constantine la mise en œuvre de la politique nationale de l'eau potable à travers la prise en charge des activités de gestion des opérations de production, de transport, de traitement, de stockage, d'adduction, de distribution et d'approvisionnement en eau potable et industrielles ainsi que le renouvellement et le développement des infrastructures s'y rapportant.

La SEACO développe une politique de gestion durable des ressources souterraines en optimisant la production. Ces ressources représentent le tiers des apports en eau pour la distribution sur le territoire de la wilaya. Cette gestion est basée sur un partenariat original qui s'appuie sur un management entre la SEACO et la société des Eau de Marseille (SEM).

Via ses activités, la SEACO s'est fixée les objectifs suivants :

- Se doter d'une organisation moderne et adéquate,
- Assurer une distribution de l'eau potable en continu 24 heures sur 24,
- Formation et transfert de savoir-faire,
- Gérer efficacement le patrimoine,
- Offrir une bonne qualité de service,
- Gestion efficace de la clientèle,
- Qualité et rapidité des travaux,
- Assurer une bonne qualité de l'eau.

1.1. Organisation :

La société SEACO est organisée comme suit :

- Direction Générale (DG),
- Direction Clientèle (DC),
- **Direction Exploitation Eaux et Travaux (DEET),**
- Direction Exploitation Assainissement (DEA),
- Direction Technique (DT),

- Direction Etudes et Projets (DEP),
- Direction Finances et Comptabilité (DFC),
- Direction Achats et Logistique (DAL),
- Direction Ressources Humaines et Formation (DRHF),
- Direction Communication (DCO),
- Directions des Services Informatiques (DSI),

1.2. Présentation de la Direction Exploitation Eau et Travaux (DEET) :

La DEET est organisée en cinq départements centralisés : Production, Distribution, Travaux, Qualité, Administration et Moyens, avec cinq zones opérationnelles réparties sur le territoire de la wilaya de Constantine :

- Zone d'exploitation en eau de Hamma Bouziane,
- Zone d'exploitation en eau de Sidi Mabrouk,
- Zone d'exploitation en eau de Bardo,
- Zone d'exploitation en eau de la nouvelle ville Ali Mendjeli,
- Zone d'exploitation en eau d'El Khroub,

La DEET assure au quotidien les missions suivantes :

- L'exploitation et l'entretien des forages des usines de traitement d'eau potable et des réservoirs,
- L'exploitation et l'entretien des adductions et des réseaux de distribution,
- Le contrôle de la qualité de l'eau potable en conformité avec la réglementation,
- La pose et la rénovation des branchements et des compteurs d'abonnés,
- La gestion patrimoniale des infrastructures et des réseaux (renouvellement des conduites, lutte contre les fuites, sécurisation des appareillages de réseau, cartographie).

1.3. Présentation du département de la qualité :

Le département qualité se situe au niveau de la station d'Ain Smara. Il département fait partie de la DEET (fig. 03). Les travaux du département qualité obéissent à la réalisation d'un plan de charge décidé par le décret exécutif n°: 09-414 du 15-12-2009 fixant la périodicité et les méthodes d'analyses de l'eau de consommation humaine. Sa mission consiste à assurer le contrôle de plusieurs paramètres relatifs à la qualité de l'eau. Afin de contrôler la potabilité de ce dernier, il est nécessaire d'effectuer des analyses qui révèlent

la présence de matières minérales et de matières organiques en suspension ou en solution et éventuellement des micro-organismes. Ainsi le département qualité gère trois services :

- ✓ Service traitement des données
- ✓ Service d'analyses bactériologiques
- ✓ Service d'analyses physique-chimiques

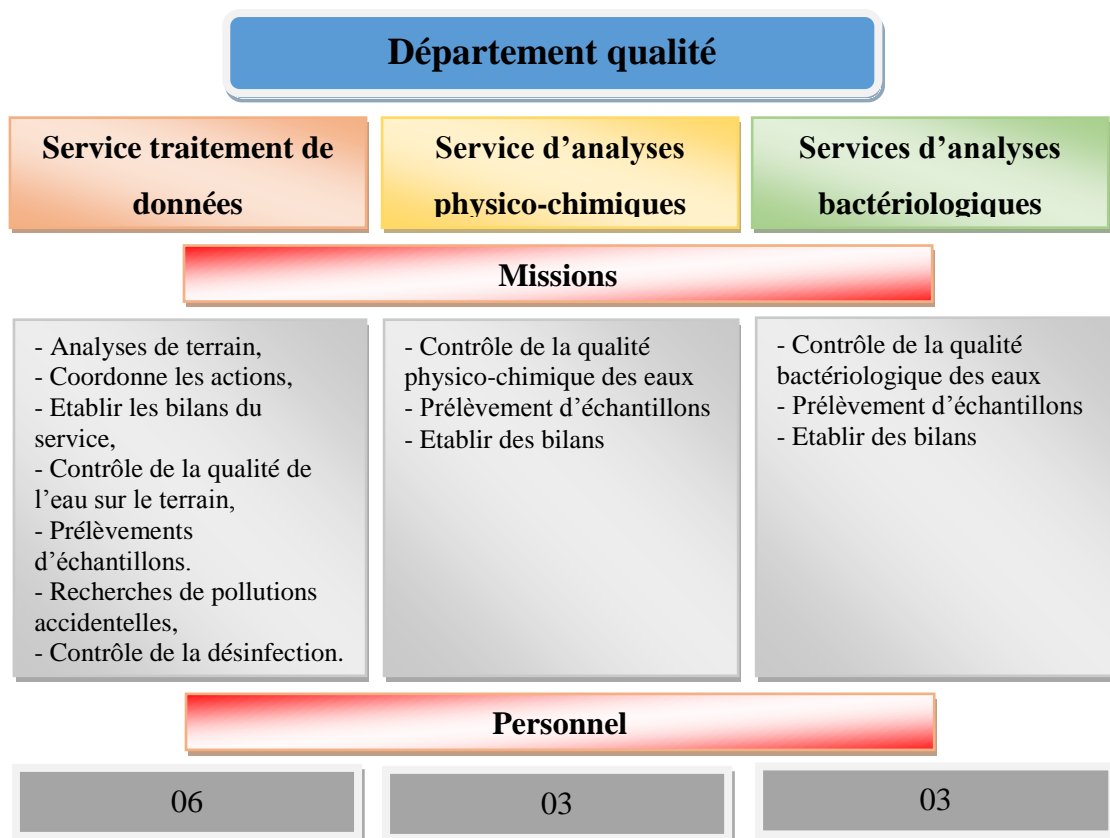


Figure 03 : Organigramme du département qualité

a. Service traitement des données :

Le service traitement des données assure le contrôle de la qualité de l'eau à partir de la source (Barrage Beni Haroun, Forage Hammam Zaoui, Skhoune, Boumerzouge etc.) en passant par les réservoirs de distribution jusqu'au robinet du consommateur.

Suite aux appels des abonnés au centre de réclamations clientèle (CRC), ce service recueille les données et enquête sur site, procède à des testes de contrôle de qualité, et recommande des mesures de traitement. Les équipes de suivie de ce service réalisent chaque année plus de 13000 tests de chlore et plus de 11000 prélèvements.

b. Service d'analyses physico-chimiques :

Ce service est chargé d'assurer l'analyse physico-chimique des eaux depuis la source, et de contrôler la désinfection. Il dispose du matériel suivant : pH mètre, conductimètre (mesure de conductivité, taux des sels dissous (TDS) et salinité), turbidimètre, spectrophotométrie (mesure de nitrate, nitrite, phosphate, sulfate), photométrie à flamme (mesure des teneurs en Ca, Na, Li). Sa mission réside essentiellement dans la surveillance des paramètres de pollution, des éléments indésirables et toxiques, les métaux lourds, etc.

c. Service analyses bactériologiques :

Le service d'analyses bactériologiques procède à des analyses partielles et complètes des eaux distribuées au niveau de la wilaya de Constantine. Il réalise chaque année plus de 5600 analyses complètes et 11900 analyses partielles.

2. Les ressources d'approvisionnement en eau potable de la wilaya de Constantine :

La wilaya de Constantine est alimentée en grande partie par les eaux du barrage Béni Haroun représentant un apport de près de 65% du total de la production. Afin d'assurer une distribution d'eau potable en continu 24 heures sur 24 et couvrir les besoins en eau de toutes les communes de la wilaya de Constantine, la SEACO a développé une politique de gestion durable des ressources souterraines en optimisant la production. Ces ressources représentent le tiers des apports en eau distribué sur le territoire de la wilaya. Ces ressources les plus importantes dans le constantinois sont : Hammam Zaoui, Ain Skhouna, Boumerzoug, Ain Arko, Puits Rhumel. Au cours de cette étude, nous nous sommes intéressés tout particulièrement à la source du Boumerzoug.

3. Présentation de la source du Boumerzoug (forage Ras El Ain) :**3.1. Situation géographique :**

La source du Boumerzoug et son impluvium se situent au Sud de la ville de Constantine, à 18.7 Km de la Daïra d'El Khroub (fig.04). Administrativement, ils appartiennent à la commune d'Ouled Rahmoun. La source de Boumerzoug émerge à une altitude de 737 mètres. Elle donne naissance au cours d'eau du même nom (oued Boumerzoug). Les coordonnées Lambert de la source sont : $X = 855.25$, $Y = 325$, $Z=737.5$

