

UNIVERSITE SAAD DAHLAB – BLIDA 1

Faculté de technologie

Département de Génie des Procédés



MEMOIRE DE MASTER

Spécialité : **Génie de l'Environnement**

Thème :

**Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique
de l'eau du réseau de la région d'Alger : Cas de Kouba.**

Préparé par :

MEKHATRI Ahmed

Dirigé par

M. O. BOURAS

Remerciements

Remerciements :

En tout premier lieu, je remercie ALLAH, tout puissant, de nous avoir donné la force pour survivre, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés et terminer ce modeste travail.

Cette étude a été réalisée en étroite collaboration avec les Messieurs BOURAS. O, BENSALIA. D et TOUAMI. S. Nous tenons à les remercier vivement sur la confiance qu'ils nous ont témoignée, pour leur disponibilité ainsi que pour leurs précieux conseils qui nous ont permis de mener à bien ce travail. .

Nos sincères reconnaissances vont à ma famille et surtout aux parents qui nous ont soutenus durant cette période.

Nos vifs remerciements vont aussi à l'équipe de la SEEAL, les différents laboratoires où nous avons effectué les analyses. Nous remercions vivement tous les responsables et leurs équipes respectives pour leurs disponibilités et leurs contributions à la réalisation de ce travail.

Nos remerciements vont également au secrétaire général de l'APC de Kouba et au médecin responsable du bureau d'hygiène de Kouba, ainsi qu'à toute l'équipe de l'ADE, notamment la directrice de l'ADE et le chef de département des laboratoires de l'ADE,

Nous ne pourrions pas terminer sans remercier tous les enseignants de notre Département de génie des procédés qui ont participé à notre formation tout au long de notre parcours universitaire, ainsi, nos vifs remerciements s'adressent à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de cette humble étude.

Dédicace :

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut mais tout simplement que...

Je dédie ce modeste travail à :

- ✓ Mes chers parents
- ✓ Mes frères et sœurs
- ✓ Ma famille (tantes et oncles paternels et leurs conjoints, tantes et oncles maternels et leurs conjoints)
- ✓ Mes cousins et cousines
- ✓ Mes amies et collègues
- ✓ A toutes les personnes qui ont participé à l'élaboration de ce modeste travail

Introduction générale

Introduction générale :

L'eau constitue non seulement un élément indispensable pour le développement socio-économique et durable, mais également un véritable réacteur, où l'eau et son contenant sont le siège d'interactions physico-chimiques et microbiologiques. L'homme doit l'avoir à sa disposition en quantité suffisante et en qualité satisfaisante. Pour répondre à ces besoins, l'évaluation de la qualité de l'eau constitue jusqu'au bout un enjeu prioritaire, faisant l'objet de nombreux travaux partout dans le monde. Cette évaluation nécessite la connaissance des caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques de ces eaux afin d'avoir des meilleures connaissances surtout sur le plan de vulnérabilité à une éventuelle pollution. Il est cependant à noter que les consommateurs renoncent fréquemment à consommer l'eau de robinet, en raison de la perception du risque et la non-satisfaction de la qualité esthétique de l'eau. A cet égard, l'évaluation de la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine dans la région de Kouba fait l'objet de cette humble étude. Pour atteindre cet objectif, la structuration de ce modeste travail est fondée sur trois principales étapes :

Dans la première étape, on s'intéresse à une étude bibliographique sur la qualité des eaux, leurs caractéristiques et les différentes formes de dégradation de celle-ci.

Dans un second volet, on va présenter la zone d'étude, les techniques et les modes appliqués pour l'analyse d'eau.

Quand à la dernière partie, elle est consacrée aux résultats et discussion.

ملخص:

تهدف هذه الدراسة أساسا إلى تقييم نوعية المياه الفيزيوكيماوية و البكتيريولوجية لمياه الشرب على مستوى بلدية القبة- ولاية الجزائر- مع الأخذ بعين الاعتبار تآكل القنوات الناتجة عن نوعية المياه. بناء على ذلك فإنه تم أخذ عينات مياه خام و أخرى معالجة. نتائج التحاليل الفيزيوكيماوية أثبتت أن هذه المياه لا تشكل أي خطر على صحة الانسان ، بينما النتائج البكتيريولوجية أثبتت وجود بعض البكتيريا (22% منها غير موافقة للمعايير الدولية) مما يحول دون استعمالها قبل إجراء تحاليل أخرى تكميلية. في المقابل، أثبتت مؤشرات Larson و Langelier أن هذه المياه لها تأثير على قنوات المياه المستعملة.

كلمات مفاتيح: تقييم، نوعية فيزيوكيماوية، نوعية بكتيريولوجية تآكل، بلدية القبة .

Résumé :

La présente étude s'est consacrée à l'évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de consommation au niveau de la commune de Kouba wilaya d'Alger, en tenant compte des problèmes liés à la distribution de l'eau, à savoir, la corrosion des conduites. Pour atteindre cet objectif, des prélèvements d'eau ont été menés, au niveau des différents points d'eau à savoir : les eaux brutes, les usines de production ainsi que les lieux de stockage de l'eau. Les résultats obtenus au cours de cette étude indiquent que la qualité physico-chimique de l'eau sur l'ensemble des échantillons analysés est conforme aux normes de potabilité. Par contre, sur le plan microbiologique, la recherche et le dénombrement des bactéries ont révélé un taux de 22% de non-conformité d'où ces eaux ne peuvent être consommées qu'après une confirmation pour affirmer les résultats obtenus. Sur le plan d'agressivité et de corrosivité des matériaux en contact avec l'eau, les indices de Langelier et de Larson, il en ressort que l'eau produite par la station d'El-Hamma présente des caractéristiques de corrosivité et d'agressivité importante, quand aux eaux distribuées par le SPIK et le champs captant de Baraki, elles ont un potentiel d'entartrage et de corrosivité important.

Mots clés : évaluation, qualité physico-chimique, qualité bactériologique, corrosion, commune de Kouba.

Abstract :

This study aims to evaluate the physicochemical and bacteriological quality of water at the municipality of kouba,taking into consideration the problems related to the distribution of water namely the corrosion of pipes.to achieve this objective, water samples were taken at different water points such as: raw water, production plants as well as water storage places, The results obtained during this study indicate that the physicochemical quality of water on the samples analysed is in compliance with the standards, on the other hand ,at a microbiological level, the search and enumeration of bacteria revealed a rate of 22% of non-conformity from which these waters can only be consumed after a confirmation to affirm the results obtained.in terms of aggressiveness and corrosion of the materials in contact with water, the Langelier and Larson indication show that the water produced by El-Hamma station has corrosion and significant aggression, when water distributed by the SPIK and the field capturing Baraki,they a significant potential for scaling and corrosion.

Keywords: evaluation, quality physicochemical, quality bacteriological, corrosion, municipality of Kouba.

Table des matières

Table des matières :

Dédicaces	I
Remerciements	II
Résumé	III
Liste des abréviations	IV
Liste des tableaux.....	V
Liste des figures	VI
Sommaire	VII
Introduction générale.....	1
Chapitre 1 :	
Généralités sur les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des eaux	
1.1. Introduction	2
1.2. Les différents types d'eau.....	2
1.2.1 Eaux de surface	2
1.2.2. Eaux souterraines	3
1.2.3. Eau de Mer	4
1.2.4. Eaux destinées à la consommation humaine	4
1.3. Paramètres de qualités des eaux potables	4
1.3.1. Paramètres physico-chimiques	4

Table des matières

1.3.2. Paramètres microbiologiques	4
1.3.3. Paramètres indésirables	5
1.3.4. Paramètres toxiques	5
1.3.5. Pesticides et produits apparents	5
1.3.6. Paramètre concernant les eaux adoucies ou déminéralisées	5
1.4. Facteurs de dégradation de la qualité de l'eau	5
1.4.1. Facteurs physicochimiques	6
1.4.1.1. PH et minéralisation.....	6
1.4.1.2. Température	6
1.4.1.3. Oxygène dissous	6
1.4.1.4. Matières organiques	7
1.4.1.5. Dureté ou titre hydrométrique	7
1.4.1.6. Conductivité électrique	7
1.4.1.7. Alcalinité	7
1.4.1.8. COT	7
1.4.1.9. Matières en suspension	7
1.4.1.10. L'azote (Ammonium, Nitrites et Nitrates)	8
1.4.1.11. Les ions Chlorure	8
1.4.1.12. Sulfates.....	8
1.4.1.13. Métaux lourds	9
1.4.2. Paramètres organoleptique	9
1.4.2.1. Gout et odeur	9
1.4.2.2. Couleur	10
1.4.2.3. Turbidité.....	10
1.4.3. Paramètres microbiologiques	10
1.4.3.1. Germes totaux	10
1.4.3.2. Coliformes fécaux	11
1.4.3.3. Streptocoques fécaux	11
1.4.3.4. Anaérobies sulfito-réducteur	11

Table des matières

1.5. Pollution des eaux	12
1.5.1. Sources ponctuelles	12
1.5.2. Source non ponctuelle (diffuse)	12
1.6. Principaux types de pollution	13
1.6.1. Pollution physique	13
1.6.2. Pollution chimique.....	13
1.6.3. Pollution biologique.....	13
1.6.4. Pollution organique	13
1.7. Les Maladies à transmission hydrique	13
1.8. Facteurs favorisant le développement algal	14
1.9. Formation du biofilm et caractéristiques	15
1.10. Influence des phénomènes de corrosions sur la qualité de l'eau	16
1.10.1. Indice de Langelier (indice de saturation)	17
1.10.2. Indice de Larson (indice de corrosivité)	17
1.11. Influence des phénomènes d'entartrage sur la qualité de l'eau	18
1.12. Qualité des matériaux en contact avec l'eau potable.....	19
1.13. Désinfection de l'eau	19
1.14. Normes d'interprétation	20
1.14.1. Paramètres physico-chimiques.....	20
1.14.2. Paramètres microbiologiques	21
1.15. Conclusion	21

Table des matières

Chapitre 2 :

Méthodes et Matériel

2.1. Introduction	22
2.2. Présentation de la Zone d'étude	22
2.3. Prélèvement, et transport des échantillons.....	24
2.4. Périodicité d'échantillonnage	25
2.5. Méthodes d'analyse.....	26
2.5. 1. Détermination et Mesure des paramètres physico-chimiques	26
2.5. 1.1. Mesure de la turbidité par méthode nephométrique.....	26
2.5. 1.2. <i>Mesure de la conductivité</i>	26
2.5.1.3. Détermination du pH, de la température et du bicarbonate par l'Automate METHROM	26
2.5. 2. Dosage des paramètres chimiques	27
2.5. 2.1. <i>Dosage des sulfates</i>	27
2.5. 2.2. <i>Dosage de l'ammonium par spectrométrie</i>	27
2.5.2.3. <i>Dosage des orthophosphates par spectrophotométrie</i>	27
2.5. 2.4. Dosage des nitrites par spectrophotométrie d'adsorption moléculaire :.....	28
2.5.2.5. Dosage des chlorures par titrage au nitrates d'argent avec du chromate comme indicateur	28
2.5. 2.6. <i>Détermination des nitrates par analyse à flux continu</i>	29
2.5.2.7. Dosage du potassium et sodium par ICP-OES	29

Table des matières

2.5. 2.8. Test de chlore résiduel	29
2.5. 3. Analyses bactériologiques	30
2.5. 3.1. Recherche et dénombrement des Germes revivifiables par méthode filtration sur membrane	30
2.5. 3.2. Recherche et dénombrement des E-Coli et des bactéries coliformes par méthode filtration sur membrane	31
2.5. 3.3. Recherche et dénombrement des Entérocoques intestinaux par méthode filtration sur membrane	32
2.5. 3.4. Recherche et dénombrement des spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices par méthode filtration sur membrane	33
2.6. Conclusion	34

Chapitre 3 :

Résultats et Discussion

3.1. Introduction	35
3.2. Analyse du chlore résiduel	35
3.3. Suivi de la qualité physico-chimique des points d'eau analysés	36
3.3.1. pH.....	36
3.3.2. Conductivité	37
3.3.4. Turbidité	37
3.3.3. Oxygène dissous	37
3.3.5. Température	37
3.3.6. Nitrates	37
3.3.7. Chlorures	38

Table des matières

3.3.8. Sulfates.....	38
3.3.9. Orthophosphates, Ammonium, Nitrites et Fer.....	38
3.4. Suivi de la qualité bactériologique des points d'eau analysés	38
3.5. Qualité des eaux et l'agressivité des matériaux : quelle relation ?	41
3.5.1. SPIK- Système de production Isser-Kaddara	41
3.5.2. Station d'El-Hamma	42
3.5.3. Champ captant de Baraki	43
3.6. Conclusion	43
Conclusion générale.....	73
Références bibliographiques	VIII
Annexe	XI

Chapitre 1 :

**Généralités sur les caractéristiques
physico-chimiques et bactériologiques des
eaux**

Chapitre 1 :

Généralité sur les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des eaux

1.1. Introduction :

Ce chapitre consiste à faire une revue synthétique de la littérature en rapport à la qualité de l'eau, ainsi que les principaux paramètres en lien à la qualité de l'eau qui sont considérés dans le cadre de cette étude.

La question de la qualité de l'eau constitue jusqu'à présent un enjeu prioritaire faisant l'objet de nombreux travaux partout dans le monde. Nous allons présenter dans un premier temps quelques aspects généraux portant sur l'identification de la source éventuelle de contamination. Dans un second temps, nous présenterons les différentes formes de dégradation de la qualité de l'eau et les nuisances engendrées, en se référant au règlement de la qualité de l'eau.

1.2. Les différents types d'eau :

1.2.1 Eaux de surface :

Les eaux de surface alimentées par le ruissellement des eaux de pluies [1] qui coulent ou stagnante [2], ces eaux sont départ leurs constitutions [3] des milieux propices à la vie, ce qui traduit, la présence d'algues, de protozoaires, de bactéries...etc. [1]. Par rapport à l'eau souterraine, les eaux de surface présentent une plus grande vulnérabilité surtout en matière de contamination [4, 5]. En effet, la qualité des eaux de surface peut être très variable selon, le terrain qu'elles traversent et au cours d'une année à une autre [6], ou encore, aux échanges : Eau/atmosphère [7]. En générale, les eaux de surface s'avèrent impropre à la consommation sans subir à un traitement, d'où, la nécessité des installations de traitement (figure 1.1) [8].

