



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 Constantine1
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة1
كلية عاوم الطبيعة و الحياة

Département : Biologie et Ecologie Végétale

قسم : بيولوجيا و ايكولوجيا 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 : Écologie Fondamentale et Appliquée

Intitulé :

**Contribution à l'évaluation de la qualité des eaux du
forage de Ras El Ain (Boumerzoug)**

Présenté et soutenu par : Mostefaoui Ouafa

Toutaoui Malek Randa

Jury d'évaluation :

Président du jury : TOUATI Laid (MCA - UFM Constantine1)

Rapporteur : SAHLI Leila (MCA - UFM Constantine1)

Examineur : BAZRI Kamel Eddine (MCA - UFM Constantine1)

Année universitaire

2017 - 2018

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

La mémoire de ma chère grand-mère.

Mes chers parents Ahmed et Halima.

Mes chers frères Imed et Karim.

Ma chère sœur Hanane.

Mes chers oncles.

Mon neveu Yahya.

Tous mes chers... A tous mes ami(e)s.

*A toute personne ayant contribué de près ou
de loin à la réalisation de ce manuscrit.*

Wafa

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la
vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée
pour mon bonheur et ma réussite, ma mère*

*A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien
moral et source de joie et de bonheur, que dieu te
garde dans ma vie, à toi mon père*

*A celui que j'aime beaucoup et qui m'a soutenu tout
au long de ce projet mon frère Chawki et bien sûr
Ali, mon binôme Wafa, mes amies Imen Salim Fadoua et
Rym sans oublier le petit Razi*

A toute la famille Toutaoui et Bourtal

*A toute personne ayant contribué de près ou
de loin à la réalisation de ce manuscrit.*

Malek

Remerciements

On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord, nos sincères remerciements vont à **M^{me} SAHLI Leila**, Maître de conférences à l'Université Frères Mentouri Constantine1, pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Nos sincères remerciements vont également à **M^r Touati Laïd**, Maître de conférences à l'Université Frères Mentouri Constantine1, qui a accepté et nous a honoré en présidant le jury.

Nos vifs remerciements vont également à **M^r BAZRI K.E.D** Maître de conférences à l'Université Frères Mentouri Constantine1, d'avoir accepté d'évaluer ce travail.

Nous remercions également le personnel de la Direction Exploitation Eaux et Travaux de la société SEACO.

Finalement, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à nos familles qui nous ont toujours soutenues. Ainsi qu'à l'ensemble des enseignants qui ont contribué à notre formation

Résumé

L'usage de l'eau à des fins alimentaires ou d'hygiène nécessite une excellente qualité physico-chimique et microbiologique. L'eau distribuée par réseau constitue un des produits alimentaires les plus contrôlés. Le suivi de sa qualité est réalisé régulièrement depuis son origine jusqu'au robinet. L'eau de distribution doit répondre aux exigences de qualité. Ainsi, elle ne doit contenir aucun micro-organisme, aucun parasite ni aucune substance constituant un danger potentiel pour la santé des personnes. Elle doit également être conforme vis-à-vis d'un ensemble de normes de potabilité. L'objectif principal de la présente étude est d'évaluer la qualité des eaux du forage de Ras El Ain (Boumerzoug) située à 30 Km de la commune d'Ouled Rahmoun à Constantine.

Un suivi mensuel de la qualité des eaux dudit forage a été effectué durant la période allant du mois d'octobre 2017 au mois d'avril 2018. Plusieurs paramètres relatifs à la qualité physico-chimiques (pH, CE, chlore, nitrites et ammonium) et organoleptique (turbidité) ont été déterminés en utilisant des méthodes normalisées.

Il en ressort selon les résultats obtenus que l'ensemble des paramètres mesurés sont conformes aux normes aussi bien nationales qu'internationales, et que globalement les eaux du forage de Ras El Ain sont bonnes pour la consommation.

Mots clés : Forage Ras El Ain, qualité physico-chimique, organoleptique, Seaco.

Abstract

The use of water for food or hygiene purposes requires an excellent physicochemical and microbiological quality. Water system distribution is one of the most controlled food products. The consistency of its quality is monitored regularly from its origin to the tap. Water distribution must meet the quality requirements. Thus, it must not contain any micro-organism, parasite or any substance constituting a potential danger for the people health. It must also comply with a set of drinking water standards. The main objective of the present study is to assess the water quality of Ras El Ain drilling located at 30 km from the Ouled Rahmoun sub-prefecture in Constantine.

A monthly consistency of the water was carried out during the period from October 2017 to April 2018. Several parameters relating to the physicochemical quality (pH, electrical conductivity, chlorine, nitrites and ammonium) and organoleptic one (turbidity) were determined by using standard methods. According to the results obtained, all the parameters measured comply with both national and international standards, and overall the water from Ras El Ain drilling is good for consumption.

Key words: Ras El Ain drilling, physico-chemical quality, organoleptic, water and sanitation society of Constantine (WSSC).

الملخص

يتطلب استخدام المياه لأغراض الطعام أو النظافة جودة فيزيائية كيميائية وجزيئية ممتازة، حيث تشكل المياه الموزعة عبر الشبكة أحد أهم المنتجات الغذائية الأكثر مراقبة، كما تتم مراقبة جودتها بانتظام من المنبع إلى غاية وصولها إلى الحنفية، يجب أن تلبي مياه التوزيع متطلبات الجودة، وبالتالي يجب أن تكون خالية من أي كائن دقيق أو طفيلي أو أي مادة تشكل خطراً محتملاً على صحة الإنسان، كما يجب أن تتوافق مع مجموع معايير مياه الشرب. وعليه فإن الهدف الأساسي من هذه الدراسة هو تقييم نوعية مياه الحفر برأس العين (بومرزوق) المتواجدة على بعد 30 كلم من بلدية أولاد رحمون بقسنطينة، وقد تم إجراء متابعة شهرية لنوعية مياه الحفر المذكور خلال الفترة الممتدة من أكتوبر 2017 إلى غاية أبريل 2018، وقد تم تحديد العديد من العوامل المتعلقة بالنوعية الفيزيائية و الكيميائية (درجة الحموضة، الموصلية الكهربائية، الكلور، النتريت، الامونيوم والحسية (العكر) وهذا باستخدام طرق قياسية. وفقاً للنتائج المتحصل عليها، فإن جميع العوامل المقاسة تتوافق مع المعايير الوطنية والدولية، وبشكل عام فإن مياه الحفر برأس العين قابلة للاستهلاك .

الكلمات المفتاحية: حفر رأس العين ، النوعية الفيزيائية الكيميائية ، العكر ، شركة المياه والتطهير بقسنطينة.

Liste des abréviations

SEACO : Société de l'eau et de l'assainissement de Constantine

DEET : Direction Exploitation Eaux et Travaux

AQA ; Assurance de la Qualité Analytique

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

ONU : organisation des nations unies

JORA : journal officiel de la république algérienne

FAO : organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

SP : Station de pompage

CE : Conductivité électrique.

NO₂⁻ : Nitrites.

NH₄⁺: Ammonium.

Cl⁻ : Chlore

E. coli: Escherichia coli

NTU: Nephelometric Turbidity Unit

THM : Trihalométhanes

Liste des tableaux

Tableau 1 : Qualité des eaux en fonction de la turbidité (Rodier, 1980).

Tableau 2 : Qualité des eaux en fonction de la conductivité électrique (Alpha-Sidiki, 2005).

Tableau 3 : Qualité des eaux en fonction du pH (Kirda, 1997).

Tableau 4 : Normes nationales et internationales de la qualité des eaux potables (JORA, 2014 ; OMS, 2006).

Tableau 5 : Forages d'exploitation de Boumerzoug (Durozoy 1958-1961 *in* Boulaoudinat, 2014).

Tableau 6 : Évolution temporelle des caractéristiques physico-chimiques et organoleptique des eaux du forage de Ras El Aïn.

Tableau 7 : Classes des risques en fonction du pH des eaux destinées à l'irrigation (FAO, 1985).

Tableau 8 : Classes des risques en fonction de la conductivité électrique des eaux destinées à l'irrigation (FAO, 1985).

Tableau 9 : Influence de la salinité sur le rendement potentielle de certaines cultures (Ayers, 1977).

Tableau 10 : Classes des risques en fonction des teneurs en chlore des eaux destinées à l'irrigation (FAO, 1985).

Tableau 11 : Classes des risques en fonction des teneurs en ammonium des eaux destinées à l'irrigation (FAO, 1985).

Liste des figures

Figure 1 : Carte de situation géographique de la station Berla.

Figure 2 : Organigramme du département qualité.

Figure 3 : Carte de situation géographique de la source et son impluvium (Boulaouidat, 2014).

Figure 4 : Les principaux cours d'eaux du secteur d'étude (Bouteraa, 2008).

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

Figure 6 : Calendrier d'échantillonnage des eaux du forage Ras El Ain.

Figure 7 : Variation temporelle du pH des eaux du forage de Ras El Ain (Oct 2017-Avr 2018).

Figure 8 : Variation temporelle de la conductivité électrique des eaux du forage de Ras El Ain (Oct. 2017-Avr 2018).

Figure 9 : Variation temporelle de la turbidité des eaux du forage de Ras El Ain (Oct 2017-Avr 2018).

Figure 10 : Variation temporelle des teneurs en chlore des eaux du forage de Ras El Ain (Oct 2017-Avr 2018).

Liste des photos

Photo 1 : pH mètre modèle Sension3-HACK

Photo 2 : Conductimètre de type Sension7-HACK

Photo 3 : Turbidimètre de type 2100N-HACK

Photo 4 : Comparateur de chlore-LOVIBOND147040

Photo 5 : Test en cuve LCK342

Photo 6 : Test en cuve LCK305

Sommaire

Dédicaces

Remerciements

Résumé

Abstract

الملخص

Liste d'abréviation

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des photos

Introduction

01

Chapitre 1 : synthèse bibliographique

1.1. présentation de l'établissement d'accueil

03

1.2. Durée et lieu du stage

04

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

04

1.2.2. Présentation du département de la qualité

05

1.3. L'eau, sa structure et ses propriétés

06

1.3.1. Structure de l'eau

06

1.3.2. Propriétés physiques

07

1.3.3. Propriétés chimiques

07

1.3.4. Propriétés biologiques

08

1.4. Qualité des eaux potables

08

1.4.1. Etats des impuretés dans l'eau

09

1.4.2. Les paramètres de la qualité de l'eau

09

1.4.2.1. Paramètres organoleptiques

09

1.4.2.2. Paramètres physico-chimiques	10
1.4.2.3. Paramètres microbiologiques	12
1.4.3. Les normes de la potabilité des eaux	13

Chapitre 2 : matériel et méthodes

2.1. Présentation de la source de Boumerzoug et du forage de Ras El Ain	15
2.1.1. La source du Boumerzoug	15
2.1.1.1. Situation géographique	15
2.1.1.2. Géomorphologie	15
2.1.1.3. Contexte géologique et hydrogéologique	15
2.1.1.4. Climat et végétation	16
2.1.1.4.1. Le climat	16
2.1.1.4.2. La végétation	16
2.1.1.5. Réseaux hydrographique	16
2.1.2. La source de Boumerzoug (Ras El Ain)	17
2.1.3. Station de pompage du Boumerzoug	18
2.1.4. Alimentation en eau	19
2.2. Prélèvement et caractérisation des eaux du forage de Ras El Ain	20
2.2.1. Méthode de prélèvement	20
2.2.2. Calendrier des prélèvements	20
2.2.3. Caractérisation physico-chimique des eaux du forage de Ras El Ain	21
2.2.3.1. Le pH	21
2.2.3.2. La conductivité électrique	22
2.2.3.3. La turbidité	22
2.2.3.4. Le chlore	22
2.2.3.5. Les nitrites	23
2.2.3.6. L'ammonium	24
2.3. Traitement statistique des résultats	24

Chapitre 3 : résultats et discussions

3.1. Le pH	26
3.2. La conductivité électrique (CE)	27

3.3. La turbidité	30
3.4. Les teneurs en chlore	31
3.5. Les teneurs en nitrites (NO₂⁻)	34
3.6. Les teneurs en ammonium (NH₄⁺)	35
Conclusion et perspectives	36
Références bibliographiques	38

INTRODUCTION

Introduction

L'eau constitue un élément indispensable pour la vie des hommes, des animaux et des plantes. Avoir de l'eau à disposition en quantité et en qualité suffisantes contribue au maintien de la santé. L'eau peut aussi être source de maladies du fait de sa contamination par les activités humaines comme la défécation en plein air, un traitement incorrect des eaux usées, les décharges sauvages, de mauvaises pratiques agricoles, et les déversements de produits chimiques dans les sites industriels (OMS, 2003). La contamination microbiologique est encore plus grave, notamment lorsqu'elle est liée aux excréments humains. La contamination fécale de l'eau de boisson est une des causes principales de maladies diarrhéiques. On estime que 2000 enfants de moins de 5 ans meurent chaque jour dans le monde de maladies diarrhéiques. Près de 90% des morts d'enfants de maladies diarrhéiques sont directement liées à une eau contaminée, un manque d'assainissement, ou une mauvaise hygiène (UNICEF Canada, 2013).