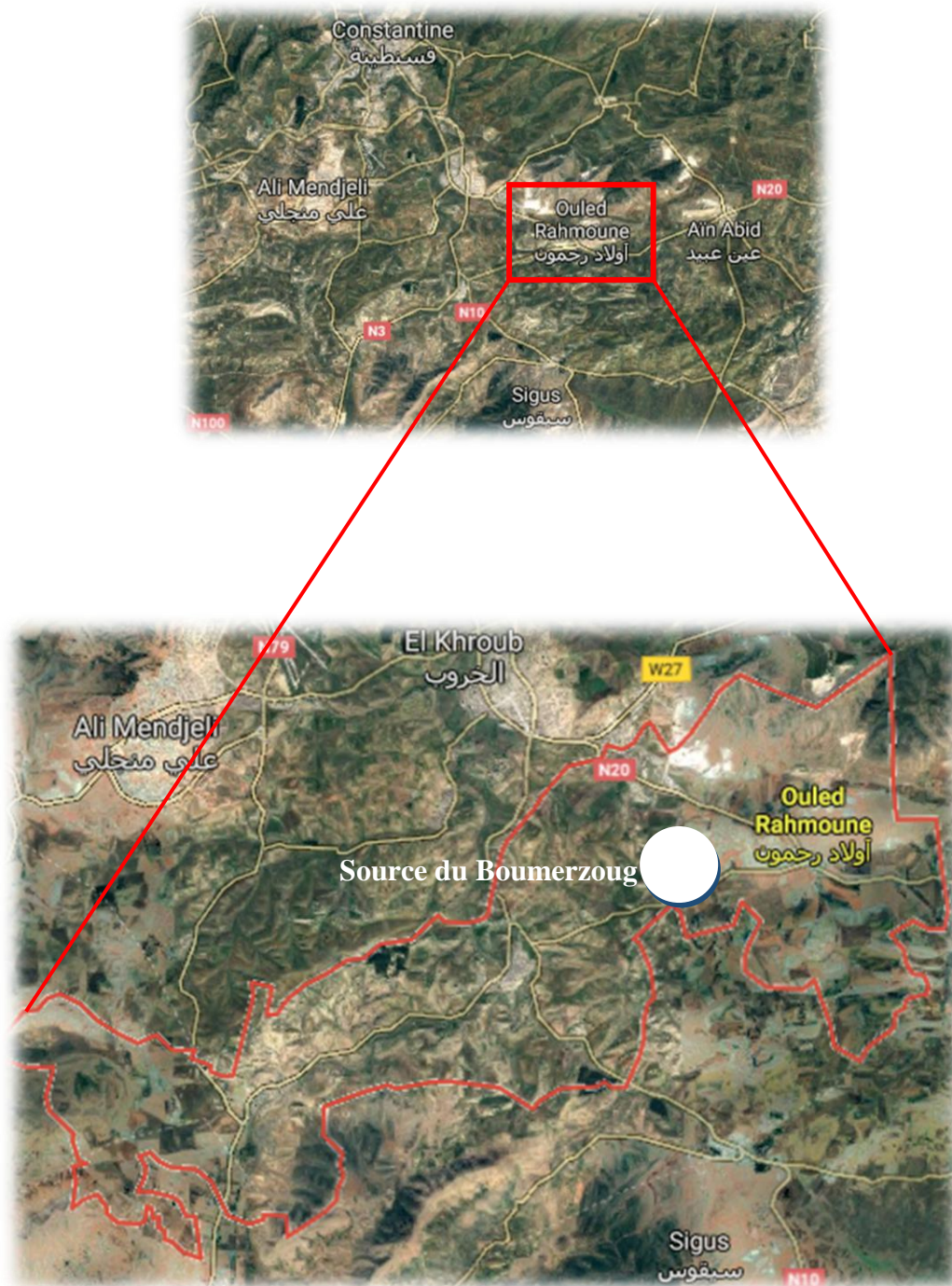


Figure 04 : Carte de situation géographique de la source du Bומרzoug

3.2. Géomorphologie :

La région d'étude qui fait partie du sud constantinois comprend d'importants massifs carbonatés entièrement dénudés, entaillés parfois par des oueds qui circulent au fond de petites vallées. Ces massifs émergent au sein de plaines marneuses qu'ils dominent de près d'un millier de mètres brisant ainsi la monotonie de la plénitude des hautes plaines constantinoises (Boutraa, 2008).

3.3. Contexte géologique et hydrogéologique

La source du Boumerzoug fait partie du massif Guerioun-Fortass. Ce dernier est constitué par une épaisse série carbonatée allant du Jurassique supérieur à l'Abien. En plus de la nature lithologique carbonatée de ces séries, il y a une tectonique de fracture très importante. Notons, qu'au sein des massifs existe un ensemble de chenaux, canaux, galeries par lesquels s'effectue l'essentiel de la circulation des eaux souterraines (Bouteraa, 2008).

3.4. Le climat :

La région d'étude est caractérisée généralement par un climat semi-aride avec un hiver pluvieux et froid et un été sec et chaud. Au nord, les précipitations sont plus importantes et peuvent atteindre en moyenne les 600 mm par an sur les reliefs, et chutent à environ 300 à 330 mm par an au sud.

3.5. La végétation :

Les reliefs de la zone d'étude sont caractérisés par une maigre couverture forestière, très dégradée au sud par rapport au nord (pins et chênes verts). Les plaines sont vouées aux céréales (orge et blé). Notons aussi qu'il existe des cultures irriguées et des arbres fruitiers. L'irrigation étant assurée par les eaux de la source faisant l'objet de notre étude.

3.6. Le réseau hydrographique :

La région de Constantine est caractérisée par un réseau hydrographique relativement dense, dont la ville de Constantine elle-même est le point de confluence de deux principaux cours d'eau, oued Boumerzoug et oued Rhumel qui traverse les gorges de Constantine. Le réseau hydrographique de la zone d'étude draine le bassin versant du Boumerzoug.

4. Alimentation en eau :

La source est située dans la commune d'Ouled Rahmoune, et captée par neuf forages. Au cours d'une période antérieure à l'exécution des forages, deux puits (P1 et P2) avaient été creusés (fig. 05). Le P1 avait fourni un gros débit : 250 l/s en pompage sans interrompre l'écoulement de la source mesuré à 270 l/s, alors le P2 avait montré une fissuration des calcaires médiocre, et donné des débits peu intéressants. Une première série de forages (S1 et S2) a été réalisée sur le site du puits P1 à l'amont de la source. C'est seulement dans la

zone fissurée et minéralisée du plan de la faille que se fait la circulation d'eau ; ce dernier présente une légère inclinaison vers l'ouest. Les autres forages (3 à 9) sont alors implantés sur 2 lignes parallèles à la direction du plan de faille. La profondeur des forages varie entre 35 et 41 m, et le niveau d'eau est le même dans les neuf forages (0.90-1.55), (Bouloudinat, 2014).

Afin d'assurer en alimentation en continue en eau potable de certaines communes localisées aux alentours de la source du Boumerzoug, des pompes immergées, ont été installées et fonctionnent 24 heures sur 24 et débitent dans une bêche d'exhaure refoulant les eaux vers la conduite Boumerzoug-Constantine alimentant ainsi d'importantes agglomérations :

- ✓ El Khroub : 100 l/s,
- ✓ Nouvelle ville, Ain Bey : 75 l/s,
- ✓ Salah Derradji : 20 l/s,
- ✓ Guettar Elaich : 15 l/s,
- ✓ Ouled Rahmoune: 15 l/s,
- ✓ Constantine : 245 l/s.

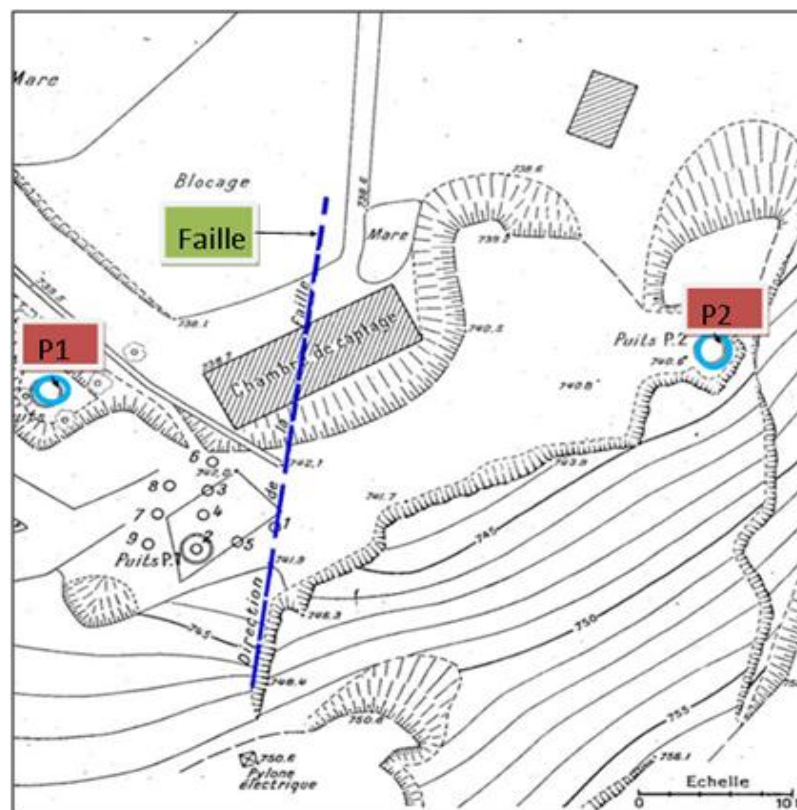


Figure 05 : Localisation des forages et puits au niveau de la source du Boumerzoug (Boulaoudinat, 2014)

5. Procédés de traitements des eaux distribuées dans le Constantinois :

Dans le constantinois, les eaux distribuées sont traitées selon différents procédés, les plus importants sont : l'aération, la préozonation (ozone fabriqué *in situ*), la coagulation-floculation, la décantation, la filtration biologique sur BIOFOR, la filtration sur charbon actif granulé, et la post-ozonation.

Les eaux souterraines du constantinois sont en majorité de bonne qualité. Leur traitement préalable à la consommation humaine consiste en une simple désinfection par des dérivés du chlore (javellisation). Ainsi, après captage des eaux souterraines, l'eau brute arrivée à station de pompage du Boumerzoug subi un traitement de désinfection (fig. 06). Le système de javellisation est composé de pompe doseuse, d'un électro-agitateur, d'un bac de préparation d'hypochlorite de calcium ou de sodium.



Figure 06 : station de pompage du Boumerzoug

Notons que, certaines ressources dans le constantinois présentent des eaux dont la concentration d'un ou plusieurs paramètres est hors normes. Ainsi et afin d'assurer une eau de bonne qualité, la Seaco effectue un mélange avec des eaux d'une autre source de qualité supérieure (tab. 04).

Tableau 04 : Exemple d'une amélioration de la qualité des eaux du forage Bounouara après le mélange avec les eaux du barrage Beni Haroun.

Paramètres	Normes	Forage Bounouara	Forage Bounouara+eau Beni Haroun
Dureté totale (mg/L)	500	520	362
Chlorures (mg/L)	200	216	175

6. Durée et lieu du stage :

Notre stage a durée 4 mois et il a été effectué au laboratoire de contrôle de la qualité bactériologique des eaux potables, au niveau de la Direction Exploitation Eau et Travaux (DEET) durant la période allant du mois de février 2019 au moi de mai 2019.

7. Echantillonnage et caractérisation des eaux du forage Ras El Aïn :

7.1. Calendrier d'échantillonnage :

Les prélèvements des eaux destinées à l'analyse bactériologique ont été effectués une fois par mois durant la période allant du mois de février 2019 au mois de mai 2019 en compagnie du personnel de la SEACO.

Les prélèvements ont été effectués au niveau du bassin collecteur des 9 puits avant traitement (eau brute) et après traitement. En plus des eaux du forage, des prélèvements d'eau destinée à la consommation humaine ont été effectués au niveau des localités suivantes (tab, 05) :

Tableau 05 : Calendrier et lieu des prélèvements

Mois	Localités
Février 2019	<ul style="list-style-type: none"> - Station de pompage Ouled Rahmoune centre (arrivée) - Réservoir centre village - Lycée Houari Boumediène - Cité Ouled Rahmoune, centre village, docteur Ouabdia - Cité Ouled Rahmoune, centre village, N° 53 - Primaire Zaameta Ayache
Mars 2019	<ul style="list-style-type: none"> - Réservoir belle vue, - Réservoir centre village, - Cité Boukhadra Ahmed, Bt A1 - Cité boukhadra Ahmed, Bt D3,
Avril 2019	<ul style="list-style-type: none"> - Réservoir Saleh Derradji 300m³ (départ) - Ancien village SD (Mr. Benghrissa) - Cité 213 logts (Mr. Hafssi N°182) - Cité 750 logts N°138 (Mr Abdaoui) - Station de pompage Ras el Ain (eau brute) - Station de pompage Ras el Ain (eau traitée)
Mai 2019	<ul style="list-style-type: none"> - Station de pompage Boumerzoug (eau brute) - Station de pompage Boumerzoug (eau traitée) - Station de pompage-Eau potable, Ouled Rahmoune centre - Station de pompage-Eau potable, Bouaassida

7.2. Procédure d'échantillonnage :

Les échantillons d'eau ont été recueillis dans des récipients de 200mL propres en verre. Le nettoyage des récipients a été effectué selon les recommandations de l'OMS (1997). Ainsi, ces derniers sont nettoyés au savon et rincés au moins trois fois avec de l'eau distillée pour éliminer tout résidu. Après nettoyage, les récipients sont stérilisés en utilisant un autoclave avec Thermostat à 121°C pendant 20mn. Notons que pour les échantillons destinés à l'analyse microbiologique, il ne faut jamais utiliser d'eau de javel, de chlore ou de désinfectant qui pourrait laisser un résidu sans rincer correctement. Le résidu pourrait affecter les résultats en inhibant ou en tuant les bactéries recherchées.