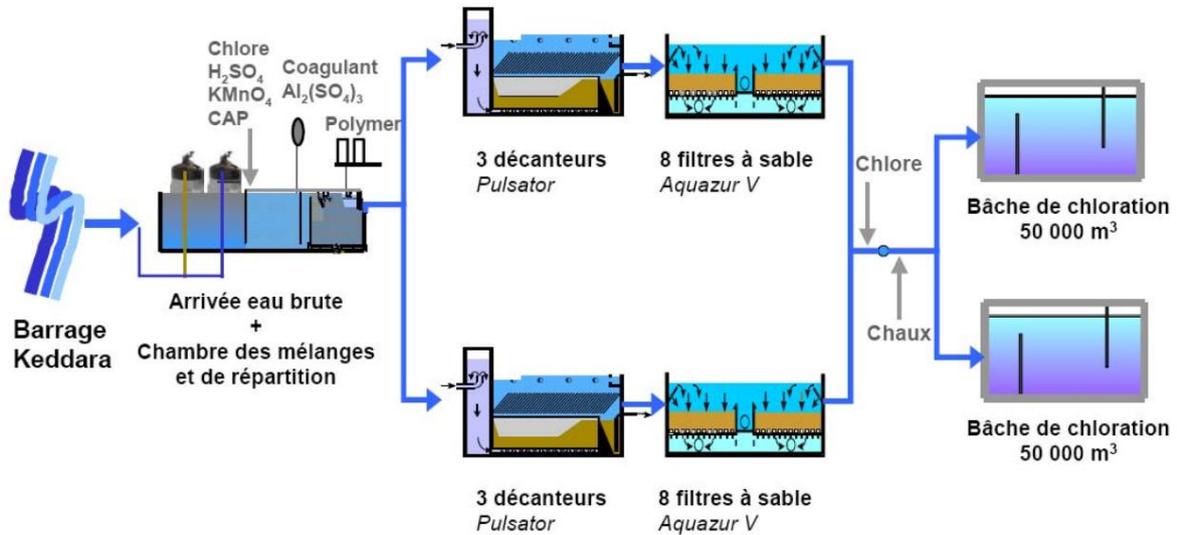


Fig.1. 1. *Etapes de traitement en usine de production d'eau potable (Schéma conceptuel 1).*

1.2.2. Eaux souterraines :

Les eaux souterraines proviennent des eaux de pluies qui s'infiltrent dans le sol [9]. Elles peuvent provenir également d'eaux superficielles s'infiltrant sous le sol [5]. Ces eaux sont habituellement les ressources en eau les plus privilégiées pour l'eau de consommation, car à l'abri des pollutions éventuelles que les eaux de surfaces [10]. Leur qualité va donc être influencée par la géologie du terrain et se charge de sels minéraux [5]. Toutefois certaines caractéristiques minimales sont exigées et permettent de savoir si-elles-ci conviennent à un usage particulier [10] ou nécessitent inévitablement un traitement pour rendre l'eau potable (figure 1.2) [11].

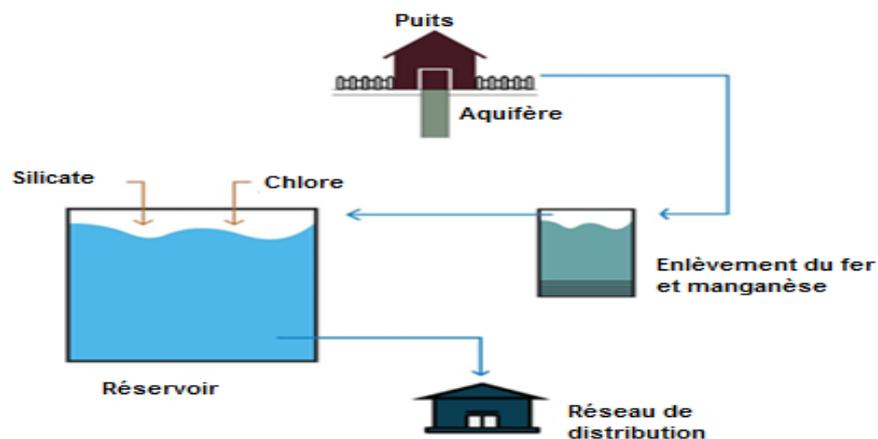


Fig.1. 2. *Etapes de traitement en usine de production d'eau potable (Schéma conceptuel 2).*

1.2.3. L'eau de Mer :

L'eau de mer est considérée comme une solution complexe des milieux marins et océaniques. Elle contient pratiquement tous les éléments indispensables à la vie aquatique tels que : le carbone, les oligo-éléments. L'eau de Mer est faiblement alcaline, son pH est compris entre 7,5 et 8,4 et la salinité est d'environ 35 g/L [12]. Elle doit donc être traitée pour être rendu potable [13].

1.2.4. Eaux destinées à la consommation humaine :

Selon l'OMS, une eau est dite potable lorsqu'elle présente certaines caractéristiques (critères de potabilités) et qui ne doit pas contenir des micro-organismes pathogènes et des substances toxiques [5] constituant un danger potentiel pour la santé humaine et être conformes aux limites de qualité [1]. Selon la directive 98/83/CE du conseil du 03/11/1998 de l'Union Européenne, les eaux de consommation sont définies comme étant : toutes les eaux, soit en état, soit après traitement, destinées à la boisson (Eaux de robinet, eaux conditionnées), à la cuisine, à la préparation d'aliments, ou à d'autres usages domestiques. Quelle que soit leur origine, et qu'elles soient fournies par un réseau de distribution, à partir d'un camion citerne, ou d'une bateau citerne, en bouteille ou en conteneur [14]. L'eau de consommation est obtenue depuis les différentes sources : eaux de surface, eaux de source et eaux de pluie [14].

1.3. Paramètres de qualités des eaux potables (critères de potabilité) :

Pour pouvoir consommée sans danger par la population, l'eau doit subir et répondre à des critères de qualité selon les exigences réglementaires, ces critères portent essentiellement sur :

1.3.1. Paramètres physico-chimiques: Ils sont en relation directe avec les caractéristiques des eaux comme le pH, la température...etc. ces paramètres concernent donc tout ce qui est relatif à la structure naturelle de l'eau et délimitent des concentrations maximales pour un certain nombre d'éléments, notamment des ions comme les chlorures, le potassium et les sulfates [2].

1.3.2. Paramètres microbiologiques:

Les paramètres microbiologiques nous a permet de vérifier si l'eau ne contient pas de germes pathogènes qui provoqueraient des maladies chez les consommateurs [2] telles que : les Coliformes fécaux, les streptocoques fécaux, et les clostridium sulfitoréducteurs. Les clostridium sulfitoréducteurs sont des germes capables de sporuler et de se maintenir

longtemps dans l'eau sous une forme végétative. Ils sont donc les témoins d'une pollution ancienne. Les clostridium sont plus difficilement limités que les coliformes par les désinfectants, ils constituent aussi un bon indicateur de l'efficacité de la désinfection. Les bactéries recherchés dans les eaux traitées ne sont qu'exceptionnellement celles qui ont un caractère pathogène. En dehors des éventuelles périodes de crise (épidémie d'une maladie d'origine hydrique), on se contente de rechercher ce qu'il est convenu d'appeler les germes tests de contamination fécale [5].

1.3.3. Paramètres indésirables :

Les éléments indésirables peuvent créer un désagrément pour le consommateur (goût, couleur et odeur causés par les matières organiques, phénols, fer ou encore des effets gênants pour la santé comme par exemple les nitrates, fluor...etc. La contamination de l'eau doit donc être surveillée prioritairement par les paramètres de pollution (Nitrates, Nitrites, ammonium et la concentration en fer) [15]. Ces paramètres font l'objet de seuils maximaux d'admissibilité [2].

1.3.4. Paramètres toxiques :

Certains éléments traces toxiques (par exemple: Pb, Cr, As et Cd ...etc.) peuvent être néfastes à la santé du consommateur si leur concentration est élevée. Leur présence dans l'eau est extrêmement faible, car ce sont des poisons mortels pour l'homme [2].

1.3.5. Pesticides et produits apparentés :

Ce paramètre concerne les doses infimes de pesticides et de produits apparentés dont plusieurs centaines de substance entrent dans cette catégorie [5].

1.4. Facteurs de dégradation de la qualité de l'eau :

Il y a plusieurs facteurs qui participent à la dégradation de la qualité de l'eau de consommation dont les principaux sont : le type de matériau utilisé, l'âge de la plomberie, la période de stagnation de l'eau et la qualité de l'eau dans le réseau. Ces facteurs ont une influence directe ou indirecte sur la santé publique [16].

1.4.1. Facteurs physicochimiques :

1.4.1.1. pH et minéralisation :

Dans le réseau d'eau potable, le pH et la conductivité électrique (qui estime le degré de minéralisation) sont aussi importants pour le contrôle de la solubilité des sous-produits de la corrosion, l'agressivité de l'eau, l'action du désinfectant et la précipitation des éléments dissous. Pour le pH, il peut varier le long de la distribution selon la concentration de CO₂ dissous, ou faute de l'équilibre calcocarbonique en sortie de la station de traitement. Il est important de souligner à cet égard que l'aération dans un réservoir peut rendre une eau dure, risque d'engendrer l'entartrage et l'obstruction des conduites, cependant, une eau chargée en CO₂ agressif (avec un pH bas) peut attaquer les matériaux qu'elle rencontre dont les répercussions sont onéreuses. En l'occurrence : corrosion des métaux ferreux, et l'attaque de métaux toxiques tels que le plomb. Selon l'OMS, des valeurs de pH inférieures à 5 ou supérieures à 8,5 affectent la croissance et la survie des micro-organismes aquatiques [16].

1.4.1.2. Température :

La température acceptable de l'eau potable est d'environ 15°C. Elle a une influence particulière sur les paramètres physico-chimiques [17] (la solubilité de l'oxygène dissous, la viscosité), microbiologiques et l'acceptabilité de l'eau de boisson [17]. Quand par exemple, les eaux naturelles sont au-dessus de 15°C, il y a risque de croissance accélérée de micro-organismes, d'algues, entraînant des goûts et des odeurs désagréables ainsi qu'une augmentation de couleur, de la turbidité [6], un effet sur le taux de corrosion suivi d'un relargage de quelques substances dans le réseau comme par exemple le plomb, le fer et le cuivre [16]. La température est aussi considérée comme facteur clé dans la formation des SPC [6].

1.4.1.3. Oxygène dissous :

La teneur en oxygène de l'eau naturelle varie avec la température, la salinité, la turbulence, l'activité photosynthétique des algues et des plantes et la pression atmosphérique [18] où encore suite à la prolifération des bactéries [16].

1.4.1.4. Matières organiques :

La maîtrise de la qualité bactériologique de l'eau est liée essentiellement avec la matière organique, car la source nutritive pour la prolifération bactérienne. Sa présence contribue au maintien dans le réseau d'une population bactérienne vivante et stable, même en présence de chlore [16].

1.4.1.5. Dureté ou titre hydrométrique (TH) :

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau est une grandeur reliée à la somme des concentrations en cations métalliques, à l'exception de ceux des métaux alcalins (Na^+ , K^+). Dans la plupart des cas, la dureté est surtout due aux ions calcium Ca^{2+} et magnésium Mg^{2+} [6]. La présence de ces deux cations dans l'eau tend souvent à réduire la toxicité des métaux. Une eau à titre hydrotimétrique élevé est dite dure, dans le cas contraire il s'agit d'une eau douce [19].

1.4.1.6. Conductivité électrique :

La conductivité électrique traduit la capacité d'une solution aqueuse à conduire le courant électrique [1]. Elle est souvent liée à la concentration en sels minéraux dissous et varie avec la température. Une conductivité élevée traduit soit des pH anormaux, soit le plus souvent une salinité élevée [15].

1.4.1.7. Alcalinité :

L'alcalinité d'une eau correspond à sa capacité à réagir avec les ions hydrogène (H^+) qui est due à la présence des ions hydrogénocarbonate (HCO_3^-), carbonate (CO_3^{2-}) et hydroxyde (OH^-) [15]. On distingue deux types d'alcalinité : TA ou titre alcalimétrique, qui permet de déterminer, en bloc, la teneur en hydroxydes et seulement la moitié de celle en carbonate et TAC ou titre alcalimétrique complet qui assure la détermination de la teneur en hydrogénocarbonates [6]. La connaissance de la valeur de ce paramètre est essentielle pour l'étude de l'agressivité d'une eau (pouvoir corrosif) [19]. Le TAC d'une eau potable ne doit pas être inférieur à $2,5^\circ \text{F}$ [1].

1.4.1.8. Matières en suspension (MES) :

Les matières en suspension, représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux [9]. Elles peuvent être composées de particules de sable, de terre et de sédiment arrachées par l'érosion, de divers débris apportés par les eaux usées [1]

de la saison, de la pluviométrie, du régime d'écoulement des eaux, de la nature des rejets,...etc. Les teneurs élevées en matières en suspension peuvent être considérées comme une forme de pollution [9].

1.4.1.9. Azote (Ammonium, Nitrites et Nitrates) :

Il existe dans le milieu aquatique sous quatre formes: ammoniac (NH_3), nitrate (NO_3^-), nitrite (NO_2^-) et ion ammonium (NH_4^+) [18]. L'ammonium/ammoniac de l'environnement provient du métabolisme naturel des êtres vivants, de l'agriculture et des procédés chimiques. L'oxydation de l'ion ammonium conduit à la formation d'ions par les bactéries du genre *Nitrosomonas*, puis en ions nitrate par les bactéries du genre *Nitrobacter* [17].

Ces deux espèces sont toxiques pour la faune aquatique et peuvent provoquer un risque pour la santé publique (p.ex. vertiges et hypotension). Elles produisent une prolifération bactérienne sur le réseau traduit par une dégradation des qualités organoleptique de l'eau et la corrosion des canalisations [15].