L'usage de l'eau à des fins alimentaires ou d'hygiène nécessite une excellente qualité physico-chimique et microbiologique. De ce fait, l'OMS définit l'eau potable comme étant celle dont la consommation est sans danger pour la santé. Pour que l'eau soit qualifiée de potable, elle doit satisfaire à des normes relatives aux paramètres organoleptiques (couleur, turbidité, odeur, saveur), physico-chimiques (température, pH, etc.), microbiologiques (coliformes fécaux et totaux, streptocoques fécaux, etc.) et de substances indésirables et toxiques (nitrates, nitrites, arsenic, plomb, hydrocarbures, etc.). Pour chaque paramètre, des valeurs limites à ne pas dépasser sont établies. Le fait qu'une eau soit potable ne signifie pas qu'elle soit exempt d'agents pathogènes mais que leur teneur a été jugée insuffisante pour déclencher une maladie.

En 2010, une résolution de l'ONU reconnaît l'accès à une « eau potable propre et de qualité » comme un droit de l'homme et déplore le fait que 884 millions, soit 13% de la population mondiale, en soient privés. En Algérie d'énormes progrès ont été réalisés afin d'assurer l'approvisionnement de sa population en eau potable, l'ensemble des efforts nationaux ont permis d'atteindre un taux de raccordement des foyers à l'eau potable de 93% en 2008 alors qu'il était de 78% en 1999 et de 92% en 2007 (Rouissat, 2010).

Constantine, l'une des plus grandes villes d'Algérie, possède d'importantes réserves d'eau superficielles et souterraines. Elle a été le témoin durant ces dernières décennies d'avancées remarquables notamment en 1978 par l'exploitation de la source de Hammam Zaoui, en

1988 par la mise en service du barrage Hammam Grouz, et en 2007 par la mise en service du barrage de Béni Haroun qui alimentent la ville de Constantine.

Créé 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. Elle assure la distribution d'une eau propre à la consommation conforme aux normes nationales.

Même si une eau est claire, elle n'est pas forcément sûre à consommer. 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.),
- Organoleptiques (couleur, odeur, goût et turbidité).

En ce qui nous concerne et dans le cadre de cette étude nous nous proposons d'évaluer la qualité des eaux du forage de Ras El Aïn (Boumerzoug) située à 30 Km de la commune de Ouled Rahmoun par caractérisation physico-chimiques (pH, CE, chlore, nitrites et ammonium) et organoleptique (turbidité).

Un suivi dans le temps (7mois) de la qualité des eaux 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 cette étude s'articule en trois chapitres :

- ✓ Le premier chapitre présente une synthèse bibliographique qui englobe une présentation de l'établissement d'accueil (spa Seaco) ainsi que des données sur les paramètres et les normes définissant la caractérisation et la qualité des eaux potables.
- ✓ Le deuxième chapitre consacré à la présentation de la zone d'étude ainsi, que le matériel et les méthodes adoptées pour la caractérisation des eaux du forage de 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.

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. 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. Les missions de la dite société sont les suivantes :

- 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,
- Qualité de l'eau.

La société 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. Durée et lieu du stage :

Notre stage d'une durée de deux mois a été effectué au laboratoire de contrôle de la qualité physico-chimique des eaux potables, au niveau du département qualité de la station Berla, structure faisant partie de la DEET. La station se situe à Ain Smara (13^{ème} kilomètre, sortie Ouest), (fig. 01)



Figure 01 : Carte de localisation géographique de la station Berla

1.2.1. 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).

1.2.2. Présentation du département de la qualité :

Structure faisant partie de la DEET, le département a pour mission principale le contrôle de la qualité de l'eau de la ressource, à la production, à la distribution jusqu'au robinet du consommateur. Il comporte trois services : (fig. 02)

a- Service traitement des données analytiques :

Ce service est chargé d'assurer le contrôle de terrain. Il s'occupe des analyses de terrain et coordonne les actions, établis les bilans du service, contrôle la qualité de l'eau sur le terrain, effectue des prélèvements d'échantillons et détecte les pollutions accidentelles. Le matériel dont dispose ce dernier est le suivant : un comparateur de chlore, un comparateur d'ammonium, un comparateur de fer, un pH mètres, un conductimètre, un turbidimètre et un oxymètre.

b- Service d'analyses physico-chimiques :

Ce service est chargé d'assurer l'analyse physico-chimique des eaux de toute la ressource, 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 a flamme (mesure des teneurs en Ca, Na, Li).

c. Service analyses Bactériologiques :

Ce service est chargé d'assuré le contrôle de la qualité bactériologique de l'eau destinée aux consommateurs.

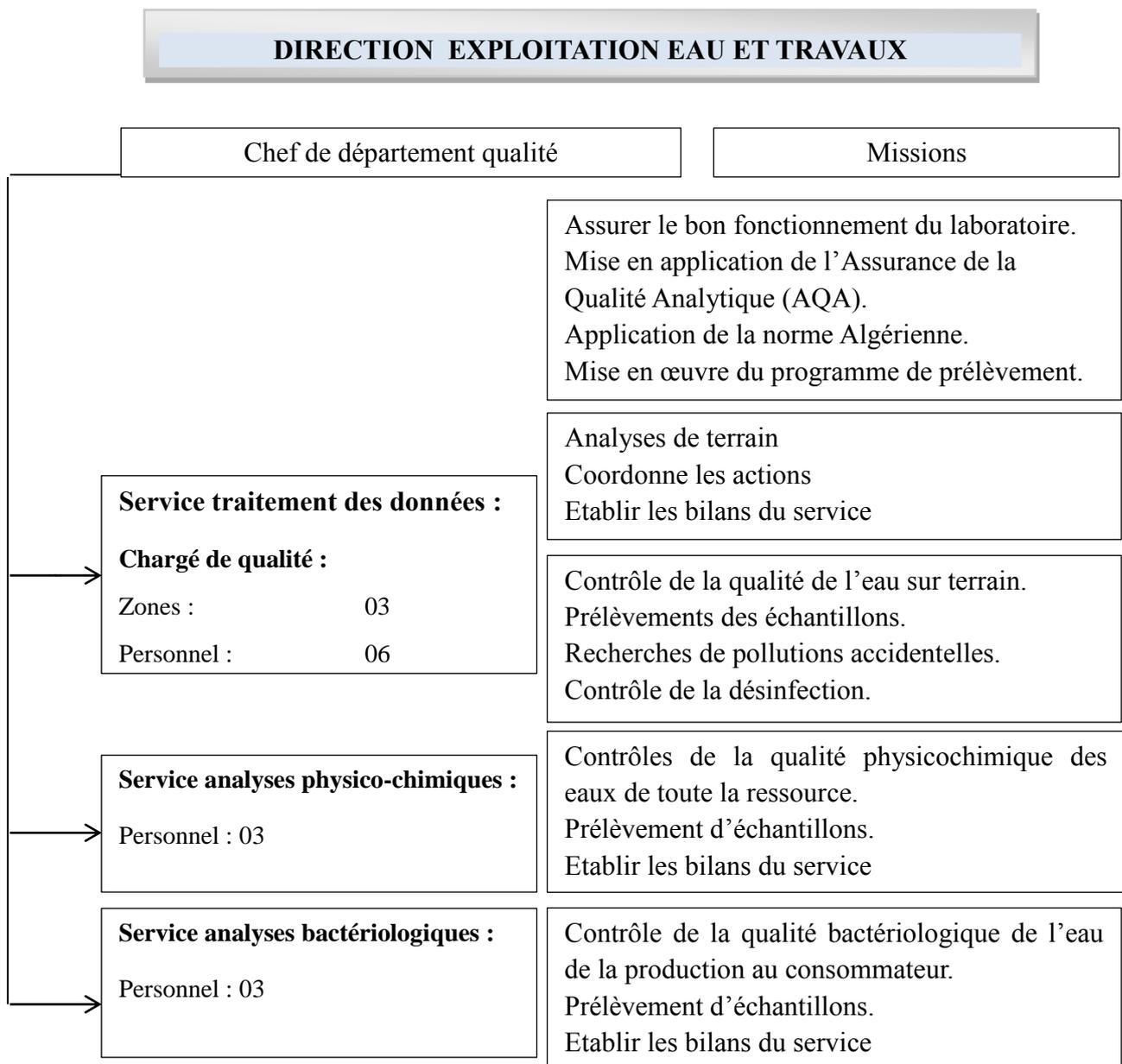


Figure 02: Organigramme du département qualité

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

L'eau est la substance minérale la plus répandue à la surface du globe. Son volume est estimé à 1385.10^6 km^3 , dont environ 97.4% dans les océans (couvrant 71% de la surface terrestre), 2% sous forme de glace et 0.6% seulement constituant les eaux douces continentales (y compris les nappes souterraines et l'humidité des sols), (Degrémont, 2005).

1.3.1. Structure de l'eau :

La structure de l'eau dépend de son état physique qui peut être gazeux, solide ou liquide. L'état gazeux correspond exactement à la formule H_2O et en particulier au modèle angulaire.

Pour l'état solide, il s'agit d'un arrangement élémentaire en une molécule d'eau centrale et quatre périphériques, l'ensemble affectant la forme d'un tétraèdre. Cette structure est due à l'association des molécules sous l'influence des liaisons intermoléculaires dites liaisons hydrogène : chaque atome d'hydrogène d'une molécule d'eau est attiré par l'atome d'oxygène de la molécule voisine. Le passage à l'état liquide est conditionné par la température. En effet, au fur et à mesure que la température augmente, les creux se remplissent progressivement de molécules d'eau interstitielles, jusqu'à effondrement complet de la structure cristalline (Degrémont, 2005).

1.3.2. Propriétés physiques :

Selon Degrémont (2005), les propriétés physiques les plus intéressantes pour le traitement de l'eau sont : la masse volumique, les propriétés thermiques, la viscosité, la tension superficielle, les propriétés électriques, et optiques.

Ainsi par tassement progressif de l'édifice moléculaire, la masse volumique varie avec la température et la pression. Pour l'eau pure sous pression normale, elle passe par un maximum à environ 4°C. Cette propriété de l'eau entraîne diverses conséquences, aussi bien dans la nature (phénomènes de stratification des lacs) que dans les stations de traitement (remontées de boues dans les décanteurs). Pour la chaleur massique, son importance fait que les grandes étendues d'eau à la surface de la terre constituent de véritables volants thermiques.

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.

Par ailleurs, l'eau est légèrement conductrice. La conductivité de l'eau la plus pure que l'on ait obtenue est de 4,2 $\mu\text{S/m}$ à 20°C. Elle augmente lorsque des sels sont dissous dans l'eau et elle varie en fonction de la température.

La transparence de l'eau dépend de la longueur d'onde de la lumière qui la traverse. Cette transparence est souvent utilisée pour apprécier certaines formes de pollution et, en conséquence, l'efficacité des traitements d'épuration ; de même, elle conditionne l'emploi des ultraviolets en désinfection.

1.3.3. Propriétés chimiques :

L'enthalpie de formation de la molécule d'eau, 242 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, est élevée. Il s'ensuit que l'eau possède une grande stabilité. Cette stabilité, associée à ses propriétés électriques, forte polarité et constante diélectrique élevée, la rend particulièrement apte à la mise en solution de

nombreux corps. La plupart des substances minérales peuvent se dissoudre dans l'eau, ainsi qu'un grand nombre de gaz et de produits organiques (Degrémont, 2005).

1.3.4. Propriétés biologiques :

L'eau est surtout synonyme de vie biologique. C'est le constituant majeur de la matière vivante. Elle entre en moyenne pour 80 % dans sa composition. Chez les animaux supérieurs, le pourcentage d'eau est compris entre 60 % et 70 %. Des valeurs extrêmes de 98 % se rencontrent chez des organismes marins tels que la méduse ou certaines algues. En revanche, les bactéries sporulées, formes de résistance et de vie ralentie, voient leur teneur en eau réduite à 50 %.

Élément majeur du monde minéral et biologique, l'eau est aussi le vecteur privilégié de la vie et de l'activité humaine. À l'heure actuelle, l'utilisation globale de l'eau, en additionnant les usages domestiques, industriels et agricoles, représente le chiffre impressionnant de 250 m³ par an et par habitant. Il est donc certain que les besoins en eau de l'humanité ne cesseront de croître. La croissance de cette consommation d'eau a été très forte ces dernières décennies. Environ 10% de cette consommation sert à l'usage domestique (Degrémont, 2005). Ceci implique la nécessité impérieuse de protéger l'eau et de la traiter, que ce soit pour produire une eau propre à la consommation humaine ou à des usages spécifiques industriels, ou pour limiter les rejets de pollution dans le milieu naturel.