Avant de prélever l'échantillon d'eau destinée à l'analyse, on ouvre le robinet et on laisse couler l'eau à un débit moyen pendant 2 à 3 mn afin d'évacuer tout dépôts dans la tuyauterie. Dans un premier temps, le récipient à échantillon est maintenu sous le robinet et rempli en laissant un vide d'air afin de permettre le mélange de l'échantillon d'eau avant analyse. Enfin, les bouteilles sont fermées, étiquetées (numéro de l'échantillon, date, heure, provenance, etc.), conservées dans des glacières à 4°C et transportées au laboratoire pour analyse. En général, le délai entre le prélèvement et l'analyse doit être le plus court possible. Les échantillons sont analysés le jour même. En effet, Les bactéries ne survivent en général pas bien dans l'eau en raison de divers facteurs. Le nombre de bactéries dans un échantillon d'eau décline rapidement en 24 heures après prélèvement. La température peut aussi influencer la mortalité des bactéries dans l'échantillon, des températures élevées conduisant à une mortalité plus importante.

7.3. Caractérisation microbiologique des eaux du forage Ras El Aïn :

Les analyses microbiologiques sont fondées sur la recherche de bactéries considérées comme des indicateurs de contamination fécale. Les organismes pathogènes 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, qui se maintiennent plus facilement dans le milieu extérieur qui sont : les Coliformes, les Streptocoques, *E. coli*, et les Bactéries sulfito-réductrices.

Les directives de l'OMS (2017) pour la qualité de l'eau de boisson recommandent que l'eau destinée à être bue ne doit présenter aucune contamination fécale dans tout échantillon de 100 ml. *Escherichia coli* est le principal organisme indicateur permettant de

prouver l'absence de contamination fécale de l'eau. Cependant, l'analyse des bactéries coliformes thermorésistantes (CTR) peut être une alternative acceptable dans de nombreuses circonstances (OMS, 2011).

Il existe trois méthodes d'analyse principales pour déterminer la présence d'indicateurs bactériens dans l'eau :

- Présence/Absence (P/A)
- Nombre le plus probable (NPP)
- Filtration par membrane

Traditionnellement, la filtration par membrane au moyen de méthodes internationales standardisées a été conseillée pour mesurer les indicateurs bactériens dans l'eau de boisson. Cette méthode requiert des techniciens formés, du matériel et d'autres éléments qui n'étaient jusqu'à présent disponibles que dans un laboratoire conventionnel. Le coût relativement élevé d'une filtration par membrane rend difficile, malaisé ou impossible d'effectuer ces tests dans de nombreuses zones du monde.

Ne seront décrit en détail dans le présent chapitre que les méthodes utilisées pour les organismes pathogènes auxquels nous nous sommes intéressés dans cette étude, à savoir : les coliformes et *E. coli*, les streptocoques, et les bactéries sulfito-réductrices.

7.3.1. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et d'*Escherichia coli* :

La recherche et le dénombrement des coliformes et d'*E. coli* ont été effectués par filtration sur membrane selon les recommandations de la norme ISO9308-1 (2014).

La filtration sur membrane est la méthode la plus précise pour déterminer le nombre de bactéries indicatrices dans un échantillon d'eau, et est une méthode standard internationalement reconnue pour l'analyse de la qualité de l'eau. La méthode consiste à aspirer un échantillon d'eau de 100 ml à travers un entonnoir gradué en acier inoxydable et une membrane poreuse de 0.45µm au moyen d'une pompe. Après filtration, les bactéries coincées sur le papier filtre sont placées dans une boîte de Pétri contenant de la gélose chromogène pour bactéries coliformes (CCA). Les boîtes de Pétri sont placées dans un incubateur à une température de (36±2)°C pendant une durée de (21±3) heures. Les étapes du processus de recherches d'*E. coli* et des coliformes totaux sont récapitulés et illustrés par la figure 07.

Préalablement à la filtration, tout le matériel (verrerie, anse de pasteur, pipette de pasteur, pince, boîte de pétri, etc.) utilisé est stérilisé en utilisant un Bec-bunsen, bain-marie, four pasteur, autoclave. Notons aussi que l'opération de filtration et de transfert de la membrane

poreuse sur papier filtre sont effectués devant un bec bunsen afin d'éviter toute sorte de contamination.



Figure 07 : Processus de filtration et dénombrement des Coliformes totaux et d'*E. coli*

Par ailleurs, un test oxydase permettant de discriminer et confirmer la présence d'*E. coli* des coliformes totaux est effectué après incubation. Ce test oxydase est l'un des critères les plus discriminatifs et les plus employés pour l'identification des bactéries. Ce test consiste à mettre en évidence la capacité de la bactérie testée à oxyder la forme réduite incolore de dérivés N,N- diméthylés du paraphénylène diamine, en leur forme oxydée semiquinonique rose violacé. L'oxydase ou cytochrome oxydase est une enzyme présente dans certaines chaînes respiratoires bactériennes. Une réaction positive se traduit par l'apparition d'une couleur rouge (*E. coli*) ou violacée (coliformes) au bout de 10 secondes ; la réaction est tardive entre 10 et 60 secondes, et elle est négative après 60 secondes. Ainsi, à l'aide d'une

pince, on place un disque d'oxydase sur la couverture de la boîte de pétrie, et on imbibe avec quelques gouttes d'eau distillée. Une colonie bien représentative de la culture a testée est prélevée à l'aide d'une pipette pasteur boutonnée stérile est mise en contact par frottement délicat avec le disque (fig. 08).



Figure 08 : Les étapes de déroulement du test oxydase.

Après 15 secondes, si une coloration bleu foncée apparaît, le test oxydase est considéré comme positif correspondant à une absence des coliformes totaux et fécaux, sinon il est plutôt négatif et correspond ainsi à une présence des deux types d'organismes pathogènes. Après incubation, les colonies bactériennes sont visibles à l'œil nu ou avec une loupe. La taille et la couleur des colonies dépendent du type de bactéries (fig. 09). Les colonies bactériennes sont dénombrées pour déterminer le nombre d'unités formatrices de colonies (CFU) par 100 mL selon le tableau suivant :

Microorganismes	Phénotypes typiques	Coloration des colonies
E-coli	GUD+/β-GAL+	Bleu foncé à violette
Coliformes	GUD-/β-GAL+	Rose à rouge

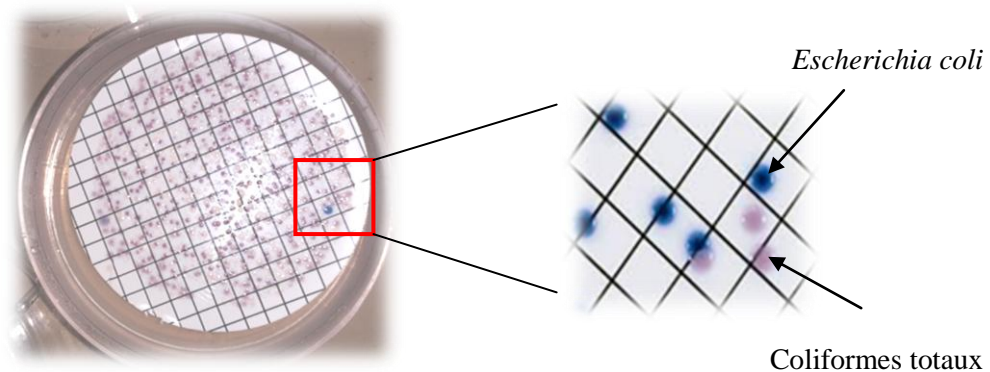


Figure 09: Identification d'*E. coli* et des coliformes totaux

7.3.2. Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux :

La recherche des streptocoques a été effectuée par filtration sur membrane poreuse selon la norme ISO 7899-2 (2000). La technique est identique à celle de l'identification des coliformes et d'*E. coli*. La seule différence réside dans l'utilisation du milieu de culture slanetz et bartlely spécifique à ce type de bactéries. Ainsi, après la filtration, la membrane poreuse contenant les bactéries est placée dans une boîte de pétri contenant de la gélose slanetz et bartlely et incubée à une température de (37°C) pendant une durée de 48 heures. Après la période d'incubation, les bactéries apparaissent sous forme de petites colonies lisses légèrement bombées à contour réguliers et pigmentées en rouge, marron ou rose. La membrane contenant ces dernières est transférée aseptiquement sur une boîte de pétri contenant de la gélose BEA et incubée à 44°C pendant 2h. Les colonies caractéristiques prennent alors une coloration noire traduisant ainsi l'hydrolyse de l'esculine présente dans le milieu. Les colonies sont comptées et rapportées à 100 mL (fig.10).



Figure 10 : processus de filtration et dénombrement des Streptocoques

7.3.3. Recherche et dénombrement des clostridium sulfito-réducteurs :

La recherche et le dénombrement des bactéries anaérobies sulfite réductrices ont été effectués selon la norme NFT 90-415 (1985). La méthode permet la détection et le dénombrement, dans un volume réduit d'eau (ne dépassant pas quelques dizaines de millilitres), des spores de bactéries clostridium sulfite-réducteurs.

La technique consiste à transférer 20 ml de l'eau à analyser dans 4 tubes stériles qui seront par la suite soumis à un chauffage de l'ordre de 75°C pendant 15 min dans le but de détruire toutes les formes végétatives des bactéries anaérobies sulfito-réductrices éventuellement présentes.

Dans un milieu synthétique adapté à l'action des bactéries clostridium sulfito-réducteurs est contenant des sulfates, l'addition de fer sous forme de sulfate ferreux ou simplement de fer métallique permet l'obtention de sulfure qui provoque un noircissement caractéristique du milieu. Après chauffage, on procède à un refroidissement des tubes destinés à analyse sous l'eau de robinet (choc thermique qui a pour but d'éliminer la forme végétative et reste seulement la forme sporulée des bactéries clostridium sulfito-réducteurs), puis on rajoute 18 à 20 ml de gélose Viande Foie, fondue puis refroidie à 45°C additionnée de leurs additifs spécifiques. Le tout (milieu + inoculum) est mélangé doucement en évitant d'introduire des bulles d'air et de l'oxygène. On laisse solidifier sur paillasse pendant 30 min puis on incube à 37°C pendant 48 h. La première lecture doit se faire après 24 h d'incubation. Cette lecture permet une détection précoce des clostridium sulfito-réducteurs. Les réplicats concernés sont isolés afin d'éviter une éventuelle contamination des autres tubes. Une deuxième lecture est effectuée pour les tubes restants après 48h d'incubation. Les résultats sont exprimés en nombre de colonies par 20ml de l'échantillon à analysé.