1.4.1.10. Chlorure :

Les chlorures existent pratiquement dans toutes les eaux avec des teneurs extrêmement variables [19]. Les eaux provenant des régions granitiques sont pauvres en chlorures, alors que les eaux des régions sédimentaires en contiennent davantage [15]. Elles sont liées principalement à la nature des terrains traversés [6], des activités humaines et industrielles et des infiltrations d'eaux marines dans les nappes phréatiques [19]. Des concentrations élevées en chlorures dans l'eau potable peuvent procurer un goût salé [6] et risque par ailleurs de provoquer la corrosion du réseau de distribution [20].

1.4.1.11. Sulfates :

Les sulfates peuvent être trouvés dans presque toutes les eaux naturelles en proportion très variables [15]. Le sulfate de calcium est la forme la plus souvent retrouvée dans les ressources en eau. Les concentrations les plus élevées en sulfates se produisent dans les eaux souterraines. Elles sont généralement d'origine naturelle, mais peuvent également avoir une origine anthropique (industries chimiques) [21] ou encore lors de l'étape de dosage de réduction du chlore par le bisulfate de sodium [9]. Les sulfates sont susceptibles d'avoir une gêne pour le consommateur en provoquant des nuisances d'ordre organoleptiques et sanitaires (corrosion, gout et troubles gastro-intestinaux) [9]. Ils peuvent être attaqués par les bactéries

sulfato-réduction contenues dans l'eau qui les réduisent en sulfure d'hydrogène (H_2S) avec dégagement de gaz sulfureux (œufs pourris) [22].

1.4.1.12. Métaux lourds :

Les métaux lourds ont un fort impact toxicologique pour les systèmes biologiques [23]. Les principaux d'entre eux sont : L'argent, cadmium, cuivre, mercure, nickel, plomb, zinc ...etc [6]. Pour cela, L'application des critères de qualité de l'eau s'avère en termes de métaux lourds important [24]. Certains d'entre eux sont rarement présents dans les eaux à l'état naturel mais sont apportés par les divers rejets.

La dose dangereuse est difficile à fixer car la toxicité de ces éléments est surtout d'origine cumulative [23].

Parmi les métaux lourds qui peuvent présenter un danger pour la santé :

✓ Fer et Manganèse :

Ils sont présents principalement dans les eaux souterraines mais également dans certaines eaux superficielles [25]. Ils sont souvent associés [6]. Leur solubilité dépend de nombreux paramètres comme le pH, la turbidité ou encore la teneur en oxygène dissous de l'eau [25]. Lorsque certaines limites sont dépassées, le Fer et manganèse entraînent divers inconvénients et des conséquences similaires : formation de dépôts dans les canalisations favorisant le développement de bactéries filamenteuses [23], goûts désagréables...etc [6].

Il est à noter que, le déversement des eaux usées dans les cours d'eau est particulièrement dangereux en raison de la présence des sels de fer [23].

1.4.2. Paramètres organoleptique :

1.4.2.1. Gout et odeur :

Dans l'idéal, l'eau potable ne doit présenter ni odeur, ni saveur perceptibles. La saveur d'une eau est liée à la présence de certains éléments organiques. Le changement de couleur d'une eau potable est considéré comme signe d'un problème de qualité. Il est généralement causé par des substances minérales comme le fer ou le manganèse (impuretés), des substances organiques [26] ou des métabolites de certains microorganismes vivant dans l'eau comme certaines algues ou champignons microscopiques [27]. Ce sont principalement les algues de la famille des cyanobactéries, des diatomées, des chrysophytes et des chlorophycées qui peuvent apporter un mauvais gout et odeur nauséabonde à l'eau brute [28], les rejets urbains ou

industriels, de lacune dans le traitement ou de contamination dans le réseau de distribution...etc [21].

1.4.2.2. Couleur :

Le premier signe d'un problème de qualité c'est bien la couleur [9]. Le degré de couleur dépend non seulement de la concentration en matières colorantes, mais aussi du pH et de la turbidité [27].

1.4.2.3. Turbidité :

La turbidité consiste au mesure de l'aspect trouble de l'eau [16] dû à la présence de particules en suspension (résidus organiques, argiles,...etc.) et colloïdales dans l'eau [17]. La turbidité doit être éliminée non seulement pour améliorer l'aspect esthétique de l'eau de consommation mais plutôt pour permettre une meilleure désinfection [16]. Elle peut limiter l'efficacité du désinfectant (support aux microorganismes) en augmentant la consommation du chlore [17]. Ainsi, les particules colloïdales peuvent en outre, protéger les bactéries des oxydants [16]. Dans le réseau de distribution, après le traitement de l'eau, la turbidité peut s'accroître par la post-floculation de coagulants résiduels dissous, la recroissance de micro-organismes, la remise en suspension de la matière déposée dans les canalisations ainsi que par la corrosion de la tuyauterie [17]. Une eau turbide peut poser plusieurs problèmes tels que : corrosion important des conduites, précipitation de fer, aluminium ou manganèse induites par une oxydation dans le réseau est considérée comme indicateur de traitement global [16].

1.4.3. Paramètres microbiologiques :

1.4.3.1. Germes totaux :

Ce sont des germes qui se développent dans les milieux aérobies, sélectifs à des températures de 20°C en 72h ou 37°C en 24h [6].

Les coliformes totaux sont des bactéries en forme de bacilles, non sporulantes, gram négatif, aérobies facultatives [20] sélectifs à des températures de 20°C en 72h ou 37°C en 24h [12] [6]. Les coliformes totaux ne sont pas nécessairement des bactéries originaires du système intestinal. Plusieurs bactéries qui font partie du groupe des coliformes totaux se retrouvent en fait sur les feuilles des arbres et sur toute autre forme de végétation ou dans les intestins des mammifères [20].

Les coliformes totaux n'entraînent en général aucune maladie [20], mais leur présence indique qu'une source d'approvisionnement en eau peut être contaminée par des micro-organismes

plus nuisibles [6]. En effet, ils sont sensibles au chlore. Leur présence dans les échantillons d'eau peut indiquer l'existence d'un biofilm ou un manque d'efficacité du traitement [28].

Pour ces types de problèmes, la numération des bactéries hétérotrophes (NBH) est un meilleur indicateur, car elle englobe un plus large éventail de bactéries [28].

1.4.3.2. Coliformes fécaux (CF) :

Les coliformes fécaux (coliformes thermotolérants) sont un sous-groupe des coliformes totaux [29] capables de fermenter le lactose à une température de 44,5°C [30]. *L'Escherichia coli fait partie des coliformes fécaux [21] qui représente 80% à 90% des coliformes thermotolérants détectés [30].* Les coliformes fécaux sont en fait 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.

Ils sont considérés comme indicateurs d'une éventuelle dégradation de la qualité microbiologique (contamination fécale) de l'eau [20].

Les coliformes fécaux sont aussi des bons indicateurs de l'efficacité du traitement de l'eau. Le risque sanitaire est que la présence des coliformes fécaux peut être une indication de la présence de micro-organismes entéropathogènes, comme les salmonelles [30].

1.4.3.3. Streptocoques fécaux (Entérocoques) :

Les streptocoques fécaux sont des lactobacilles à gram positif, anaérobies facultatifs, sont en grande partie d'origine humaine [31]. Les streptocoques fécaux s'apparentent aux coliformes fécaux. Ils sont donc des bactéries pathogènes [20], résistent aux agents désinfectants [30].

1.4.3.4. Anaérobies sulfito-réducteur (ASR) :

Ce sont des germes permettant d'apprécier la qualité hygiénique des bactéries, anaérobie stricte, sporulés, Gram positif, réduisent les sulfites en sulfures. Ils sont résistants aux conditions défavorables grâce à la sporulation [32] comme les spores de *Clostridium sulfito-réducteurs* et celles de certains *Bacillus sulfito-réducteurs*. Dans le cas des eaux brutes de surface destinées à la potabilisation, leur recherche n'a d'intérêt que pour vérifier l'efficacité du traitement de potabilisation. Les spores sont plus difficiles à retenir que les formes végétatives et sont beaucoup plus résistantes que les bactéries végétatives [33].

N.B :

L'évaluation de la charge microbiologique de l'eau potable repose sur le principe de l'indicateur microbien. Pour évaluer la salubrité de l'eau potable, l'OMS recommande principalement la recherche et le dénombrement des indicateurs bactériens suivants :

Coliformes totaux, coliformes fécaux, streptocoques fécaux et clostridium sulfo-réducteurs.

En fait, il convient de distinguer deux types d'indicateurs :

-Indicateurs de contamination : Ils assurent le rôle d'indicateur d'une contamination éventuelle par les micro-organismes pathogènes.

-Indicateurs d'efficacité de traitement : Ils conviennent à l'évaluation des capacités de traitement et notamment, de désinfection vis-à-vis d'un ou de plusieurs micro-organismes pathogènes. Il en résulte que pour servir d'indicateur de contamination fécale, un organisme doit présenter un certain nombre de caractéristiques [30] :

1.5. Pollution des eaux :

La pollution de l'eau est généralement causée par les rejets d'eaux usées, y compris les infiltrations des sites d'enfouissement domestiques pour les eaux souterraines. Elle est également causée par les effluents industriels, l'agriculture...etc. Les sources de pollution sont classées en deux types : les sources de pollution ponctuelles et non ponctuelles [18].

1.5.1. Sources ponctuelles :

Selon Marquita (1997), la pollution de source ponctuelle provient d'une source unique identifiable qui rejette des polluants à des endroits spécifiques par des tuyaux, des fossés ou des égouts dans des eaux de surface. Les exemples incluent les usines, les usines de traitement des eaux usées, les mines souterraines actives et abandonnées,...etc. Comme les sources ponctuelles se trouvent à des endroits spécifiques, elles sont facilement identifiables et de ce fait, facile à surveiller et à régler [18].

1.5.2. Source non ponctuelle (diffuse) :

Les sources de pollution diffuses sont des sources à faible concentration couvrant une vaste zone. Les eaux de ruissellement provenant des terres agricoles entraînent du limon, de l'argile, des engrais, des pesticides ainsi que des matières organiques et des bactéries dans les cours d'eau. Elles ont été identifiées comme la principale cause de pollution de l'eau dans de nombreux pays. Quatre-vingt-dix pour cent (80%) des masses d'eau altérées ne répondent pas aux normes de qualité de l'eau en raison d'une pollution de source diffuse. Elles sont difficiles

à contrôler et à gérer. Il a en outre noté que la solution à long terme à ce problème consistait à modifier l'utilisation et la gestion des terres [18].

1.6. Principaux types de pollution : Les différents types de pollution qui peuvent rencontrés dans l'eau sont :

1.6.1. Pollution physique : Il s'agit des matières (inorganiques) entraînés par l'eau telles que : le sable (particules minérales), l'argile, les matières en suspension, les éléments grossiers...etc [22, 30]. La contamination physique affecte la couleur, l'odeur ou le goût. En effet, des moustiques peuvent se développer autour des réservoirs de stockage en cas d'absence de couvercle et par conséquent, peuvent transmettre des maladies [30].

1.6.2. Pollution chimique : La pollution chimique est très largement répandue et très diverse. Il s'agit de contaminations par des composés inorganiques, par exemple : chlorures, sulfates, nitrates, phosphates, métaux lourds...etc [27] et des éléments chimiques organiques comme les hydrocarbures et les pesticides [22].

1.6.3. Pollution biologique : La pollution microbiologique est définie comme étant la présence des agents pathogènes tels les bactéries, les virus, les protozoaires. Ces microorganismes viennent généralement des eaux usées, de fuites de canalisations d'eau potable et d'égouts, d'épandages...etc [7]. Le risque microbiologique est majoritairement associé à l'ingestion d'eau en cas de contact avec lesdits microorganismes d'ingestion de l'eau qui en est porteuse [30].

1.6.4. Pollution organique : La pollution organique est probablement la plus fréquente. Elle comprend essentiellement des composés biodégradables dont l'origine soit urbaine (protéines, glucides et lipides), ou encore industrielle (produits organiques toxiques tels que les phénols, les pesticides, les hydrocarbures, les détergents, ...etc [7].

1.7. Maladies à transmission hydrique (MTH) :

Les maladies d'origine hydrique peuvent être transmises par quatre voies principales: voie transmise par l'eau, voie lavée à l'eau, voie à base d'eau et voie insecticide / vecteur ou voie liée à l'eau. Les maladies d'origine hydrique sont une cause majeure de morbidité et de mortalité surtout dans le cas où les niveaux de contamination sont élevés. (Selon l'OMS qu'environ 1,8 million de personnes meurent chaque année de maladies diarrhéiques).

Elles peuvent être causées par des protozoaires, des virus, des bactéries et des parasites intestinaux et provoquent par la suite, le déclenchement de plusieurs maladies à savoir le choléra et la dysenterie amibienne. Ces agents pathogènes, souvent d'origine fécale, pourraient provenir de sources ponctuelles (eaux usées) ou diffuse (le mauvais fonctionnement des systèmes d'égouts et des fosses septiques).

La contamination fécale de l'eau est mondialement reconnue comme l'une des principales causes de maladies d'origine hydrique. Des éclosions plus récentes impliquant *Escherichia coli* O157: H7, dont la plus grave, au Canada, au printemps 2000, ont provoqué six décès et plus de 2 300 cas. Le nombre d'épidémies signalées dans le monde montre que la transmission d'agents pathogènes par l'eau potable reste une cause importante de maladie [34].

1.8. Facteurs favorisant le développement algal :

Les algues se développent surtout dans l'eau brute qui est à l'obscurité (pour permettre la photosynthèse en libérant des gaz dans le milieu). En période chaudes et ensoleillées, en présence des conditions favorables telles que les nutriments [35]. C'est l'ammoniac qui est utilisé préférentiellement par de nombreuses algues [5], éclairage important, températures, CO₂ suffisants, eaux calmes et peu turbides.

Certaines espèces d'algues telles que les Euglenophyta préfèrent les milieux riches en matières organiques. Ainsi, les Chlorophyceae sont beaucoup plus favorisées par la présence d'un taux de manganèse inférieur à une unité par billion, soit à raison de 0,02 à 0,043 mg/l en favorisant le développement des diatomées [5].

Les principales classes d'algues rencontrées en eau douce sont les Chlorophycées, les Diatomophycées pour les eaux contenant de la silice et les Cyanophycées. Leur développement est lié à l'eutrophisation.