1.4. Qualité des eaux potables :

Les eaux potables sont toutes les eaux qui, soit en l'état, soit après traitement, sont destinées à la boisson, à la cuisson, à la préparation d'aliments ou à d'autres usages domestiques, qu'elles soient fournies par un réseau de distribution, à partir d'un camion-citerne ou d'un bateau-citerne, en bouteilles ou en conteneurs, y compris les eaux de source, toutes les eaux utilisées dans les entreprises alimentaires, qui peuvent affecter la salubrité de la denrée alimentaire finale, y compris la glace alimentaire d'origine hydrique.

L'eau potable de bonne qualité est essentielle à la santé. A cet effet, il est indispensable d'avoir une eau saine, car l'eau contaminée par des produits chimiques ou des micro-organismes peut nuire à la santé. Une eau qui semble claire et limpide peut transporter en son sein toutes sortes de substances inertes et vivantes, dont certaines peuvent être nocives pour l'organisme humain. "*Nous buvons 90 % de nos maladies*", disait Louis Pasteur à la fin du XIXe siècle. Ainsi, l'eau peut être le vecteur de nombreuses maladies qu'elles soient bactériennes, virales ou parasitaires.

1.4.1. 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. Les impuretés qu'elle renferme, sont principalement sous deux états : (Degrémont, 2005)

- *sous forme de 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. Parmi celles-ci, les suspensions dites colloïdales qui comportent des solides très finement divisés (0,01 à 5 μm) caractérisés par une surface spécifique très importante et une charge électrostatique généralement négative qui s'accumule à l'interface solides/liquides. Ces suspensions, souvent solides, peuvent également être constituées d'un liquide non miscible à l'eau.

- *sous forme de matières dissoutes* : elles concernent des composés minéraux ou organiques, macromoléculaires ou non, ainsi que des gaz souvent très solubles dans l'eau (CO_2 , SO_2 , NH_3 ...).

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

Les paramètres de 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 nous sommes intéressés dans la présente étude, à savoir le pH, la conductivité électrique, la turbidité, les teneurs en chlore, en ammonium et en nitrites. Notons, que la température aussi a été prise en considération puisque les valeurs de la plupart des paramètres physico-chimiques sont influencées par ce facteur.

1.4.2.1. Paramètres organoleptiques :

Les propriétés organoleptiques de l'eau font référence à la sensation, bonne ou mauvaise, que le consommateur peut ressentir en buvant de l'eau. Les paramètres organoleptiques sont ceux que le consommateur perçoit immédiatement : la couleur, l'odeur, la saveur et la turbidité. Ils constituent souvent les facteurs d'alerte pour une pollution sans présenter à coup sûr un risque pour la santé (Genoudet, 2001).

L'unique paramètre organoleptique pris en considération dans la présente étude est la turbidité. En relation avec la mesure des matières en suspension (débris organiques, argiles,

organismes microscopiques...), elle donne une première indication sur la teneur en matières colloïdales, d'origine minérale ou organique, qui troublent l'eau. Elle est appréciée, soit par la mesure de la limite de visibilité d'un objet défini (fil de platine, disque de Secchi), soit plus scientifiquement par la mesure de la lumière diffusée à 90° par rapport à la lumière incidente dans des appareils nommés turbidimètres. Les classes de turbidités usuelles pour les eaux sont les suivantes : (tab. 01)

Tableau 01 : Qualité des eaux en fonction de la turbidité (Rodier, 1980)

Turbidité	Qualité
NTU < 5	eau incolore
5 < NTU < 30	eau légèrement colorée
NTU > 50	eau colorée
NTU > 200	eau de surface

1.4.2.2. Paramètres physico-chimiques :

Les préoccupations sanitaires associées aux constituants chimiques de l'eau de boisson sont de nature différente de celles suscitées par la contamination microbienne ou encore organoleptique, et résultent principalement de la capacité de ces constituants chimiques à provoquer des effets nocifs pour la santé à l'issue de durées d'exposition prolongées. Il existe peu de constituants chimiques de l'eau susceptibles d'entraîner des problèmes de santé après une exposition unique, sauf en cas de contamination accidentelle massive d'un approvisionnement en eau de boisson. En outre, l'expérience montre que, dans une forte proportion des cas d'incidents de ce type, l'eau devient imbuvable en raison d'un goût, d'une odeur ou d'un aspect inacceptables. Parmi les paramètres physico-chimiques nécessitant une surveillance dans les eaux destinées à la consommation humaine et pris en considération dans le présent travail : le pH, la conductivité électrique, les teneurs en chlore, en nitrites et en ammonium.

a. La température :

La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usagers. Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment). De plus, en mettant en évidence des contrastes de température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau.

b. Le pH :

Le pH mesure la concentration en ions H^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, 7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques, et dépend de facteurs multiples, dont la température et l'origine de l'eau. Les classes du pH pour les eaux sont les suivantes : (tab. 02)

Tableau 02: Qualité des eaux en fonction du pH (Kirda, 1997)

pH	Qualité
pH < 5	présence d'acide minéral ou organique dans les eaux naturelles
pH = 7	pH neutre
7 < pH < 8	neutralité approchée, majorité des eaux de surfaces
5.5 < pH < 8	eaux souterraines
pH > 8	Alcalinité

c. La conductivité électrique :

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau (Chaouay et al. 2016). Ce paramètre doit impérativement être mesuré sur terrain. La procédure est facile, et permet d'obtenir une information très utile pour caractériser l'eau à 25°C. Les classes de la conductivité électrique usuelles pour les eaux sont les suivantes : (tab. 03)

Tableau 03 : Qualité des eaux en fonction de la conductivité électrique (Alpha-Sidiki, 2005)

Conductivité (mS/cm)	Qualité
CE = 0.005	Eau déminéralisée
10 < CE < 80	Eau de pluie
30 < CE < 100	Eau peu minéralisée, domaine granitique
300 < CE < 500	Eau moyennement minéralisée, domaine des roches carbonatées
500 < CE < 1000	Eau très minéralisée, saumâtre ou saline
CE > 3000	Eau de mer

d. Ions majeurs :**- Le chlore :**

L'ion Cl^- est présent en petite quantité sur la terre. La source principale de chlorure dans les eaux naturelles est due à la dissolution de roches sédimentaires. Dans les eaux destinées à la consommation, le chlore est considéré comme l'un des désinfectants les plus utilisés pour

éliminer les germes pathogènes et pour assurer la sécurité sanitaire du transport de l'eau dans les canalisations. Son caractère rémanent permet, en effet, d'éliminer les germes qui auront pu s'introduire dans les réseaux ou les ouvrages de stockage (Graindorge et Landot, 2007).

C'est le goût du chlore qui constitue un des reproches le plus souvent exprimés par les consommateurs à l'encontre de l'eau potable. De plus, pour l'utilisateur, une eau chlorée peut à priori être suspecte puisqu'il a fallu la désinfecter.

- Les nitrates et nitrites :

Les nitrates et nitrites sont des ions présents de façon naturelle dans l'environnement. Ils sont le résultat d'une nitrification de l'ion ammonium (NH_4^+). Ils sont extrêmement solubles, ils pénètrent dans le sol et les eaux souterraines où se déversent dans les cours d'eau par ruissellement. Ils constituent une des causes majeures de la dégradation des eaux à long terme (Gaujour, 1995).

- L'ion ammonium :

Dans l'eau, l'azote réduit soluble se retrouve sous deux formes : l'ion ammonium (NH_4^+) et la seconde non dissociée communément appelée ammoniaque (NH_3). L'ion ammonium n'a pas d'effet appréciable sur la santé du consommateur, mais sa présence dans les eaux de surface est un indicateur de pollution. Dans les eaux profondes, il peut également être dû aux conditions réductrices régnant dans le milieu. L'ammonium doit être éliminé dans les eaux de consommation, car il interfère avec la chloration (formation de chloramines) et c'est un aliment qui peut permettre à certaines bactéries de proliférer dans les réseaux de distribution (Gaujour, 1995).

1.4.2.3. Paramètres microbiologiques :

La vérification de la qualité microbiologique de l'eau de boisson comprend la recherche d'*Escherichia coli* en tant qu'indicateur de pollution fécale. La présence d'*E. coli* apporte la preuve incontestable d'une pollution fécale récente et ce micro-organisme doit être totalement absent de l'eau de boisson. Dans la pratique, la recherche de bactéries coliformes thermotolérantes est souvent une solution de remplacement acceptable. *E. coli* constitue un indicateur utile, mais non universel. Les virus entériques et les protozoaires sont plus résistants à la désinfection. En conséquence, l'absence d'*E. coli* n'indique pas nécessairement que l'eau est exempte de ces organismes. Dans certaines situations, il peut être souhaitable de

rechercher davantage de micro-organismes résistants, tels que des bactériophages et/ou des spores bactériennes. Il s'agit notamment des cas où l'on utilise une eau de source dont la contamination par des virus ou par des parasites entériques est connue ou de ceux où la communauté est fortement touchée par une maladie virale ou parasitique (OMS, 2004).

1.4.3. Les normes de la potabilité des eaux :

Une eau est déclarée potable si la couleur, la saveur et l'odeur sont acceptables pour le consommateur et si elle répond à une cinquantaine de critères très stricts, qui peuvent être temporairement dépassés. Ils sont fixés par les législations nationale et internationale.

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) publie, régulièrement, des directives de qualité pour l'eau de boisson, dont de nombreux pays s'inspirent pour élaborer leurs propres normes nationales. Ces directives représentent une appréciation scientifique des risques sanitaires associés aux substances biologiques et chimiques de l'eau de boisson et de l'efficacité des mesures déployées pour y remédier. L'OMS recommande aux autorités nationales de prendre en considération les aspects sociaux, économiques et environnementaux en procédant à une évaluation comparative des risques et des avantages lorsqu'ils adaptent ces directives aux normes nationales (Taleb, 2005).

L'élaboration des normes de potabilité est basée sur les études scientifiques montrant les effets nocifs sur la santé des éléments physico-chimiques à partir d'une certaine concentration maximale à ne pas dépasser. La norme est représentée par une valeur chiffrée, qui fixe une limite supérieure à ne pas dépasser pour une substance donnée, ou une limite inférieure à respecter ou encore une fourchette comprise entre un minimum et un maximum (OMS, 2000). Un critère donné est rempli, lorsque la norme est respectée pour un paramètre donné. Un paramètre ne devient un critère qu'à partir du moment où il est choisi pour établir une norme. Par sécurité, la valeur de la norme sera largement inférieure à cette dose, afin d'éviter le développement de pathologie, malgré le dépassement du seuil.

L'Algérie s'est basée sur les normes internationales, pour établir ses propres normes, on peut dire que c'est une combinaison de différentes normes qui existent sur le plan international. Les normes nationales (JORA, 2014) et internationales (OMS, 2006) en matière de potabilité des eaux sont regroupées dans le tableau 04. Ces normes concernent les paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux, les paramètres organoleptiques et les paramètres chimiques.