Figure 11 : processus de filtration et dénombrement des Clostridium sulfito-réducteurs

8. Traitement des résultats :

Pour mieux apprécier les différents résultats obtenus, nous avons calculé pour l'ensemble des paramètres étudiés : la moyenne, les valeurs extrêmes (min et max) et l'écart type. Aussi et afin de mieux visualiser la variabilité dans le temps, des représentations graphiques de type histogrammes ont été effectuées.

Chapitre III :

Résultats et discussion

Le tableau ci-dessous (tab. 06) représente l'évolution temporelle de l'identification et du dénombrement des bactéries dans les eaux brutes et traitées du forage Ras El Ain, et dans les eaux de robinets de différentes cités de la même région dont l'alimentation en eau potable est assurée par ledit forage durant la période allant du mois de février au mois de mai 2019. Sont indiqués : les valeurs extrêmes, les moyennes et les écartypes mensuels des différents types d'eau. Sur ce même tableau figurent les normes bactériologiques des eaux potables nationales (Journal officiel de la république algérienne-JORA, 2014) et internationales (Organisation Mondiale de la Santé-OMS, 2017).

Tableau 06 : Évolution temporelle des caractéristiques bactériologiques des eaux du forage Ras El Ain

Date	Lieu de prélèvement	CT (UFC/100mL)	<i>E. coli</i> (UFC/100mL)	SF (UFC/100mL)	CSR (SP/20mL)
Eau brute					
Avril et mai 2019	S.P Boumerzoug	35 TNC	40 26	26 16	0 0
	Moyenne ± écartype	TNC	33 ±9,9	21±7,07	0
	Eau traitée				
Avril et mai 2019	S.P Boumerzoug	0 0	0 0	0 0	0 0
	Moyenne ± écartype	0	0	0	0
	Eau de robinets				
Février 2019	S.P.O.R centre (arrivée)	0	0	0	0
	Rés centre vilage (300+200 m ³)	0	0	0	0
	lycée Houari Boumediène	0	0	0	0
	Cité O.R centre village, docteur Ouabdia	0	0	0	0
	cité O.R centre village, N° 53	14	15	0	0
	Ecole primaire Zaameta Ayache	0	0	0	0
	Moyenne ± écartype	2,33 ±5,71	2,5 ±6,12	0	0
Mars 2019	Rés belle vue (1000+1500 m ³)	0	0	0	0
	Rés centre vilage (300+200 m ³)	0	0	0	0
	Cité boukhadra Ahmed ,Bt A1	0	0	0	0
	Cité boukhadra Ahmed, Bt D3, Mr. Zaabat	0	0	0	0
	Moyenne ± écartype	0	0	0	0
Avril 2019	Réservoir Saleh Derradji 300m ³ (départ)	0	0	0	0
	Ancien village SD Mr. Benghrissa	0	0	0	0
	Cité 213 logts Mr hafssi N°182	12	11	0	0
	Cité 750 logts N°138Mr. Abdaoui	0	120	0	0
	Moyenne ± écartype	3 ±6	32.75 ±58,4	0	0
Mai 2019	Station de pompage-Eau ptable, Ouled Rahmoun Centre	0	0	0	0
	Station de Pompage-Eau potable, Bouaassida	0	0	0	0
	Moyenne ± écartype	0	0	0	0
Normes de potabilité (JORA, 2014)		0UFC/100mL	0UFC/100mL	0UFC/100mL	0SP/20mL
Normes de potabilité (OMS, 2017)		0UFC/100mL	0UFC/100mL	0UFC/100mL	0SP/20mL

TNC : trop nombreuses pour être comptées, CT : coliformes totaux, SF : streptocoques fécaux, CSR : clostridium sulfito-réducteurs

1. Recherche et dénombrement des coliformes totaux :

Les résultats du dénombrement des coliformes totaux dans les eaux brutes, traitées et les eaux de robinets de la région Ras El Ain pendant la période allant du mois de février 2019 au mois de mai 2019 sont représentés dans le tableau 06 et illustrées par la figure 12 .

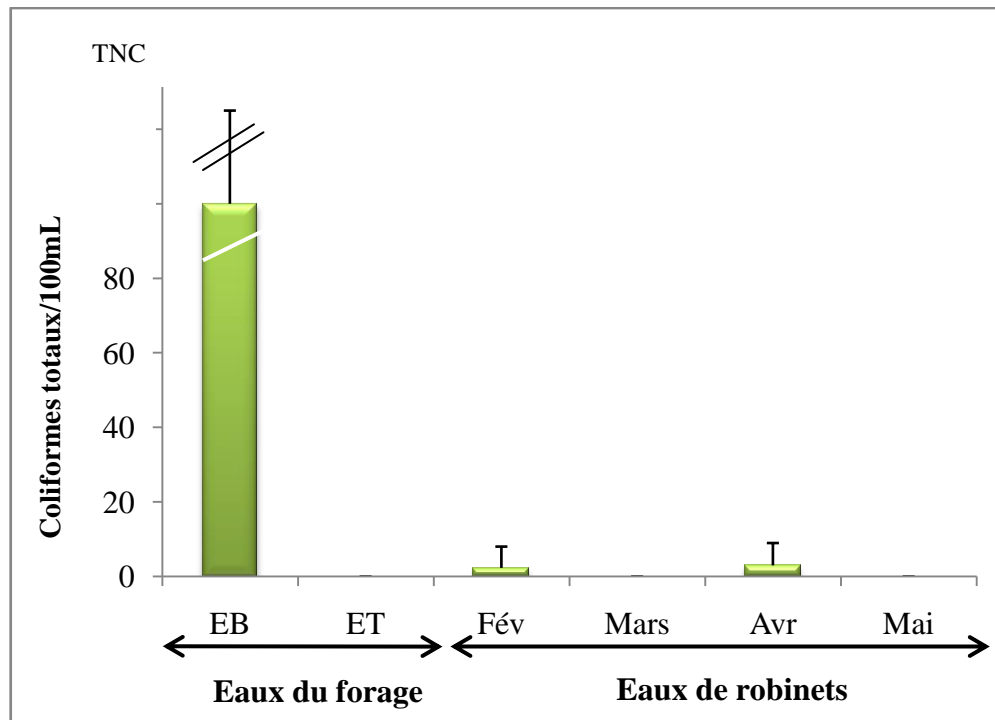


Figure 12: Variation temporelle du dénombrement des coliformes totaux dans les eaux brutes et traitées de la région Ras El Ain (février 2019-mai 2019)
(EB : eau brute, ET : eau traitée)

L'examen de la figure 12 et du tableau 06 montre que le nombre des coliformes totaux recensés dans les eaux brutes du forage varie entre une valeur minimale de 35 UFC/100mL et une valeur maximale pour laquelle l'abréviation TNC a été donnée et qui signifie "trop nombreuses pour être comptées". Contrairement à ces derniers, les eaux traitées sont exemptes de coliformes totaux et ce durant toute la période d'observation.

Pour les eaux de robinet des différentes cités prises en considération dans cette étude, le nombre de coliformes totaux varient de 0 UFC/100mL à 14 UFC /100mL enregistrés durant les mois de mars et février respectivement. La moyenne enregistrée pour toute la période d'observation est 1.62 UFC/100mL.

En matière de potabilité de l'eau, et selon le décret exécutif n°14-96 (JORA, 2014) et les directives de l'OMS (2017), l'eau distribuée et destinée à la consommation humaine ne doit contenir aucune trace de cet organisme pathogène (0 UFC/100mL). La comparaison

de nos résultats à ces normes montre que les eaux brutes du forage Ras El Ain ne sont pas bonnes pour la consommation. En effet, un nombre relativement important de coliformes totaux a été recensé durant toute la période d'observation

Si on se base sur les indications du Système d'Évaluation de la Qualité de l'Eau-SEQ_{Eau} (2003) précisant la qualité des eaux brutes et classes d'aptitude à la production d'eau potable (tab. 07), on peut conclure que les eaux brutes du forage Ras El Ain sont de qualité mauvaise ; l'indice de qualité étant de l'ordre de 20. La contamination bactériologique ou encore physico-chimique des eaux brutes est un phénomène fréquent. Les eaux souterraines provenant des aquifères profonds et confinés sont habituellement saines sur le plan microbien et chimiquement stables en l'absence de contamination directe. Par contre, les aquifères peu profonds ou non confinés peuvent être contaminés par des rejets ou des infiltrations résultant des pratiques agricoles (agents pathogènes, nitrates ou pesticides, par exemple), aux installations d'assainissement ou aux réseaux d'égout présents sur le site (agents pathogènes et nitrates) et aux déchets industriels (OMS, 2017).

Tableau 07: Qualité des eaux brutes et classes d'aptitude à la production d'eau potable- Coliformes totaux (SEQ-Eau, 2003)

Classe de qualité	Très bonne	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
Indice de qualité	80	60	40	20	-
Coliformes totaux	50	500	5000	50000	-

Les coliformes totaux constituent un groupe hétérogène de bactéries d'origine fécale et environnementale. En effet, la plupart des espèces de coliformes totaux peuvent se trouver naturellement dans le sol et la végétation. Leur présence dans l'eau n'indique pas une contamination fécale ni un risque sanitaire, mais plutôt une dégradation de la qualité bactérienne de l'eau. Cette dégradation peut être attribuée, entre autres, à une infiltration d'eau de surface dans le puits, ou au développement progressif d'une couche de bactéries sur les parois appelée "biofilm". L'analyse des coliformes totaux permet notamment d'obtenir de l'information sur la vulnérabilité possible d'un puits à la pollution de surface (Vaurette, 2016). Aussi, il a noté que ces organismes survivent plus longtemps dans l'eau et résistent mieux à la chloration que les coliformes fécaux ou les bactéries pathogène communes. On utilise donc de préférence les coliformes totaux comme indicateurs de l'efficacité de traitement de l'eau potable. La présence d'un organisme coliforme quelconque dans l'eau traitée révèle en effet que le traitement a été inefficace ou qu'il a eu une contamination après traitement (Rodier, 2009).

Les eaux traitées du forage Ras El Aïn ainsi que celles des robinets (mars et mai) sont exemptes de coliformes ; ceci confirme l'efficacité du traitement à base de chlore effectué au niveau de la station de pompage. Néanmoins, quelques coliformes réapparaissent au mois de février (14UFC/100mL) et au mois d'avril (12UFC/100mL). Vu que le traitement effectué au niveau de la station de pompage a montré son effet, la réapparition des coliformes dans les eaux de robinets peut être attribuée à des fuites de pression, les ruptures de conduites et les jonctions fautives permettant un contact avec de l'eau potable, y compris par refoulements. Aussi, on incrimine les égouts sanitaires qui se déversent dans le cours d'eau ainsi que la contamination par des rejets d'animaux (agriculture) et surtout par une forte pluie qui entraîne des coliformes et de la matière organique dans les eaux souterraines.