De plus, Les **Cyanophycées**, aussi appelées algues bleues ou Cyanobactéries. Elles sont actuellement les plus étudiées en raison de leurs effets odorants (même à des très faibles concentrations) et toxiques (comme *Microcystis aeruginosa*). Elles peuvent être libres mais aussi fixées sur les sédiments [35]. Les algues ont un effet sur la qualité de l'eau surtout en période estivale. Le développement et la présence des algues dans l'eau posent d'énormes problèmes tels que : **Oxygénation** (minimale le matin, elle peut atteindre, voire dépasser largement 100% de saturation dans la journée), **Epuration** (principe du lagunage).

Les eaux continentales soumises à l'eutrophisation sont particulièrement favorables à leur développement. Leur prolifération se caractérise par un changement de couleur de l'eau, une diminution de sa transparence et parfois l'apparition d'écume ou de mousse [5].

1.9. Formation du biofilm et caractéristiques :

Le biofilm (structure microbienne qui colonise des surfaces) constitue un habitat pour les micro-organismes, alimentés par les nutriments organiques et inorganiques. On peut citer les précipités de CaCO_3 et autres précipités venant du matériau et de la phase aqueuse [36], présents sur le réseau d'eau potable y compris la canalisation [37].

Le biofilm devient alors un endroit privilégié de métabolisme, reviviscence à partir d'une spore. Par exemple, à l'interface solide-liquide, le biofilm (comme illustré dans la Figure 1.6) représente une protection, à la fois hydraulique et chimique puisqu'il limite la diffusion des désinfectants tels que le chlore. Il assure aussi le maintien d'une activité bactériologique même en présence de concentrations élevées de chlore (dégradation du réseau) ou même d'un nettoyage incomplet. Suite aux effets d'agrégation des bactéries dans les conduites, encapsulation et attachement [16].

Cependant, des travaux antérieurs ont montré que le matériau des tuyaux de distribution, la température, le niveau de carbone organique disponible, la vitesse de l'eau et le désinfectant utilisé dans un système sont parmi les facteurs pouvant influencer sur la formation et la structure de la communauté d'un biofilms. Nous citons à titre d'exemple les β -protéobactéries qui sont les plus abondantes dans l'eau chloraminée que dans l'eau chlorée mais également dans les biofilms non chlorés. De plus, le *Pseudomonas* est l'organisme bactérien le plus abondant dans les systèmes d'approvisionnement, quelle que soit la source d'eau [20].

Les principaux problèmes de ces biofilms sont : leur impact potentiel sur la santé humaine, problèmes d'hygiène et de nettoyage, ainsi que des pertes d'énergie, des blocages dans les systèmes et une corrosion induite par les microbes [20], problèmes de goût, d'odeur et de coloration, relargage de débris biologiques et Contamination plus générale du réseau du fait des mises en suspension [16].

La formation de biofilms peut être limitée par:

- ✓ Réduction du taux de matière organique entrant dans le système de distribution ;
- ✓ Le matériau utilisé, soit à la fois chimiquement et biologiquement stable ;
- ✓ Entretien d'un résidu de désinfection par le système de distribution ;
- ✓ Prévention des eaux non facturées (stagnation) et de l'accumulation de sédiments dans les systèmes de distribution [37].

Cependant, il reste à noter que la meilleure stratégie pour contrôler l'accumulation de biofilms est le maintien dans le réseau d'une concentration élevée de désinfectant résiduel (avec précaution) comme moyen chimique à travers le réseau qui agit surtout sur la flore libre circulante (bactéries « planctoniques »). Les moyens curatifs sont physiques (racleurs, mélange air-eau, ...etc [16].

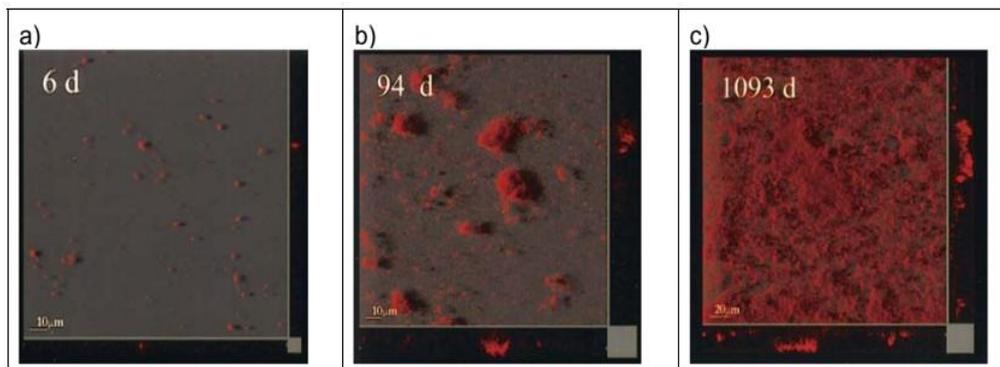


Fig.1.3. Images en microscopie laser d'un acier montrant différents stades de développement de biofilm.

1.10. Influence des phénomènes de corrosions sur la qualité de l'eau :

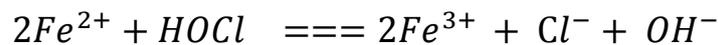
La corrosion est définie comme étant, la détérioration des propriétés utiles du métal (dégradation physique), suite au phénomène d'interaction [38] dites électrochimiques [16]. Cette interaction se fait entre un métal ou alliage métallique et son environnement [38]. Elle conduit à l'apparition dans l'eau des substances chimiques à des concentrations considérables telles que : le fer, plomb, cuivre...etc [36], un abri contre l'arrachage hydraulique pour les microorganismes, et ralentissement et modification local de l'écoulement [16].

La corrosion des matériaux pose d'énormes problèmes à savoir :

- Des pertes de production (fuites dans les canalisations) ;
- Contamination de l'eau comme par les produits de corrosion.

La corrosion est liée aux plusieurs facteurs qui conférant à l'eau une agressivité. Les principaux d'entre eux sont des facteurs liés au milieu (influence de l'oxygène, pH, température et CaCl) et des facteurs métallurgiques (composition de l'alliage, procédé d'élaboration et impuretés) [38].

Il est cependant nécessaire de rappeler la grande corrosivité des canalisations dues à la désinfection par l'eau de javel, et la corrélation entre la vitesse de corrosion et la désinfection continue avec l'augmentation de la température. Par exemple, Dans les canalisations en acier, l'oxydation du fer métallique en fer ferreux est accentuée par la présence de chlore en quantité de désinfectant résiduel. Il se produit la réaction suivante [39] :



1.10.1. Indice de Langelier (Indice de saturation) :

Cet indice est défini de la façon suivante : $IL = pH - pHS$

Une eau agressive est caractérisée par un indice de Langelier négatif, ce qui signifie que le pH de l'eau mesuré est inférieur au pHS de saturation : l'eau, sous saturée en $CaCO_3$, dissout le calcaire sous l'action du CO_2 agressif. Si IL est positif, il y a formation d'une couche de carbonate de calcium qui protège les tuyauteries [40].

Tableau.1. 1. Echelle d'évaluation du risque de dégradation d'une conduite en fonction de la valeur de l'indice de Langelier (Données SEAAL).

Valeur d'indice de Langelier	Niveau de risque de corrosion interne
$LI < -2$	Eau fortement agressive Risque élevé
$-2 \leq LI < 0$	Eau modérément agressive Risque modéré
$LI \geq 0$	Eau non agressive Risque faible

1.10.2. Indice de Larson (Indice de corrosivité) :

Cet indice est défini de la façon suivante :

$$(LR) = \frac{2 [SO_4^{2-}] + [Cl^{-}]}{[HCO_3^{-}]}$$

Les concentrations sont exprimées en mol/l. Cette formule empirique est basée sur de nombreuses expérimentations effectuées par les américains Larson et Skold, qui ont estimé que cet indice ne devrait pas dépasser 0,2 ou 0,3. D'autres ont estimé que des valeurs allant

jusqu'à l'unité étaient acceptables. Le tableau (1.2) montre l'interprétation que l'on peut faire des valeurs de l'indice [40] :

Tableau.1. 2. Echelle d'évaluation du risque de corrosion des éléments métalliques en fonction de l'indice de Larson (Données SEAL).

Valeur d'indice de Larson	Niveau de risque de corrosion interne
$LR < -0,5$	Faible taux de corrosion
$0,5 \leq LR < 0,8$	Taux de corrosion acceptable
$0,8 \leq LR < 1,2$	Taux de corrosion modéré
$LR \geq 1,2$	Tendance des taux de corrosion élevés

1.11. Influence des phénomènes d'entartrage sur la qualité de l'eau :

Le phénomène d'entartrage des surfaces au contact avec de l'eau est une formation de dépôts. Il dépend des caractéristiques physicochimiques de l'eau telles que la concentration en calcium, l'alcalinité ou TAC, la température, le pH, ainsi que de la nature des surfaces au contact de l'eau et des propriétés d'interface eau/surface du matériau. Le principal composant de ce phénomène c'est le carbonate de calcium. Il est susceptible d'avoir des conséquences à la fois techniques et économiques, voire sanitaires comme la formation d'un biofilm. Ce dernier, il pourrait altérer la qualité bactériologique de l'eau, provoque le colmatage et/ou blocage des ouvrages et des équipements. Il est donc nécessaire d'évaluer l'équilibre calco-carbonique de l'eau potable car, est un paramètre important, qui permet d'une part de limiter les risques de dissolution des métaux constitutifs des canalisations. D'autre part, il vise à limiter l'entartrage des installations. Sinon, les procédés de traitement anti-tarte qu'ils soient conventionnels (les adoucisseurs, mettant en œuvre des résines échangeuses d'ions) ou non conventionnels comme les procédés catalytiques, s'avèrent donc important. Leur utilisation entraîne des contraintes. Par exemple : la consommation de chlorure de sodium, diminution du pH de l'eau ce qui la rend agressive, augmentation significative des concentrations en métaux dissous (plomb, cuivre, zinc... etc) [36].

1.12. Qualité des matériaux en contact avec l'eau potable :

Certains matériaux tels que des tuyaux fabriqués à partir de matériaux inappropriés, lorsqu'ils entrent en contact avec l'eau potable, des impuretés peuvent s'infiltrer dans l'eau favorisant la croissance bactérienne, ce qui présente un risque important pour la santé [41]. C'est pour quoi différents travaux ont été menés sur la qualité des matériaux en contact avec l'eau potable.

Nous pouvons citer ici l'exemple des travaux portés sur les matériaux polymères à partir des tests dynamiques alternant des périodes journalières de stagnation et d'écoulement. Les résultats montrent une bonne répétabilité pour l'ensemble des paramètres physico-chimiques mesurés ainsi que pour les médianes des bactéries hétérotrophes (à 22 °C et à 36 °C) en suspension. Quant aux paramètres microbiologiques, la plupart des polyéthylènes testés (PEHD 100, PE 80) révèle une grande sensibilité avec une croissance importante des bactéries et de ce fait, propices à la croissance du biofilm de ce test dynamique. Les matériaux polymères PVC et PEX sont comparables et moins favorables à la croissance bactérienne que le PE. Le PEX apparaît comme comparable au matériau PVC vis-à-vis de la croissance bactérienne devant les mêmes conditions dynamiques. Cependant, certains polyéthylènes semblent échapper à cette généralité, provoquant une croissance bactérienne comparable aux matériaux polymères PVC et PEX. C'est le cas d'ailleurs du PE 80-2 [42].

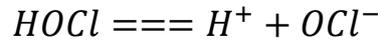
1.13. Désinfection de l'eau :

La désinfection de l'eau par le chlore est effectuée pour limiter le risque infectieux et pour améliorer la qualité esthétique de l'eau. Le chlore une fois introduit dans l'eau, neutralise le fer, le manganèse, ou le sulfure d'hydrogène qui peut être présent. S'il reste du chlore (résiduel), il réagira avec les matériaux organiques présents, y compris les bactéries [30]. Il réagit rapidement avec les composés azotés (acides aminés, ammoniac, nitrates,...etc.) pour former les chloramines qui possèdent également un pouvoir désinfectant.

De manière générale, l'utilisation d'une concentration élevée de résiduel n'est pas recommandée, car elle provoque l'apparition de multiples sous-produits de désinfection de type organochlorés et organobromés [43] (THM, acides haloacétiques (AHA),...etc.) et les substances sapides telles que les monochloramines, source de plaintes du public sur les goûts et odeurs [16]. Les principaux facteurs intervenants dans la formation des SPC sont : le pH comme facteur clé, la matière organique, les ions bromure, le chlore libre, la température et le temps de contact [44]. Le chlore est peut être disponible soit sous forme gazeuse, ou encore

sous forme de composés solides solubles dans l'eau comme par exemple l'hypochlorite de sodium (NaOCl) et l'hypochlorite de calcium (Ca(OCl)₂).

En milieu aqueux, le chlore s'hydrolyse selon la réaction suivante [45] :



Les deux produits ont les mêmes compositions chimiques en chlore actif lors de leur réaction avec l'eau qui sont OCl et HOCl [3] sauf que cette dernière forme est beaucoup plus efficace en termes de désinfection [43]. De plus, pour obtenir un maximum d'efficacité, il faut doser la chloration jusqu'à un certain point appelé "breakpoint" jusqu'à atteindre la transformation des chloramines en azote (N₂) et en acide chlorhydrique (HCl). Au-delà de ce point critique, il y a une production de chlore libre (efficace pour la désinfection) [45].

1.14. Normes d'interprétation :

1.14.1. Paramètres physico-chimiques : le tableau (1.3) présente les valeurs limites physico-chimiques de potabilité établies par l'OMS et la norme Algérienne.

Tableau.1. 3. Normes d'interprétation physico-chimiques.