Tableau 04 : Normes nationales et internationales de la qualité des eaux potables (JORA, 2014 ; OMS, 2006)

Groupe de paramètres	Paramètres	Unités	JORA (2014)	OMS (2006)
Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux	pH	Unité pH	≥ 6.5 et ≤ 9.5	6,5-9.5
	Conductivité	μS/cm à 20°C	2800	-
	Température	°C	25	25
	Dureté	mg/l en CaCO ₃	200	200
	Alcalinité	mg/l en CaCO ₃	500	500
	Calcium	mg/l en CaCO ₃	200	100
	Chlorures	mg/l	500	250
	Potassium	mg/l	12	12
	Résidu sec	mg/l	1500	1500
	Sodium	mg/l	200	-
	Sulfates	mg/l	400	500
Paramètres organoleptiques	Couleur	mg/l Platine	15	-
	Turbidité	NTU	5	5
	Odeur 12°C	Taux dilution	4	-
	Saveur 25°C	Taux dilution	4	-
Paramètres chimiques	Aluminium	mg/l	0,2	0.2
	Ammonium	mg/l	0,5	0.5
	Baryum	mg/l	0,7	0.7
	Bore	mg/l	1	0.5
	Fer total	mg/l	0,3	-
	Fluorures	mg/l	1,5	1.5
	Manganèse	μg/l	50	40
	Nitrates	mg/l	50	50
	Nitrites	mg/l	0,2	0.2
	Oxydabilité	mg/l O ₂	5	-
	Phosphore	mg/l	5	5
	Acrylamide	μg/l	0,5	0.5
	Antimoine	μg/l	20	20
	Argent	μg/l	100	-
	Arsenic	μg/l	10	10
	Cadmium	μg/l	3	3
	Chrome total	μg/l	50	50
	Cuivre	mg/l	2	2
	Cyanure	μg/l	70	70
	Mercure	μg/l	6	6
	Nickel	μg/l	70	70
	Plomb	μg/l	10	10
	Sélénium	μg/l	10	10
	Zinc	mg/l	5	3
	HAP totaux	μg/l	0,2	0.1
	Phénols	μg/l	0,5	-
	Pesticides (Totaux)	μg/l	0,5	1
Bromates	μg/l	10	10	
Chlore	mg/l	5	5	
Chlorite	mg/l	0,07	0.07	
Trihalométhanes (THM)	μg/l	100	100	

Matériel et Méthodes

2.1. Présentation de la source de Boumerzoug et du forage de Ras El Ain :

2.1.1. La source du Boumerzoug :

2.1.1.1. 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.03). 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 : $X = 855.25$, $Y = 325$, $Z=737.5$

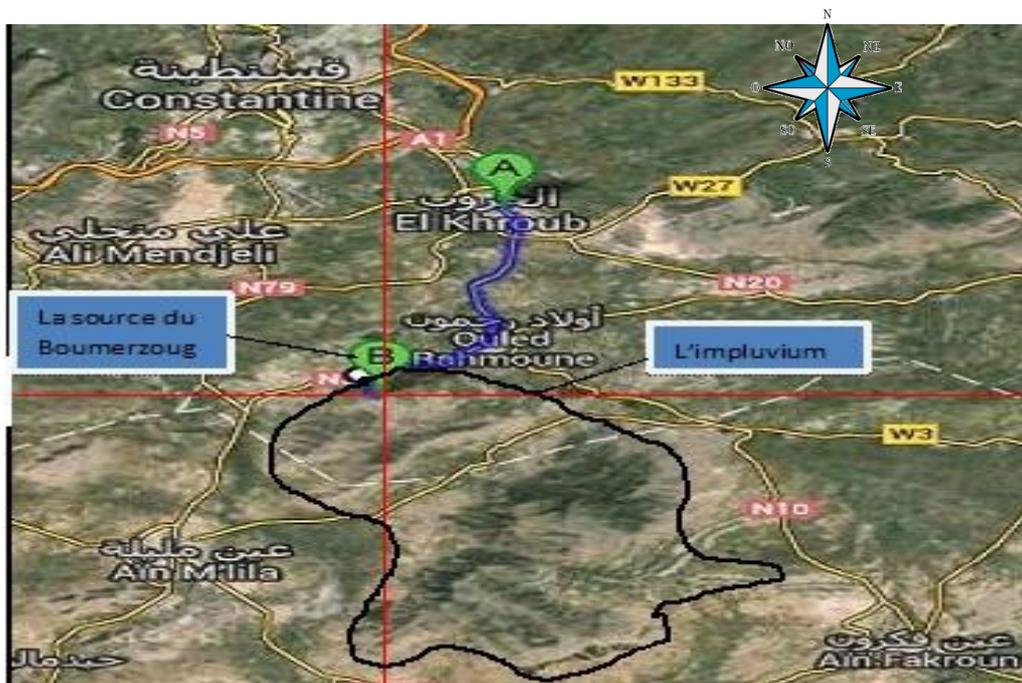


Figure 03 : Carte de situation géographique de la source et son impluvium

(Boulaouidat, 2014)

2.1.1.2. 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 (Bouterraa, 2008).

2.1.1.3. Contexte géologique et hydrogéologique

L'ensemble Gueriou-Fortass est constitué par une épaisse série carbonatée allant du Jurassique supérieur à l'Abien, ce dernier est parfois marneux. L'épaisseur totale avoisine les

1000 m, En plus de la nature lithologique carbonatée de ces séries, il y a une tectonique de fracture très importante. Cette configuration est celle d'un aquifère très important où les potentialités en eau doivent être considérables. On notera que les carbonates très compacts ne peuvent contenir de l'eau, mais les systèmes carbonatés comme les massifs du Guerioum et du Fortass sont découpés par un ensemble de failles, fractures, fissures qui ont permis le développement d'une karstification importante. Il existerait au sein des massifs un ensemble de chenaux, canaux, galeries par lesquels s'effectue l'essentiel de la circulation des eaux souterraines. Ces systèmes ont permis la mise en place d'émergences multiples à différents niveaux de la classe calcaire : sources de Fesguia et du Boumerzoug (Boutera, 2008).

2.1.1.4. Climat et végétation :

2.1.1.4.1. 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, par contre au sud elles chutent à environ 300 à 330 mm par an.

2.1.1.4.2. La végétation :

La couverture végétale dépend de plusieurs paramètres telle que : le climat, les reliefs, l'activité humaine...etc. Les reliefs 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.

2.1.1.5 Réseaux 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 (fig. 04)

Le réseau hydrographique draine le bassin versant de Boumerzoug. Les précipitations interviennent d'une manière irrégulière sur un terrain plus ou moins marneux d'où émergent des massifs carbonatés importants au Nord et au Sud.

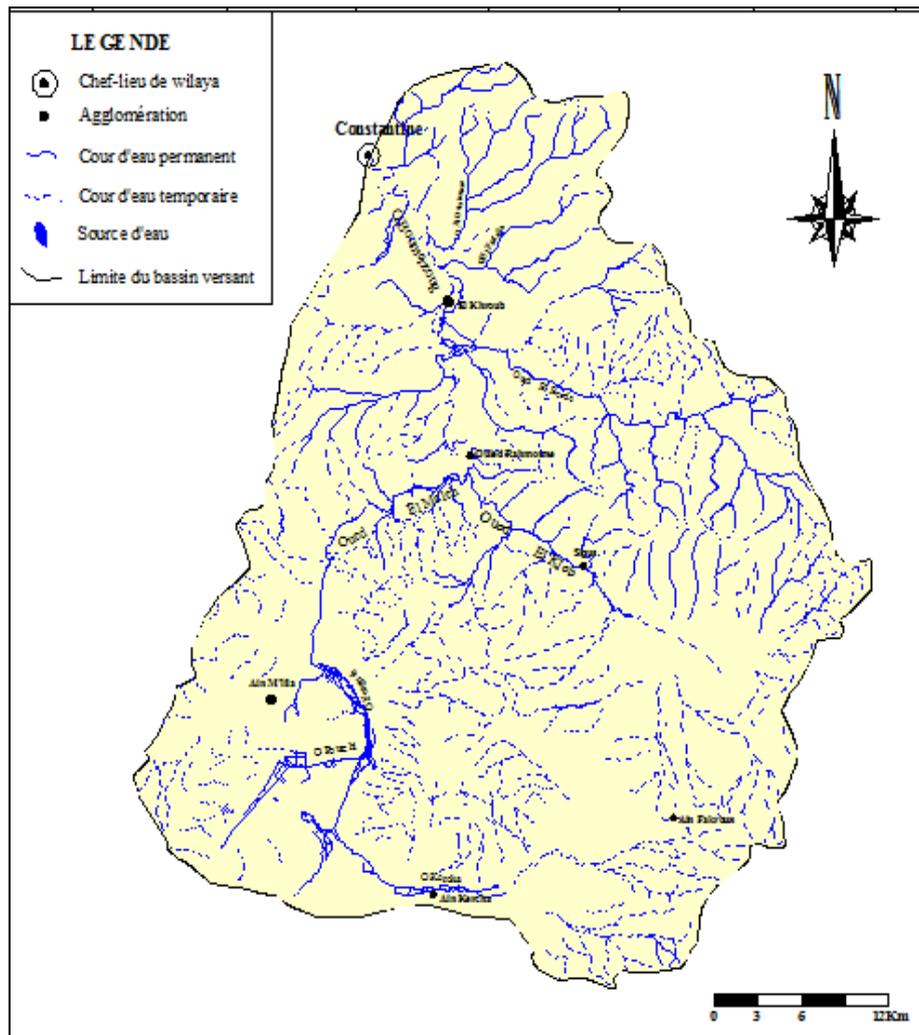


Figure 04 : Les principaux cours d’eaux du secteur d’étude (Bouteraa, 2008)

2.1.2. La source de Boumerzoug (Ras El Ain) : ($X = 855.25$, $Y = 325$, $Z = 737.5$ m).

Cette source donne naissance à l’oued du même nom. En 1960, une fraction de son débit d’exhaure était captée pour l’alimentation de Constantine. Cette source apparait à la coté 737m au pied des petits massifs calcaires du Boumerzoug et Boulechrhal, accolés aux massifs beaucoup plus importants qui sont les Djebels Fortass et Guerioun. Cette émergence sourde à la faveur d’une extrémité de faille. Les puits et les forages réalisés pour assurer l’alimentation en eau potable de Constantine sont implantés à l’amont, sur le plan de la faille. Les niveaux marneux du pliocène servent probablement de seuil hydraulique au compartiment amont et à la faille. Cette source ne s’écoule plus depuis la mise en service des forages, sauf pendant les périodes de fortes pluies ou d’importantes chutes de neige (Bouteraa, 2008).

2.1.3. Station de pompage du Boumerzoug :

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 font 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 tous les neuf forages (tab. 05), (Bouloudinat, 2014).

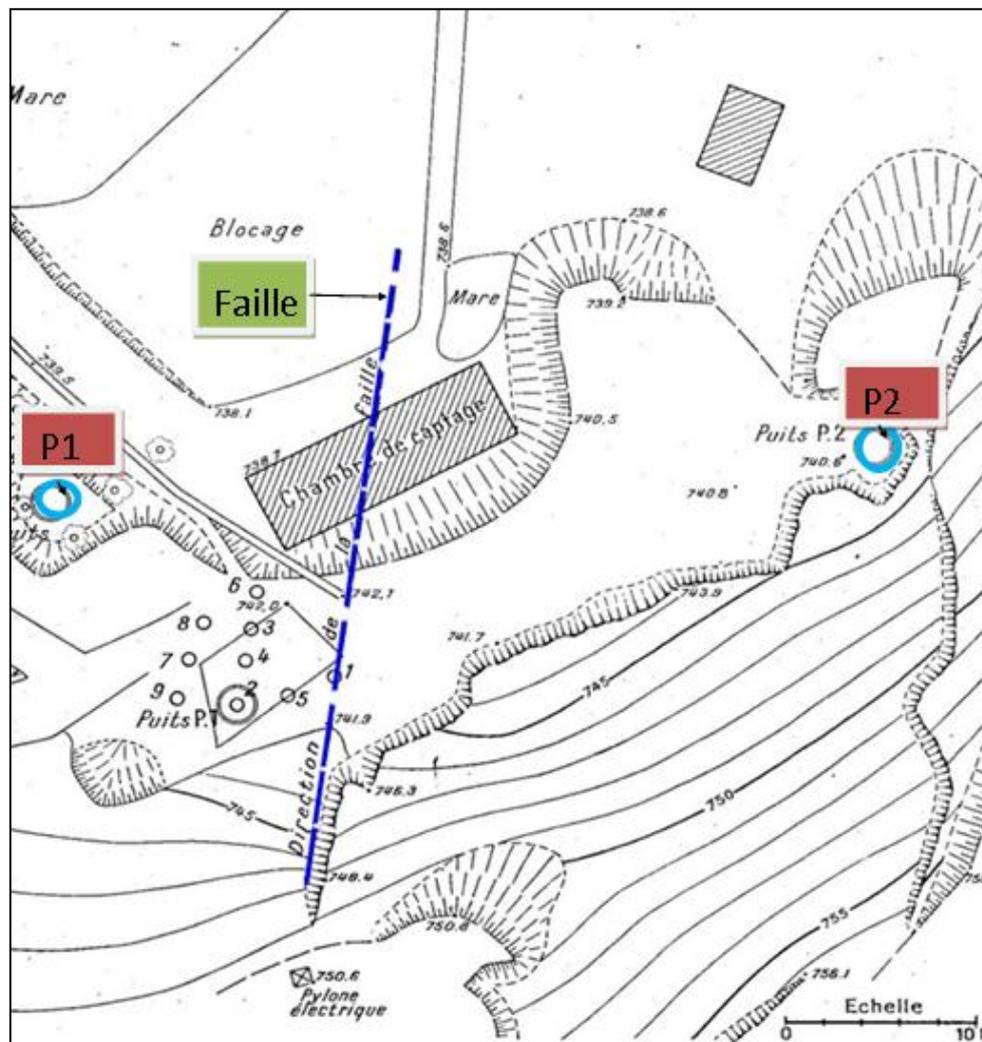


Figure 05: Localisation des forages et puits au niveau de la source (Boulaoudinat, 2014)

Tableau 05 : Forages d'exploitation de Boumerzoug
(Durozoy 1958-1961 in Boulaoudinat, 2014).