2. Recherche et dénombrement des coliformes fécaux (*Escherichia coli*) :

Les résultats du dénombrement d'*E. coli* dans les eaux brutes et traitées de la région Ras El Ain pendant la période allant du mois de février 2019 au mois de mai 2019 sont représentés dans le tableau 06 et illustrées par la figure 13.

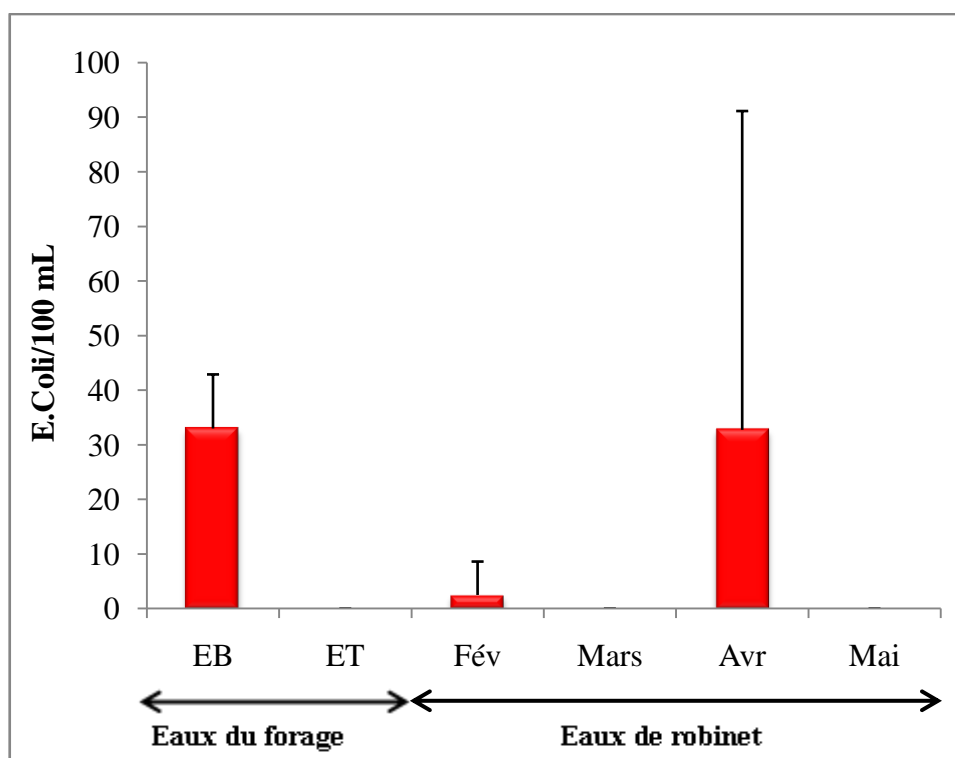


Figure 13: Variation temporelle du dénombrement d'*Escherichia coli* dans les eaux brutes et traitées de la région Ras El Ain (février 2019-mai 2019)
(EB : eau brute, ET : eau traitée)

L'examen de la figure 13 et du tableau 06 montre que le nombre de bactérie *E. coli* recensées dans les eaux brutes du forage varie entre une valeur minimale de 26 UFC/100mL et une valeur maximale de 40 UFC/100mL, la moyenne durant toute la période de surveillance étant de l'ordre de 33 UFC/100mL. Pour les eaux traitées et pour la même période d'observation, aucune bactérie n'a été identifiée.

Par ailleurs, le nombre d'*E. coli* recensées dans les eaux de robinet des différentes cités prises en considération lors de cette étude oscille entre 0 UFC/100mL et 120 UFC /100mL enregistrés au mois de mars et avril respectivement. La moyenne durant toute la période d'observation étant de l'ordre de $9.12 \pm 18,46$ UFC/100mL. Notons que la moyenne mensuelle la plus élevée ($32,75 \pm 58,39$) a été enregistrée au mois d'avril, suivi par le mois de février ($2,5 \pm 6,12$). Au mois de mars et mai, aucune bactérie n'a été recensée.

En matière de potabilité de l'eau, et selon le décret exécutif n°14-96 (JORA, 2014) et les directives de l'OMS (2017), l'eau distribuée et destinée à la consommation humaine ne doit contenir aucune trace de cet organisme pathogène (0 UFC/100mL). Notons que pour les eaux brutes, il n'existe pas de valeur impérative sur le plan national. Néanmoins, la recommandation canadienne (Santé Canada, 2012) précise que l'eau brute ainsi que l'eau potable mises à la disposition des utilisateurs et prélevées à des fins d'analyse microbiologique doivent être exemptes d'indicateurs de contamination fécale, tels que la bactérie *E. coli* et des entérocoques ainsi que de micro-organismes pathogènes.

La comparaison de nos résultats à ces normes montre que les eaux brutes du forage Ras El Ain ne sont pas bonnes pour la consommation. En effet, un nombre relativement important d'*E. coli* a été recensé durant toute la période d'observation. Aussi, si on se base sur les indications du Système d'Evaluation de la Qualité de l'Eau-SEQ_{Eau} (2003), précisant la qualité des eaux brutes et classes d'aptitude à la production d'eau potable (tab. 08), on peut conclure que les eaux brutes du forage Ras El Ain sont par contre bonnes pour la production d'eau potable ; l'indice de qualité étant de l'ordre de 60. Nous tenons tout de même à préciser que ces eaux nécessitent un traitement puisque l'eau potable ne doit contenir aucune trace de coliformes.

Tableau 08: Qualité des eaux brutes et classes d'aptitude à la production d'eau potable-
E. coli (SEQ-Eau, 2003)

Classe de qualité	Très bonne	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
Indice de qualité	80	60	40	20	-
<i>E. coli</i> (UFC/100mL)	20	200	2000	20000	-

Par ailleurs, nous avons constaté que les eaux traitées du forage (durant toute la période de surveillance) et celles des robinets (mars et mai) sont exemptes de la bactérie pathogène recherchée; ceci confirme l'efficacité du traitement à base de chlore effectué au niveau de la station de pompage. Néanmoins, *E. coli* réapparaît durant les mois de février et avril au niveau des eaux de robinet des différentes cités dont la source est la station de pompage.

La détection d'*E. coli* dans une eau de consommation est une indication d'une contamination d'origine fécale qui doit faire sérieusement soupçonner la présence d'autres micro-organismes pathogènes (Elmund et al. 1999). *E. coli* est l'indicateur spécifique à ce type de contamination, et il est plus facile de l'identifier comparativement à d'autres indicateurs ou des micro-organismes pathogènes spécifiques (Santé Canada, 2012; WHO, 2011). En effet, l'apparition de bactérie fécale constitue un signal d'alarme obligeant à faire une enquête à cause de l'existence de facteurs qui peuvent influencer d'une façon direct ou indirect la qualité des eaux traitées et qui sont causés d'une part par la prolifération d'*E. coli* inactivées ou détruites par la chloration et qui survivent pendant quelques jours dans les réseaux de distribution et d'autre part par la contamination permanente qui provient des fuites des canalisations d'eau et des travaux routier proches des réseaux de distribution. Une mise en contact accidentelle d'eaux usées et de l'eau destinée à la distribution peut aussi être à l'origine d'une telle contamination. Une autre situation classique consiste à relier, par erreur, les installations de distribution d'eau et les installations de traitement d'eaux usées ou au réseau d'eau non potable. Outre ces facteurs d'origine anthropique, l'eau de pluie peut aussi accroître considérablement le niveau de contamination microbienne des eaux de source, et des percées de contaminants véhiculés par l'eau peuvent se manifester à la suite de précipitations (OMS, 2004).

Escherichia coli est la plus importante des bactéries présentes dans le groupe des coliformes fécaux et son identification dans l'eau de boisson indique toujours une contamination potentiellement dangereuse car elle traduit dans la plupart des cas l'existence d'un risque de la présence de microorganismes pathogènes entériques. La virulence d'*E. coli* est capable de déclencher spécifiquement chez l'homme ou chez certaines espèces animales des infections spontanées des voies digestives ou urinaires ou bien encore des méningites néo-natales, alors qu'il existe d'autre souches appartenant à la flore commensale qui peuvent être responsables d'infections opportunistes variées (Gaillard, 1988).

Les conséquences potentielles pour la santé de la contamination microbienne de l'eau sont telles qu'il est crucial de conserver en permanence la maîtrise de celle-ci et de ne jamais la

laisser sortir des limites recommandées. Les agents pathogènes d'origine fécale constituent une priorité dans la fixation d'objectifs sanitaires destinés à garantir la sécurité microbiologique. La qualité microbienne de l'eau varie souvent rapidement et dans de très larges proportions. Les pics de courte durée de la concentration d'agents pathogènes peuvent accroître considérablement le risque de maladie et déclencher des flambées épidémiques de maladies véhiculées par l'eau. En outre, de nombreuses personnes peuvent avoir été exposées à ces agents avant que la contamination microbienne n'ait été détectée (OMS, 2017). Ainsi, au niveau de la Seaco et compte tenu de la dangerosité de l'organisme pathogène en question, la constatation d'une non-conformité associée à la présence d'*E. coli* oblige le responsable du système de distribution des eaux à mobiliser en urgence une cellule de crise. Celle-ci est constituée :

- ✓ d'une équipe de travaux pour l'isolation du quartier concerné par la cross-connexion, la recherche de fuites non apparentes et donc de la source de la contamination, les travaux de réparations ou le changement du tronçon affecté ;
- ✓ d'une équipe de laboratoire pour effectuer les prélèvements d'échantillons d'eau et les analyses bactériologiques afin de confirmer la présence d'*E. coli* ;
- ✓ et d'une équipe de communication, son rôle étant d'informer la population à travers la presse écrite et la radio locale de l'évolution de la situation.

Une fois, la contamination confirmée et la source détectée, plusieurs mesures correctives sont effectuées par ladite société à savoir :

- l'augmentation de la dose du chlore dans la station de pompage,
- la purification des conduites principales,
- le nettoyage des réservoirs d'eau traitée.

3. Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux :

Les résultats du dénombrement des streptocoques fécaux dans les eaux brutes et traitées de la région Ras El Ain pendant la période allant du mois de février 2019 au mois de mai 2019 sont représentés dans le tableau 06 et illustrées par la figure 14.