Substances	Unité	Norme Algérienne (2014)	Norme OMS 2006
Ammonium	mg/l	0,5	0,5
Oxydabilité	mg/l O ₂	5	
Nitrates	mg/l	50	50
Nitrites	mg/l	0,2	0,5
Turbidité	NTU	5	
Alcalinité	mg/l CaCO ₃	65 pour les eaux dessalées ou déminéralisées n/valeur	
Chlorure	mg/l	200	250
Phosphore	mg/l	5	5
Sulfates	mg/l	400	250
Température	°C	25	25
Dureté (TH)	mg/l en CaCO ₃	500	
pH		≥6,5 et ≤9	≥6,5 et ≤9,2
Conductivité	µs/cm	2800	2100
Aluminium	mg/l	0,2	0,2
Cadmium	µg/l	3	
Cuivre	mg/l	2	2
Zinc	mg/l	5	5
Plomb	mg/l	10	10
Calcium	mg/l	200	270
fer tale		0,3	0,2
Potassium	mg/l	12	
Sodium	mg/l	200	200
Manganèse	µg/l	50	<50

1.14.2. Paramètres microbiologiques : Le tableau (1.4) présente les valeurs guides bactériologiques de potabilité établies par l’OMS et la norme Algérienne.

Tableau.1. 4. Normes d’interprétation microbiologiques.

Substance	Unité	Norme Algérienne	Norme Européenne
Escherichia Coli	n/100 ml	0	0
Entérocoques	n/100 ml	0	0
Bactéries sulfiro-réductrices	n/100 ml	0	0
Bactéries coliformes	n/100 ml	0	0

1.15. Conclusion :

Il est important de rappeler qu’une meilleure évaluation de la qualité de l’eau nous a permis de conclure si l’eau potable que consomment les populations est loin d’être polluée ou polluée. Il s’agit donc de traduire les nuisances qui pourraient être engendrées en la matière.

Chapitre 2 :

Méthodes et Matériel

Chapitre 2 :**Méthodes et Matériel****2.1. Introduction :**

Dans ce présent chapitre, nous allons décrire le protocole expérimental et les techniques d'analyse. Nous allons présenterons aussi le matériel utilisé durant la période de stage en vue de l'évaluation de la qualité de l'eau de consommation au niveau de la commune de kouba. Il est à noter que les essais expérimentaux ont été effectués au niveau du laboratoire central de la SEAAL (Alger) et celui de l'ADE.

2.2. Présentation de la Zone d'étude :

La commune de Kouba est située au sud-Est d'Alger. Elle est limitée au nord par la commune d'Hussein Dey, au nord-est par la commune de Magharia et de Badjerah, au nord-ouest par les communes d'El-Madania et de Belouizdad, au sud par la commune de Gué de Constantine (Fig.2.1) .Elle s'étend par une superficie de 16 km² avec une population de 104708 habitants (RGPH 2008), la commune est caractérisée par une topographie accidentée avec de fortes dénivelées. Notons qu'il y a des problèmes de fortes pressions sur une bonne partie des zones basses de Kouba.

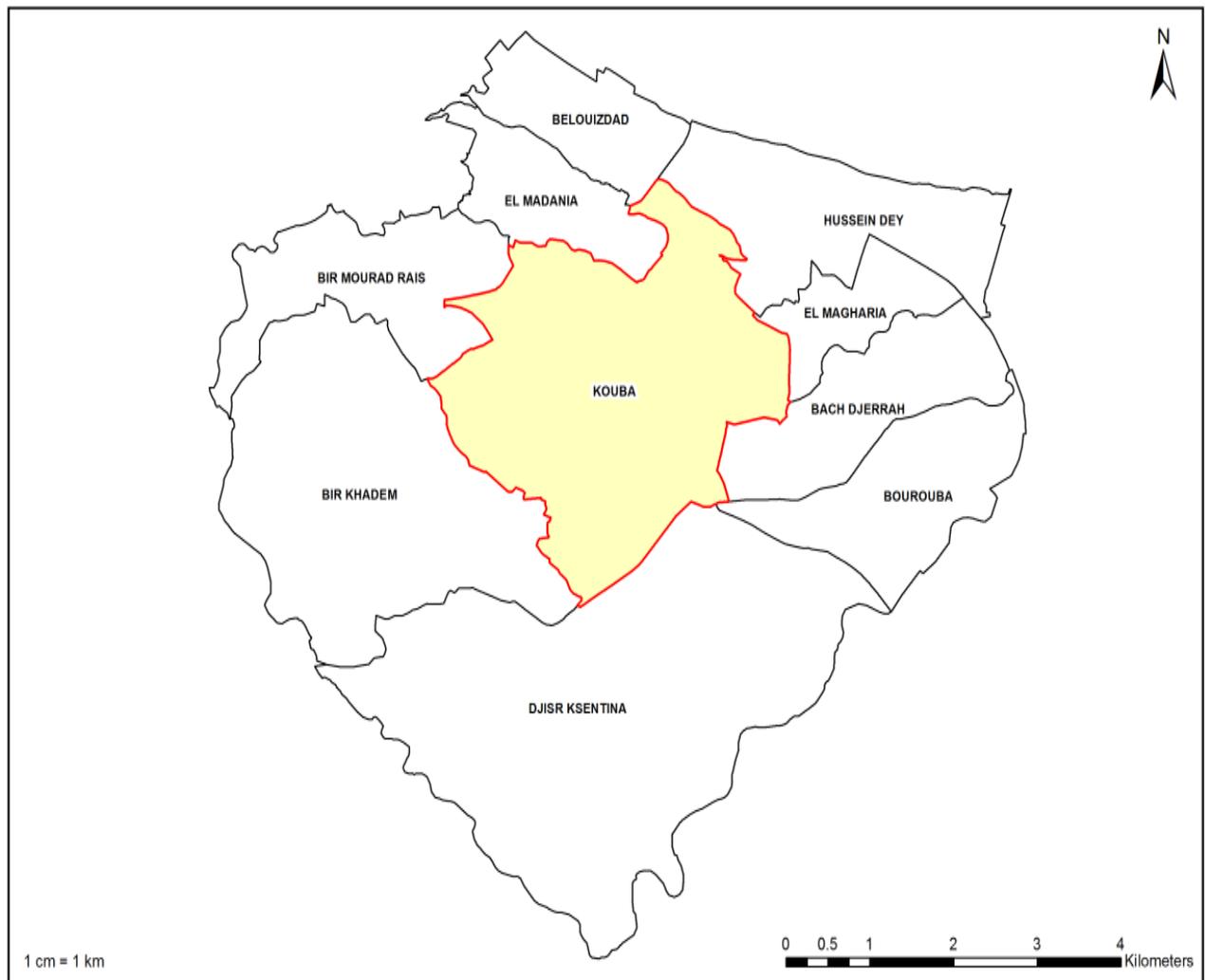


Fig.2. 1. Situation géographique de la commune de Kouba.

Les eaux analysées ont été prélevées dans les grands axes qui alimentent la Commune de Kouba et qui sont : Château d'eau Kouba 150, Kouba 158 (Les Sources), SP Garidi, ST Boudouaou et Barrage Kaddara (Figure 2.2).

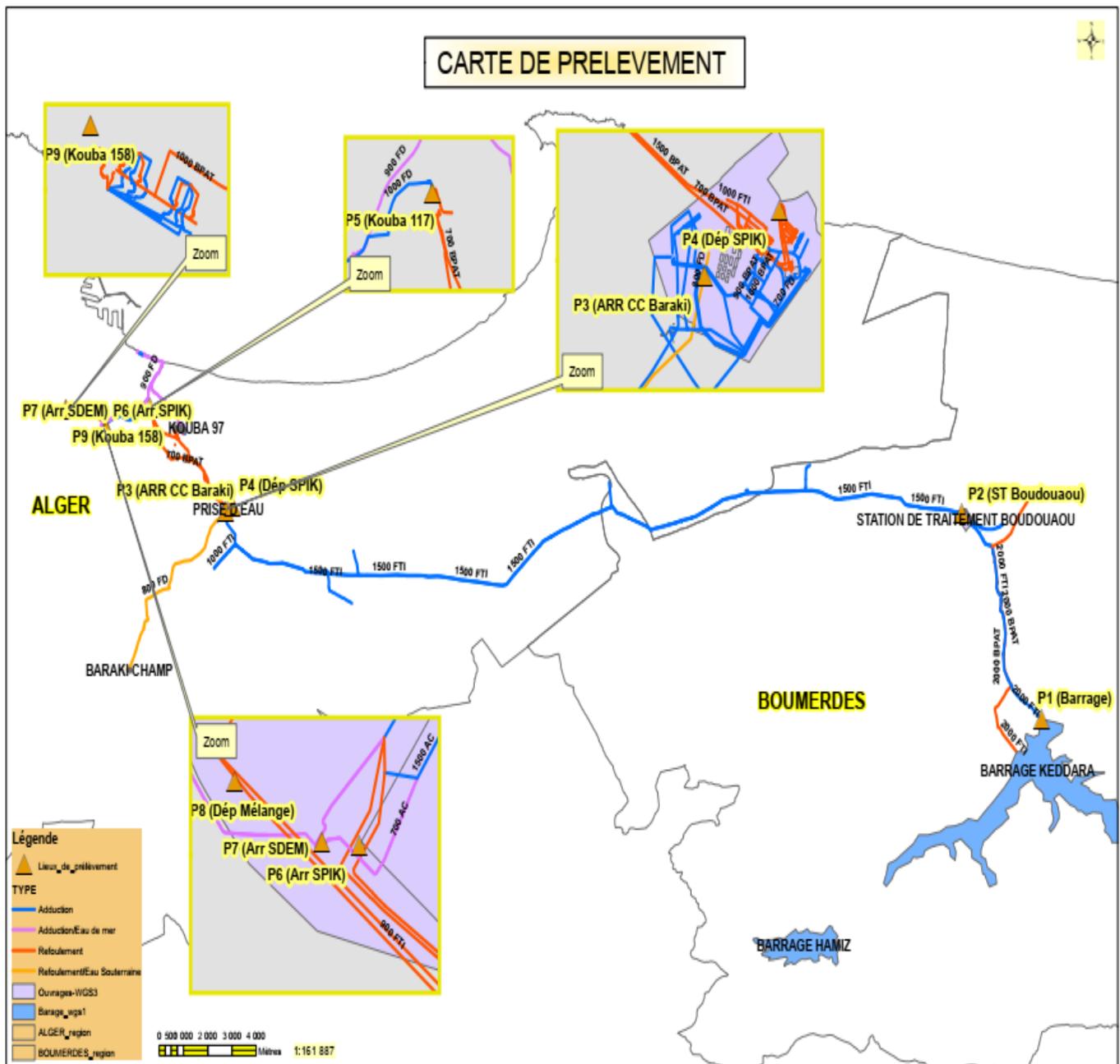


Fig.2. 2. Carte de prélèvement des échantillons d'eau.

2.3. Prélèvement, et transport des échantillons :

Pour obtenir un suivi de l'eau distribuée au niveau de la Commune de Kouba, nous avons effectué des prélèvements des échantillons d'eau dans des points bien précis (figure2.2). Nous avons choisi pendant toute la période de stage le moment de prélèvement, à l'heure de plus grande affluence. La mise en flacon est effectuée dans des bonnes conditions (bouteilles

stériles, étiquetages, conservation, équipement approprié...etc.). Les échantillons d'eau sont acheminés dans une glacière maintenue à 4°C, vers le laboratoire central de la SEAAL pour analyse complète. Il est à noter que pour chaque prélèvement, nous faisons un nettoyage du robinet avec l'alcool ou flamber (pour analyse bactériologique) ou rinçage des bouteilles avec l'eau à échantillonnée pour analyse physico-chimique. Après avoir laissé l'eau couler à plein régime pendant quelques minutes, les flacons sont remplis à ras bord en toute précaution de telle manière qu'aucune bulle d'air ne soit laissée au-dessus de l'échantillon.

2.4. Périodicité d'échantillonnage :

L'échantillonnage a été réalisé au cours de la période de Avril et Juin 2019 avec une fréquence de 03 sorties effectuées durant cette période de stage (Tableau 2.1).

Tableau.2. 1. Répartition des sorties en fonction de la période de prélèvement.

Sortie	Date	Nombre de prélèvements
1	29/04/2019	9
2	21/05/2019	9
3	10/06/2019	9

Remarque : les échantillons d'eau (les 09 prélèvements indiqués dans le tableau 2.1) ont été prélevés dans les points respectifs suivants : Barrage Kaddara, Départ Boudouaou, Prise d'eau El-Harrach (Arrivée Barraki et Mélange usine El-Harrach), SP Garidi (Arrivée SPIK, Arrivée Hamma et Départ Mélange), Départ les Sources (Kouba 158), Kouba 117 (Cote 150).

2.5. Méthodes d'analyse :

2.5. 1. Détermination et mesure des paramètres physico-chimiques :

Les analyses physico-chimiques d'eau à analyser ont été réalisées dans le laboratoire central de la SEAAL dont les méthodes de chaque paramètre sont présentées comme suit :

2.5. 1.1. Mesure de la turbidité par méthode nephelométrique :

La mesure de la turbidité est effectuée à l'aide d'un turbidimètre déjà étalonné. Notre échantillon a été analysé en utilisant une cuve en verre bien nettoyée, séchée et rincée chaque fois avec de l'eau à analyser, remplis de l'eau jusqu'au trait de jauge. L'introduit ensuite dans le turbidimètre. Le résultat est affiché en NTU automatiquement sur l'appareil en appuyant sur 'ENTER'.

2.5. 1.2. Mesure de la conductivité :

Avant de procéder à la mesure de la conductivité, l'étalonnage préalable de l'appareil avec de l'eau distillée est recommandé. La mesure de la conductivité se fait à l'aide d'un appareil multi-paramètre. On met l'appareil en marche et on plonge l'électrode dans un bécher qui contient l'eau à analyser. On sélectionne dans le menu 'Affichage automatique' en attendant jusqu'à la stabilisation de la valeur affichée. Le résultat est exprimé en $\mu\text{s/cm}$. **Cet appareil permet de mesurer de la même façon l'O₂ dissous en mg/l.**

2.5.1.3. Détermination du pH, de la température et du bicarbonate par l'Automate METHROM (Méthode potentiométrique) :

On met dans un Godet, l'eau à analyser, le placer dans la table d'échantillonneur. Après l'étalonnage de l'appareil, l'emplacement des solutions tampons et enregistrement des données (date, nom de l'élément analysé), on part sur la partie 'Détermination en série'. On remplit ladite table comme suit : la méthode d'analyse : 'Mesures Temp, pH, bicarbonate' en

tenant compte la position de chaque échantillon. Après la mise en marche du logiciel associé aux échantillons, les résultats sont affichés directement sur l'écran.