Forages	Diamètre	Profondeur	Niveau de l'eau
1	840 mm 310 mm	40 m	0.90 à 1.55
2	840 mm 760 mm 310 mm	38.10 m	0.90 à 1.55
3	558 mm 444 mm	41 m	0.90 à 1.55
4	558 mm 444 mm	40 m	0.90 à 1.55
5	558 mm 444 mm	40 m	0.90 à 1.55
6	558 mm 444 mm	40 m	0.90 à 1.55
7	22"	40.25 m	0.90 à 1.55
8	22" 11"	40.25 m	0.90 à 1.55
9	22" 11"	35.30 m	0.90 à 1.55

2.1.4 Alimentation en eau :

La source est située dans la commune d'Ouled Rahmoune, et captée par neuf forages (cf. 2.1.3. *Station de pompage du Boumerzoug*). Des pompes immergées, sont installées et fonctionnent 24 heures sur 24 et débitent dans une bache d'exhaure refoulant les eaux vers la conduite Boumerzoug-Constantine (\varnothing 600 mm au départ) alimentant d'importantes agglomérations :

- ✓ El Khroub : 100 l/s,
- ✓ Nouvelle ville Ain Bey (le territoire est sur la commune d'El Khroub mais elle appartient au système hydraulique de Constantine) : 75 l/s,
- ✓ Salah Derradji (commune d' El Khroub): 20 l/s,
- ✓ Guettar Elaich (commune d' El Khroub): 15 l/s,
- ✓ Commune Ouled Rahmoune: 15 l/s,
- ✓ Constantine : 245 l/s.

La production d'eau potable reflète les variations interannuelles de la pluviométrie. Le débit moyen de production d'eau potable a été estimé à 460 l/s durant la période allant de 1987 à 2005 avec une valeur minimale de 204 l/s en 2002 et une valeur maximale de 715 l/s en 2005 (Bouterra, 2008).

Par ailleurs, notons que les eaux du forage de Ras El Aïn sont également utilisées à des fins d'irrigation. En effet, plusieurs terres agricoles se trouvent à proximité de la source.

2.2. Prélèvement et caractérisation des eaux du forage de Ras El Aïn :

2.2.1. Méthode de prélèvement :

Les échantillons d'eau ont été recueillis dans des récipients de 1.5 L propres en plastique. Le nettoyage des récipients a été effectué selon les recommandations de l'OMS (1996). Ainsi, ces derniers sont nettoyés au savon et rincés au moins trois fois (5 est préférable) avec de l'eau distillée pour éliminer tout résidu. La stérilisation dans notre cas n'est pas nécessaire puisque les échantillons sont destinés à l'analyse physico-chimique.

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. Le récipient à échantillon est ensuite maintenu sous le robinet pour le remplir 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 notamment pour les paramètres physico-chimiques. Le chlore résiduel, le pH et la turbidité doivent être analysés immédiatement après le prélèvement de l'échantillon, car ils changeront pendant le stockage et le transport (OMS, 1997).

Notons que l'eau prélevée est un mélange provenant du bassin collecteur des 9 puits.

2.2.2. Calendrier des prélèvements :

Les prélèvements d'eau de la station de pompage de Boumerzoug en compagnie du personnel de la SEACO ont été effectués une fois par mois durant la période allant du mois de février 2018 au mois de mars 2018. Notons que la caractérisation des eaux a porté sur les échantillons prélevés durant la période allant du mois d'octobre 2017 au mois d'avril 2017 selon le calendrier décrit dans la figure 06.

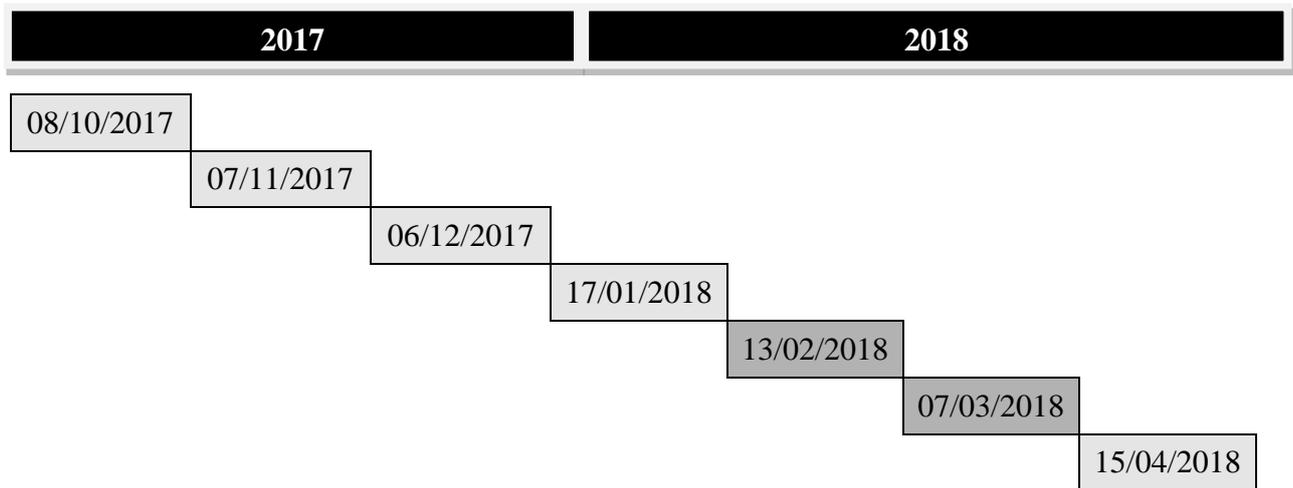


Figure 06 : Calendrier d'échantillonnage et caractérisation des eaux du forage de Ras El Ain

2.2.3. Caractérisation physico-chimique des eaux du forage de Ras El Ain :

La caractérisation des eaux du forage de Ras El Ain a été effectuée au laboratoire de contrôle de la qualité physico-chimique des eaux potables et a concerné les paramètres suivants :

- Les paramètres organoleptiques : turbidité,
- Les paramètres chimiques : chlore, nitrites et ammonium,
- Les paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux : pH, conductivité électrique (à 20°C).

2.2.3.1. Le pH :

Le pH a été mesuré avec un pH mètre électro mérique modèle Sension3 de la marque HACK, en plongeant l'électrode dans l'eau à environ 6 à 8 cm de la surface. Auparavant, le pH mètre est étalonné avec des solutions étalons à pH 4, 7 et 9 à une température de 20°C. Les résultats sont exprimés en unités pH.

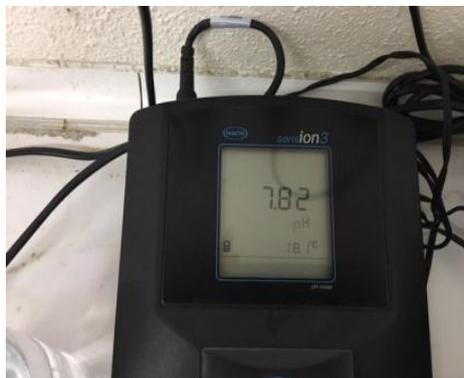


Photo 01 : pH mètre modèle Sension3-HACK

2.2.3.2. La conductivité électrique :

La conductivité électrique a été mesurée à l'aide d'un conductimètre de type Sension7 de la marque HACK, en plongeant l'électrode dans l'eau à environ 6 à 8 cm de la surface. Les résultats sont exprimés en $\mu\text{S}/\text{cm}$.



Photo 2 : Conductimètre de type Sension7-HACK

2.2.3.3. La turbidité :

La turbidité a été mesurée à l'aide d'un turbidimètre de type 2100N Turbidimeter de la marque HACK. Les résultats sont exprimés en NTU (Nephelometric Turbidity Unit).



Photo 3 : Turbidimètre de type 2100N-HACK

2.2.3.4. Le chlore :

La détermination des teneurs en chlore a été effectuée en utilisant un comparateur de chlore de marque CHECKIT[®]LOVIBOND147040. La méthode est de type colorimétrique, et consiste à remplir deux tubes avec les échantillons d'eau à analyser. L'un des deux tubes est traité avec la N,N-diéthyl-1,4-phénylène-diamine (DPD1, 0.1-2 mg/l Cl₂), l'autre sert de témoin. Le disque du comparateur est insérer face au tube témoin, ainsi les filtres colorés se

superposent avec le tube témoin. En tournant le disque (jusqu'à obtenir la même couleur que le tube traité) on peut lire directement la concentration en mg/L du chlore total.



Photo 4 : Comparateur de chlore-LOVIBOND147040

2.2.3.5. Les nitrites :

La quantification des teneurs en nitrites des eaux du forage de Ras El Ain a été effectuée selon une méthode automatique en utilisant le test en cuve LCK342 et un photomètre model DR5000 de la marque HAC. Le photomètre identifie le test en cuve à partir de son code-barres (IBR+). Les résultats sont exprimés en mg/L.



Photo 5 : Test en cuve LCK342

2.2.3.6. L'ammonium :

La détermination des teneurs en ammonium des eaux du forage de Ras El Ain a été effectuée selon une méthode automatique en utilisant le test en cuve LCK305 et un photomètre model DR5000 de la marque HAC. Le photomètre identifie le test en cuve à partir de son code barres (IBR+). Les résultats sont exprimés en mg/L.



Photo 6 : Test en cuve LCK305

2.3. Traitement statistique 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. Par ailleurs et afin de faire ressortir la variabilité d'un mois de prélèvement à l'autre, nous avons effectué une analyse de la variance à un facteur pour chacun des paramètres étudiés.

RESULTATS ET DISCUSSION

Le tableau ci-dessous (tab. 06) représente l'évolution temporelle des caractéristiques physico-chimiques et organoleptiques des eaux du forage de Ras El Aïn durant la période allant du mois d'octobre 2017 au mois d'avril 2018. Sont indiqués : les valeurs extrêmes, les moyennes et les écartypes. Sur ce même tableau figurent les normes des eaux potables nationales (Journal officiel de la république algérienne-JORA, 2014 ; SEACO, 2018) et internationales (organisation mondiale de la santé-OMS, 2017).

Par ailleurs et vu que les eaux du forage de Ras El Aïn sont utilisées à des fins agricoles, les résultats obtenus ont été comparés aux normes des eaux destinées à l'irrigation établies par la FAO (1985). Fautes de valeurs guides pour la turbidité et les teneurs en nitrites dans les eaux destinées à l'irrigation, les valeurs de ces deux paramètres ne seront pris en considération lors de la comparaison de nos résultats aux normes.

Tableau 06 : Évolution temporelle des caractéristiques physico-chimiques et organoleptique des eaux du forage de Ras El Aïn

Date	Lieu	Origine	pH	CE ($\mu\text{S/cm}$)	Tur (NTU)	Cl ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)*	NH ₄ ⁺ (mg/L)**
08/10/2017	SP Boumerzoug (traité)	Ras El Aïn	6,98	1063	1,7	0,6	<0.6	<1
07/11/2017			6,88	1057	0,64	0,1	<0.6	<1
06/12/2017			7,69	1058	0,43	0,4	<0.6	<1
17/01/2018			7,85	1053	2,18	1	<0.6	<1
13/02/2018			7,51	1059	1,21	0,9	<0.6	<1
07/03/2018			7,45	1050	0,52	0,6	<0.6	<1
15/04/2018			7,78	969	1,31	0,4	<0.6	<1
Valeurs extrêmes [min-max]			[6.88-7.85]	[969-1063]	[0.43-2.18]	[0.1-1]	-	-
Moyenne \pm écartype			7.39 \pm 0.38	1056.7 \pm 4.58	1.11 \pm 0.71	0.6 \pm 0.32	-	-
Normes de potabilité (JORA, 2014)			6.5-9	2800	5	5	0.2	0.5
Normes de potabilité (SEACO, 2018)			6-5-8.5	2800	5	0.1-0.6	0.2	0.5
Normes de potabilité (OMS, 2017)			6.5-8,5	180-1000	<5	5	<3	<0.5

* : échelle de mesure du LCK342 : 0.6-6 mg/L (au lieu du LCK341 : 0.015-0.6 mg/L)

** : échelle de mesure du LCK305 : 1-12 mg/L (au lieu du LCK304 : 0.015-2 mg/L)

3.1. Le pH :

Les variations du pH des eaux du forage de Ras El Ain durant la période d'étude sont représentées dans le tableau 6 et illustrées par la figure 07

L'examen de la figure 07 et du tableau 6 montre que les pH des eaux du forage de Ras El Ain oscillent entre 6,88 et 7,85 enregistrés au mois de novembre et janvier respectivement. La moyenne pour l'ensemble de la période de surveillance étant de l'ordre de $7,39 \pm 0,38$. Néanmoins, cette variabilité d'un mois à l'autre n'est pas significative ($p > 0,05$).