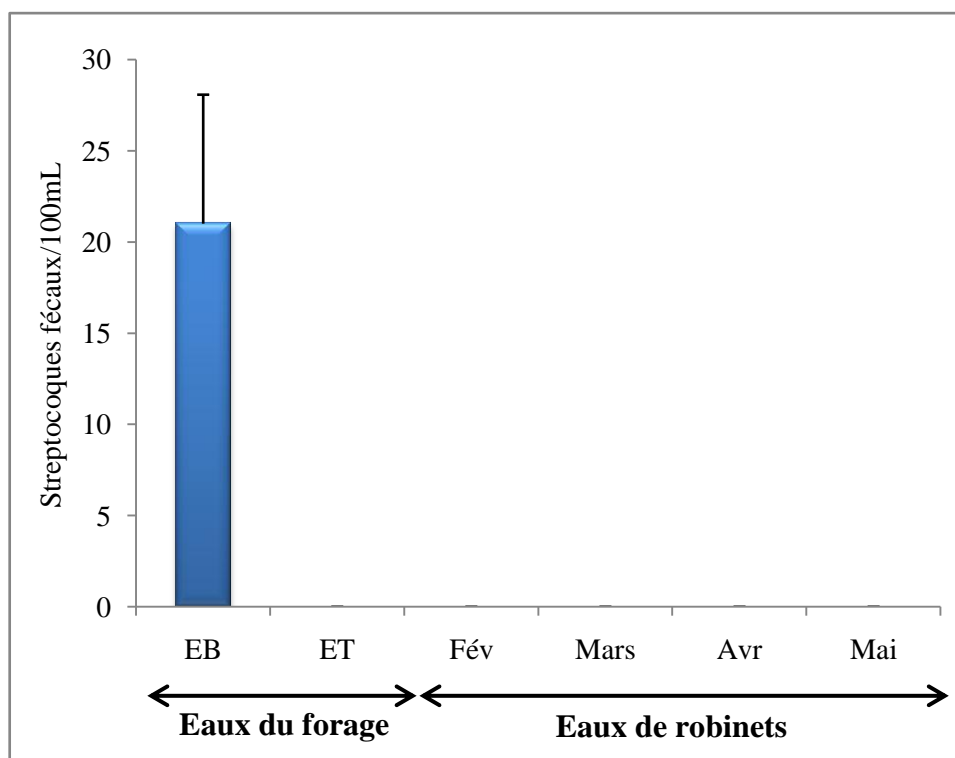


Figure 14 : Variation temporelle du dénombrement des streptocoques fécaux dans les eaux brutes et traitées de la région Ras El Ain (février 2019-mai 2019)
(EB : eau brute, ET : eau traitée)

L'examen de la figure 14 et du tableau 06 montre que le nombre des streptocoques fécaux recensés dans les eaux brutes du forage varie entre une valeur minimale de 16 UFC/100mL et une valeur maximale de 26 UFC/100mL, la moyenne durant toute la période de surveillance étant de l'ordre de 21 UFC/100mL. Pour les eaux traitées et pour la même période d'observation, aucune bactérie n'a été identifiée. De même, on note une absence totale (0 UFC/100ml) de streptocoques fécaux dans les eaux de robinet des différents cités durant toute la période d'observation.

En matière de potabilité de l'eau, et selon le décret exécutif n°14-96 (JORA, 2014) et les directives de l'OMS (2017), l'eau distribuée et destinée à la consommation humaine ne doit contenir aucune trace de ces organismes (0 UFC/100mL).

La comparaison de nos résultats à ces normes montre que les eaux traitées et les eaux de robinets de la région de Ras El Ain sont bonnes pour la consommation. Ces dernières ne présentent aucune contamination aux streptocoques fécaux. Ces résultats sont certainement une conséquence de l'efficacité de désinfection par le chlore effectuée lors de l'opération de traitement de l'eau à la station de pompage avant son orientation aux consommateurs de la région.

Comme pour les coliformes totaux et *E. coli*, il n'y a pas de normes qui définissent la qualité microbiologique des eaux brutes. Néanmoins, selon la réglementation française (décret n° 91-257 du 7 mars 1991), les eaux brutes ne doivent pas contenir plus de 10000 streptocoques par 100 mL d'eau. De même, l'eau potable mise à la disposition des utilisateurs et prélevées à des fins d'analyse microbiologique doit être exempte d'indicateurs de contamination fécale, tels que les streptocoques fécaux. La comparaison de nos résultats à ces directives, montre que les eaux brutes du forage ne sont pas bonnes pour une consommation sans traitement.

Par ailleurs, si on se base sur les directives du Système d'Evaluation de la Qualité de l'Eau-SEQ_{Eau} (2003), précisant la qualité des eaux brutes et classes d'aptitude à la production d'eau potable (tab. 09), on peut conclure que les eaux brutes du forage Ras El Aïn sont d'une qualité bonne pour la production d'eau potable ; l'indice de classe de qualité étant de l'ordre de 60.

Tableau 09: Qualité des eaux brutes et classes d'aptitude à la production d'eau potable- Entérocoques ou streptocoques (SEQ-Eau, 2003)

Classe de qualité	Très bonne	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
Indice de qualité	80	60	40	20	-
Entérocoques ou streptocoques ((UFC/100mL)	20	200	1000	10000	-

Les streptocoques sont associés aux coliformes fécaux, qui peuvent servir à évaluer la salubrité de l'eau potable, ils peuvent fournir de l'information sur la qualité de la source d'eau, l'adéquation du traitement et la salubrité de l'eau acheminée jusqu'au consommateur, car ils sont nettement plus résistants dans le milieu extérieur, que les coliformes totaux et autres entérobactéries pathogènes (Leyral et al. 2002) .

Les streptocoques n'ont pas tous un habitat fécal. Parmi eux, seules les bactéries du genre enterococcus sont présents naturellement dans les intestins des humains et d'une gamme d'animaux, dont les mammifères, les oiseaux, les reptiles et les insectes (Ashbolt et al. 2001; Leclerc et al. 2001; Ervin et al. 2013). La quantité présente dans les selles des espèces animales peut varier considérablement et, au cours de certaines études, des quantités plus importantes d'entérocoques ont été détectées dans les selles des animaux de ferme et des animaux domestiques que dans les selles humaines (Ervin et al. 2013; Masters et al. 2015). La détection des streptocoques fécaux dans une nappe d'eau souterraine doit faire sérieusement soupçonner une contamination d'origine fécale et la présence de micro-organismes entéropathogènes. Simmons et al. (2001), ont mis en évidence un risque accru de développer une gastro-entérite avec un nombre relativement restreint de ces bactéries (3

à 10 bactéries/100 ml). Aussi, certains streptocoques peuvent se transformer en germes initiateurs de plusieurs maladies telles que les angines et les méningites. Elles sont capables de réduire le chlorure de triphényl le 2, 3, 5 tétrazolium (TTC) en formazane (Tourab, 2013).

4. Recherche et dénombrement des Clostridium sulfito-réducteurs :

Les résultats du dénombrement des Clostridium sulfito-réducteurs dans les eaux brutes, traitées et les eaux de robinets de la région Ras El Ain pendant la période allant du mois de février 2019 au mois de mai 2019 sont présentés dans le tableau 06. On note une absence totale (0 SP/20ml) des bactéries clostridium sulfito-réducteurs dans toutes les eaux étudiées et ce durant toute la période d'observation.

Selon le décret exécutif n°14-96 (JORA, 2014) et les directives de l'OMS (2017), l'eau distribuée et destinée à la consommation humaine ne doit contenir aucune bactérie sulfito-réductrice, ni de spores. Ainsi, nous pouvons conclure d'un point de vue contamination aux bactéries sulfito-réductrices et spores, que les différents types d'eau prises en considération dans cette étude sont de très bonne qualité microbiologique et ne présentent aucune contamination à ce type de pathogène et ce de la source à la consommation en passant par la distribution.

Les Clostridium sulfito-réducteurs sont des bactéries d'origine fécale, si elles se trouvent normalement dans les matières fécales, elles peuvent également vivre et se multiplier dans les milieux naturels (Sari, 2014). La caractéristique principale des bacilles anaérobies est non seulement leur incapacité à utiliser l'oxygène comme accepteur final d'hydrogène mais encore leur incapacité à se multiplier en présence d'oxygène. L'absence de Clostridium Sulfito-Réducteurs traduit l'absence de contamination fécale ancienne (Maiga, 2005).

Les Clostridium sulfito-réducteurs sont des germes capables de sporuler et de se maintenir longtemps dans l'eau. Plus difficilement tués que les coliformes par les désinfectants, ils constituent donc un bon indicateur de l'efficacité de la désinfection (Hamed et al. 2012). Or, dans notre cas, les Clostridium sulfito-réducteurs sont absents déjà dans les eaux brutes. Leur absence pourrait être due à la teneur élevée en coliformes dans les eaux brutes. En effet, ces derniers peuvent exercer un effet compétitif voire inhibiteur sur la croissance de ce germe (Razzolini et al. 2011). Une autre possibilité, est la quantité d'eau prélevée qui peut être insuffisante par rapport au nombre relativement très faible de ces micro-organismes dans les eaux. La technique adoptée peut aussi être à l'origine de cette absence (Gruzdev et al. 2011). En effet, les organismes pathogènes présents en faibles quantités ne

peuvent être dénombrés par les méthodes classiques. La procédure la plus adéquate est la méthode du nombre le plus probable (NPP). Cette méthode permet de révéler de plus faibles quantités de germes que la plupart des méthodes de numération en milieu solide. Elle repose sur une analyse statistique et fournit par calcul des nombres les plus probables. Cette méthode est applicable aux échantillons ayant une teneur plus ou moins élevée en MES.

5. Bilan de la qualité des eaux et évaluation du risque :

5.1. Bilan récapitulatif de la qualité bactériologique des eaux du forage Ras El Aïn :

Un bilan récapitulatif de la qualité des eaux brutes, traitées et de robinets a été établi sur la base de la matrice de la qualité bactériologique des eaux proposée par l'institut Pasteur d'Algérie (1977) *in* Iltache (2015). Dans cette matrice, sont prises en considération les présences/absences des trois organismes pathogènes en même temps, à savoir : les coliformes totaux, *E. coli* et les streptocoques fécaux.

Tableau 10 : bilan récapitulatif de la qualité des eaux brutes, traitées et de robinets.

CT	<i>E. coli</i>	SF	Conclusion	Présente étude
-	-	-	Eau de bonne qualité bactériologique : potable	Eau traitée du forage Eau de robinets (mars. et mai.)
+	+	+	Eau de mauvaise qualité bactériologique : non potable	Eau brute du forage
+	+	-	Eau de mauvaise qualité bactériologique : non potable	Eau de robinets (fév. et avr.)
+	-	+	Eau de mauvaise qualité bactériologique : non potable	-
+	-	-	Eau de qualité bactériologique suspecte : consommation déconseillée	-

(+) : présence du pathogène (-) : absence du pathogène

Une eau potable est une eau qui ne doit pas porter atteinte à la santé humaine. Elle ne doit contenir aucun micro-organisme nocif, aucune substance toxique et aucun élément chimique indésirable (Montginoul, 2006). Ainsi, d'un point de vue bilan et sur la base de la matrice ci-dessus, on peut conclure ce qui suit :

- Les eaux brutes du forage Ras El Aïn sont d'une mauvaise qualité bactériologique et donc non potables,
- Les eaux traitées sont potables et d'une bonne voir très bonne qualité bactériologique,
- Les eaux de robinets sont tantôt de bonne qualité et donc potables, tantôt de mauvaise qualité et donc non potables.

5.2. Evaluation du risque lié à présence d'*E. coli* dans les eaux brutes et potables :

On peut évaluer le risque associé à chaque danger ou événement dangereux en déterminant la probabilité de sa survenue (certain, possible ou rare, par exemple) et en évaluant la

gravité de ses conséquences (insignifiante, majeure, catastrophique, par exemple). L'objectif doit être de faire la distinction entre dangers importants ou moins importants et événements dangereux. A cette fin, on fait habituellement appel à une matrice semi-quantitative.