2.5. 2. Dosage des paramètres chimiques :

2.5. 2.1. Dosage des sulfates :

Dans une fiole de 100 ml. On introduit 20 ml d'échantillon à analyser. On ajoute 5ml de solution stabilisante. Après une agitation automatique, on ajoute 2ml de chlorure de Baryum. On complète avec de l'eau distillé jusqu'au trait de jauge. On agite à nouveau pendant 1mn puis on remplit la cuve avec l'échantillon à analyser, l'insérer dans l'appareil en appuyant sur 'START' afin de lire la concentration des sulfates en mg/l dans l'écran du spectrophotomètre.

2.5. 2.2. Dosage de l'ammonium par spectrométrie :

Dans une fiole de 50 ml. On introduit 40 ml d'eau à analyser. On ajoute 4 ml de réactif coloré et 4ml de réactif de Dichloro-isocyanurate de Sodium. L'échantillon est complété avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge en attendant le changement de couleur après au moins 60 minutes. La lecture est effectuée par la suite par spectrophotomètre à 655nm.

2.5.2.3. Dosage des orthophosphates par spectrophotométrie (Méthode au molybdate d'ammonium) :

Dans une fiole jaugée de 50 ml, on verse 40ml de l'eau à analyser. On ajoute respectivement 1 ml d'acide ascorbique à 100g/l et 2ml d'heptamolibdate d'ammonium. Le volume final c'est 42ml. Après agitation en quelques secondes et après 30 minutes d'environ une fois que la couleur bleu est apparue, on fait la lecture au spectrophotomètre à une longueur d'onde 880nm. Sinon, on indique comme résultat : < 0,09mg/l de phosphate. Si la concentration

dépasse 1,5 mg/l, on fait une dilution jusqu'au avoir une valeur comprise entre 0,09 et 1,5mg/l. Le résultat obtenu est multiplié par le facteur de dilution.

2.5. 2.4. Dosage des nitrites par spectrophotométrie d'adsorption moléculaire :

Dans une fiole de 50ml, on introduit 40ml d'eau à analyser. On ajoute 1ml de réactif coloré, l'homogénéiser immédiatement et le reste du 50ml de la fiole est complété par l'eau distillée. Après 20 minutes, on effectue la mesure spectrophotométrie à la longueur d'onde 540nm.

2.5.2.5. Dosage des chlorures par titrage au nitrates d'argent avec du chromate comme indicateur (Méthode de Mohr) :

Au moyen d'une fiole, on met 100 ml de l'échantillon à analyser, dans un bécher conique placé sur un fond blanc. On ajoute 1ml d'indicateur de chromate de potassium. On passe ensuite au titrage de notre solution par addition goutte à goutte de solution de nitrate d'argent jusqu'à ce que la solution prenne une couleur brun rougeâtre. On prend le volume de nitrate versé. La concentration des chlorures exprimée en mg/l est donnée par la relation :

$$C_{Cl} = (V_S - V_B) C * F * F_C / V_a$$

V_S = volume des nitrate d'argent utilisé pour doser l'échantillon ;

V_B = volume des nitrate d'argent utilisé pour doser le blanc ;

V_a = volume d'échantillon ;

C = concentration de la solution de nitrate d'argent en mol/l ;

F = 35453 (Masse molaire du Cl*1000 en mg/mol ;

F_C = Facteur de correction de la solution d'Ag NO₃.

2.5. 2.6. Détermination des nitrates par analyse à flux continu :

Après la préparation du matériel ainsi que les réactifs à utiliser durant la manipulation (solution puffer, réactif coloré +eau distillée et Brij), on place nos échantillons à analyser dans la table d'échantillonneur. On met en marche les équipements avec passage des réactifs et enregistrement des données (date et nom de l'élément à analyser). On exécute le logiciel Flow Access qui est en contact direct avec l'échantillonneur et l'interface et en fin. On sélectionne l'élément à analyser (nitrates comme dans notre cas) pour permettre l'exécution des résultats.

2.5.2.7. Dosage du potassium et sodium par ICP-OES (spectromètre à émission optique avec plasma induit par haut fréquence) :

Les échantillons prélevés sont acidifiés avec l'acide nitrique (0,5%). Après la mise en marche de l'appareil (équipement, l'ordinateur en exécutant le logiciel Winlab, ouvrir les gaz Argon et Air, le choix d'élément à analyser), on remplit les tubes avec les standards, les échantillons et les contrôles qualités. On enregistre les données suivantes : date, nom de l'élément analysé, les codes de notre échantillon à analyser et la position des échantillons de telle manière que chaque tube soit attribué à une position dans la palette de l'échantillonneur. L'emplacement de la gamme d'étalonnage et les échantillons dans l'échantillonneur est important en couchant sur 'Analyse All' afin de commencer l'analyse. Cette analyse est réalisée dans des conditions opératoires pour les eaux propres bien déterminées (Plasma Gaz Flow : 10/min, vitesse de la pompe péristaltique : 1,5 ml/min...etc.). Les résultats sont indiqués directement sur le logiciel.

2.5. 2.8. Test de chlore résiduel :

Après avoir l'appareil en position marche (Photomètre MD 100), on prélève l'eau à analyser dans la cuve de 10ml et la mettre dans la chambre de mesure. On ferme le couvercle de la cuvette en appuyant sur la touche zéro. Le message '0,00' apparait sur l'affichage. Après avoir retiré la cuvette, on ajoute une pastille de DPD N01, l'écraser à l'aide d'un agitateur

propre. On ferme le couvercle de la cuvette à nouveau et la placer dans la chambre de mesure. On lie la valeur du chlore résiduel. Quant au chlore total, il est déterminé au niveau de la station de traitement de Boudouaou.

2.5. 3. Analyses bactériologiques :

Cette humble étude consiste à la recherche de germes-tests et pathogènes suivants :

- Germes revivifiables ;
- Coliformes totaux ;
- Coliformes fécaux et E-Coli ;
- Streptocoques fécaux
- Les anaérobies sulfito-réducteurs, par méthode de filtration sur membrane.

2.5. 3.1. Recherche et dénombrement des Germes revivifiables par méthode filtration sur membrane :

Tableau.2. 2. Tableau récapitulatif pour la recherche et dénombrement des germes.

Paramètre	Matériel et réactifs	Méthode	Norme et Résultats	Caractéristique des colonies
Germes revivifiables	Gélose PCA, Bain marie, Boites pétri, Pipettes Pasteur, Etuve à 22° C et 36° C, Bec bunsen,	Filtration sur membrane	NF EN 26461-ISO 6461-2-1993	Colonies jaune ou en blanc

Sur chacune des deux boites de pétri, on ajoute 15 à 20ml de milieu de culture (fondu et refroidi). On mélange avec précaution, par rotation lente en forme de 8. On laisse se solidifier. Le dénombrement dans chaque échantillon est effectué par incubation à 22 et 36 °C pendant 48H et l'autre à 22 pendant 68 en tenant compte les boites (colonies).

2.5. 3.2. Recherche et dénombrement des E-Coli et des bactéries coliformes par méthode filtration sur membrane :

Tableau.2. 3. Tableau récapitulatif des différents travaux réalisés.

Paramètre	Matériel et réactifs	Méthode	Norme et Résultats	Caractéristique des colonies
Coliformes totaux, Coliformes Fécaux et E-Coli	CCA, Rampe de Filtration, Bain marie, Filtre 0,45µm, Boites pétri, Pincés, Etuve à 36° C et 44° C, Bec bunsen, Trompe à vide, Pipettes Pasteur	Filtration sur membrane	NF EN ISO 93 09-1	E-Coli: Bleu CT: Rose à Rouge CF: Confirmation

Le dénombrement des bactéries coliformes s'est effectué par filtration sur membrane (100, 10 et 1ml). Le diamètre de la membrane filtrante est de porosité de 0,45µm. Les bactéries retenues ont été déposés sur le milieu de culture CCA puis incubées à 36°C. Après 24h, on dénombre les colonies caractéristiques. Pour les CF, on a fait un test de confirmation en versant sur le disque d'oxydation sur un, deux à trois gouttes d'eau distillée (à l'aide d'une

pipette pasteur). La réaction est considérée comme positive s'il y a apparition d'une couleur violette. Sinon, se sont que des coliformes.

2.5. 3.3. Recherche et dénombrement des *Entérocoques intestinaux* par méthode filtration sur membrane :

Tableau.2. 4. Tableau récapitulatif pour la recherche et dénombrement des entérocoques intestinaux.

Paramètre	Matériel et réactifs	Méthode	Norme et Résultats	Caractéristique des colonies
Entérocoques intestinaux	Slanetz, BEA pour confirmation, Rampe de Filtration, Bain marie, Filtre 0,45µm, Boîtes pétri, Pincés, Pincés, Etuve à 36° C, Bec bunsen, Trompe à vide, Pipettes Pasteur	Filtration sur membrane	NF EN ISO 7899-2-NA 766: 2010	Colonies jaune ou en blanc

Pour la recherche des entérocoques, les éventuelles bactéries ainsi retenus présentes dans l'eau à analyser ont été déposées sur le milieu de culture Slanetz. Cette opération est effectuée après filtration sur la rampe puis incubation à 36°C pendant 48h. Après incubation, les entérocoques (en cas de présence) donnent des colonies rouges ou Marrou. Dans ce cas-là, un test de confirmation peut être nécessaire en transférant le filtre ainsi déposé dans le 1^{er} milieu sur la boîte de pétri contenant la gélose BEA. On fait l'incubation à nouveau à 44°C pendant 2 heures. Les boîtes pétries vont retirer après incubation et on complète les colonies entourées

d'un halo noir. Le dénombrement des entérocoques est fondé sur la filtration de l'échantillon à analyser à travers une membrane ayant une porosité de 0,45 µm. Le filtre est placé sur un milieu sélectif (Slanetz). Pour confirmation de la présence d'entérocoques, le filtre est ensuite transféré sur la gélose contenant la BEA donnant une coloration noire. Les UFC (unités formants colonies) sont comptées pour évaluer la qualité microbiologique de l'eau.

2.5. 3.4. Recherche et dénombrement des spores de bactéries anaérobies sulfite-réductrices par méthode filtration sur membrane :

Tableau.2. 5. Tableau récapitulatif pour la recherche et dénombrement des ASR.

Paramètre	Matériel et réactifs	Méthode	Norme et Résultats	Caractéristique des colonies
ASR	Gélose VF, Additifs: Alun de fer et sulfite du sodium, Bain marie, Filtre 0,22µm, Boîtes pétri, Pincés, Etuve à 37° C, Bec bunsen, Trompe à vide	Filtration sur membrane	NF EN 26461-ISO 6461-2-1993	Colonies Noir

Après destruction des formes végétatives (pour avoir des spores) par chauffage de l'échantillon à 75± 5°C, dans un bain marie pendant 15 min, On filtre 20ml de l'échantillon à analyser sur membrane de 0,22 µm. Après filtration, les éventuelles bactéries sont retenues dans le filtre à l'aide d'une pince stérile. On les enlève. On place la face supérieure (tourné vers le bas) dans le fond d'une boîte de pétri. On ajoute le milieu de culture viande foie

liquéfié avec les additifs soigneusement en évitant d'effectuer des bulles d'air entre la membrane et le milieu de culture. Ce dernier sera incubé pendant 24h. Entre chaque échantillon la rampe sera stérilisée pour les bactéries. La zone de stérilisation autour du bec bunsen est de 30 cm. La rampe de filtration est posée à la flamme pour chaque utilisation (la rampe a été utilisée à la flamme).

2.6. Conclusion :

Le chapitre méthode et matériel en plus de collecter les données géographiques, nous a permis de mettre en relief les méthodes ainsi que le matériel utilisé dans le but d'établir une base d'analyse permettant à la fois l'interprétation des résultats ainsi que leur reproductibilité.

Chapitre 3 :

Résultats et discussion

Conclusion générale :

A la lumière des résultats obtenus sur la qualité physico-chimiques et bactériologique des eaux potables de la région de Kouba, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

De point de vue physico-chimiques, les résultats d'analyses d'eau durant la l'année 2019 montrent que la qualité de cette eau est salubre et propre, car, elles ne contiennent pas des substances constituant un danger potentiel pour la santé publique.

De point de vue bactériologique : les résultats d'analyses des travaux antérieurs durant la période 2015-2018 montrent que 100% des échantillons d'eau ne contiennent pas des concentrations des micro-organismes, ni autres substances constituant un risque sanitaire. Cependant, les résultats du contrôle sanitaire durant la période de notre stage révèlent un taux de 78% de conformité et 22% de non conformité. Dans l'ensemble de ces résultats, on trouve les coliformes totaux, les coliformes fécaux, Escherichia-coli. La présence de coliformes totaux dans l'eau n'indique généralement pas une contamination d'origine fécale, ni un risque sanitaire mais leur présence dans les eaux de distribution indique une dégradation de la qualité bactériologique de l'eau. Les coliformes fécaux sont probablement dus à une contamination fécale, ou à l'environnement des systèmes de récupérations de ces eaux. Cependant la présence d'E-coli permet d'écarter le facteur environnement (La présence d'Escherichia-coli confirme une contamination fécale récente dans le site Kouba 158). Sur le plan d'agressivité et de corrosivité des matériaux en contact avec l'eau, il en ressort que l'eau produite par la station d'El-Hamma présente des caractéristiques de corrosivité et d'agressivités importantes, car, l'indice de Langelier est inférieur à 0. Quand aux eaux distribuées par le SPIK et le champ captant Baraki, elles ont un potentiel d'entartrage et de corrosivité important à l'égard de l'indice de Larson.

Recommandations :

Suite à l'interprétation et à l'analyse des principaux résultats de cette étude, il est possible de formuler les recommandations suivantes :

-Prise en considération les résultats d'analyses bactériologiques obtenus en 2019 via une confirmation de ceux-ci pour affirmer ces résultats.

-Corriger le caractère d'agressivité de l'eau en sortie des usines de Boudouaou et de Taksebt par une correction de pH.

-nettoyage régulier des réservoirs et des châteaux d'eau.