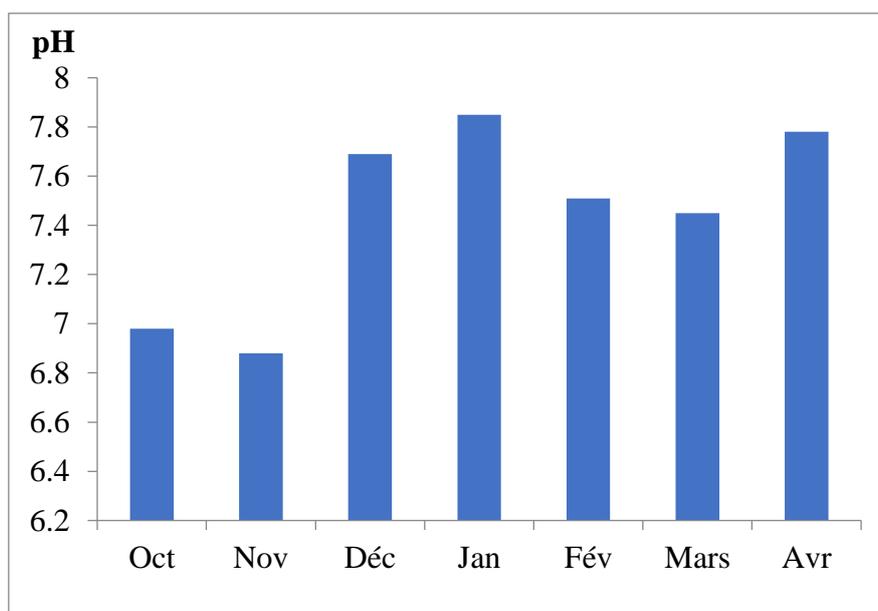


Figure 07: Variation temporelle du pH des eaux du forage de Ras El Ain
(Oct 2017-Avr 2018)

Cette mesure est importante car la valeur du pH conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimique et dépend de facteurs multiples dont l'origine de l'eau. Il détermine l'acidité, l'alcalinité et la neutralité des solutions. Il est lié essentiellement à la nature du terrain. En général, la modification du pH dans l'eau est liée à la perte du gaz carbonique. Il convient aussi de signaler que la valeur du pH est fonction de la matière organique thermostable dissoute ou non dans l'eau.

Par ailleurs, l'acidité de l'eau ne pose en soi aucun problème vis-à-vis de la santé du consommateur. Toutefois, l'eau acide distribuée par un réseau de canalisations peut constituer indirectement une menace pour la santé du consommateur mal informé ou imprudent. L'eau acide est en effet agressive et peut libérer des éléments toxiques constitutifs des canalisations

notamment les éléments traces métalliques représentés essentiellement par le cadmium, le chrome, le cuivre, le fer, le nickel, le plomb et le zinc, etc. (Hanon et Rouelle, 2011).

En matière de potabilité de l'eau, le décret exécutif n°14-96 (JORA, 2014) et l'OMS (2017) préconise un pH supérieur à 6.5 et inférieur à 9. Ces valeurs ont été choisies afin de réduire au minimum la corrosion et l'entartrage, compte tenu de l'efficacité de la désinfection au chlore et de la formation des trihalométhanes (THM) (Santé et Bien-être social Canada, 1982). La comparaison de nos résultats à ces normes montre que les eaux du forage Ras El Ain sont bonnes pour la consommation ; le pH étant neutre à légèrement alcalin. Les faibles alcalinités enregistrées au mois janvier et d'avril peuvent être Attribuées à la nature géologique calcaire du lit du bassin versant Boumerzoug. En effet, le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés (Sahli, 2012).

Par ailleurs, et de même que pour la potabilité la comparaison de nos résultats aux normes des eaux destinées à l'irrigation établies par la FAO (1985) montre que les pH des eaux du forage de Ras El Ain sont conformes aux normes et que d'un point de vue pH, ces eaux peuvent être utilisées sans aucun risque pour les cultures (tab. 07).

Tableau 07 : Classes des risques en fonction du pH des eaux destinées à l'irrigation
(FAO, 1985)

Paramètres	Degré de risque et restriction d'utilisation		
	Aucun	Léger à modéré	Sévère
Ph	6.5-8.4	<6.5 et >8.4	<6.5 et >8.4
Echantillons	Oct, Nov, Déc, Jan, Fév, Mars, Avr	-	-

3.2. La conductivité électrique (CE) :

Les variations de la CE des eaux durant la période d'étude sont représentées dans le tableau 6 et illustrées par la figure 08

L'examen de la figure 08 et du tableau 6 montre que les conductivités des eaux du forage de Ras El Ain enregistrent des valeurs extrêmes de l'ordre de 969 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 1063 $\mu\text{S}/\text{cm}$ enregistrées au mois d'octobre et avril respectivement. La moyenne pour l'ensemble de la période de surveillance étant de l'ordre de $1056.7 \pm 4.58 \mu\text{S}/\text{cm}$. Cependant, d'un point de vue statistique cette variabilité dans le temps n'est pas significative ($p > 0.05$).

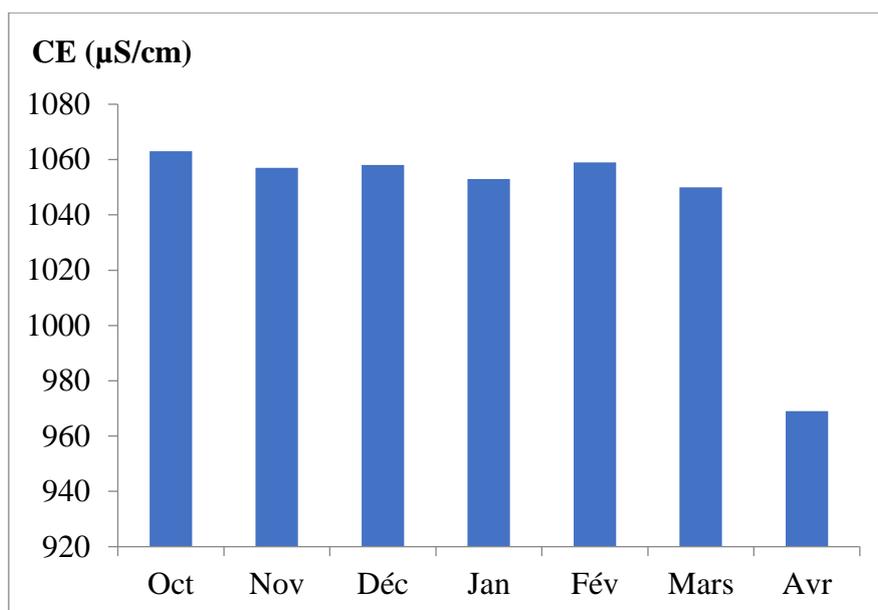


Figure 08 : Variation temporelle de la conductivité électrique des eaux du forage de Ras El Ain (Oct 2017-Avr 2018)

La mesure de la conductivité électrique permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau (Rodier et al. 2005). La conductivité électrique est un paramètre qui dépend de la présence d'ions, de leur concentration totale, de leur mobilité, de la concentration relative de chacun et de la température de l'eau (APRA, 1980). La température affecte la vitesse ionique et, par conséquent, fait augmenter la conductivité de 2% environ par degré Celsius (Wetzel, 1983). D'après Rodier et al. (2009) et à l'exception de la valeur relevée durant le mois d'avril, l'eau du forage Ras El Ain présente une minéralisation excessive ($CE > 1000 \mu S/cm$). La faible conductivité enregistrée au mois d'avril peut être attribuée au mode d'alimentation de la source (infiltration au voisinage de la source, apport latéral lointain ou par drainance) et peut être aussi influencées par les variations saisonnières de l'air.

Cependant, et en matière de potabilité de l'eau, le décret exécutif n°14-96 (JORA, 2014), préconise une conductivité inférieure ou égale à $2800 \mu S/cm$. La comparaison de nos résultats à ces normes montre que les eaux du forage Ras El Ain sont bonnes pour la consommation.

Par ailleurs, la confrontation de nos résultats aux normes des eaux destinées à l'irrigation établies par la FAO (1985) montre que les CE dépassent largement le seuil de la classe 1 ou aucune restriction d'utilisation n'est imposée, et se retrouve dans la classe 2 où un degré de

restriction léger à moyen est imposé lors de l'utilisation d'une eau présentant une telle caractéristique et ceci quelque soit le mois de prélèvement (tab. 08).

Tableau 08 : Classes des risques en fonction de la conductivité électrique des eaux destinées à l'irrigation (FAO, 1985)

Paramètres	Degré de risque et restriction d'utilisation		
	Aucun	Léger à modéré	Sévère
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	<750	750-3000	>3000
Echantillons	-	Oct, Nov, Déc, Jan, Fév, Mars, Avr	-

La salinité constitue un facteur limitant non négligeable pour l'agriculture (Hillel, 2000). L'effet de la salinité se manifeste généralement chez la plupart des plantes cultivées par une réduction de la croissance et du développement (Munns et al. 1983, Ben Hamida et al. 2014). Cet effet néfaste se traduit par des changements morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui affectent négativement la croissance et la productivité végétale (Ashraf et Harris, 2004). Le tableau 9 montre l'effet de l'eau d'irrigation saline sur la réduction du rendement de certaines cultures (Ayers, 1977). Par exemple dans le cas de la pomme de terre, lorsque la CE de l'extrait de sol est aux alentours de 1.7 mS/cm, le rendement devrait baisser de 10 %. Lorsque l'oignon est irrigué avec de l'eau dont la CE est de 1,8 mS/cm, la perte de rendement est estimée à 25%. Pour les haricots secs irrigués avec une eau ayant une CE de 1 mS/cm, le rendement peut baisser de 10% (tab. 09).

Tableau 09 : Influence de la salinité sur le rendement potentielle de certaines cultures

(Ayers, 1977)

Types de culture	Pourcentage de réduction du rendement			
	0%	10%	25%	50%
	CE (mS/cm)			
Orge	5.3	6.7	8.7	12
Blé	4.0	4.9	6.4	8.7
Luzerne	1.3	2.2	3.6	5.9
Pommes de terre	1.1	1.7	2.5	3.9
Oignon	0.8	1.2	1.8	2.9
Haricots secs	0.7	1.0	1.5	2.4

3.3. La turbidité :

Les variations de la turbidité des eaux durant la période d'étude sont représentées dans le tableau 6 et illustrées par la figure 09

L'examen de la figure 09 et du tableau 6 montre que la turbidité des eaux du forage de Ras El Aïn oscille entre 0,43 et 2,18 NTU enregistrés au mois de décembre et janvier respectivement. La moyenne pour l'ensemble de la période de surveillance étant de l'ordre de 1.11 ± 0.71 . Cependant cette variabilité d'un mois à l'autre n'est pas significative ($p > 0.05$).

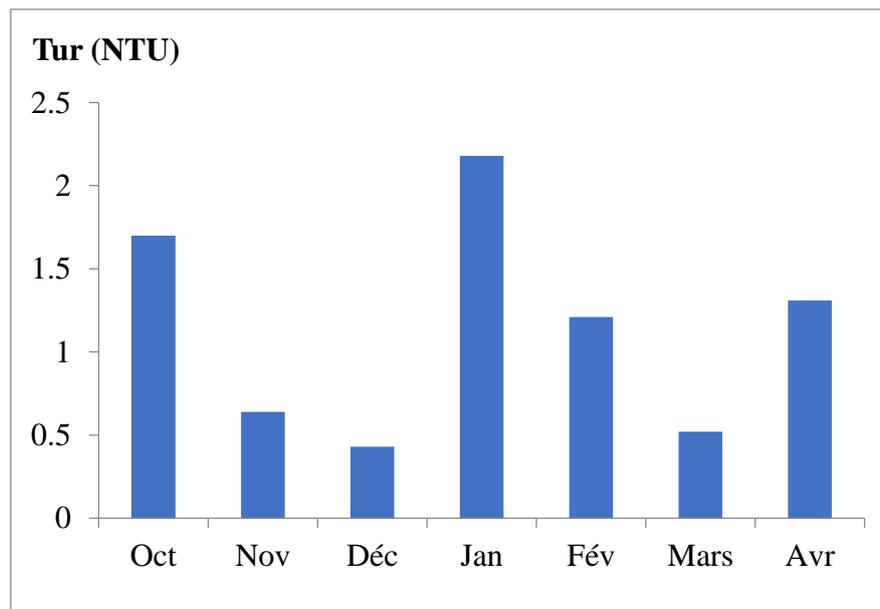


Figure 09: Variation temporelle de la turbidité des eaux du forage de Ras El Ain
(Oct 2017-Avr 2018)

La turbidité désigne la teneur d'une eau en particules suspendues qui la troublent. Elle peut être causée par des particules organiques comme des matières animales/végétales décomposées ou des organismes vivants (par exemple des algues), ou encore par des particules inorganiques (limon, argile et composés chimiques naturels tels que le carbonate de calcium), (Santé Canada, 2011). La lumière se réfléchit sur ces particules, ce qui donne à l'eau un aspect trouble ou sale. La turbidité de l'eau souterraine est généralement surtout inorganique et causée par des facteurs géologiques naturels.