Dans le cadre de cette étude, l'évaluation du risque lié à la présence d'*E. coli* a été effectuée sur la base de la matrice de cotation gravité-probabilité relative à l'évaluation de la priorité des mesures correctives pour les approvisionnements domestiques en eau de boisson reposant sur une échelle microbienne et les scores de l'inspection sanitaire proposée par l'OMS (2017). L'hierarchisation des risques liés à la présence d'*E.coli* dans les différents types d'eau étudiés sont illustrés dans le tableau suivant :

Tableau 11 : Hiérarchisation des risques liés à la présence d'*E. coli* dans les eaux brutes, traitées et de robinets du forage Ras El Ain

		- Echelle de probabilité → +			
		Scores de risques d'après le nombre d'analyses positives			
		0-2	3-5	6-8	9-10
+ Echelle de probabilité -	E. coli (UFC/100mL)	< 1 - Eau traité - Eau de robinet (mars et mai)			
	1-10				
	11-100	- Eau brute - Eau de robinet (fév. et avr.)			
	> 100	- Eau de robinet (avr.)			
		Risque faible : aucune action requise	Risque intermédiaire : action faiblement prioritaire	Risque élevé : action plus fortement prioritaire	Risque très élevé : action urgente requise

L'examen de cette matrice nous permet de tirer les conclusions suivantes :

- L'eau de robinet prélevée au mois d'avril au niveau de la cité 750 logts N°138 (Mr. Abdaoui) présente un risque très élevé. En effet, un nombre relativement importants d'*E. coli* a été détecté. Ainsi, une action urgente est requise pour ce cas.
- L'eau brute prélevée durant toute la période d'observation et l'eau de robinets prélevée aux mois de février et avril au niveau des cités O.R centre village, N° 53, et 213 logts N°182 (Mr. Hafssi) présentent un risque élevé nécessitant une action plus fortement prioritaire.

- Les eaux de robinets prélevées aux mois de mars et mai ainsi que les eaux traitées présentent un risque faible voir nul ne nécessitant aucune action.

Conclusion et perspectives

L'eau potable constitue un élément essentiel pour l'organisme humain et sa consommation journalière directe et indirecte, implique une surveillance étroite.

Pour que l'eau soit qualifiée de potable, elle doit satisfaire à des normes relatives aux paramètres microbiologiques (coliformes fécaux et totaux, streptocoques fécaux, *Escherichia coli*, les clostridium sulfite-réducteurs), paramètres organoleptiques (couleur, turbidité, odeur, saveur), physico-chimiques (température, pH, etc.), et de substances indésirables et toxiques (nitrates, nitrites, arsenic, plomb, hydrocarbures, etc.).

Ainsi, une eau destinée à la consommation humaine est potable lorsqu'elle est exempte d'éléments chimiques et biologiques susceptibles de nuire à plus ou moins long terme à la santé des individus.

La source de Ras El Aïn est l'une des plus importantes sources qui alimente Constantine en eau potable. L'étude menée au cours de ce travail a pour objectif d'évaluer la qualité bactériologique des eaux brutes, traitées et les eaux des robinets de cette région durant une période de quatre mois à partir de février jusqu'à mai 2019. La contamination microbiologique de l'eau est due à la présence d'organismes de diverses natures : virus, bactéries, protozoaires, algues, champignons.

A l'issue de ce travail, les principales conclusions peuvent être résumées comme suit :

- Les eaux brutes contiennent un nombre relativement important de coliformes totaux, de coliformes fécaux (*E. coli*) et de streptocoques fécaux. Ces eaux sont donc d'une mauvaise qualité bactériologique. Elles sont non potables et nécessitent un traitement. Leur consommation constitue un risque élevé pour la santé humaine.
- L'analyse des eaux traitées n'a révélé aucune contamination bactérienne. Ces résultats sont sans doute la conséquence de l'efficacité du traitement à base de chlore effectué au niveau de la station de pompage. Ainsi, ces eaux sont d'une bonne qualité bactériologique et sont considérées comme bonne pour la consommation.
- Les eaux de robinets analysées aux mois de mars et mai sont de très bonne qualité. Elles sont exemptes de bactéries et sont considérées comme bonnes voir très bonnes pour la consommation humaine.

- L'eau de robinet prélevée au mois de février et d'avril présente un risque très élevé. En effet, un nombre relativement importants d'*E. coli* a été détecté. Ces eaux sont de mauvaise qualité et nécessitent une action urgente de traitement et désinfection.

Vu que les eaux du forage étaient exemptes de bactéries, la réapparition des coliformes dans les eaux de robinets peut être attribuée à des fuites de pression, des ruptures de conduites, déversement des égouts sanitaires, la contamination par des rejets d'animaux (agriculture), mais aussi par les fortes pluies qui entraîne des coliformes et de la matière organique dans les eaux souterraines.

- Pour ce qui est de la contamination par les bactéries sulfito-réductrices et spores, les différents types d'eau prises en considération dans cette étude ne présentent aucune contamination à ce type de pathogène et ce de la source à la consommation en passant par la distribution. Leur absence pourrait être attribuée à la présence relativement importante des coliformes notamment *E. coli* qui peut exercer un effet compétitif voire inhibiteur sur leur croissance.

Comme perspectives et d'un point de vue fondamental, il serait intéressant :

- de confirmer la contamination des eaux brutes du forage Ras El Aïn en effectuant une surveillance durant une longue période,
- de quantifier d'autres paramètres révélateurs de la qualité des eaux potables et qui constituent un réel danger pour la santé humaine notamment les teneurs phosphates, en sulfates, en fer, aluminium, cadmium, plomb, cuivre, zinc, etc.
- de caractériser d'autres forages dans le constantinois afin d'améliorer encore leur exploitation que ça soit pour la potabilité ou pour l'irrigation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ahonon A.S. 2011.** Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de surface dans les zones montagneuses du sud-ouest du TOGO : cas du Canton de la vie, Master international, environnement eau et santé, Université de Lome, TOGO, 35p.
- Ahoussi K. E., Koffi Y. B., Kouassi A. M., Soro G. et Biemi J. 2013.** Evolution spatiotemporelle des teneurs en nitrates des eaux souterraines de la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire), International Journal of Pure & Applied Bioscience, Vol 1, N° 3, 45-60p.
- Aka N., Bamba S. B., Soro G. et Soro N. 2013.** Etude hydrochimique et microbiologique des nappes d'altérites sous climat tropical humide : Cas du département d'Abengourou (Sud-Est de la Cote d'Ivoire), Larhyss Journal, N°16, 31-52p.
- Alouane H. 2012.** 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, Mémoire de Magister, Gestion des déchets : Évaluation et Solutions Environnementales, Université Mentouri Constantine, 49p.
- Amadou H., Laouali M.S. et Manzola A. 2014.** Analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux de trois aquifères de la région de Tillabery : application des méthodes d'analyses statistiques multi variées, Larhyss Journal, N° 20, 25-41p.
- André M. et Christophe H. 2004.** Hydrologie une science de la nature, 314p.
- Archibald F. 2000.** The presence of coliform bacteria in Canadian pulp and paper mill water systems - a cause for concern? Water Qual Res J. Canada, 35, pp: 1-22.
- Ashbolt N.J., Grabow W.O.K. and Snozzi M. 2001.** Indicators of microbial water quality. In: Water quality-Guidelines, standards and health: Assessment of risk and risk management for water-related infectious disease. Fewtrell, L. and Bartram, J. (Eds.). IWA Publishing, London, United Kingdom, on behalf of the World Health Organization. pp. 289-315.
- Ayad W. 2017.** Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines : cas des puits de la région d'el-harrouch (wilaya de skikda). Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat 3ème cycle LMD. faculté des sciences département de biochimie, Université Badji Mokhtar-Annaba. 116p.
- Badjadj N. 2017.** Analyse du système de production d'eau potable ainsi que sa gestion et son exploitation au niveau de la wilaya de Bejaia. Mémoire de fin d'études. Faculté de Technologie Département d'hydraulique, Université Abderrahmane MIRA de Bejaia, 70p.
- Bosca C. 2002.** Groundwater law and administration of sustainable development, Mediterranean Magazine, Science Training and Technology, N° 2, 13-17p.
- Bouchard M. 2008.** Évolution temporelle et modélisation des coliformes dans une source d'eau potable. Mémoire (M. Sc). *Université de Laval*. Québec. 98p.

- Boucenina H. 2018.** Analyse bactériologique des eaux de certaines écoles à la wilaya de Mila. l'obtention du diplôme de master. Faculté des Sciences de la Nature Département de Biologie Animale, Université des Frères Mentouri Constantine, 64p.
- Boulaouidat H. 2014.** Caractérisation, structure et évolution de l'aquifère carbonaté du Boumerzoug (Constantine). Mémoire de Magister en hydrogéologie. Faculté des sciences de la terre, de la géographie et de l'aménagement du territoire. Université Constantine 1. 154p.
- Boutera O. 2008.** Gestion intégrée des ressources en eau dans le bassin versant de Boumerzoug (Kebir-Rhumel): perspectives et développement durable. Mémoire de Magister (Hydrogéologie), Faculté des Sciences de la terre, de Géographie et Aménagement du Territoire, Université Badji Mokhtar, Annaba, 152 p.
- Bouziati M. 2000.** L'eau de la pénurie aux maladies, Edition Ibn khaldoun, 247p.
- Chaouay A., Okhrib R., Hilali M., Bazzi L. Chahid A. et Khiri F. 2016.** Contribution à l'étude de l'analyse physico-chimique et de la contamination métallique de l'eau de mer du littoral d'Agadir (Sud du Maroc). J. Mater. Environ. Sci. 7 (8) (2016) 2748-2759
- 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, 4 p.
- Defranceschi M. 1996.** L'eau dans tous ses états, Edition Ellipses, 61p.
- Degremont G. 2005.** Mémento technique de l'eau, Tome 1, 10^{ème} édition, Edit. Tec et doc, 1718p.
- Desjardins R. 1997.** Le traitement des eaux, Edition de l'école polytechnique de Montréal, 2^{ème} édition, Québec, Canada, PP : 46-112.
- Edberg S.C., Rice E.W., Karlin R.J. et Allen M.J. 2000.** *Escherichia coli*: the best biological drinking water indicator for public health protection, Journal of Applied Microbiology, N°88, PP: 106-116.
- El Bernaoui O. 2014.** Glossaire de l'eau. Edition CRSTRA 2014. 173p.
- Elmund G.K., Allen M.J. and Rice E.W. 1999.** Comparison of *Escherichia coli*, total coliform and fecal coliform populations as indicators of wastewater treatment efficiency. Water Environ. Res., 71: 332-339
- Ervin. J.S., Russell T.L., Layton B.A., Yamahara K.M., Wang D., Sassoubre L.M., Cao Y., Kelty C.A., Sivaganesan M., Boehm A.B., Holden P.A., Weisberg S.B. and Shanks O.C. 2013.** Characterization of fecal concentrations in human and other animal sources by physical, culture-based, and quantitative real-time PCR methods. Water Res. 47 (18): 6873-6882.