Il est important de demander à l'exploitant de l'usine d'El-Hamma de délivrer une eau à l'équilibre. Si ce n'est pas le cas, il pourrait être envisagé de limiter l'utilisation de l'eau provenant de cette ressource ou de faire changer ce type de matériau par d'autres matériaux qui résistent mieux que ceux utilisés actuellement.

-Les conditions qui contrôlent l'évolution de la qualité de l'eau dans le réseau sont complexe. Cela, nécessite une attention particulière à la surveillance et au contrôle régulier de l'eau.

Conclusion générale

Chapitre 3 :

Résultats et Discussion**3.1. Introduction :**

Dans ce dernier chapitre, on procède à la présentation de nos propres résultats concernant la qualité des eaux destinées à la consommation humaine dans la région de Kouba, accompagnée par des interprétations et une discussion générale.

3.2. Analyse du chlore résiduel :

Les résultats d'analyse du chlore résiduel durant la période de stage sont présentés dans les tableaux (3.1).

Tableau.3. 1. Résultats d'Analyse du chlore résiduel.

Echantillon	Chlore résiduel (mg/l)			Moyenne (mg/l)	Norme OMS (mg/l)
	29/04/2019	21/05/2019	10/06/2019		
Barrage Keddara	0	0	0	0	/
Dép Boudouaou	1,05	1,11	1,09	1,08	0,6 -1
Mélange El-Harrach	0,42	0,77	0,68	0,62	0,6 -1
Arr. Baraki	0	0	0	0	/
Arr. SPIK	0,85	0,74	0,75	0,78	0,6 -1
El-Hamma	0,33	0,22	0,64	0,4	0,6 -1
Mélange Garidi	0,56	0,46	0,47	0,5	0,6 -1
Kouba 117	0,73	0,46	0,49	0,56	0,6 -1
Kouba 158	0,53	0,39	0,5	0,47	0,6 -1

Les concentrations moyennes du chlore résiduel des points d'eau au cours de la période d'échantillonnage sont élevées dans l'unité de traitement Boudouaou (1,08 mg/l) que dans les réservoirs d'eau (0,62 mg/l pour Mélange El-Harrach, 0,78 mg/l

pour Arr. SPIK). De plus, le chlore résiduel dans ces derniers est supérieur à celui des châteaux d'eau (0,56 mg/l pour Kouba 117 et 0,47 mg/l pour Kouba 158). Cette diminution pourrait s'expliquer par l'accumulation des particules dans les réservoirs et les châteaux faute de nettoyage de ceux-ci ou encore par l'évaporation du chlore résiduel au cours du temps.

3. 3. Suivi de la qualité physico-chimique des points d'eau analysés :

Les résultats détaillés des analyses physico-chimiques effectuées sur les différents échantillons d'eau prélevés au cours de notre étude sont présentés dans le tableau (3.2)

Tableau 3.2. Résultats d'analyses physico-chimiques des points d'eau étudiés.

Paramètre	Unité	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	Norme Algérienne
O2 dissous	(mg/l)	9,38	9,54	9,1	9,3	8,82	9,46	4,82	9,3	7,28	8
pH		7,77	7,48	7,93	7,88	7,49	7,44	7,1	7,68	7,78	6,5_ 8,5
Température	(C)	21	20,73	20,96	21,03	20,6	20,66	20,63	20,5	20,55	12_ 25
Sulfate	(mg/l)	10,77		8,36		129,52	88,8	157,1	125,67	102,01	400
Turbidité	(NTU)	0,42	0,63	0,48	0,44	0,41	0,42	0,39	0,46	2,77	5
Conductivité	(μ s/cm)	1013,3	874	1021	1064	1010,3	983,33	1232,3	1019,7	997,5	2800
Chlorure	(mg/l)	194,56	149,91	221,7	244,79	105,08	101,88	146,29	90,9	13,5	500
Nitrate	(mg/l)	3,1	0,96	3,92	4,45	10,55	13,29	17,2	6,81	4,42	50
Nitrite	(mg/l)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,1
TAC		10,6	13,5	10,75	7	19,7	19,3	24,35	18,3	18,6	
Orthophosphates	(mg/l)	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	0,5
Ammonium	(mg/l)	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	0,05
Fer	(mg/l)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,3

3.3.1. pH :

Les résultats du pH obtenus varient entre 7,1 (E7) et 7,93 (E3). En se référant aux normes de la potabilité Algérienne, les valeurs enregistrées sont conformes aux normes. Ce sont donc des eaux légèrement alcalines.

3.3.2. Conductivité :

Les valeurs de la conductivité mesurées fluctuent 874 et 1232,33 $\mu\text{c}/\text{cm}$ et sont conformes aux normes d'interprétation Algérienne.

3.3.3. Oxygène dissous :

Les concentrations de l'oxygène dissous sont comprises entre **4.82 et 9.54 mg/l**. Les valeurs en oxygène dissous sont un peu supérieures à la valeur maximale recommandée.

Cette suroxygénation des eaux est liée à la dissipation de l'énergie opérée dans l'ouvrage d'arrivée des eaux.

Les teneurs inférieures sont probablement dues à la consommation par les bactéries qui dégradent la matière organique.

3.3.4. Turbidité :

Tous les échantillons analysés présentent des valeurs (Max= 2,77 NTU et Min= 0,39 NTU) inférieures à celles fixées par la norme Algérienne.

3.3.5. Température :

Les valeurs représentées dans la figure (3.11) montrent une variation de la température avec une valeur maximum observée dans l'échantillon 4 et minimum dans l'échantillon 8. Les deux valeurs sont conformes aux normes Algérienne.

3.3.6. Nitrates :

Toutes les valeurs des nitrates enregistrées sont inférieures à 20 mg/l et sont relativement faibles par rapport à la valeur fixée par la norme Algérienne qui est 50 mg/l.

3.3.7. Chlorures :

La teneur en chlorures de nos échantillons varie entre 13,5 mg/l (E9) et 244,79 mg/l (E4). Ces teneurs ne dépassent pas les normes d'interprétations Algériennes.

3.3.8. Sulfates :

Les concentrations des sulfates mesurées fluctuent de 8,36 mg/l (E3) et 157,1mg/l (E7). Ces valeurs sont relativement faibles comparées à la norme Algérienne recommandée (400 mg/l).

3.3.9. Orthophosphates, Ammonium, Nitrites et Fer :

Les résultats obtenus pour tous les échantillons analysés sont présents à de très faibles concentrations en Orthophosphates, Ammonium, Nitrites et Fer et restent toujours dans les normes de potabilité.

3.4. Suivi de la qualité bactériologique des points d'eau analysés:

Les résultats détaillés des analyses bactériologiques effectuées sur les différents échantillons d'eau prélevés sont présentés dans le tableau (3.3).

Tableau.3. 3. Résultats des analyses bactériologiques des points d'eau étudiés.

Echantillon	CT (UFC/100ml)	CF (UFC/100ml)	E-Coli (UFC/100ml)	Entérocoques (UFC/100ml)	ASR (UFC/100ml)	Norme (UFC/100ml)
Barrage Keddara	217	4	1	13,48	2	*
Dép Boudouaou	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs
Mélange El-Harrach	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs
Arr. Baraki	166,66	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs
Arr. SPIK	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs
El-Hamma	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs
Mélange Garidi	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs
Kouba 158	21	17,33	3,66	Abs	Abs	Abs
Kouba 117	4,66	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs

(*) : <10000UFC/100ml pour les coliformes et <20000UFC/100ml pour entérocoques.

Discussion :

Les valeurs des analyses bactériologiques des eaux au cours des trois campagnes de prélèvement ont révélé qu'elles sont comparables et similaires. C'est pour cette raison, nous nous limiterons dans ce qui suit à l'interprétation des valeurs moyennes de ces analyses :

La présence de coliformes totaux dans l'eau n'indique généralement pas une contamination d'origine fécale ni un risque sanitaire, mais leur présence dans les eaux de distribution indique une dégradation de la qualité bactérienne de l'eau.

Le nombre des coliformes totaux dans les points étudiés (166 UFC/100ml pour Arrivée Barraki, 21 UFC/100 ml pour Kouba 158 et 4,66 pour Kouba 117) est probablement due à une reviviscence bactérienne (formation d'un biofilm sur les parois des conduites d'eau potable).

Dans certains cas, le manque d'entretien des installations et les matériaux utilisés peuvent eux-mêmes être mis en cause (vieillesse prématuré...etc.). Ces causes peuvent entraîner une détérioration de la qualité microbiologique par une augmentation du nombre de germes pathogènes.

Les résultats d'analyse montrent une absence totale de coliformes fécaux dans les points d'eau traitée à l'exception Kouba 158.

Le nombre de coliformes fécaux retrouvés au niveau du site Kouba 158 est de 17,33 UFC/100ml. Leur présence indique qu'une contamination fécale récente s'est introduite dans le réseau.

La présence de l'*Escherichia coli* et des entérocoques dans l'eau met en évidence une pollution d'origine fécale ancienne. Toute eau contenant ces bactéries ne doit pas être consommée (Norme : <1 UFC/100 ml).

Les résultats d'analyses des E-Coli dans les points d'eau traitée montrent une absence totale de ce type de germe sauf Kouba 158, où il a été enregistré une concentration de 3,66 UFC/100 ml.

Quant à la recherche et le dénombrement des spores d'anaérobie sulfite-réducteurs, les résultats obtenus montrent que 100% des échantillons d'eau traitée ne contiennent pas des ASR.

Dans le cas des eaux brutes de surface destinées à la potabilisation. Leur recherche n'a d'intérêt que pour la mesure de l'efficacité d'un traitement de potabilisation par filtration.

Cependant, les concentrations des coliformes totaux, fécaux, E-Coli et ASR retrouvés dans le barrage de Kaddara sont respectivement :

217 UFC/100 ml ;

4 UFC/100 ml ;

1 UFC/100 ml ;

2 UFC/100 ml.

Ces concentrations sont inférieures à celles exigées par la norme Algérienne.

3.5. Qualité des eaux et l'agressivité des matériaux : quelle relation ?

Les caractéristiques de l'eau produite par le SPIK, El-Hamma et Baraki vis-à-vis de son potentiel d'agressivité et de corrosivité sur cette année sont récapitulées dans le Tableau (3.4).

Tableau.3. 4. Moyenne des indicateurs usuels de prévention des risques matériaux.

Provenance d'eau	Ressources d'eau	Langelier	Larson	Qualité d'eau
SPIK	Eaux de surface	0,33	2,58	Incrustante et corrosive
Champ captant Baraki	Eaux souterraines	0,18	1,5	Incrustante et corrosive
El-Hamma	Eau dessalée	-0,5	6	Très corrosive et fortement agressive

3.5.1. SPIK- Système de production Isser-Kaddara :

Sur la base des résultats, les indices moyens de Langelier et de et celui de Larson sont respectivement : 0,33 (indice de Langelier) et 2,58 (indice de Larson).

Au regard de cet indice, il en ressort que :

L'eau est légèrement entartrante.

Cependant, au vue de l'évolution de cet indice sur l'année, la survenue récurrente de période d'eau agressive ne permet pas de s'affranchir d'un risque probable de détérioration prématurée des matériaux constitutifs du réseau de distribution.

Une eau corrosive au regard de l'indice de Larson.

Un indice de Langelier moyen traduisant une eau à tendance incrustante sur la période.

De ce fait, il apparaît que l'eau distribuée par le SPIK présente des caractéristiques de corrosivité non négligeables face aux risques de détérioration des matériaux constitutifs des réseaux d'adduction et de distribution de la zone étudiée.

Pour cette raison, il est suggéré :

De corriger le caractère d'agressivité de l'eau en sortie des usines de BOUDOUAOU et de TAKSEBT par une correction de pH (Indice de Langelier = $0 < LSI < 0,3$).

3.5.2. Station d'El-Hamma :

D'après les résultats obtenus, on peut conclure que :

La valeur de l'indice de Langelier est de -0,5 qui traduit une eau nettement agressive

Les périodes à forts risques de corrosion correspondent à des LSI (Indice de Langelier) négatifs.

Sur ce, il apparaît que l'eau introduite dans le système AEP qui alimente la commune de Kouba depuis ladite station a un potentiel d'agressivité et de corrosivité important.

L'impact de cette eau même lors de sa dilution dans le réservoir de mélange de Garidi n'est pas négligeable mais reste fonction du rapport de dilution et des caractéristiques des autres eaux alimentant ce réservoir.

Dans l'optique de limiter cet impact. Il est important de demander à l'exploitant de l'usine d'El-Hamma de délivrer une eau à l'équilibre (SEAL n'étant pas exploitant de la station). Si ce n'est pas le cas, il pourrait être envisagé de limiter l'utilisation de l'eau provenant de cette ressource.

3.5.3. Champ captant de Baraki :

A la base des résultats obtenus :

Un indice de Langelier moyen (0,18) traduisant une eau à tendance incrustante sur la période.

Il apparaît que l'eau introduite dans le système AEP d'Alger via les champs captant de BARAKI présente majoritairement un caractère incrustant. Ce caractère incrustant s'il se confirmait, pourrait être intéressant dans l'objectif d'atténuer, voir maîtriser, l'agressivité potentielle des eaux de mélange au sein du réservoir El Harrach.

3.6. Conclusion :

Comme nous l'avons décrit précédemment, les résultats obtenus nous a permet de dire qu'il y a une relation entre la qualité de l'eau, l'agressivité et la corrosivité du matériau.

Introduction générale

Conclusion générale :

A la lumière des résultats obtenus sur la qualité physico-chimiques et bactériologique des eaux potables de la région de Kouba, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

De point de vue physico-chimiques, les résultats d'analyses d'eau durant la l'année 2019 montrent que la qualité de cette eau est salubre et propre, car, elles ne contiennent pas des substances constituant un danger potentiel pour la santé publique.