Les puits peu profonds ou mal construits ainsi que les sources peuvent être contaminés par les eaux de surface, surtout après des pluies abondantes et au moment de l'écoulement printanier. Les particules organiques et inorganiques dans l'eau peuvent donner à cette dernière une

apparence trouble, une odeur et un goût déplaisants, transporter des micro-organismes et nuire à la désinfection, augmenter la quantité de chlore nécessaire pour désinfecter l'eau, se combiner au chlore pour former des sous-produits nocifs tels que les trihalométhanes (Santé Canada, 2011). Plus la turbidité est élevée, plus il est difficile de voir à travers l'eau et plus la mesure de NTU est élevée. La turbidité peut être vue à l'œil nu à partir d'environ 4 NTU (OMS, 2011). Celle de l'eau souterraine provenant de forage est généralement faible, elle est surtout d'origine inorganique et ne pose habituellement pas de risque pour la santé. La turbidité elle-même ne rend pas malade. Cependant des niveaux élevés de turbidité sont souvent une réduction de l'efficacité de la désinfection, à une augmentation de la disponibilité d'éléments nutritifs biologiques, à la formation de THM ainsi que la concentration de métaux lourds et biocides (Gouvernement du Canada, 1987). Plus d'attention doit être donnée à l'eau turbide car elle contient en général davantage d'agents pathogènes, et la boire augmente les chances de tomber malade.

En matière de potabilité de l'eau, le décret exécutif n°14-96 (JORA, 2014) et l'OMS (2017) préconise une turbidité inférieure à 5 NTU pour l'eau potable. La comparaison de nos résultats à ces normes montre que les eaux du forage Ras El Ain sont bonnes pour la consommation.

3.4. Les teneurs en chlore :

Les variations des teneurs en chlore des eaux durant la période d'étude sont représentées dans le tableau 6 et illustrées par la figure 10.

L'examen de la figure 10 et du tableau 6 montre que la valeur la plus faible en chlore des eaux du forage de Ras El Ain (0.1 mg/L) a été enregistrée au mois de novembre alors que la plus élevée (1 mg/l) au mois de janvier. La moyenne pour l'ensemble de la période de surveillance étant de l'ordre de 0.6 ± 0.32 . Cependant cette variabilité d'un mois à l'autre n'est pas significative ($p > 0.05$).

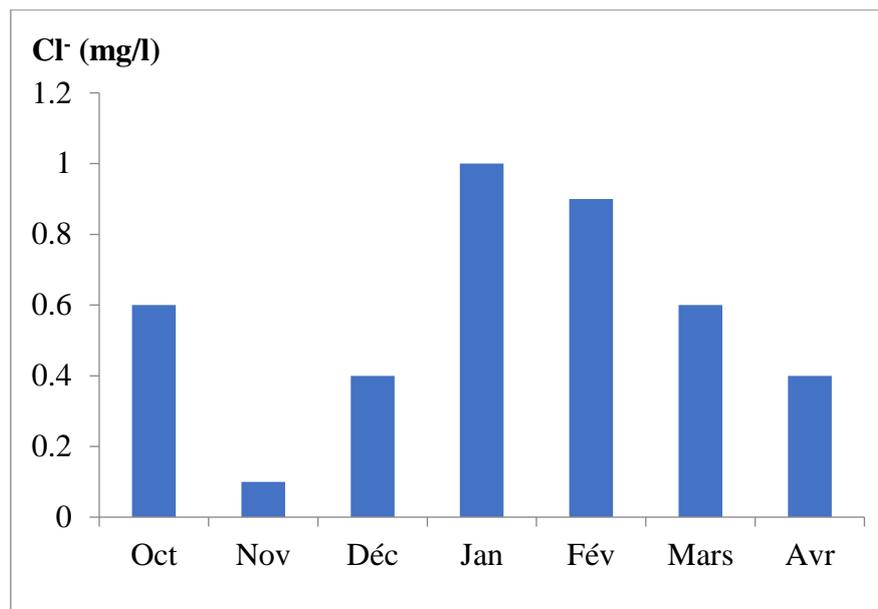


Figure 10 : Variation temporelle des teneurs en chlore des eaux du forage de Ras El Ain (Oct 2017-Avr 2018)

Le chlore est un élément chimique appartenant au groupe des halogènes et dont la masse atomique est de 35,457 (White, 1999). Dans la nature, on trouve le chlore uniquement sous forme d'ion chlorure (Cl^-), d'une valence de -1 (White, 1999). La plupart des sels chlorés sont solubles dans l'eau; par conséquent, le chlorure solide n'abonde habituellement que sous les climats secs ou dans les grandes profondeurs du sol (Santé Canada, 2009).

Le chlore est un désinfectant qu'on ajoute à l'eau potable pour réduire ou éliminer la présence de microorganismes, tels les bactéries et virus. L'ajout du chlore à l'eau potable permet de réduire sensiblement les risques de transmission de maladies par l'eau. L'efficacité de la désinfection, dépend beaucoup du pH et de la température du milieu aqueux, conditions qui déterminent l'importance de la transformation en l'une ou l'autre des trois espèces chlorées libres, Cl_2 , HOCl et OCl^- (Coly et al. 2015). À un pH faible, le HOCl est prédominant et plus efficace pour inactiver les microbes. Par exemple, à des températures de 0°C et 20°C , une solution aqueuse de chlore à un pH de 6,5 renfermerait environ 95,5 et 92,4% respectivement de HOCl (4,5 et 7,6 % d'ions OCl^-). A un pH de 8,5, l'équilibre est inversé et la solution ne renferme plus que 17,5 et 10,8% de HOCl (82,5 et 91,2% d'ions OCl^-), respectivement. Le pH de l'eau potable varie habituellement de 6,5 à 8,5. L'efficacité de désinfection est maximale lorsque la chloration est effectuée à un pH inférieur à 8 (White, 1999 ; PISC, 2000 ;

OMS, 2004). Cependant, l'efficacité peut également être améliorée grâce à l'accroissement de la durée de contact, de la concentration ou de la température (USEPA, 1999, 2007).

Par ailleurs, l'effet du chlore sur le carbone organique peut être néfaste, car il conduit à la formation d'organochlorés. Il est bien connu que, lors la chloration des eaux, des quantités significatives de THM et d'halogènes organiques totaux (TOX) sont formées (Riopel et al. 1991). Parmi les précurseurs de formation d'organochlorés présents dans les eaux à potabiliser, les acides humiques et fulviques représentent souvent une part importante. La chloration de l'acide fulvique à un pH de 7.5 conduit à la formation de chloroforme et d'acides chloroacétiques. Cette formation dépend du temps de réaction, de la dose de chlore appliquée et du pH de la réaction (Jorgenson et al. 1985). Les sous-produits de la chloration sont très dangereux pour la santé. Le chloroforme et le bromodichlorométhane sont cancérigènes chez l'animal. Le chloroforme ingéré par voie orale augmente la fréquence du cancer chez le rat (Clement Associates, 1989), le bromodichlorométhane entraîne la formation de cancers du foie, du rein et de l'intestin chez les rongeurs (Murphy et Craun, 1990). Plusieurs études épidémiologiques ont observé des associations entre l'ingestion d'eau chlorée et l'incidence accrue de cancer de la vessie et de l'intestin (OMS, 1984).

En matière de potabilité de l'eau, le décret exécutif n°14-96 (JORA, 2014) et l'OMS (2017) préconisent une teneur en chlore <5mg/l. La comparaison de nos résultats à ces normes montre que les eaux du forage Ras El Ain sont bonnes pour la consommation. Cependant, les teneurs en chlore dépassent largement les valeurs limites établies par la société SEACO relatives à la détection du goût et qui sont beaucoup plus strictes (0.1-0.6 mg/L) notamment au mois de janvier et février. Une telle situation peut être attribuée en partie à une utilisation excessive du chlore afin d'assurer une bonne désinfection surtout que des taux de turbidité relativement important ont été enregistrés durant cette période. Le procédé de la désinfection peut être inhibé lorsque la turbidité et les solutés à forte demande en chlore sont élevés. La turbidité doit être maintenue en-dessous de 1 NTU pour assurer une désinfection efficace. Quand ce n'est pas possible, la turbidité doit être maintenue en-dessous de 5 NTU, bien que la désinfection puisse encore être réalisée si l'objectif de 5 NTU ne peut être atteint. Pour des turbidités supérieures à 1 NTU, des doses de chlore plus élevées ou des temps de contact plus longs sont nécessaires (OMS, 2017).

Par ailleurs, et de même que pour la potabilité la comparaison de nos résultats aux normes des eaux destinées à l'irrigation établies par la FAO (1985) montre que les concentrations en chlore des eaux du forage de Ras El Aïn sont conformes aux normes et que ces eaux peuvent être utilisées sans aucun risque pour les cultures (tab.10).

Tableau 10 : Classes des risques en fonction des teneurs en chlore des eaux destinées à l'irrigation (FAO, 1985)

Paramètres	Degré de risque et restriction d'utilisation		
	Aucun	Léger à modéré	Sévère
Cl ⁻ (mg/L)	<4	4-10	>10
Echantillons	Oct, Nov, Déc, Jan, Fév, Mars, Avr	-	-

3.5. Les teneurs en nitrites (NO₂) :

Durant toute la période de surveillance, les teneurs en nitrites des eaux du forage de Ras El Aïn sont inférieures à l'échelle de mesure du test en cuve : 0.6-6 mg/L (tab. 6).

Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, la nitrification n'étant pas conduite à son terme, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante. Une eau qui renferme des nitrites est à considérer comme suspecte (Rodier et al. 2009).

La présence de nitrites dans l'eau de consommation est principalement attribuable aux activités humaines (Santé Canada, 1992). L'utilisation de fertilisants synthétiques et de fumiers, associée aux cultures et à l'élevage intensifs, favorise l'apparition de nitrites dans l'eau. Les installations septiques déficientes, de même que la décomposition de la matière végétale et animale, peuvent aussi être une source de nitrites dans l'eau (Levallois et Phaneuf, 1994). Le risque de contamination est plus important si le sol recouvrant la nappe d'eau est vulnérable (ex : sablonneux) et si la nappe est peu profonde (puits de surface).

La méthémoglobinémie du nourrisson est le seul effet sur la santé qui a été associé de façon non équivoque à une exposition excessive aux nitrites par l'eau de consommation, Elle survient principalement chez les enfants de moins de trois mois exposés à des concentrations de nitrates qui excèdent 20 mg-N/L dans l'eau utilisée pour la préparation des biberons (USEPA, 1997; Santé Canada, 1992).

En matière de potabilité de l'eau, le décret exécutif n°14-96 (JORA, 2014), l'OMS (2017) et la SEACO (2018) préconisent des teneurs en nitrites de l'ordre de 0.2 mg/l et <3 mg/l respectivement. Les eaux du forage Ras El Ain sont bonnes pour la consommation d'un point de vue teneurs en nitrites. Néanmoins, nous tenons à préciser que pour estimer les teneurs en nitrites des eaux du forage de Ras El Aïn la société SEACO utilise le test en cuve LCK342 avec une échelle de mesure qui va de 0.6 à 6 mg/L, or la valeur limite proposée par la même

société est de l'ordre de 0.2 mg/L, ainsi il serait plus judicieux d'utiliser le test en cuve LCK341 dont l'échelle de mesure va de 0.015-0.6 mg/L).

Par ailleurs, et de même que pour la potabilité la comparaison de nos résultats aux normes des eaux destinées à l'irrigation établies par la FAO (1985) montre que les teneurs en nitrites des eaux du forage de Ras El Aïn sont conformes aux normes et que ces eaux peuvent être utilisées sans aucun risque pour les cultures.

3.6. Les teneurs en ammonium (NH_4^+) :

Comme pour les nitres, les teneurs en ammonium sont inférieures à l'échelle de mesure du test en cuve : 1-12 mg/L (tab. 6) et ceci durant toute la période de surveillance (tab. 6).

L'ammonium dans l'eau traduit habituellement un processus de dégradation incomplet de la matière organique. L'ammonium provient de la réaction de minéraux contenant du fer avec des nitrates. C'est donc un excellent indicateur de la pollution de l'eau par des rejets organiques d'origine agricole, domestique ou industriel.

En matière de potabilité de l'eau, le décret exécutif n°14-96 (JORA, 2014), l'OMS (2017) et la SEACO (2018) préconisent des teneurs en ammonium de l'ordre de 0.5 mg/l. Les eaux du forage Ras El Ain sont bonnes pour la consommation d'un point de vue teneurs en ammonium. Néanmoins et comme pour les nitrites, nous tenons à préciser que pour estimer les teneurs en ammonium des eaux du forage de Ras El Aïn la société SEACO utilise le test en cuve LCK305 avec une échelle de mesure qui va de 1 à 12 mg/L, or la valeur limite proposée par la même société est de l'ordre de 0.5 mg/L, ainsi il serait plus judicieux d'utiliser le test en cuve LCK304 dont l'échelle de mesure va de 0.015-2 mg/L).