- Gaillard J.L. et Simonet M. 1988.** Bactériologie bactéries des infections humaines. Flammarion peintes in France. 660p.
- Genoudet 2001.** L'eau de robinet : de la source au verre. Extrait de dossier de bulletin de l'association médicale Kouzmine internationale.
- Gruzdev N., Pinto R. and Sela S. 2011.** Effect of desiccation on tolerance of salmonella enterica to multiple stresses. Appl Environ Microbiol. 77(5):1667-1673.
- Guérineau H. 2013.** Sources et risques de contamination dans une source d'eau potable. Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de maîtrise ès sciences appliquées, Génie civil, Ecole Polytechnique De Montréal, 163p.
- Ittache L. 2015.** Contribution à l'étude des paramètres physicochimiques et bactériologiques de trois sources d'eau de deux communes « THALA-ATHMAN Et YAKOURENE » Wilaya de Tizi-Ouzou. Mémoire de master. Université Mouloud Mammeri-Tizi Ouzou. Algérie. 78p.
- Haslay C. et Leclerc H. 1993.** Microbiologie des eaux d'alimentation. France. 81p
- Hamed M., Guettache A., Bouamer L., (2012).** Etude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrage DJORF- TORBA (Bechar), Mémoire d'Ingénieur d'état en Biologie, Contrôle de qualité et d'Analyse, faculté des sciences et technologies, Département des sciences, Université de Bechar, 134p.
- ISO7899-2 2000.** Avril 2000 Qualité de l'eau. Recherche et dénombrement d'entérocoques intestinaux. Partie 2 : méthode par filtration sur membrane.
- ISO9308-1. 2014.** Qualité de l'eau. Dénombrement des Escherichia coli et des bactéries coliformes. Partie 1: Méthode par filtration sur membrane pour les eaux à faible teneur en bactéries.
- John P. et Donald A. 2010.** Microbiologie, 3ème Édition, 1216p.
- Journal officiel de la république algérienne-JORA. 2014.** Décret exécutif n° 14 - 96 du 2 Joumada El Oula 1435 correspondant au 4 mars 2014 modifiant et complétant le décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine.
- Kirda C. 1997.** Assessment of irrigation water quality. Options Mediterraneennes 31, 367-377.
- Lagnika M., Ibikounle M., Montcho J. C., Wotto V.D. et Sakiti N.G. 2014.** Caractéristiques physico-chimiques de l'eau des puits dans la commune de Pobè (Bénin, Afrique de l'ouest), Journal of Applied Biosciences, N°79, 6887– 6897p.

- Leclerc et coll., 2001** Leclerc, H., Devriese, L.A. and Mossel, D.A.A. (1996). Taxonomical changes in intestinal (faecal) enterococci and streptococci: Consequences on their use as indicators of faecal contamination in drinking water. *J. Appl. Bacteriol.*, 81(5): 459-466.
- Leyral G., Ronnefoy C. et Guillet F. 2002.** Microbiologie et qualité des industries agroalimentaire, Paris, 245p
- Maiga A. 2005.** Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribuée par l'EDM.SA dans la ville de Bamako évaluation saisonnière. Thèse de Doctorat en Pharmacie, Université de Bamako (Mali), 77p.
- Masters N., Christie M., Stratton H. and Katouli, M. (2015).** Viability and stability of *Escherichia coli* and enterococci populations in fecal samples upon freezing. *Can. J. Microbiol.*, 61 (7): 495-501p.
- Mehanned S., Zaid A. et Chahlaoui A. 2014.** Caractérisation bactériologique du lac réservoir du barrage Sidi Chahed. *Larhyss Journal*.17 : 215-225. Microbiology, N°88, 106-116p.
- Merzoug D., Khiari A., Aït Boughrou A. et Boutin C. 2010.** Faune aquatique et qualité de l'eau des puits et sources de la région d'Oum-El-Bouaghi (Nord-Est algérien), *Hydroécol Applied*, 77-97p.
- Molinie L. 2009.** Dispositifs rustiques d'alimentation et de Traitement de l'eau potable Montréal, 2ème édition, Québec, Canada, 46-112 p.
- Montginoul 2006.** Les eaux alternatives à l'eau du réseau d'eau potable pour les ménages : un état des lieux. Ingénieries - E A T, IRSTEA édition 2006, p. 49-62.
- Mostefaoui W. et Toutaoui M. 2018.** Contribution à l'évaluation de la qualité des eaux du forage de Ras El Ain (Boumerzoug) Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master, Ecologie Fondamentale et Appliquée, 42p.
- Muriel H. 2010.** Suivi de la qualité de l'eau produite et distribuée : Elaborer et mettre en oeuvre un plan des sécurités sanitaire des eaux, Direction des affaires sanitaires et sociales de la nouvelle Caldonie, Santé et environnement, Noumea cedex, 02 p.
- NFT 90-415 1985.** NF T90-415 Octobre 1985 Essais des eaux - Recherche et dénombrement des spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices et de *Clostridium sulfito-réducteurs*. Méthode générale par incorporation en gélose en tubes profonds.
- Nouayti N., Khattach D., et Hilali M. 2015.** Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du Jurassique du haut bassin de Ziz (Haut Atlas central, Maroc), *Journal de Matériel et Science de l'Environnement*, Vol 6, N° 4, PP : 1068-1081.
- Olivaux Y. 2007.** La nature de l'eau. *Ed. Marco Pietteur*. France. 563p.

- Organisation Mondiale de la Santé. 1997.** Directives pour la qualité de l'eau de boisson (volumes 2 et 3). WHO Monograph Series No. 63. Organisation mondiale de la Santé. Genève, Suisse.
- OMS, 2000.** Directives de qualité pour l'eau de boisson; volume 2, critères d'hygiène et documentation à l'appui, 2ème édition, 1050 p
- OMS, 2004.** Directives de qualité pour l'eau de boisson. Vol. 1: 3^e éd. 110p.
- 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, 34p.
- OMS, 2006.** Paludisme: lutte antivectorielle et protection individuelle, Série de Rapports techniques, N°936, 71p.
- OMS, 2011.** Directives pour la qualité de l'eau de boisson. 4^e édition. Organisation mondiale de la Santé. Genève, Suisse.
- OMS, 2017.** Guidelines for drinking-water: fourth edition incorporating the first addendum. Geneva: World Health Organization; 2017. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. 631p.
- Razzolini MT, Günther WM, Peternella FA, Martone-Rocha S, Bastos VK, Santos TF, Cardoso MR. 2011.** Quality of water sources used as drinking water in a Brazilian peri-urban area. Braz J Microbiol. 2011 Apr; 42(2):560-6.
- Rodier J. 1996.** L'analyse de l'eau. Dunod, Paris. Rodier J., 1996 – Analyse de l'eau ; Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer. Ed. Dunod Bordas, Paris, 7^{ème} édition, 1365 p.
- Rodier J. 2005.** L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer. 8^{ème} édition: Dunod, Paris. 1383p.
- Rodier J., Legube B. et Merlet N. 2009.** L'analyse de l'eau, Ed. Dunod, 78-1368p.
- Rovel J.M. 2005.** Epuration électrique des eaux résiduaires des industries agroalimentaires, Industries Alimentaires et Agricoles 91 (1947) 1243-1248 p.
- Sari H. 2014.** Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de la source « Attar » (Tlemcen). mémoire du fin d'étude pour l'obtention de diplôme master. option Science des aliments, université Abou Bekr Belkaid-Telemcen, 65p.
- Santé Canada. 2012.** Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada. *Escherichia coli*.
- Secrétariat de la Convention de Ramsar. 2010.** Gestion des eaux souterraines: Lignes directrices pour la gestion des eaux souterraines en vue de maintenir les caractéristiques écologiques des zones humides. Manuels Ramsar pour l'utilisation rationnelle des zones humides, 4e édition, vol. 11. Secrétariat de la Convention de Ramsar, Gland, Suisse. 49p.

- Système d'évaluation de la qualité des cours d'eau- SEQ-Eau. 2003.** Version 2. Agences de l'Eau/Min. Envir. Développement Durable, Paris, 106 p.
- Système d'Information Sur l'Eau-Sandre-SIE, Sandre(2008).** Dictionnaire des données. Référentiels paramètres. Ed. Ministère chargé de l'Environnement. Version 2.0. 94p.
- Simmons G. V., Hope G., Lewis J., Whitmore J. et Gao W. 2001.** Contamination of potable roof-collected rainwater in Auckland, New Zealand. *Water Research*, 35: 1518-1524
- Squinazi F. 2017.** Analyses en microbiologie- Environnement microbien (air, surfaces, eau), périodique 3355, volume n°2, 355p.
- Taleb S. 2005.** Confrontation des normes Algériennes des eaux potables aux directives de l'organisation mondiale de la sante (OMS). Actes du Congrès international "De l'eau pour le développement durable dans le bassin méditerranéen" 21-22-23 mai 2005-Alger.
- Tourab H. 2013.** Contribution à l'étude de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux souterraines dans la plaine du Haouz. mémoire de fin d'études eau et environnement. Faculté des Sciences et Techniques Département des Sciences de la Terre, Université Cadi Ayyad Marrakech, 82p
- Vaurette D. 2016.** Contrôle bactériologique de la potabilité des eaux, Tregor Solidarité Niger, 31 p.
- World Health Organization. 2011.** Guidelines for drinking-water quality Third edition incorporating the first and second addenda, volume 1, Recommendations.

INTITULÉ : Contribution à l'évaluation de la qualité bactériologique des eaux brutes et traitées : cas du forage Ras El Ain (Boumerzoug)

Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master en Ecologie Fondamentale et Appliquée.

Résumé :

La contamination microbiologique de l'eau est due à la présence d'organismes de diverses natures : virus, bactéries, protozoaires, algues, champignons. Dans le cadre de cette étude, nous nous proposons d'évaluer la qualité microbiologique des eaux du forage Ras El Ain (Boumerzoug) située à 30 Km de la commune de Ouled Rahmoune ainsi que les eaux traitées et eaux de robinets destinées aux consommateurs de la même région par caractérisation bactériologique. Les organismes pathogènes auxquels nous nous sommes intéressés sont : les coliformes totaux, les coliformes fécaux (*Escherichia coli*), les streptocoques, et les bactéries anaérobies sulfite-réductrices (spores). Un suivi dans le temps (4 mois) des différents types d'eau sus-cités a été réalisé durant la période allant du mois de février 2019 au mois de mai 2019.

A l'issue de ce travail, nous avons constaté une contamination relativement importante des eaux brutes par les coliformes totaux, fécaux (*E. coli*) et les streptocoques fécaux. Ces eaux sont ainsi de mauvaise qualité bactériologique et nécessitent un traitement. Contrairement à ce type d'eau, celles analysées après chloration sont exemptes de bactéries ; ce qui confirme l'efficacité du traitement. Une réapparition des coliformes totaux et fécaux a été enregistrée aux mois de février et avril dans les eaux de robinets. Cette réapparition peut être attribuée à des fuites de pression, des ruptures de conduites, déversement des égouts sanitaires, la contamination par des rejets d'animaux (agriculture), mais aussi par les fortes pluies qui entraînent des coliformes et de la matière organique dans les eaux souterraines.

Mots clés : Forage Ras El Ain, coliformes totaux, *E. coli*, bactéries sulfite-réductrices.

Laboratoire de recherche : Laboratoire de Biologie et Environnement (LBE)

Jury d'évaluation :

Président du jury : BAZRI Kamel Eddine (MCA - UFM Constantine1)

Rapporteur : SAHLI Leila (MCA - UFM Constantine1)

Examineur : TOUATI Laid (MCA - UFM Constantine1)

Date de soutenance : juillet 2019