De point de vue bactériologique : les résultats d'analyses des travaux antérieurs durant la période 2015-2018 montrent que 100% des échantillons d'eau ne contiennent pas des concentrations des micro-organismes, ni autres substances constituant un risque sanitaire. Cependant, les résultats du contrôle sanitaire durant la période de notre stage révèlent un taux de 78% de conformité et 22% de non conformité. Dans l'ensemble de ces résultats, on trouve les coliformes totaux, les coliformes fécaux, Escherichia-coli. La présence de coliformes totaux dans l'eau n'indique généralement pas une contamination d'origine fécale, ni un risque sanitaire mais leur présence dans les eaux de distribution indique une dégradation de la qualité bactériologique de l'eau. Les coliformes fécaux sont probablement dus à une contamination fécale, ou à l'environnement des systèmes de récupérations de ces eaux. Cependant la présence d'E-coli permet d'écarter le facteur environnement (La présence d'Escherichia-coli confirme une contamination fécale récente dans le site Kouba 158). Sur le plan d'agressivité et de corrosivité des matériaux en contact avec l'eau, il en ressort que l'eau produite par la station d'El-Hamma présente des caractéristiques de corrosivité et d'agressivités importantes, car, l'indice de Langelier est inférieur à 0. Quand aux eaux distribuées par le SPIK et le champ captant Baraki, elles ont un potentiel d'entartrage et de corrosivité important à l'égard de l'indice de Larson.

Recommandations :

Suite à l'interprétation et à l'analyse des principaux résultats de cette étude, il est possible de formuler les recommandations suivantes :

-Prise en considération les résultats d'analyses bactériologiques obtenus en 2019 via une confirmation de ceux-ci pour affirmer ces résultats.

-Corriger le caractère d'agressivité de l'eau en sortie des usines de Boudouaou et de Taksebt par une correction de pH.

-nettoyage régulier des réservoirs et des châteaux d'eau.

Il est important de demander à l'exploitant de l'usine d'El-Hamma de délivrer une eau à l'équilibre. Si ce n'est pas le cas, il pourrait être envisagé de limiter l'utilisation de l'eau provenant de cette ressource ou de faire changer ce type de matériau par d'autres matériaux qui résistent mieux que ceux utilisés actuellement.

-Les conditions qui contrôlent l'évolution de la qualité de l'eau dans le réseau sont complexe. Cela, nécessite une attention particulière à la surveillance et au contrôle régulier de l'eau.

Liste des tableaux

Liste des tableaux :

Tableau.1.1. Echelle d'évaluation du risque de dégradation d'une conduite en fonction de la valeur de l'indice de Langelier	17
Tableau.1.2. Echelle d'évaluation du risque de corrosion des éléments métalliques en fonction de l'indice de Larson	18
Tableau.1.3. Normes d'interprétation physico-chimiques	20
Tableau.1.4. Normes d'interprétation microbiologiques	21
Tableau.2. 1. Répartition des sorties en fonction de la période de prélèvement	25
Tableau.2. 2. Tableau récapitulatif pour la recherche et dénombrement des germes	30
Tableau.2. 3. Tableau récapitulatif des différents travaux réalisés	31
Tableau.2.4. Tableau récapitulatif pour la recherche et dénombrement des entérocoques intestinaux	32
Tableau.2. 5. Tableau récapitulatif pour la recherche et dénombrement des ASR ...	33
Tableau.3.1. Résultats d'Analyse du chlore résiduel	35
Tableau 3.2. Résultats d'analyses physico-chimiques des points d'eau étudiés	36
Tableau.3. 3. Résultats des analyses bactériologiques des points d'eau étudiés	38
Tableau.3.4. Moyenne des indicateurs usuels de prévention des risques matériaux	41

Liste des figures

Liste des figures :

Fig.1. 1. Etapes de traitement en usine de production d'eau potable 1	3
Fig.1. 2. Etapes de traitement en usine de production d'eau potable 2	3
Fig.1.3. Images en microscopie laser d'un acier montrant différents stades de développement de biofilm	16
Fig.2.3. Situation géographique de la commune de Kouba.	23
Fig.2.2. Carte de prélèvement des échantillons d'eau.	24

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

[1] : OURASSI. F., 2012. Contrôle de la pratique de la chloration dans le réseau d'AEP de la ville d'OEB, Mémoire de Master en Hydraulique, Univ. Larbi Ben M'hidi - Oum el-Bouaghi-, 83 p.

[2] : HAMADI. S & TIMI. K. , 2018. Traitement de l'eau de dialyse, Mémoire de Master en Hydraulique, Univ. Aboubakr Belkaïd- Tlemcen , 135 p.

[3] : DOLO. I., 2016. Etude comparative de l'utilisation de l'hypochlorite de calcium et des électrochlorateurs en vue de l'optimisation de désinfection de l'eau au Mali, Mémoire de Master en Eau et Assainissement, Société Malienne de gestion de l'eau potable, 75 p.

[4] : HERICKX. C., 2013. Eau potable, contrôle de l'eau potable, paramètre, fréquence, traitement, Circulaire relative au contrôle de la qualité des eaux dans le secteur des denrées alimentaires, Agence fédérale pour la sécurité de la chaîne alimentaire, 15 p.

[5] : CHAIBI. M & KHEDOUSSI. F., 2012. Etude de la qualité des eaux du barrage Tichi Haf : Les algues bioindicateurs, Mémoire de Master en Environnement et Santé publique, Univ. Abderrahmane MIRA-Bejaia-, 93 p.

[6] : CHELLI. L & DJOUHRI. N., 2013. Analyses des eaux de réseau de la ville de Béjaia et évaluation de leur pouvoir entartrant, Mémoire de Master en Génie chimique, Univ. Bédjaia, 102 p.

[7] : MESSAOUDI .F & BOUZIDI. N., 2017. Analyse de l'efficacité des ouvrages de décantation et de filtration de la station de traitement koudiet medouar –Batna, Mémoire de Master en Hydraulique, Univ. Larbi Ben M'hidi- Oum El- Bouaghi-, 93 p.

[8] : LIFERKI M., 2016. Etude des propriétés physico-chimiques et Bactériologiques de l'eau du barrage Sidi M'hamed Ben Taiba, Mémoire de Master en Génie de l'Environnement, Univ. Djillali Bounaama –Khmis Miliana, 91 p.

Références bibliographiques

- [9] : BOUKELLAL. I & HANANE. A., 2015. Etude du procédé de dessalement de l'eau de mer et de la qualité physico-chimique de l'eau dessalée de la station de Cap Djinat- Boumerdes-, Mémoire de Master en Hydraulique, Univ. Bédjaia, 108 p.
- [10] : BELGHITI. M et al., 2013. Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quadernaire dans la région de Meknès- Maroc-. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°14, 16 p
- [11] : SALEH. A., 2016. Analyse du fonctionnement du réseau d'alimentation en eau potable de la commune d'El –Hadjer, Mémoire de Master en Hydraulique, Univ. Badji Mokhtar –ANNABA-, 124 p.
- [12] : ATALLAH. A., 2014. Procédés de dessalement et qualité physico-chimique de l'eau dessalée par la station de dessalement de l'eau de Mer de Honaine, Mémoire de Master en Biologie, Univ. Abou Bekr Belkaid –Tlemcen, 99 p.
- [13] : MANDRI. Y., 2011. Étude paramétrique du procédé de dessalement de l'eau de mer par congélation sur paroi froide, Mémoire de Doctorat en Génie des Procédés, Univ Mohammed V- AGDAL de RABAT- Maroc-, 169 p.
- [14] : ORELIEN. F., 2017. Etude de la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine dans le sous-bassin versant de Ravine Diable-Anse-a-Veau-. Mémoire de Master en sciences et gestion de l'environnement dans les pays en développement, Univ Catholique de Louvain, 85 p.
- [15] : DIAFI. R., 2015. Etude expérimentale sur l'adoucissement de l'eau par précipitation chimique, Mémoire de Master en Hydraulique, Univ Abou Bekr Belkaid – Tlemcen, 71 p.
- [16] : OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU., 2001. La dégradation de la qualité de l'eau potable dans les réseaux. Document technique, 98 p.
- [17] : DICKO. D., 2016. Etude de l'influence des caractéristiques de l'eau brute et de l'eau traitée sur l'efficacité de la chloration : Cas de la station de traitement de Paspanga au Burkinafaso. Mémoire de Master en Option Eau et Assainissement, ONEA, 83 p.

Références bibliographiques

- [18] : SHUUYA. M., 2008. Assesment of the impacts of pollution on water quality in the calueque-oshakati canal in north-central Namibia, Document technique, Univ. Zimbabwe, 89 p.
- [19] : KHELIF. A S & MAZ. H., 2016. Analyses des propriétés physico-chimiques de l'eau de l'entreprise DANOUNE à différents points de traitement, Mémoire de Master en Analyses chimiques, Univ. A. MIRA - Béjaïa-, 75 p.
- [20] : ABDESSELAM. F., 2015. Test de l'activité d'un copolymère de synthèse dans la désinfection des eaux. Mémoire de Master en Biologie. Univ. Aboubekr Belkaid - Tlemcen-, 51 p.
- [21] : HACHEMAOUI. B., 2014. Qualité physico-chimique de l'eau dessalée et traitée par station de dessalement de l'eau de mer de Souk Tlata, Mémoire de Master en Biologie. Univ. Aboubekr Belkaid –Tlemcen-, 91 p.
- [22] : MIZI. A., 2006. Traitement des eaux de rejet d'une raffinerie -Région de Bédjaia-, Mémoire de Doctorat en Chimie et Environnement, Univ. Badji Moukhtar - Annaba-, 189 p.
- [23] : BELABED BOURHANE. I., 2010. La pollution par les métaux lourds dans la région d'Annaba « Sources de contamination des écosystèmes aquatiques », Mémoire de Doctorat en Biologie, Univ. Badji Mokhtar –Annaba-, 199 p.
- [24] : MINISTERE DU DEVELOPPEMENT DURABLE., 2013. Critères de qualité de l'eau de surface ; 3^é édition, Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-68533-3, 526 p.
- [25] : SIRCEE., 2006. Elimination catalytique du fer et du manganèse pour la production d'eau potable, Normandie, Document technique, 60 p.
- [26] : LOUNNAS. A., 2009. Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station Hamadi- Kroma –Skikda- Mémoire de Magister en Pollutions Chimiques et Environnement, Univ. 20 Août 1955 - Skikda-, 120 p.
- [27] : SELKA. M., 2013. Influence des particules argileuses sur la coagulation-Floculation. Mémoire de Master en Technologie de Traitement des eaux, Univ. Abou Bekr Belkaid –Tlemcen, 124 p.

Références bibliographiques

[28] : PROULX. F et al., 2009. Les goûts et les odeurs dans l'eau potable : Revue des composés responsables et des techniques de mesure, Revue des sciences de l'eau, ISSN : 1718-8598. Québec, 22 p.

[29] : CENTRE DE COLLABORATION NATIONALE EN SANTE ENVIRONNEMENTALE., 2013. Les indicateurs microbiens dans l'évaluation de l'eau potable : interpréter les résultats de laboratoire et comprendre leur signification pour la santé publique, Document technique, 13 p.

[30] : BENGAIBONA. B., 2010. Analyse comparée des qualités microbiologique et physico-chimique des eaux de pluie stockées dans des citernes en Ferro ciment : Cas des impluviums de DORI ; Mémoire de Master en Génie sanitaire et Environnement, Institut International d'ingénierie de l'Eau et de l'Environnement de Burkina Faso, 73 p.

[31] : OFFICE FEDERAL DE LA SANTE PUBLIQUE., 2010. Procédés reconnus destinés au traitement de l'eau potable, Berne, OFSP: VS 08.10 1200 d 400 f 100i 40EXT1011, 107 p.

[32] : BENTOUNES. A., 2017. Etude de la qualité microbiologique de l'eau potable et l'eau des puits de la wilaya de Mostaganem. Mémoire de Master en Biologie, Univ. Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem, 82 p.

[33] : ROBERT. H., 1999. Qualité microbiologique des eaux brutes distribuées par BRL : Exigences et conception d'un suivi adapté, Mémoire de l'Ecole Nationale de la santé publique –Languedoc-Roussillon (France), 81 p.

[34] : ARUN. K., 2016. Water and Waterborne Diseases: A Review, DOI: 10.9734/IJTDH/2016/21895, International Journal of Tropical Disease & Health, Nigeria, 16 p.

[35] : VALENCE. C., 2004. Algues et production d'eau potable, Office International de l'eau, Synthèse technique, Centre de Montpellier, 33 p.

[36] : ANSES., 2019. Procédés anti-tartre non conventionnels dans les réseaux de distribution d'eau destinée à la consommation humaine, Rapport d'expertise collectif, 132 p.

Références bibliographiques

- [37] : DOUTORA. M., 2011. Microbial interactions on biofilm formation by drinking water autochthonous microorganisms, Mémoire de Doctorat en Génie chimique et Biologique, Univ. Minho –Portugais, 301 p.
- [38] : GUEBLI. B & GASSARELLIL. H., 2016., Etude des phénomènes de corrosion liés à la détérioration des aciers pour tubes galvanisés. Mémoire de Master en Génie Mécanique, Univ. Arbi Tbessi –Tebessa-, 84 p.
- [39] : PECHARMAN. F., 2002. Gestion du risque lié aux légionelles : Stratégie de contrôle et de surveillance, Mémoire de formation des ingénieurs du génie sanitaire, Ecole Nationale de la Santé Publique, 72 p.
- [40] : MEMOTEC n° 17., 2016. Agressivité et corrosivité, Document SEAAL interne, 2 p,
- [41] :PROFLUID., 2018. Matériaux en contact avec l'eau potable, livre blanc sur la réglementation française et européenne plus efficace, France, 32 p.
- [42] : CHAUVEHEI. E., 2012. L'évaluation des matériaux en contact avec l'eau potable chez Vivaqua : De l'approche statique vers une approche dynamique, TSM numéro 5 - 2012 - 107e année, Belgique, 10 p.
- [43] : CARDOT. C., 2002. Les traitements de l'eau : Procédés physico-chimiques et biologiques, Ouvrage, Normandie, ISBN 2-7298-5981-0, 247 p.
- [44] : MOULAY . D et al., 2009. Les sous-produits de chloration dans l'eau destinée à la consommation humaine en France, Institut de veille sanitaire, France, 76 p.
- [45] : TREMBLAY. L., 1995. La production de trihalométhanes dans les systèmes de distribution d'eau potable au Québec, Mémoire de Doctorat, Univ. Québec, 145 p.