Par ailleurs, et de même que pour la potabilité la comparaison de nos résultats aux normes des eaux destinées à l'irrigation établies par la FAO (1985) montre que les teneurs en ammonium des eaux du forage de Ras El Aïn sont conformes aux normes et que ces eaux peuvent être utilisées sans aucun risque pour les cultures (tab. 11).

Tableau 11 : Classes des risques en fonction des teneurs en ammonium des eaux destinées à l'irrigation (FAO, 1985)

Paramètres	Degré de risque et restriction d'utilisation		
	Aucun	Léger à modéré	Sévère
NH_4^+ (mg/L)	<5	5-30	>30
Echantillons	Oct, Nov, Déc, Jan, Fév, Mars, Avr	-	-

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Conclusion

La qualité de l'eau potable est primordiale pour la santé humaine, surtout que les risques de pollution existent à chaque étape de parcours de l'eau. Lors des précipitations, l'eau ruisselle s'infiltré et se charge en composantes de sols et des roches mères, ce qui lui donne une identité de base. D'autres éléments liés à l'action humaine comme (les nitrates, la matière organique, les micro-organismes, ...) peuvent entraîner une dégradation de la qualité de l'eau. L'eau destinée à la consommation humaine doit répondre à certaines normes de qualité physiques, chimiques, organoleptiques et biologiques et ne devrait pas contenir de substances chimiques nocives, ni de germes pathogènes.

La source de Ras El Ain est l'une des plus importantes sources qui alimente Constantine en eau potable. Elle constitue également un réservoir important d'irrigation des sols agricoles avoisinants la source. L'objectif principal de cette étude est d'évaluer la qualité des eaux du forage de Ras El Ain (Boumerzoug) par caractérisation physico-chimiques (pH, CE, chlore, nitrites et ammonium) et organoleptique (turbidité), sur une période de sept mois à partir de Octobre 2017 jusqu'à avril 2018.

Les résultats des analyses sur sept échantillons prélevés mensuellement ont montré que les eaux du forage Ras El Ain sont caractérisé par :

- Un pH neutre à légèrement alcalin conforme aux normes nationales et internationales de potabilité des eaux. De même que pour la potabilité, ces eaux ne posent aucun problème pour l'irrigation et peuvent donc être utilisées sans aucune restriction.

- Une conductivité électrique qui est élevée, traduisant une minéralisation excessive mais ne dépassant pas les normes ; ces eaux sont ainsi considérées comme bonnes pour la consommation. Néanmoins, ces eaux peuvent poser problèmes pour les cultures. En effet, et selon les normes établies par la FAO (1985), une salinité élevée peut être à l'origine d'une réduction du rendement. Cette réduction dépend de la nature des cultures, et est d'autant plus importante que la salinité est élevée et que la durée d'exposition est importante.

- Une turbidité relativement faible et conforme à la réglementation nationale et internationale.

- Des teneurs en chlore conformes aux normes dans l'ensemble que ça soit d'un point de vue potabilité ou irrigation. Des teneurs limites en chlore beaucoup plus strictes sont par moment données, qui sont relatives à la détection du goût, dont le surplus ne représente dans la plupart des cas aucun danger pour la santé humaine.

- Des teneurs en nitrites et en ammonium non détectables et donc conformes aux normes locales, nationales et internationales que ça soit pour la potabilité ou pour l'irrigation.

Au total, il ressort que la quasi-totalité des paramètres analysés sont conformes aussi bien à la réglementation nationale qu'internationale en matière de potabilité de l'eau, et conformes aux normes des eaux destinées à l'irrigation établies par la FAO (1985) et peuvent être utilisées sans aucun risque pour les cultures.

En perspective et en complément à cette étude, il serait intéressant de :

- De déterminer d'autres paramètres physico-chimiques pour ce même forage, que ça soit ceux qui sont en relation avec la nature des substrats, ou encore ceux considérés comme potentiellement toxiques en particulier les éléments traces métalliques,
- De quantifier les indicateurs de la qualité microbiologique responsables dans la plupart des cas d'un grand nombre de maladies chez l'homme,
- 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

A

Ashraf M. and Harris J.C. 2004. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science*, 166:3-16.

Ayers R.S. 1977. Quality of water for irrigation. *Jour. of the Irrig. And Drain. Div., ASCE*. Vol 103, N°. IR2, 140p.

B

Ben Hamida J., El Mokh F. et Nagaz K. 2014. Irrigation déficitaire à l'eau salée : étude du cas de la pomme de terre d'automne irriguée au goutte à goutte de surface et souterrain en milieu aride. *Revue des Régions Arides*. Numéro spécial n°35. Actes du 4^{ème} Meeting International "Aridoculture et Cultures Oasisennes : Gestion des Ressources et Applications Biotechnologiques en Aridoculture et Cultures Sahariennes : perspectives pour un développement durable des zones arides", 17-19 déc. 2013.

Boulaouidath 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.

Bouteraa 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.

C

Chaouay A., Okhrib R., Hillali 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) : 2748-259.

Clement Associates, 1989. Toxicological Profile For Bromodichloromethane. Contract No. 205-88-0608. Prepared for: Agency for Toxic Substances and Disease Registry U.S. Public Health Service, in collaboration with U.S. Environmental Protection Agency (EPA).

Coly I., Gassama Sow A., Seydi M and Martinez-Urtaza J. 2015. Maitrise du risque lié à *Vibrio parahaemolyticus* dans les produits halieutiques destinés à l'exportation : cas d'une usine sénégalaise de pêche. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 19(4), 317-328.

D

Degrémont, 2005. Mémento technique de l'eau. Tome 1. Degrémont, Paris, France, 785 p.

E

F

Food and Agriculture Organization-FAO. 1985. Water quality for agriculture. R.S. Ayers and D.W. Westcot. Irrigation and Drainage Paper 29 Rev. 1. FAO, Rome. 174 p.

G

Gaujour D. 1995. La pollution des milieux aquatiques : Aide mémoire. 2^{ème} édition : Lavoisier. 49p.

Genoutdet 2001. L'eau de robinet : de la source au verre. Extrait de dossier de bulletin de l'association médicale Kouzmine internationale.

Gouvernement du Canada, 1987. Recommandation pour la qualité des eaux du Canada. Document préparé par le groupe de travail sur les recommandations pour la qualité des eaux du conseil canadien des ministères des ressources et de l'environnement, Ottawa, Canada, 23p.

Graindorge J. et Landot É., 2007. La qualité de l'eau potable, techniques et responsabilités. Voiron (Isère), Collection : Dossier d'experts. 2007. Territorial éd. 172 p. ISBN: 978-2-35295-441-5.

H

Hillel D. 2000. Salinity Management for Sustainable Irrigation. Integrating Science, Environment, and Economics. The International Bank for Reconstruction and Development-The world bank, Washington, DC.

I

J

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.

K

L

Levallois P. et Phaneuf D. 1994. La contamination de l'eau potable par les nitrates : analyse des risques à la santé, *Revue canadienne de santé publique*, 85(3), 192-196.

M

Munns R., Greenway H. and Kirst GO. 1983. Halotolerant eukaryotes. In *Physiological Plant Ecology. III. Responses to the Chemical and Biological Environment*. Eds. O L Lange, P S Nobel, C B Osmond and H Zeigler. pp. 59–135. *Encycl. Plant Physiol., New Series*, Vol. 12C. Springer, Berlin.

Murphy PA and Craun GF. 1990. A review of recent epidemiological studies reporting associations between drinking water disinfection and cancer. *Water Chlorination*, 6, 361p.

N

O

OMS, 2004. Directives de qualité pour l'eau de boisson. Vol. 1: 3^e éd. 110p.

OMS, 2011. «Manganese in drinking-water: Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality». Geneva.

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.

Organisation Mondiale de la Santé-OMS, 1984. La sécurité des produits alimentaires et son rôle dans la santé et le développement. Genève, OMS.

Organisation Mondiale de la Santé-OMS, 2000. La silicose. Aide-mémoire, No 238, Centre des médias, 2000. Disponible sur : www.who.int/mediacentre/factsheets/fs238/fr/

P

PISC, 2000. Disinfectants and disinfectant by-products, Programme international sur la sécurité des substances chimiques, Organisation mondiale de la Santé, Genève, Suisse (Critères d'hygiène de l'environnement 216).

R

Riopel F., Desjardins R. et Lafrance P. 1991. Influence des modalités de l'injection du chlore sur la formation des THM en eau chaude. Sciences et Techniques de l'Eau, 24(4):347-35.

Rodier J., Legube B. et Merlet N. 2005. L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. Ed. Dunod, Paris, 1384p.

Rodier J., Legube B. and Merlet N. 2009. L'analyse de l'eau, Ed. Dunod, 78-1368.

Rouissat B. 2010. La gestion des ressources en eau en Algérie : Situation, défis et apport de l'approche systémique. Revue de l'économie et le management, 10, Université de Tlemcen, Algérie.

S

Sahli L. 2012. Etude du comportement de quelques espèces floristiques et faunistiques des écosystèmes aquatiques vis-à-vis des éléments traces métalliques par des bioessais. Thèse de doctorat en Sciences, Université Mentouri-Constantine, 262p.

Santé canada, 1992. Le nitrate et le nitrite. Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada. Disponible sur : www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/nitrate_nitrite/index-fra.php.

Santé Canada, 2009. Guidelines for Canadian Drinking Water Quality: Guideline. Technical document-Chlorine. 51p.

Santé canada, 2011. La turbidité de l'eau potable. Disponible sur : <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/turbidity/index-fra.php> .

Santé et Bien-être social Canada, 1982. Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada, 1978. Ministère de la Santé nationale et du Bien-être social, Ottawa, Canada, 646p.

T

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.

U

UNICEF Canada, 2013. Des enfants meurent chaque jour à cause d'une eau insalubre, d'un mauvais assainissement et d'une mauvaise hygiène, dis l'UNICEF. Disponible sur : <https://www.unicef.ca/en/press-release/children-dying-daily-because-of-unsafe-water-supplies-and-poor-sanitation-and-hygiene>.

USEPA, 1999. Reregistration eligibility decision (RED): Chlorine gas. Office of Prevention, Pesticides and Toxic Substances, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC.

USEPA, 2007. EPA simultaneous compliance guidance manual for the Long Term 2 and Stage 2 DBP Rules. Office of Water, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, mars (EPA 815-R-07-017).

V

W

Wetzel R.G. 1983. Limnology, 2nd edition. Saunders College Publishing, Toronto, 767 pages.

White GC. 1999. Handbook of chlorination and alternative disinfectants, 4^{ème} éd., John Wiley & Sons, New York, NY.

Intitulé : Contribution l'évaluation de la qualité des eaux du forage de Ras El Ain (Boumerzoug).

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

Résumé :

L'usage de l'eau à des fins alimentaires ou d'hygiène nécessite une excellente qualité physico-chimique et microbiologique. L'eau distribuée par réseau constitue un des produits alimentaires les plus contrôlés. Le suivi de sa qualité est réalisé régulièrement depuis son origine jusqu'au robinet. L'eau de distribution doit répondre aux exigences de qualité. Ainsi, elle ne doit contenir aucun micro-organisme, aucun parasite ni aucune substance constituant un danger potentiel pour la santé des personnes. Elle doit également être conforme vis-à-vis d'un ensemble de normes de potabilité. L'objectif principal de la présente étude est d'évaluer la qualité des eaux du forage de Ras El Ain (Boumerzoug) située à 30 Km de la commune d'Ouled Rahmoun à Constantine.

Un suivi mensuel de la qualité des eaux dudit forage a été effectué durant la période allant du mois d'octobre 2017 au mois d'avril 2018. Plusieurs paramètres relatifs à la qualité physico-chimiques (pH, CE, chlore, nitrites et ammonium) et organoleptique (turbidité) ont été déterminés en utilisant des méthodes normalisées.

Il en ressort selon les résultats obtenus que l'ensemble des paramètres mesurés sont conformes aux normes aussi bien nationales qu'internationales, et que globalement les eaux du forage de Ras El Ain sont bonnes pour la consommation.

Mots clés : Forage Ras El Ain, qualité physico-chimique, organoleptique, Seaco.

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

Jury d'évaluation :

Président du jury : TOUATI Laid (MCA - UFM Constantine1)

Rapporteur : SAHLI Leila (MCA - UFM Constantine1)

Examineur : BAZRI Kamel Eddine (MCA - UFM Constantine1)

Date de soutenance : Juin 2018